

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

06.08 – МР. 149"С" 2024.11.07. 017 ПЗ

КРУТІЮ АРТЕМУ СЕРГІЙОВИЧУ

2025

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

06.08 – МР. 149"С" 2024.11.07. 017

КРУТІЮ АРТЕМУ СЕРГІЙОВИЧУ

2025

**ВІДОКРЕМЛЕНИЙ ПІДРОЗДІЛ НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ
БІОРЕСУРСІВ І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ
"НІЖИНСЬКИЙ АГРОТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ"**

Факультет інженерії та енергетики
Кафедра агроінженерії та транспортних технологій

"До захисту допущено"

В.о. завідувача кафедри агроінженерії та
транспортних технологій

_____ Микола ІКАЛЬЧИК
"___" _____ 2025 р.

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

зі спеціальності **208 "Агроінженерія"** освітньої програми **"Агроінженерія"**

на тему: **"Дослідження режимів роботи комбайна для збирання капусти та
оптимізація його конструктивних параметрів"**

Здобувача групи **МА-231 Артема КРУТІЯ**

Магістерська кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

_____ Артем КРУТІЙ

Керівник: к.т.н., доцент

_____ Володимир ВАСИЛЮК

**ВІДОКРЕМЛЕНИЙ ПІДРОЗДІЛ НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ
БІОРЕСУРСІВ І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ
«НІЖИНСЬКИЙ АГРОТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»
Факультет інженерії та енергетики
Кафедра агроінженерії та транспортних технологій**

ЗАТВЕРДЖУЮ

В.о. завідувача кафедри агроінженерії
та транспортних технологій
к.т.н., доцент _____ Микола ІКАЛЬЧИК
«____» _____ 2024 року

З А В Д А Н Н Я

**ДО ВИКОНАННЯ МАГІСТЕРСЬКОЇ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ
СТУДЕНТУ**

Крутію Артему Сергійовичу

Спеціальність 208 «Агроінженерія»

Тема магістерської кваліфікаційної роботи: **«Дослідження режимів роботи комбайна для збирання капусти та оптимізація його конструктивних параметрів»**

затверджена наказом директора ВП НУБіП України «Ніжинський агротехнічний інститут» від «7» листопада 2024 р. № 149 «С».

Термін подання завершеної роботи на кафедру 27 січня 2025 р.

Вихідні дані до магістерської роботи: технологічні процеси збирання капусти, конструктивні параметри комбайна для збирання капусти.

Перелік питань, що підлягають дослідженню:

1. Аналіз особливостей об'єкту проектування.
2. Обґрунтування основних параметрів об'єкту розробки.
3. Дослідження параметрів об'єкту розробки.
4. Охорона праці.
5. Обґрунтування економічної ефективності.

Дата видачі завдання «8» листопада 2024 р.

Керівник магістерської кваліфікаційної роботи

Завдання прийняв до виконання

Володимир ВАСИЛЮК

Артем КРУТІЙ

РЕФЕРАТ

Робота складається зі вступу, 5 розділів, висновків, переліку літературних джерел (25 найменувань). Загальний обсяг текстової частини: 84 сторінки пояснювальної записки 10 таблиць, 53 рисунків.

Робота присвячена обрентуванню пристрою для відвантаження качанів капусти, що дає змогу знизити пошкоджуваність їх під час машинного збирання.

Встановлено, що основною причиною механічних пошкоджень качанів під час відвантаження збиральною машиною в кузов транспортного засобу є їхнє падіння зі значною швидкістю, що перевищує допустиму за критерієм їхньої міцності.

Зформульовано концепцію зниження пошкоджуваності качанів капусти під час машинного збирання шляхом відвантаження на гнучкий пружний лоток, одночасно обмежуючи їхній рух еластичним фартухом. У результаті запропоновано конструктивно-технологічну схему пристрою для відвантаження качанів капусти в кузов транспортного засобу в щадному режимі.

Провівши теоретичні та експериментальні дослідженнями встановлено закономірності процесу взаємодії качанів капусти з елементами пристрою для їхнього відвантаження, виявлено характер і ступінь впливу основних параметрів пристрою на якість протікання робочого процесу.

У результаті оцінки впливу основних факторів на якість функціонування пристрою для відвантаження качанів капусти визначено раціональні значення його параметрів.

Обґрунтований пристрій для відвантаження качанів капусти, розроблений з урахуванням раціональних параметрів, упроваджений у конструкції серійно випускаемого капустозбирального комбайна МКК-1.

Ключові слова: качани капусти, овочевозбиральні машини, збирання, лоток.

ЗМІСТ

РЕФЕРАТ.....	4
ВСТУП.....	7
РОЗДІЛ 1 СТАН ПИТАННЯ ТА ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ	9
1.1 Особливості білокачанної капусти як об'єкта механізованої механізованого прибирання	9
1.2 Аналіз розвитку конструкцій відвантажувальних пристроїв овочезбиральних машин.....	10
Висновки до розділу	24
РОЗДІЛ 2 ТЕОРЕТИЧНІ ПЕРЕДУМОВИ ДО ОБҐРУНТУВАННЯ КОНСТРУКЦІЇ ТА ПАРАМЕТРІВ ПРИСТРОЮ ДЛЯ ВІДВАНТАЖЕННЯ КАЧАНІВ КАПУСТИ В ЩАДЯЩОМУ РЕЖИМІ.....	25
2.1 Основні завдання, що вирішуються під час відвантаження качанів капусти в кузов транспортного засобу.....	25
2.2 Опис конструкції та принципу роботи пристрою для відвантаження качанів капусти в кузов транспортного засобу.....	27
2.3 Втрата енергії качанів капусти в процесі відвантаження	33
2.4 Втрата енергії качанів капусти в другій фазі процесу відвантаження....	34
2.5 Повернення гнучкого пружного лотка у вихідне положення після відвантаження качана капусти	36
2.6 Обґрунтування довжини і ширини гнучкого пружного прогумованого прогумованого лотка і фартуха	40
Висновки до розділу	41
РОЗДІЛ 3 МЕТОДИКА ТА ОБЛАДНАННЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ	42
3.1 Прилади та пристосування для проведення досліджень	42

3.2	Опис лабораторної установки, методики проведення дослідів і обробки даних.....	43
3.3	Обладнання та методика польових досліджень	48
3.4	Розмірно-масові характеристики качанів капусти	56
3.5	Вплив параметрів пристрою для відвантаження качанів капусти на якість функціонування.....	60
3.6	Результати польових досліджень	65
	Висновки до розділу	68
4	ОХОРОНА ПРАЦІ	70
4.1	Загальні положення.....	70
4.2	Вимоги охорони праці перед початком роботи.....	71
4.3	Правила техніки безпеки під час роботи на машинах	73
4.4	Вимоги охорони праці в аварійних ситуаціях	75
5	ОБҐРУНТУВАННЯ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ	76
5.1	Вихідні дані для розрахунку.....	76
5.2	Визначення сумарних питомих експлуатаційних витрати	78
5.3	Визначення річного економічного ефекту.....	80
	ВИСНОВКИ	82
	СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	83

ВСТУП

Актуальність дослідження. Овочівництво відіграє важливу роль у забезпеченні продовольчої безпеки країни, але є трудомісткою галуззю сільського господарства. У зв'язку з цим у багатьох країнах світу звертають пильну увагу на його технічне озброєння. У той же час у зв'язку з упровадженням механізованих технологій у виробництві та збиранні овочів, зокрема білоголової капусти, гостро постала проблема збереження вихідної якості продукції, що має малу механічну міцність. При закладанні на зберігання пошкодженої продукції її втрати можуть зростати до 50 %. Причому качани капусти отримують пошкодження в основному під час відвантаження капустозбиральною машиною в плодоовочеву тару або в кузов транспортного засобу. Тому постає завдання розроблення спеціального пристрою до капустозбиральної машини, що дає змогу здійснювати відвантаження качанів капусти в кузов або в тару в щадному режимі.

Мета дослідження є обґрунтування конструкції та параметрів пристрою для відвантаження качанів капусти, що дає змогу знизити пошкоджуваність їх під час машинного збирання.

Для досягнення вказаної мети у роботі необхідно вирішити наступний комплекс завдань:

- вивчити розмірно-масові характеристики качанів сучасних сортів капусти, що набули останніми роками значного поширення в регіонах країни замість традиційних;
- обґрунтувати та розробити конструктивно-технологічну схему нового практичнішого пристрою до капустозбирального комбайна для відвантаження качанів капусти в жорстку тару та кузов транспортного засобу;
- теоретичними та експериментальними дослідженнями встановити закономірності процесу взаємодії качанів капусти з пристроєм для їх відвантаження, виявити характер і ступінь впливу основних параметрів пристрою на якість функціонування та пошкоджуваність продукції;

- на основі проведених досліджень знайти раціональні значення параметрів розроблюваного пристрою;

- провести виробничу перевірку розробленого пристрою у складі капустозбирального комбайна та виявити техніко-економічні показники.

Об'єкт дослідження - технологічний процес і пристрій для відвантаження качанів капусти до капустозбирального комбайна.

Предмет дослідження - закономірності функціонування пристрою для відвантаження качанів капусти в тару або в кузов транспортного засобу.

Наукова новизна теми. Нині суттєво глибоко вивчено процес відвантаження овочевої продукції в плодовоовочеву тару та транспортні засоби, виявлено фактори, що впливають на ступінь ушкоджень продукції під час механічної дії на неї, запропоновано практичні рішення, спрямовані на зниження відсотка ушкодження овочів під час механізованого збирання.

Однак у відомих розробках нами не знайдено рішення на такому практичному рівні, за якого можна було б реалізувати в капустозбиральному комбайні з максимальною результативністю для отримання високої якості продукції.

РОЗДІЛ 1 СТАН ПИТАННЯ ТА ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ

1.1 Особливості білокачанної капусти як об'єкта механізованої механізованого прибирання

Білокачанна капуста є однією з основних овочевих культур, вирощуваних у нашій країні. Вона вирощується в Україні на площі понад 50 тис. га. Валовий збір капусти щорічно перевищує 2 млн. т.

Особливістю вирощування капусти є велика трудомісткість. У середньому по країні на 1 га площі витрачається 560...650 чол. годин. З них близько 67 % припадає на збирання врожаю. Високі витрати праці знижують рентабельність виробництва капусти, потребують залучення великої кількості робочої сили в напружений осінній період. Водночас застосування технічних засобів на збиранні капусти дає змогу підвищити продуктивність праці у 2-3 рази та знизити втрати врожаю на 13-15 %.

Однак, незважаючи на зазначені переваги застосування технічних засобів і досягнуті успіхи у створенні капустозбиральних машин у світовій практиці перехід до машинного збирання капусти в Україні здійснюється повільно. На наш погляд, на цей рахунок є об'єктивні причини, що стримують цей процес: збирання капусти відбувається за несприятливих погодних умов (дощі, низька температура, висока вологість ґрунту). У цих умовах технічні засоби недостатньо ефективно виконують технологічний процес.

Крім того, качани капусти легко пошкоджуються під час механічних впливів, що негативно позначається на їхній лежкості під час зберігання. Здебільшого вони інтенсивно пошкоджуються при відвантаженні від збиральної машини в кузов транспортного засобу через значну висоту і швидкість падіння.

Допустима висота падіння качанів залежно від їхньої маси і типу відбивної поверхні перебуває в межах 0,15...0,6 м, чому відповідає критична швидкість зіткнення $v_{кр} = 1,7...3,4$ м/с.

З урахуванням висоти борту кузова транспортного засобу висота падіння качанів може перевищити допустиму величину в 2-3 рази. У зв'язку з цим відвантаження качанів капусти від збиральної машини не припустиме без спеціальних пристроїв, що застерігають їх від ушкодження під час відвантаження.

1.2 Аналіз розвитку конструкцій відвантажувальних пристроїв овочезбиральних машин

Відвантаження качанів капусти від капустозбиральних машин (Рис. 1.1), широкозахватних овочевих транспортерів (Рис. 1.2) шляхом ручного доправлення їх на місце укладання продукції дає змогу суттєво знизити їхню ушкоджуваність. Однак при цьому важко забезпечувати потоковість процесу через низьку продуктивність ручної праці та обмеженість фізичних можливостей робітників.



Рис. 1.1 - Відвантаження качанів капусти від капустозбиральної машини
вручну

Через зазначені причини спосіб відвантаження овочів шляхом ручної доставки на місце укладання не знайшов широкого застосування в капустозбиральних машинах.



Рис. 1.2 - Відвантаження качанів капусти від широкозахватного овочевого транспортера вручну

У капустозбиральних машинах частіше застосовуються механічні пристрої, що застерігають качани від пошкоджень. До їх числа можна віднести амортизувальні полотна, змонтовані на кузові транспортного засобу (Рис. 1.3 і 1.4).

Транспортний засіб, представлений на рисунку 1.3, є спеціальним, до того ж складним пристроєм. За масового механізованого прибирання їх потрібно кілька штук протягом невеликого періоду часу. Тому збиральний процес за

їхнього використання буде досить капіталомістким.

Пристрій, представлений на рисунку 1.4, що містить еластичне полотно 1 на пружних підвісках 2, досить простий конструктивно. Він використовується на збиранні картоплі.

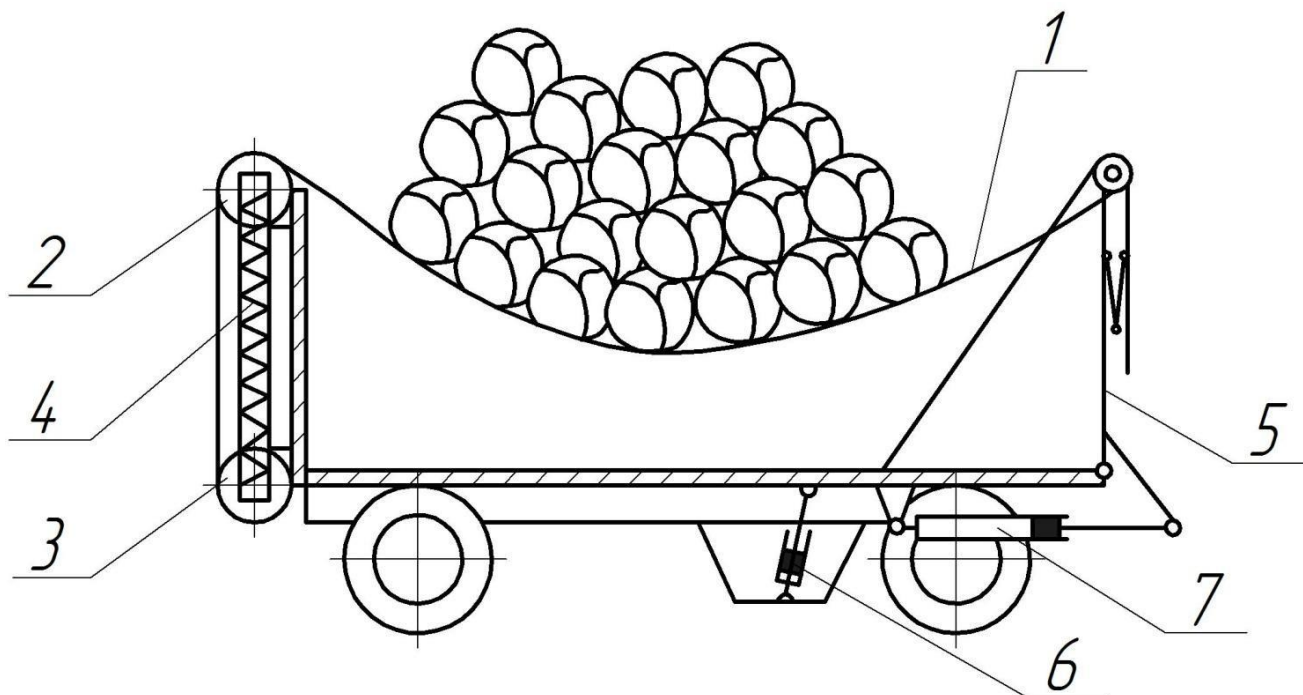


Рис. 1.3 - Транспортний засіб з амортизуючим полотном:

- 1 - амортизуюче полотно; 2,3 - відхиляючі барабани; 4 - пружина;
 1 - борт складаний; 6 - гідроциліндр підйомний;
 7 - гідроциліндр допоміжний

При використанні названих пристроїв висота падіння продукції, що відвантажується, також значна. Тому можливі пошкодження овочів під час зіткнень між собою в процесі відвантаження.

Наступну групу пристроїв, що застерігають пошкодження овочів під час відвантаження, становлять пристрої, змонтовані на елеваторі збиральної машини. Вони, своєю чергою, поділяються на пристрої, що забезпечують зниження висоти відвантаження та амортизують удар під час падіння.



Рис. 1.4 - Зниження пошкоджуваності овочів за допомогою амортизувального полотна, змонтованого на кузові транспортного засобу на пружних підвісках: 1 - полотно; 2-підвіски пружні

До перших із них належить пристосування [8] до збиральних машин, що містить з'єднаний із механізмом приводу прогумований лоток 1 (Рис. 1.5), закріплений на рамі пристосування за допомогою тросів, пов'язаних із механізмом 2 підйому й опускання лотка в кузов транспортного засобу.

Аналогічне пристосування запропоновано до збиральних і навантажувальних машин для укладання плодів, яке містить лоток з еластичним днищем, виконаний у вигляді рамки 1 з двома підпружиненими стулками 2 (Рис. 1.6).

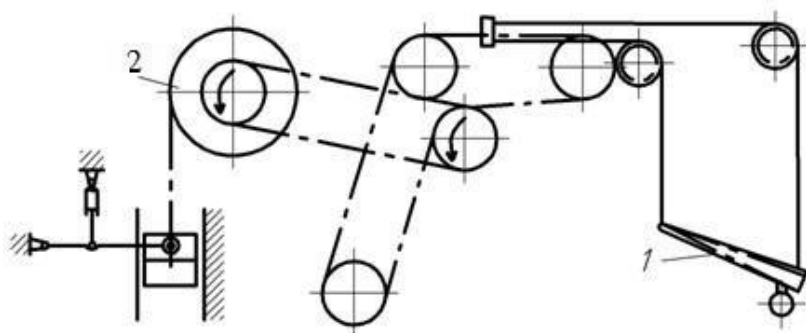


Рис. 1.5 - Схема відвантажувального пристрою до збиральних машин із механізмом підйому й опускання лотка: 1 - лоток, 2 - відвантажувальний пристрій

Це пристосування забезпечене також автоматизованим механізмом 3 підйому й опускання лотка і механізмом 4 відкривання і закривання стулок.

На нашу думку, у цьому пристосуванні лоток у верхньому положенні отримує порцію качанів капусти від елеватора, а в нижньому положенні відвантажує їх на шар капусти в щадному режимі.

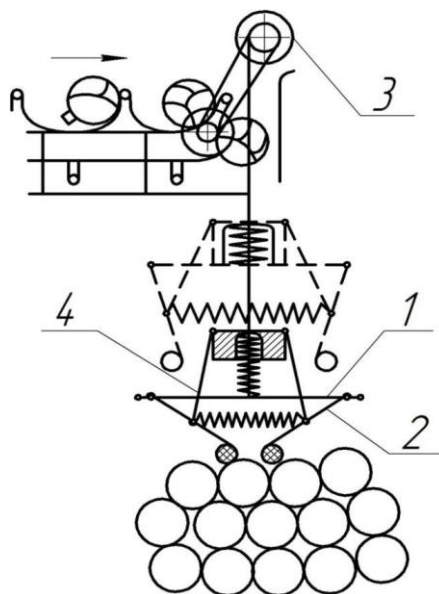


Рис. 1.6 - Схема пристосування до збиральних і навантажувальних машин для укладання плодів: 1 - рамка; 2 - стулки; 3 - механізм підймання й опускання лотка; 4 - механізм відчинення й зачинення стулок

Найпростішу конструкцію реалізовано у відвантажувальному пристрої, представленому на малюнку 1.8 [2].

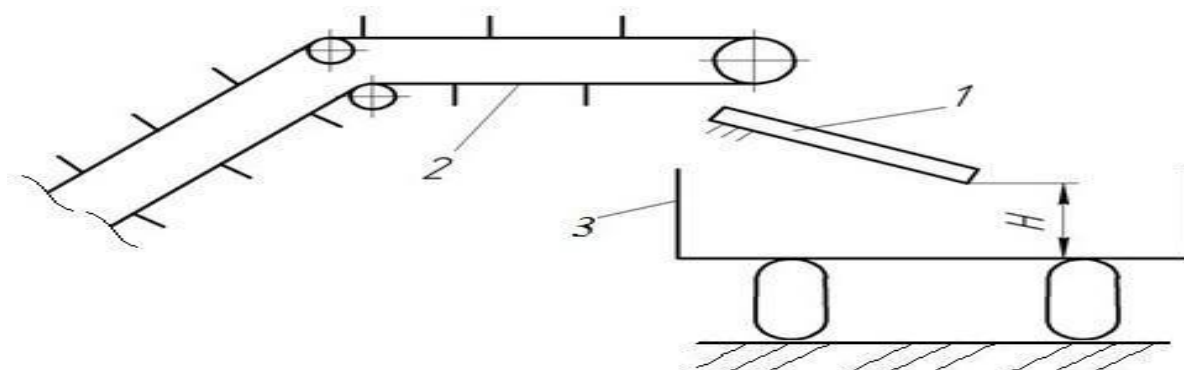


Рис. 1.7 - Схема відвантажувального пристрою з жорстким скатним лотком: 1 - лоток; 2 - елеватор; 3 - кузов транспортного засобу

Недоліками названих пристроїв є надмірна складність конструкцій. У зв'язку з цим ці пристрої не знайшли застосування на практиці.

Він містить лоток 1, розташований похило до горизонта під вивантажувальним кінцем елеватора 2. У ньому кут нахилу підібраний таким чином, щоб качани капусти скочувалися по ньому в кузов транспортного засобу 3. При цьому знижується висота падіння качанів капусти до величини H . Крім того кінетична енергія качанів частково витрачається на здійснення роботи тертя кочення.

З огляду на простоту конструкції, аналогічний пристрій було встановлено в капустозбиральній машині УКМ-2 [5].

Аналогом його є пристрій, у якому встановлено два скатні лотки 1 і 2 (Рис. 1.8) під вальцевими лістовідокремлювачами 3, виготовленими з еластичного матеріалу, один з яких установлено з нахилом у напрямі руху для сходження качанів капусти, інший - з нахилом проти напрямку руху для сходження капустяного листа.

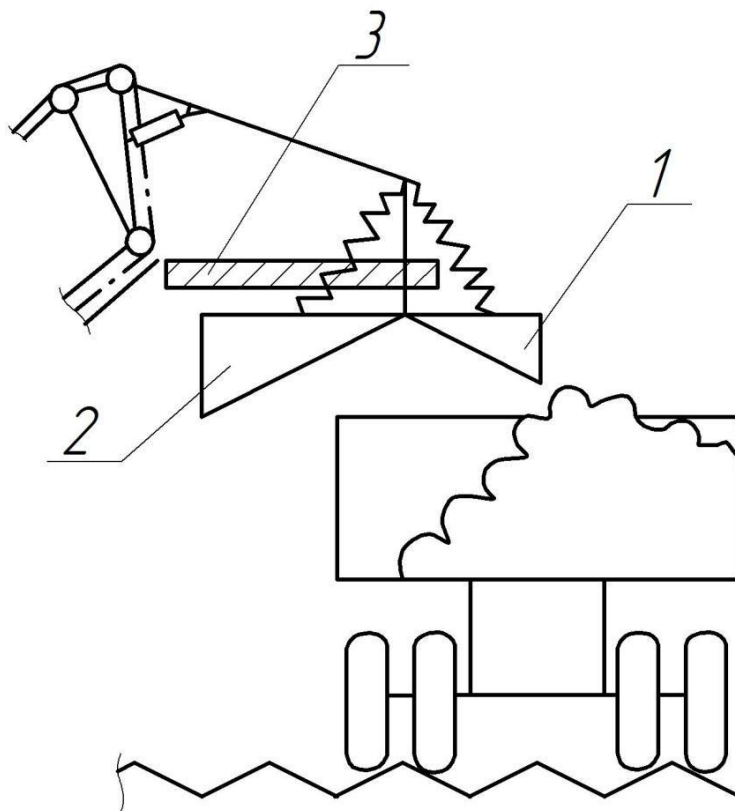


Рис. 1.8 – Схема відвантажувального пристрою з двома лотками:

1,2- скатні лотки; 3-вальцевий листковіддільник

Описані вище пристрої є пасивними. Тому можливе накопичення на скатному лотку капустяного листя та рослинних решток, що надходять на відвантаження разом із качанами капусти.

Зазначений недолік усунуто у відвантажувальному пристрої, встановленому на широкозахватному овочезбиральному агрегаті "Максим" [2]. Тут для зменшення висоти падіння качанів капусти встановлено додатковий транспортер 1 (Рис. 1.9) під елеватором 2.

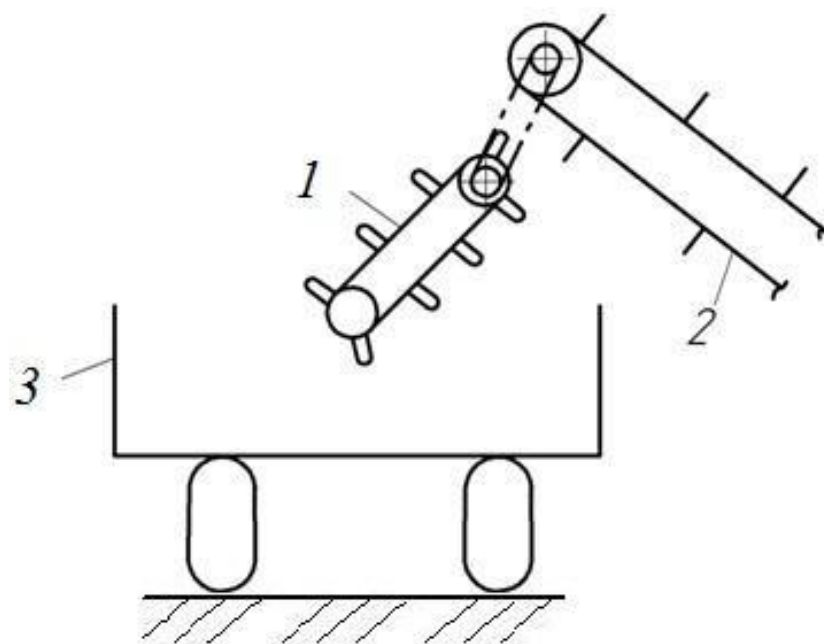


Рис. 1.9 - Схема відвантажувального пристрою широкозахватного овочезбирального агрегату "Максим": 1 - транспортер; 2 - елеватор; 3 - кузов транспортного засобу

Цей пристрій також має досить складну конструкцію. Недоліком відомого пристрою є також можливість його поломки та травмування качанів через несвоєчасний підйом транспортера 1 у міру наповнення кузова 3 качанами.

Ідею зниження висоти відвантаження качанів технічно вдало реалізовано фірмою Asa-lift (Данія) шляхом виконання елеватора у вигляді "хобота, що ламається" (Рис. 1.10), що дає змогу регулювати висоту H_1 падіння качанів капусти в міру наповнення кузова.

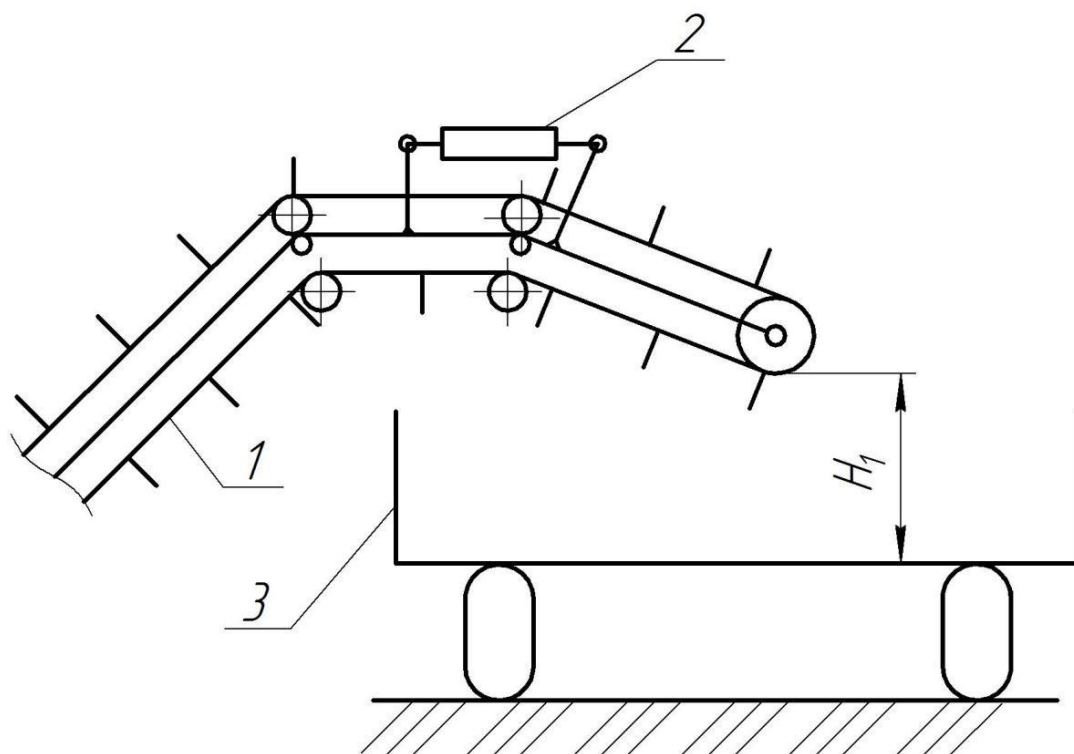


Рис. 1.10 - Схема відвантажувального пристрою капустозбирального комбайна фірми Asa-lift: 1 - елеватор; 2 - гідроциліндр для зміни положення "хобота"; 3 - кузов транспортного засобу [8].

Недоліком цього пристрою є висока ймовірність торкання скребків об борт транспортного засобу або об качани в кузові транспортного засобу через несвоєчасну зміну положення елеватора, що неминуче призведе до його поломки.

Представляє також практичний інтерес технічне рішення, представлене на рисунку 1.11 [10]. У ньому передбачено використання комірчастого елеватора 1, осередки якого утворені еластичним полотном і поперечними прутками. У цьому пристрої швидкість качана в момент сходження не перевищує швидкості полотна транспортера. Причому конструкція елеватора дає змогу встановлювати висоту падіння качанів, меншу за висоту бортів транспортного засобу 2. Однак за цього є висока ймовірність торкання рухомих частин елеватора об борт транспортного засобу, що може призвести до виходу з ладу елеватора.

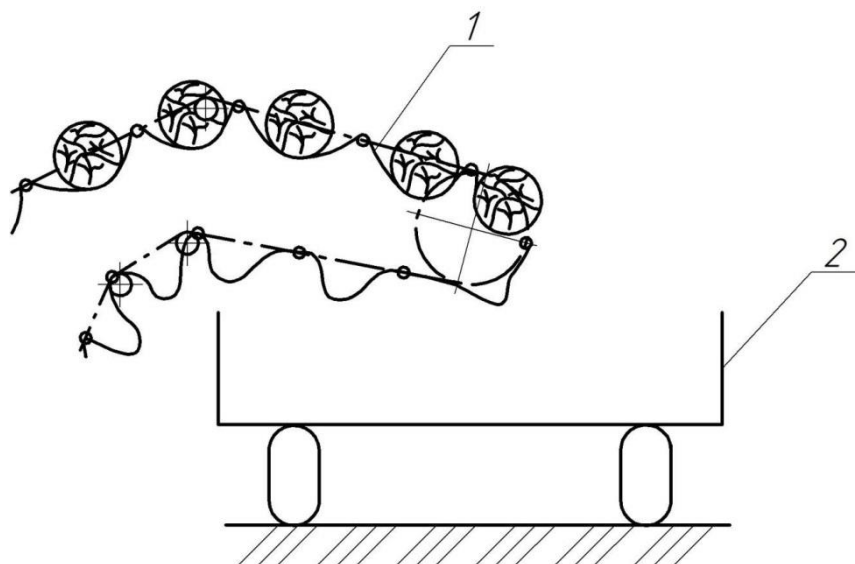


Рис. 1.11 - Схема комірчастого елеватора зі змінюваною висотою відвантаження качанів капусти: 1-комірки; 2-транспортний засіб

Помітне зниження швидкості зіткнення качанів під час відвантаження забезпечується в елеваторі скребкового типу з нижньою гілкою транспортування (Рис. 1.12), встановленому у вітчизняних капустозбиральних машинах УКМ-2 і УКМ-2Л.

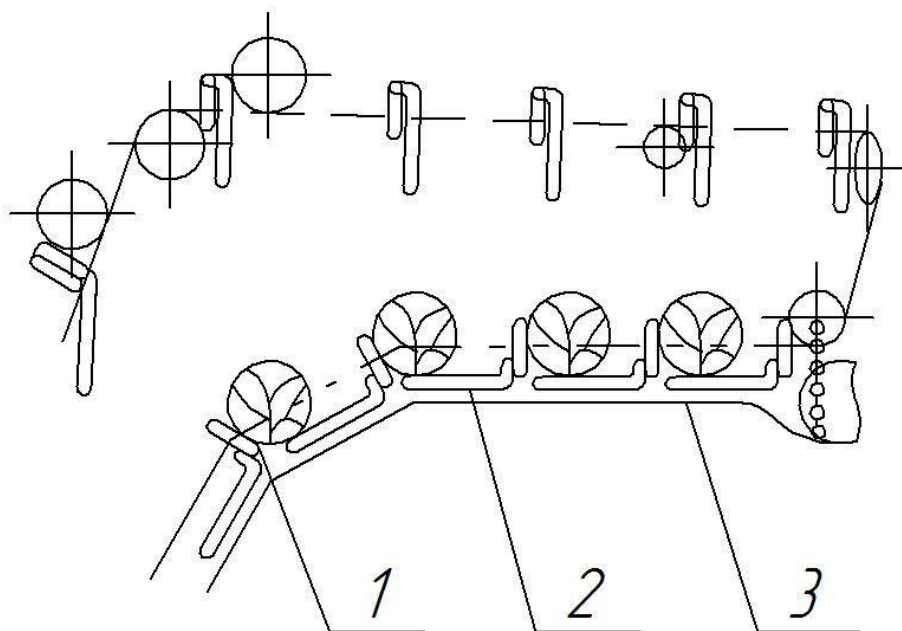


Рис. 1.12 - Схема скребкового елеватора з нижньою гілкою транспортування: 1 - транспортувальна пластина, 2 - скребок, 3 - сталевий настил

У ньому качани транспортуються, перебуваючи на пружних пластинах 1, закріплених одним кінцем на скребках 2. Переміщення качанів виконуються нижньою гілкою елеватора, тому висота падіння знижується і зменшується початкова швидкість качанів.

Однак він має суттєвий недолік, який полягає в тому, що пластини, на яких знаходяться качани, ковзають по сталевому настилу 3. У зв'язку з цим зношуються інтенсивно, тягові ланцюги додатково навантажуються.

Серед технічних рішень, що забезпечують зниження висоти падіння качанів під час відвантаження, на наш погляд, є найбільш вдалим запропоноване Інститутом агроінженерних та екологічних проблем сільськогосподарського виробництва [11]. Це технічне рішення реалізовано в конструкції контейнеровоза із завантаженням овочевої продукції на бічну стінку контейнерів (Рис. 1.13).



а)

б)

Рис. 1.13 - Причіп-контейнеровозконструкції ІАЕП у транспортному (а) і робочому (б) положеннях: 1-контейнери, 2-борт відкидний

У ньому в початковий період відвантаження контейнери 1 відхиляються на кут 45° від вертикального положення, качани відвантажуються на відкидний борт 2, а потім скочуються по бічній стінці контейнера на дно. У міру заповнення контейнери повертаються у вихідне вертикальне положення, отже, істотно знижується висота падіння качанів під час відвантаження.

Незважаючи на оригінальність цього технічного рішення, слід зауважити,

що воно не позбавлене недоліків. Запропонований причіп-контейнеровоз є спеціальним транспортним засобом, що має застосування в господарстві в обмежений період часу, тобто тільки в період масового збирання овочів, що істотно підвищує капіталомісткість збирального процесу.

Відвантажувальні пристрої, що амортизують удар під час падіння овочів, виявилися більш практичними. Вони застосовуються не тільки в капустозбиральних машинах, а й в інших овочезбиральних машинах.

У першому з них (Рис. 1.14), установленому у вітчизняному капустозбиральному комбайні МСК - 1 [15], гасителем швидкості качанів є еластичний лоток 1 із прогумованого, підвішеного на елеваторі 2 в зоні вивантаження під кутом до горизонту. У ньому висота розташування лотка може бути змінена в міру заповнення кузова качанами капусти. Однак це потребує постійної уваги з боку тракториста. В іншому разі пристрій завалюється качанами і перестане функціонувати, що є основним його недоліком.

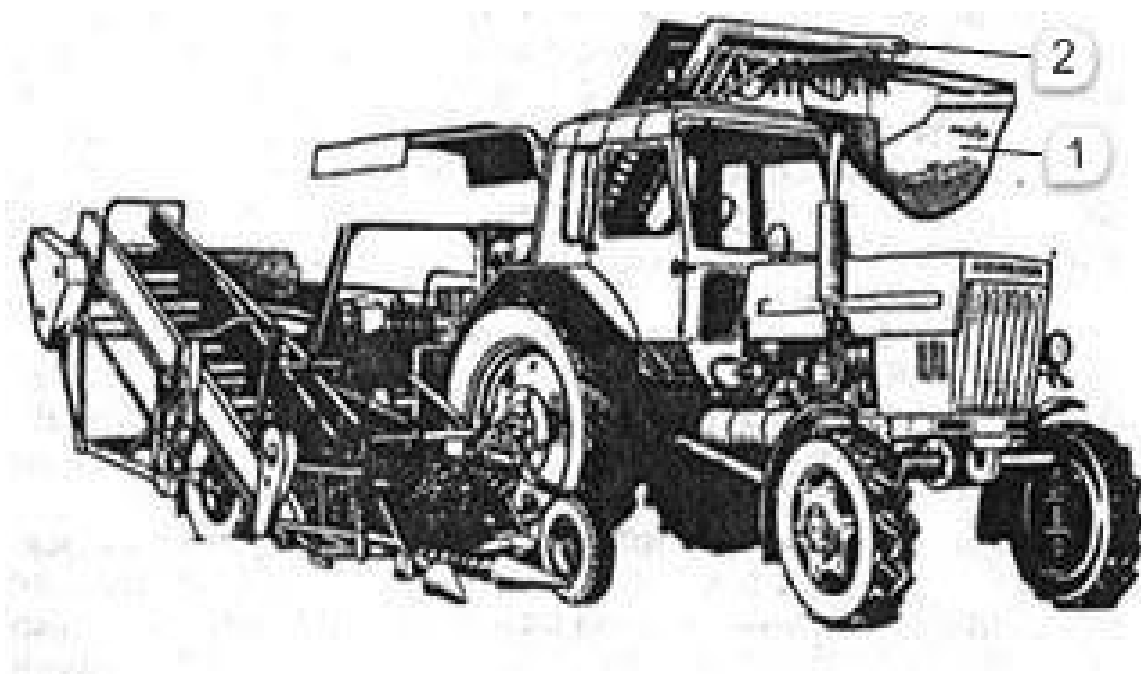


Рис. 1.14 – Капустозбиральний комбайн МСК – з еластичним прогумованим лотком: 1 - лоток; 2 - елеватор

З метою усунення зазначеного недоліку в німецькій капустозбиральній машині Е-804 амортизували удар качанів на відвантаженні за допомогою еластичного фартуха 1, підвішеного вертикально за вивантажувальним кінцем елеватора 2 (Рис. 1.15).

Такий самий пристрій використовується у вітчизняному картоплезбиральному комбайні ККУ-2.

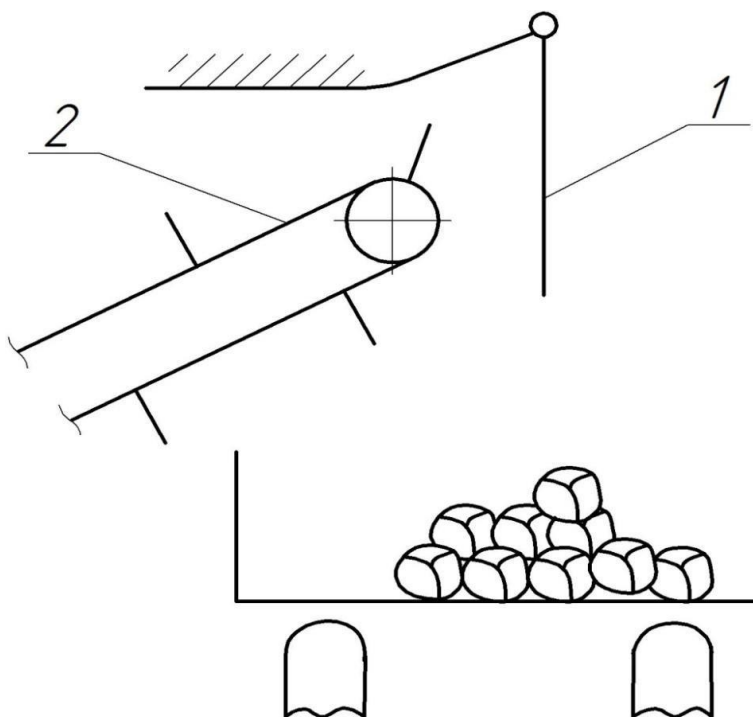


Рис. 1.15 - Схема встановлення еластичного фартуха на капустозбиральному комбайні Е-804 (Німеччина) для пом'якшення удару качанів під час відвантаження: 1 - фартух; 2 - елеватор.

Відомий також подібний пристрій, установлений на капустозбиральному комбайні ККП-1 [18] (Білорусія). У ньому демпфувальним пристроєм є еластичний щиток 1, установлений у рамці 2 за вивантажувальним кінцем елеватора 3 (Рис. 1.16).

Недоліком представлених вище пристроїв, на наш погляд, є обмеженість їхньої зони дії. При цьому після зіткнення качанів обгасителі швидкість і висота падіння їх на кузов транспортного засобу залишаються також значними. Тому не виключена можливість пошкоджень качанів під час відвантаження.



Рис. 1.16 - Капустозбиральний комбайн ККП - 1: 1 - щиток; 2 - рамка;
3 - елеватор



Рис. 1.17 - Капустозбиральна машина фірми Asa-lift із закритим
відвантажувальним пристроєм: 1-закритий "хобот"; 2-елеватор

Представляє практичний інтерес відвантажувальний пристрій, установлений на капустозбиральній машині фірми Asa - lift (Рис. 1.17).

У ньому качани капусти відвантажуються в еластичний закритий "хобот" 1, встановлений у кінці вивантажувальної частини елеватора 2.

Зауважимо, при цьому качан капусти в процесі падіння має можливість кілька разів зіударятися об еластичні стінки "хобота", тим самим можливе зниження їхньої швидкості падіння.

Подібний пристрій застосовується також у морквозбиральній машині фірми Asa - lift (Рис. 1.18) [19].



Рис. 1.18 - Морклезбиральний комбайн фірми Asa - lift з гасником швидкості у вигляді закритого "хобота"

Описані пристрої також мають недоліки. На наш погляд, за значних коливань розмірів качанів капусти ефективність дії цього пристрою знижується, оскільки великі качани можуть застрягати в "хоботі", а дрібні качани можуть пройти, не торкаючись його стінок.

Розглянуті відвантажувальні пристрої становлять певний інтерес. Однак, на наш погляд, недостатньо ефективні у використанні в перспективних капустозбиральних машинах. У зв'язку з цим розробка найбільш практичного відвантажувального пристрою для них є актуальним завданням.

Висновки до розділу

На підставі аналізу стану питання можна зробити такі висновки:

1. Основною причиною високого ступеня пошкоджуваності качанів капусти під час відвантаження в жорстку тару та кузов транспортного засобу навалом є суттєвість їхньої висоти падіння, що перевищує допустиму величину за критерієм механічної міцності.
2. З метою зниження пошкоджуваності під час відвантаження овочів, що легко пошкоджуються, практикують використання амортизувального полотна, змонтованого на кузові за допомогою пружних стяжок, пристроїв, що забезпечують зниження висоти відвантаження, а також амортизувальних пристроїв, змонтованих на елеваторі збиральної машини.
3. При відвантаженні легкопошкоджуваної овочевої продукції використовуються також прийоми ручного поштучного укладання їх у тару. Однак при цьому низька продуктивність праці, що обмежує застосування цього способу при машинному збиранні качанної капусти.
4. Відомі конструкції пристроїв для відвантаження овочів, що легко пошкоджуються, не позбавлені недоліків, недостатньо вдало вписуються в технологічну лінію капустозбиральних машин, тому не можуть бути використані з максимальною результативністю на практиці.

РОЗДІЛ 2 ТЕОРЕТИЧНІ ПЕРЕДУМОВИ ДО ОБҐРУНТУВАННЯ КОНСТРУКЦІЇ ТА ПАРАМЕТРІВ ПРИСТРОЮ ДЛЯ ВІДВАНТАЖЕННЯ КАЧАНІВ КАПУСТИ В ЩАДЯЩОМУ РЕЖИМІ

2.1 Основні завдання, що вирішуються під час відвантаження качанів капусти в кузов транспортного засобу

Капуста - культура ніжна: під час її збирання важливо не пошкодити качани. Однак представлена на ринку капустозбиральна техніка часто сильно травмує цей овоч [20]. Особливо сильно пошкоджуються качани під час відвантаження в кузов транспортного засобу.

З метою виявлення основних причин пошкоджень качанів капусти дослідимо теоретично процес відвантаження качанів у кузов транспортного засобу за таких допущень:

1. Вважаємо, що качани капусти мають форму кулі, представляють однорідне середовище.
2. Лоток уявляємо як гнучку пружну однорідну пластину, що має обмежену деформацію.
3. Вважаємо, що пружну лінію лотка можна описати однією й тією самою закономірністю під час статичного і динамічного впливів на нього.
4. Вважаємо, що наприкінці удару (після падіння на лоток) качан капусти рухається разом із лотком, не відриваючись від його поверхні.

Розглянемо геометрію падіння качана капусти. Під час відвантаження качанів висота падіння (Рис. 2.1) з урахуванням висоти кузова транспортного засобу

$$H = k + \Delta_{\min} + D_{\text{зв}},$$

де k - висота бортів кузова;

$\Delta_{\min}$ - мінімально-необхідна відстань між краєм борту і скребками нижньої гілки елеватора для того, щоб унеможливити торкання їх через вертикальні переміщення його, пов'язані з нерівністю поля;

D_{3B} - діаметр ділильного кола зірочки на сході з елеватора.

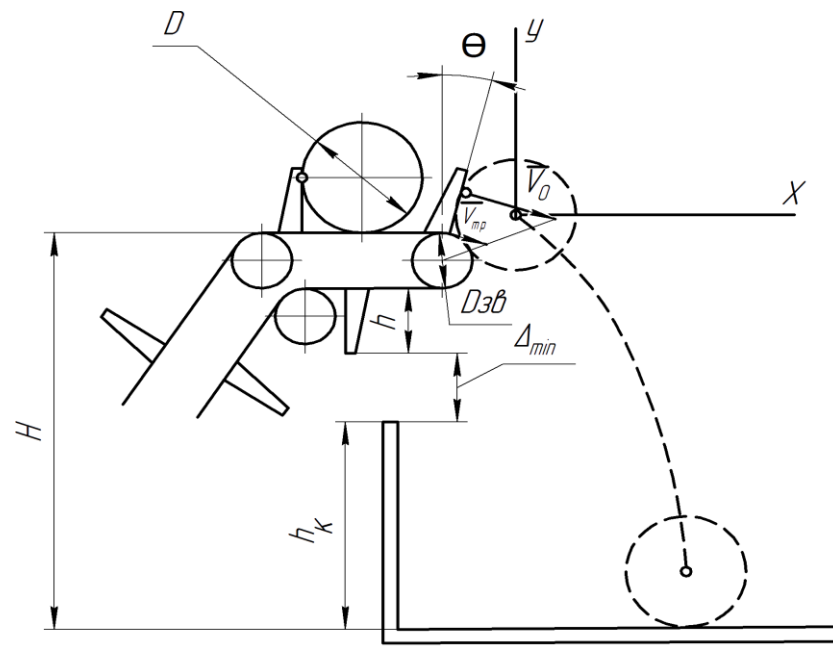


Рис. 2.1 - Схема для визначення висоти та швидкості падіння качана під час відвантаження в кузов транспортного засобу

До того ж проекція швидкості v_0 – качана по вертикалі під час сходження з елеватора

$$v_{0y} = -v_{\text{тр}} \left(1 + \frac{D}{D_{3B}} \right) \cdot \sin \theta,$$

Де $v_{\text{тр}}$ - швидкість полотна елеватора;

D - діаметр качана;

θ - кут нахилу скребка в момент сходження качана з елеватора.

Отже, виходячи із закону збереження енергії, падіння качана в даному випадку можна уявити умовно як падіння без початкової швидкості по вертикалі з фіктивної (приведеної) висоти

$$H' = H + \frac{v_{\text{тр}}^2 (1 + D/D_{3B})^2 \sin^2 \theta}{2g};$$

Де $k = 0,53$ м, $\Delta_{\text{импн}} = 0,25$ м, $h = 0,18$ м, $D_{3B} = 0,123$ м, $v_{\text{тр}} = 0,5$ м/с, $D = 0,25$ м, $\theta = 30^\circ$ (параметри прийнято для комбайна МСК-1 і тракторного

причепа 2ПТС - 4.5) отримуємо $H'=1,14$ м, що істотно перевищує допустиму висоту падіння качанів $[H]=0,15-0,6$ м [10].

Таким чином, процес відвантаження качанів капусти в кузов транспортного засобу супроводжується значними динамічними впливами на них з боку елементів кузова та інших качанів. Тому основним завданням є забезпечення щадного режиму укладання качанів капусти в кузов транспортного засобу.

Крім того, зріз качанів під час машинного збирання відбувається під час безперервного руху збиральної машини, качани капусти надходять на відвантаження потоком. Тому другим завданням є забезпечення поточності процесу відвантаження качанів в кузов.

Третім завданням, яке покликаний вирішувати названий пристрій, є забезпечення впорядкованості точкового укладання качанів в межах робочої зони кузова, щоб забезпечувати рівномірне наповнення його по всьому об'єму.

2.2 Опис конструкції та принципу роботи пристрою для відвантаження качанів капусти в кузов транспортного засобу

Для вирішення названих вище завдань розроблено пристрій до капустозбирального комбайна для укладання качанів у кузов транспортного засобу в щадному режимі.

Пристрій містить жорсткий піддон 1 (Рис. 2.2), встановлений під горизонтальною частиною елеватора 2 паралельно траєкторії руху його скребків 3, гнучкий пружний прогумований лоток 4, закріплений консольно до задньої крайки піддону з можливістю звисати вільним кінцем, гнучкий фартух 5, підвішений зверху шарнірно в зоні вивантаження так, щоб, притискаючись до лотка, утворив клинчасту щілину, яка сходиться до низу, з ним.

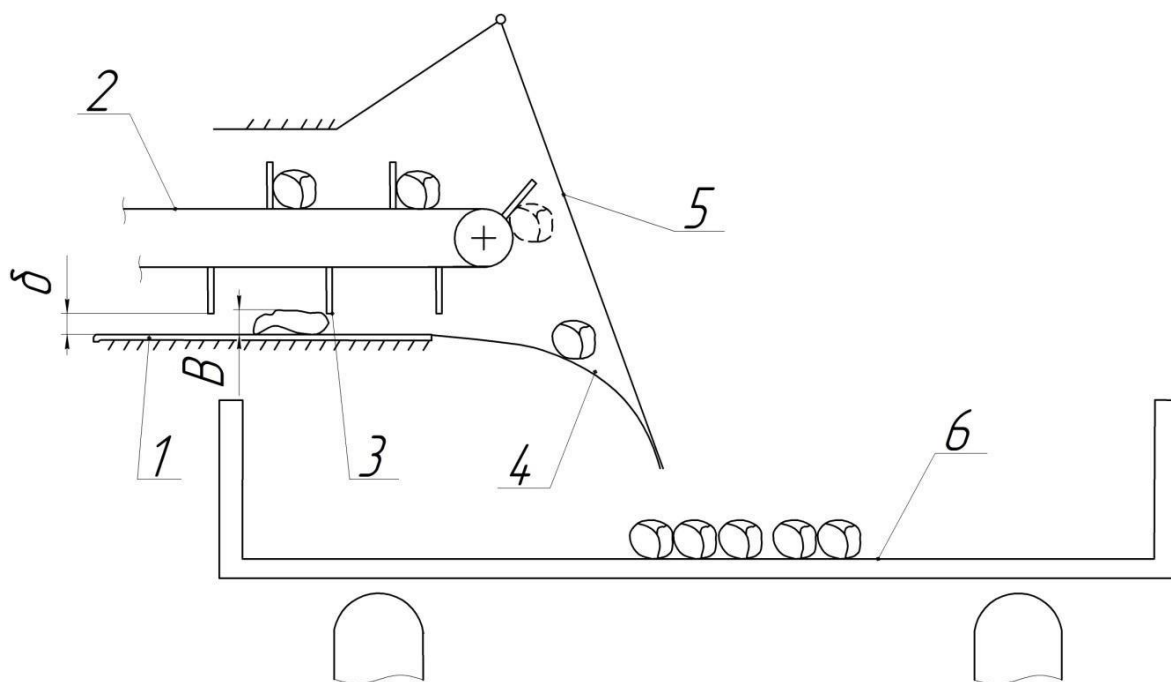


Рис. 2.2 - Принципова схема пристрою для укладання качанів у кузов транспортного засобу в щадному режимі: 1 - піддон жорсткий; 2 - елеватор; 3 - скребки; 4 - лоток гнучкий пружний прогумований; 5 - фартух гнучкий; 6 - кузов транспортного засобу

Жорсткий піддон 1 встановлений із зазором $\delta < B$ відносно кінців скребків 3 (B - товщина листа капусти).

Крім того, основу пружного лотка виконано двошаровою (Рис. 2.3). Причому нижній шар 1 закріплений на кінцях до верхнього шару 2 гвинтами 3 (під час промислового виробництва бажано вулканізувати нижній шар до верхнього).

Нижній шар пружного лотка рекомендується виконати у вигляді трапеції з широкою основою біля кромки жорсткого піддону 4.

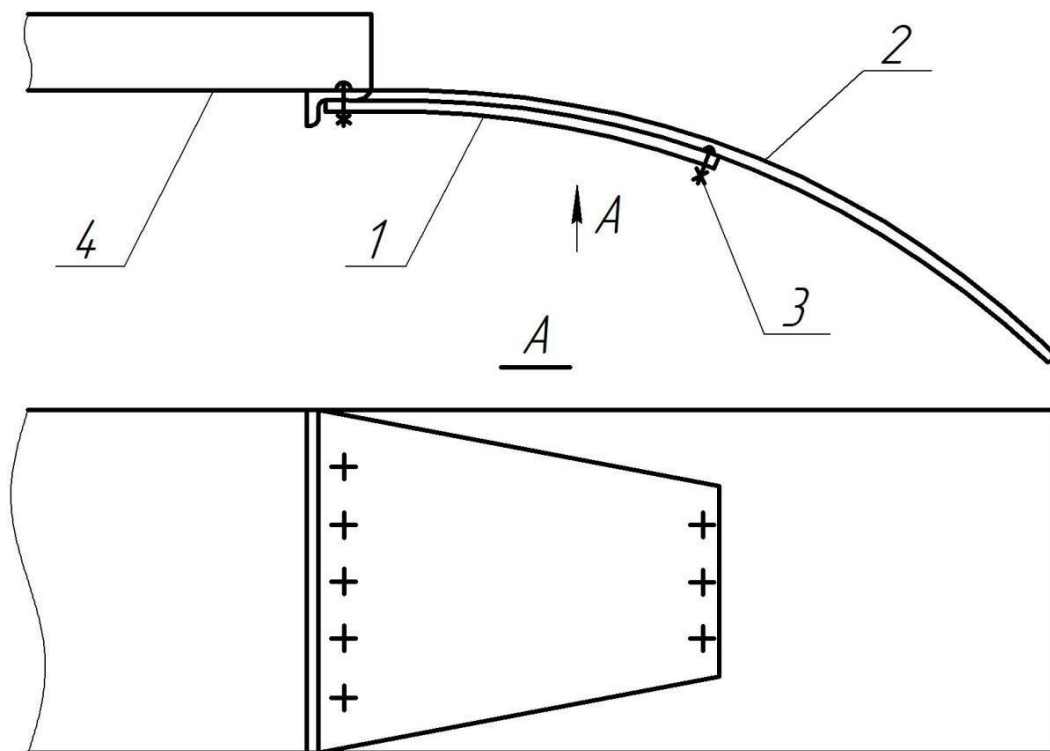


Рис. 2.3 - Конструкція гнучкого пружного лотка пристрою для укладання качанів у кузов транспортного засобу: 1-нижній шар лотка; 2-верхній шар лотка; 3-гвинти кріплення; 4-жорсткий піддон

Прийняте технічне рішення дає змогу мати підвищену жорсткість біля основи лотка, знизити його вагу. Це важливо для кращої амортизації удару під час падіння качанів на лоток.

Процес відвантаження качанів капусти за допомогою цього пристрою складається з чотирьох фаз.

У першій фазі (Рис. 2.4) качан капусти наприкінці елеватора відділяється від скребка. Далі він перебуває у вільному польоті й падає на гнучкий пружний прогумований лоток із висоти H_1 . При цьому лоток додатково прогинається в зоні падіння на величину δ_g .

У другій фазі процесу відвантаження (Рис. 2.5) качан підкочується до клиноподібної щілини між лотком і фартухом (від точки В до точки С). Під час перекочування частина кінетичної енергії качана капусти також витрачається на подолання моменту тертя кочення M_k .

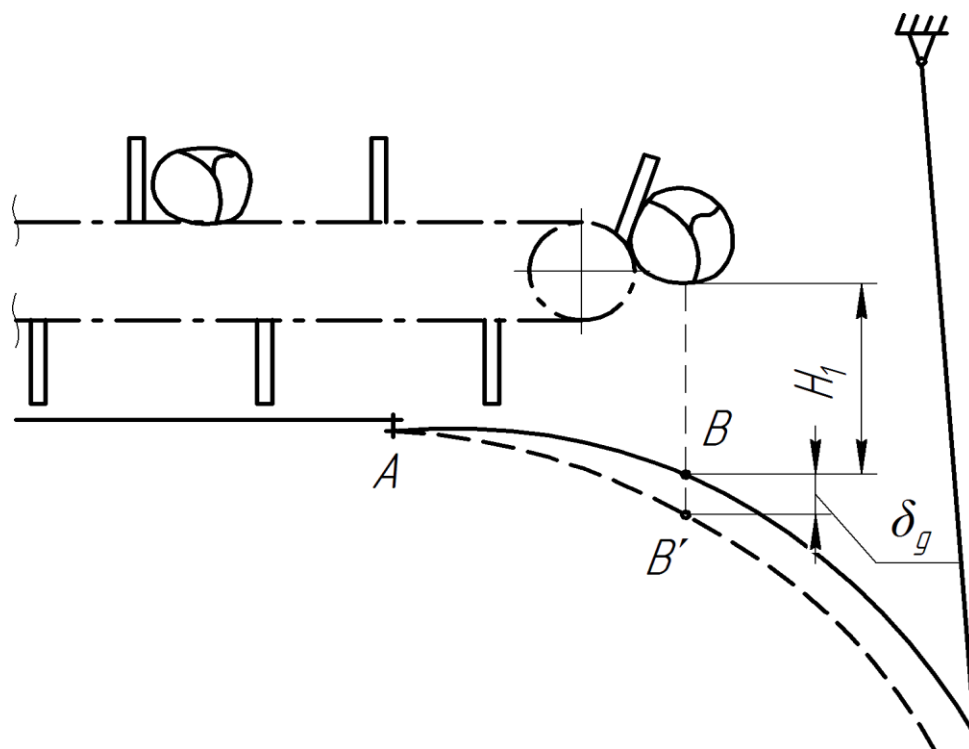


Рис. 2.4 -Першафаза відвантаження качана в кузов транспортного засобу

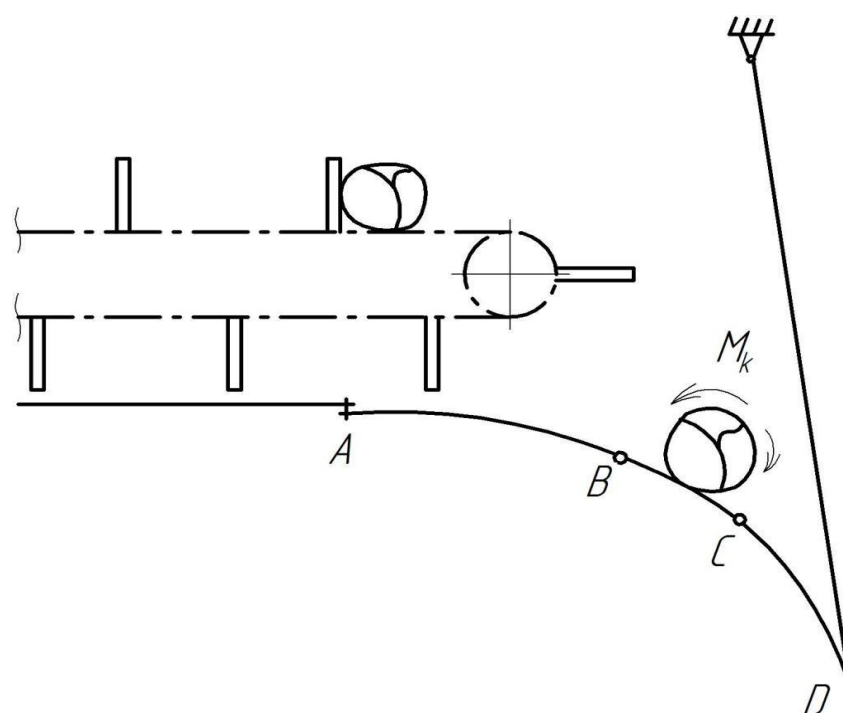


Рис. 2.5 - Другафаза процесу відвантаження качана в кузов транспортного засобу

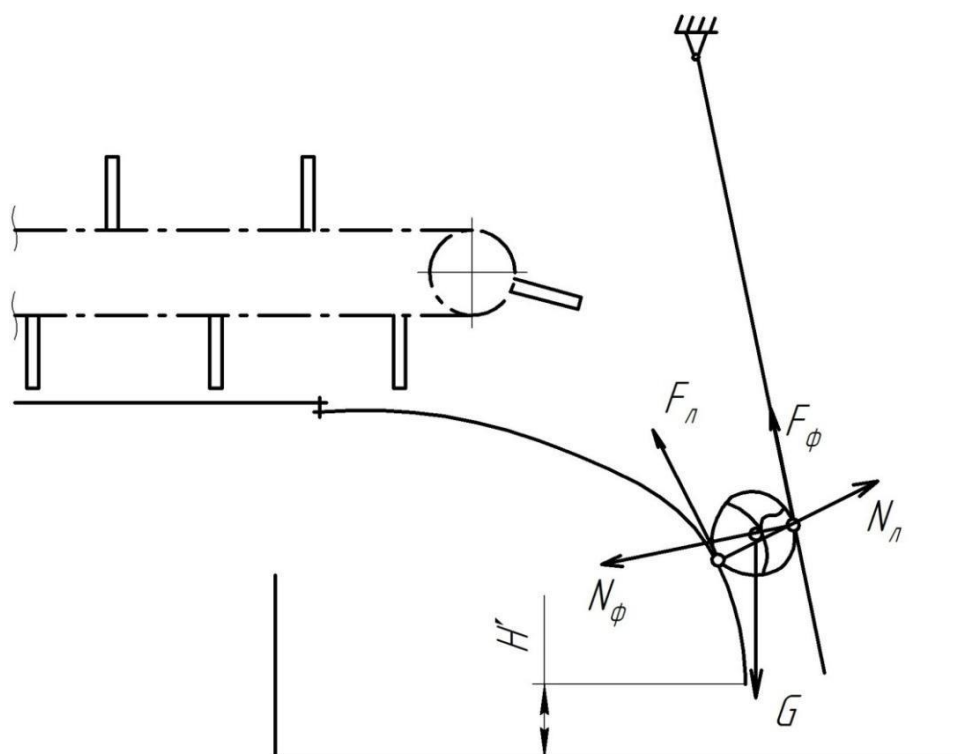


Рис. 2.6 - Схемаруху качана в третій фазі процесу відвантаження

У третій фазі процесу відвантаження качан капусти прослизає в клинчастій щілині, розсуваючи гнучкий пружний прогумований лоток і гнучкий фартух (Рис. 2.6) і долаючи сили тертя ковзання.

У четвертій фазі качан капусти здійснює вільне падіння з висоти H' після звільнення від відвантажувального пристрою. У цей період руху знову наростає кінетична енергія качана капусти. Тому необхідно звести висоту падіння H' до мінімально можливої величини.

Такою величиною може бути прийнятий діаметр качана, за якого останній повністю звільняється від відвантажувального пристрою, падаючи в кузов.

У четвертій фазі під час проходження качанів між гнучким пружним лотком і гнучким фартухом швидкість падіння їх погашається лише за рахунок сили тертя під час ковзання в клинчастій щілині, що є деколи недостатньою, щоб знизити її до безпечного значення.

Для повнішого розв'язання зазначених вище завдань в описаному пристрої, що містить прутковий елеватор зі скребками, жорсткий піддон із

прикріпленим до його задньої кромки гнучким пружним прогумованим лотком і гнучкий фартух, що притискається під дією власної ваги до лотка, поверхні гнучкого пружного прогумованого лотка і гнучкого фартуха, що взаємно притискаються, забезпечені еластичними гофрами (патент №2565718 С1), причому гофри встановлені відносно одна одної так, щоб виступи й западини на них вписувалися між собою під час торкання (малюнок 2.7).

Покриття гнучкого пружного лотка і гнучкого фартуха гофрами на поверхнях, що взаємно притискаються, та відносне розташування їх так, щоб виступи й западини гофр на лотку та фартуху вписувалися один з одним, дає змогу істотно збільшити довжину шляху ковзання між ними, що додатково знижує кінетичну енергію качана за рахунок додаткової роботи сил тертя на збільшеній довжині шляху ковзання.

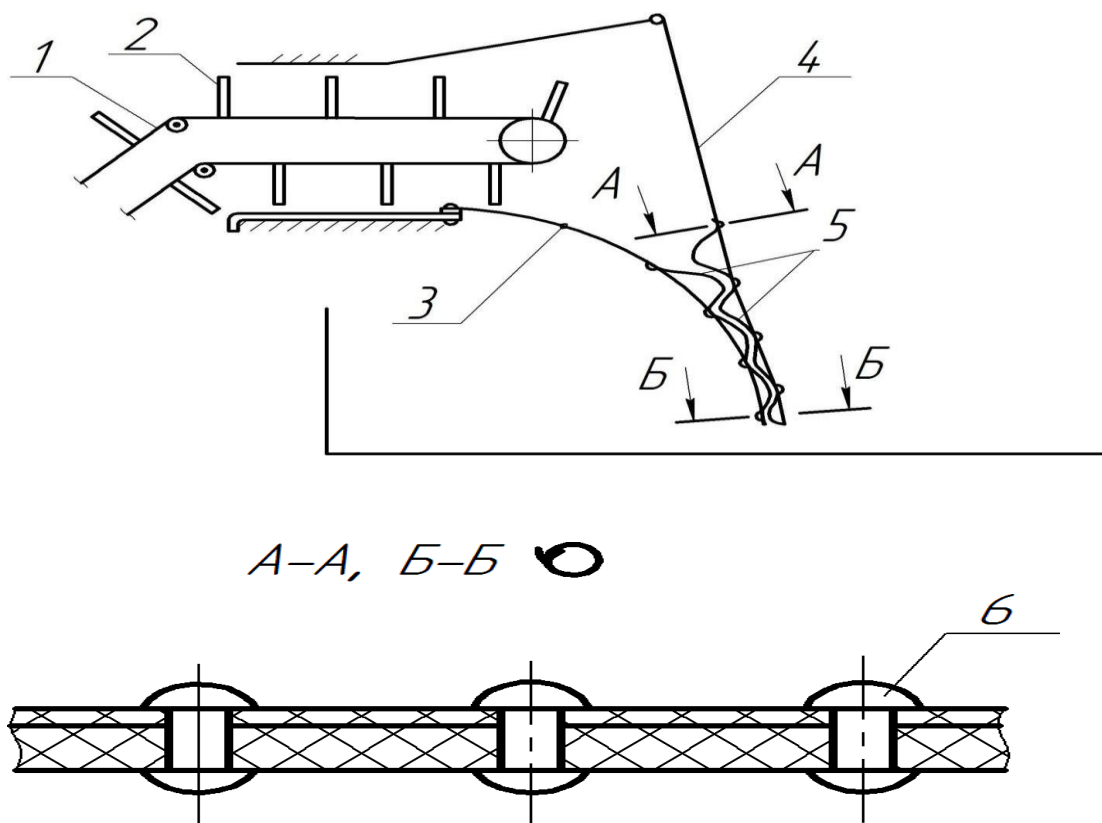


Рис. 2.7 - Схема відвантажувального пристрою з гофрами: 1-прутковий елеватор зі скребками; 2-скребки; 3-гнучкий пружний лоток; 4-гнучкий фартух; 5-еластичні гофри; 6-кріпильні вироби

Крім того, качани капусти, 'яко падаючи від одного еластичного виступу на нший, неодноразово деформують їх. Отже, при цьому кінетична енергія також витрачається на здійснення роботи пружних сил під час деформації виступів гофра, отже, швидкість качанів під час взаємодії з кожним виступом гофра та під час падіння на дно кузова або на шар капусти стане меншою за безпечну величину, у такий спосіб унеможлиблюється пошкодження качанів.

2.3 Втрата енергії качанів капусти в процесі відвантаження

У першій фазі енергія качана капусти витрачається на здійснення роботи з подолання опору перекочуванню по прогумованій поверхні лотка. Опір коченню створює та, що виникає внаслідок деформації поверхонь торкання качана і пружного лотка пара сил N , $G \cos \alpha$ (Рис. 2.6), момент якої Тоді елементарна робота, що здійснюється під час кочення качана капусти,

$$dA = -kNd\varphi,$$

де $d\varphi$ - елементарний кут повороту качана капусти під час кочення.

Або з урахуванням $d\varphi = dS/R$ (тут dS - елементарне переміщення центру качана капусти)

$$dA = -\frac{k}{R}NdS = -\mu NdS.$$

Тоді повна робота при перекочуванні качана капусти на ділянці BC

$$A_2 = -\mu \int_{(B)}^{(C)} NdS.$$

Або, якщо вважати $N = const$ і $\alpha = const$ у межах малої ділянки BC ,

$$A_2 = -\mu Nl_{BC} = -(\mu G \cos \alpha)l_{BC},$$

де l_{BC} - довжина ділянки BC .

Таким чином, у першій фазі процесу відвантаження качани капусти втрачають енергію

$$\Delta T_2 = A_2 = |-(\mu G \cos \alpha)l_{BC}|. \quad (2.1)$$

Однак слід зауважити, що ΔT_2 незначна через малу довжину ділянки BC .

2.4 Втрата енергії качанів капусти в другій фазі процесу відвантаження

У другій фазі процесу відвантаження енергія качана капусти витрачається на здійснення роботи сил тертя ковзання його в клинчастій щілині (Рис. 2.6).

Слід зауважити, що на початку третьої фази процесу відвантаження качанів має місце ефект змінного клина (див. Рис. 2.12).

У цій зоні качан капусти діє на лоток і фартух відповідно силами G' і G'' , що визначаються за формулами:

$$G' = \frac{G}{\sin \gamma'},$$

$$G'' = \frac{G}{\operatorname{tg} \gamma'},$$

Де G - вага качана;

γ' - кут між нормою до лотка в точці торкання та горизонталлю.

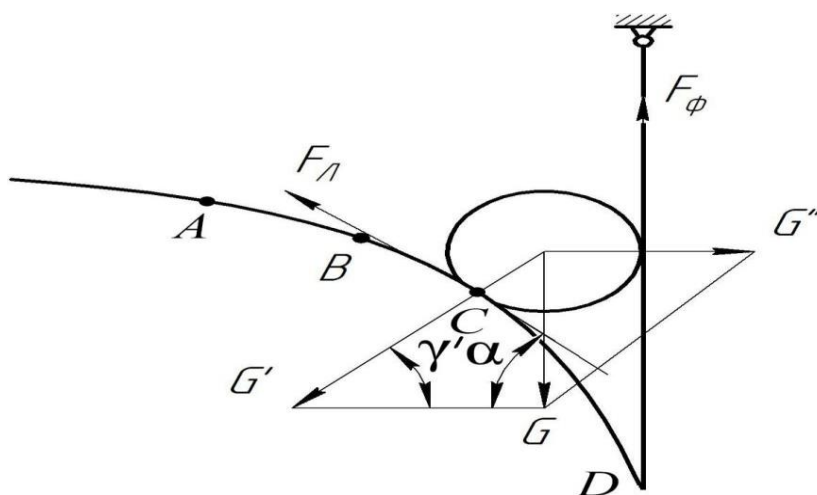


Рис. 2.8 - Схема взаємодії качана, лотка і фартуха в другій фазі відвантаження

У процесі руху качана від точки B до точки C кут α збільшується, а кут γ' зменшується тією ж інтенсивністю. Це сприяє підвищенню сил тиску G' і G'' під час руху качана від точки C до точки D (Рис. 2.8).

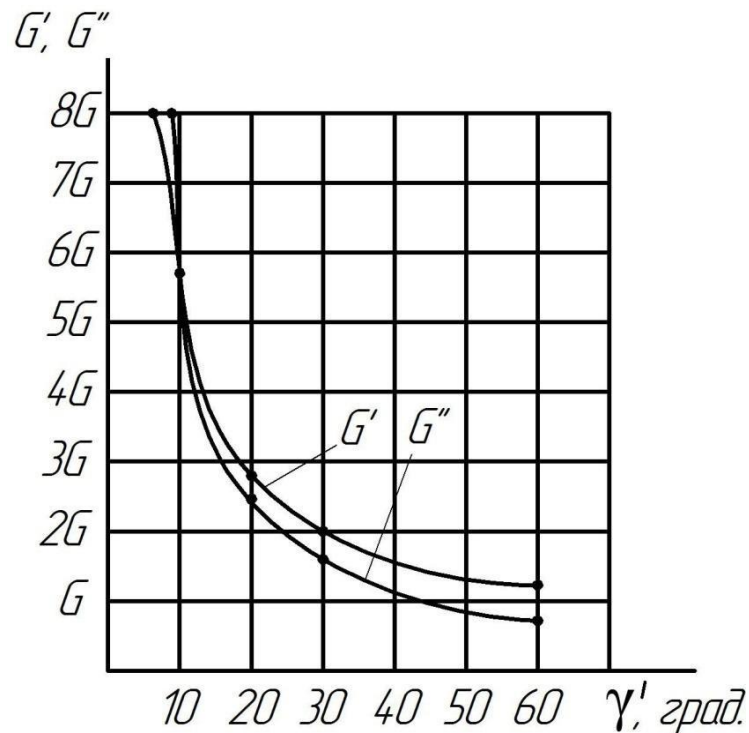


Рис. 2.9. - Залежності сили тиску качана на лоток і фартух від кута γ' у період відвантаження

При цьому сили тертя качана об поверхні пружного лотка і фартуха відповідно мають зростати, оскільки

$$F_{\text{л}} = f G',$$

$$F_{\text{ф}} = f G'',$$

де f - коефіцієнт тертя ковзання качана по прогумованій поверхні.

Однак при цьому слід звернути увагу і на факт, що в процесі ковзання качана в щілині фартух і пружний лоток розсуваються, тому поверхні торкання практично стають паралельними вектору сили ваги $\bar{G}$ качана капусти. У цьому випадку, якщо вважати ковзання качана капусти рівномірним, робота сил тертя

$${}_3A = -F_{\text{л}} + F_{\text{ф}} l_{CD} \approx -l_{CD} G,$$

де l_{CD} - довжина ділянки CD .

Таким чином, у другій фазі процесу відвантаження качан капусти втрачає

енергію

$$\Delta T_3 = A_3 \approx |-Gl_{CD}|. \quad (2.2)$$

2.5 Повернення гнучкого пружного лотка у вихідне положення після відвантаження качана капусти

Унаслідок удару качана об лоток (зовнішнього впливу), як зазначалося вище, виникає початкове відхилення його від положення стійкої рівноваги. Після цього завдяки наявності внутрішніх пружних сил лоток прагне відновлювати рівновагу.

Водночас на точки розглянутої системи, окрім потенційних сил пружності, діють ще сили внутрішнього опору (демпферні сили, які вище не враховували) і зовнішні сили опору з боку фартуха, що спричиняють розсіювання механічної енергії системи.

Припустимо, що сили опору, які діють на кожну точку системи R_i , пропорційні швидкостям точок їхнього прикладання, тобто:

$$R_i = -v_i \vec{v}_i.$$

Тоді для розгляду механічної системи з одним ступенем свободи (такою можуть бути в першому наближенні гнучкий пружний лоток із качаном) узагальнену силу опору визначимо за формулою [21]:

$$Q_R = -\frac{\partial \Phi}{\partial \dot{q}},$$

де Φ - функція розсіювання (дисипативна функція Релея); q - узагальнена координата системи.

Як узагальнену координату системи можна прийняти параметр, що однозначно описує її положення в будь-який момент часу після падіння качана на лоток, зокрема динамічну деформацію лотка в зоні падіння качана, тобто

$$q = \delta.$$

Механічна система, що розглядається, ідеалізована прийнятими припущеннями і представлена на рисунок 2.9.

Для отримання диференціального рівняння руху системи скористаємося рівнянням Лагранжа:

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T_L}{\partial \dot{q}} \right) - \frac{\partial T_L}{\partial q} = Q_P + Q_R,$$

де T_L - кінетична енергія системи;

Q_P - узагальнена сила потенційних сил системи;

Q_R - узагальнена сила опору системи.

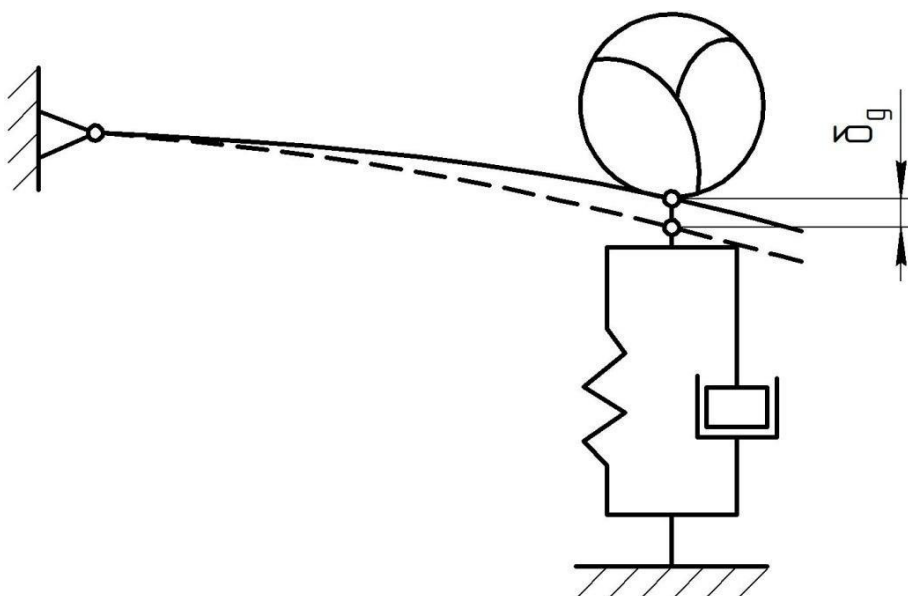


Рис. 2.10 - Модель механічної системи до опису руху гнучкого пружного лотка під час динамічної взаємодії з качаном капусти

Для системи з одним ступенем свободи маємо [8]:

$$T_L = \frac{1}{2} a \dot{q}^2; \Pi = \frac{1}{2} c q^2; \Phi = \frac{1}{2} b \dot{q}^2; Q_P = -\frac{\partial \Pi}{\partial q} = -c q; Q_R = -\frac{\partial \Phi}{\partial \dot{q}} = -b \dot{q},$$

де a - інерційний коефіцієнт системи;

c - узагальнений коефіцієнт жорсткості системи;

b - узагальнений коефіцієнт опору системи. Підставляючи ці значення в рівняння Лагранжа, отримуємо:

$$aq'' = -cq - bq' \quad (2.3)$$

Уведемо позначення:

$$\frac{c}{a} = k^2; \quad \frac{b}{a} = 2n. \quad (2.4)$$

Зауважимо, тут коефіцієнт k характеризує пружні властивості системи, а коефіцієнт n - демпферні властивості системи.

З урахуванням позначень (2.4) рівняння (2.3) після перетворень набуде вигляду:

$$\ddot{q} + 2n\dot{q} + k^2q = 0. \quad (2.5)$$

Інтегрування цього рівняння здійснюємо за загальним правилом інтегрування однорідних лінійних диференціальних рівнянь з постійними коефіцієнтами.

Складемо характеристичне рівняння:

$$z^2 + 2nz + k^2 = 0.$$

Коріння цього рівняння

$$\lambda_{1,2} = -n \pm \sqrt{n^2 - k^2} = -n \pm k_2,$$

де введено нове позначення для позитивної величини $\sqrt{n^2 - k^2} = k_2$.

У конструкції відвантажувального пристрою, коли лоток виконано з п'ятишарової гумовотканинної транспортерної стрічки типу ТК-400, як показали подальші експериментальні дослідження, сили опору суттєві. Тому розглянемо випадок, коли $n > k$. У цьому випадку обидва корені характеристичного рівняння дійсні й від'ємні. Отже, загальний розв'язок диференціального рівняння (2.5) має вигляд:

$$q = C_1 e^{\lambda_1 t} + C_2 e^{\lambda_2 t} = e^{-nt} (C_1 e^{k_2 t} + C_2 e^{-k_2 t}), \quad (2.6)$$

де C_1 і C_2 - довільні постійні, які можна визначити за початковими умовами:

$$t = 0; q = q_0; \dot{q} = q_0.$$

Не виконуючи цих обчислень, можна оцінювати поведінку відвантажувального пристрою під час взаємодії з качаном капусти, використовуючи рівняння (2.18). Зауважимо, залежно від початкової узагальненої координати системи

q_0 можуть представлятися три випадки (Рис. 2.11).

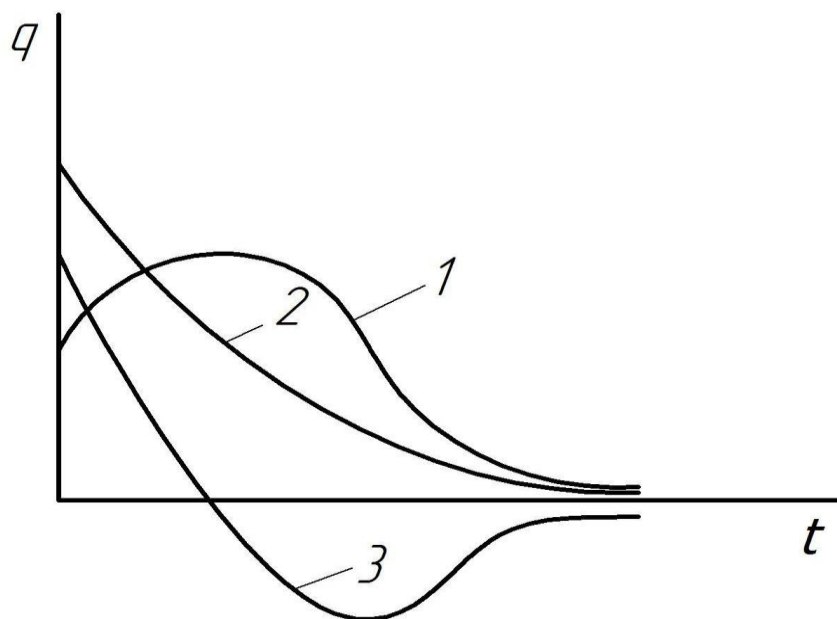


Рис. 2.11 - Можливий характер зміни узагальненої координати q лотка відвантажувального пристрою під час взаємодії з качаном капусти під час відвантаження

За $q_0 > 0$ функція $q(t)$ у деякий час зростає до певного максимуму, а потім убыває, асимптотично наближаючись до нуля, тому що $\lim_{t \rightarrow \infty} q(t) = 0$ унаслідок того, що показники степеня λ_1 і λ_2 від'ємні (крива 1).

За не дуже великих за абсолютною величиною значень q_0 може одразу початися спадання $q(t)$ (крива 2). За великих за модулем значень q функція $q(t)$, спадаючи, може досягти нульового значення, що відповідає положенню рівноваги лотка, стати від'ємною і, залишаючись від'ємною, асимптотично наближатися до нуля (крива 3). У всіх цих випадках рух є аперіодичним, тобто коливальний процес відсутній.

Таким чином, гнучкий пружний гумовотканинний лоток відвантажувального пристрою відновлює своє становище стійкої рівноваги фактично за один період загасаючого коливання:

$$T = \frac{2\pi}{\sqrt{k^2 - n^2}}.$$

Оскільки качани капусти надходять на відвантаження поштучно з інтервалом часу

$$T^I = \frac{\rho}{v_M}$$

(тут ρ - крок посадки рослин у рядку, v_M - робоча швидкість капустозбиральної машини), більшим за період повернення лотка в положення стійкої рівноваги, тобто за $T^I > T$, то кожне наступне

взаємодія лотка з качаном практично не залежить від попередньої їхньої взаємодії. Цей факт підтвердився в подальшому відеозйомкою процесу (підрозділ 4.3).

Таким чином, представлені вище теоретичні передумови, що базуються на взаємодії одиничного качана з елементами відвантажувального пристрою, можуть бути цілком прийнятними в цьому випадку для опису процесу відвантаження качанів капусти загалом.

2.6 Обґрунтування довжини і ширини гнучкого пружного прогумованого лотка і фартуха

Робоча зона пружного прогумованого лотка повинна мати таку довжину, щоб качан, переміщаючись на ній, витратив наявну потенційну енергію $PK = GH$, тобто щоб дотримувалася умова:

$$GH = \Delta T_1 + \Delta T_2 + \Delta T_3.$$

З іншого боку загальна довжина пружного лотка

$$L \approx l_1 + l_{BC} + l_{CD}.$$

Або з урахуванням виразів

$$L = l_1 + \frac{\Delta T_2}{\mu G \cos \alpha} + \frac{\Delta T_3}{G}.$$

Звідки, нехтуючи незначною величиною ΔT_2 і враховуючи $\Delta T_3 \approx GH - \Delta T_1$, можна отримати:

$$L \approx l_1 + \frac{GH - \Delta T_1}{G}.$$

Довжина фартуха має бути такою, щоб нижні кромки лотка і фартуха збігалися.

Ширина пружного прогумованого лотка і фартуха обирається такою, що дорівнює робочій ширині елеватора, щоб усі качани капусти відвантажувалися через цей пристрій.

Висновки до розділу

1. Проведені теоретичні дослідження дали змогу встановити закономірності процесу відвантаження качанів у кузов транспортного засобу в щадному режимі.

2. У результаті досліджень сформульовано концепцію зниження пошкоджуваності качанів під час машинного збирання шляхом розроблення спеціального відвантажувального пристрою, виявлено характер взаємодії качанів капусти з його елементами, теоретично обґрунтовано основні параметри пристрою.

3. Теоретичні дослідження проведено з урахуванням низки припущень, тому бажано перевірити робочу гіпотезу та теоретичні наукові положення експериментально.

РОЗДІЛ 3 МЕТОДИКА ТА ОБЛАДНАННЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ

3.1 Прилади та пристосування для проведення досліджень

Розмірно-масові характеристики качанів капусти детально досліджені ще в 60...70-х роках минулого століття. Відтоді в нашій країні та за кордоном виведено нові високоврожайні сорти капусти, які останніми роками широко використовуються замість традиційних. Однак у літературних джерелах їхні розмірно-масові характеристики ще не знайшли відображення. Тому у зв'язку з виконанням цієї роботи з'явилася необхідність їх вивчення на дослідних ділянках під час агротехнічної оцінки дослідного капустозбирального комбайна з розробленим пристроєм для відвантаження качанів капусти в щадному режимі. Триразова повторність дослідів визначалася відповідно до джерела [22].

Зокрема нами заміряно діаметри качанів у горизонтальній і вертикальній площинах, визначено їхні маси.

Діаметри качанів у зазначених площинах заміряли за допомогою саморобного штангенциркуля з ціною поділки 1 мм.

Вагу качанів вимірювали на електронних лабораторних вагах АСОМІW-1 (Рис. 3.1).



Рис. 3.1 - Ваги лабораторні АСОМІW-1 - Ваги лабораторні АСОМІW-1

Процес відвантаження качанів капусти відвантажувальним пристроєм у кузов транспортного засобу та жорстку тару досліджували загалом, а також шляхом покадрової його фіксації за допомогою відеокамери моделі SDR-H41EE, що наведена на рисунок 3.2.



Рис. 3.2 – Відеокамера моделі SDR-H41EE, використана для покадрової фіксації процесу відвантаження качанів

3.2 Опис лабораторної установки, методики проведення дослідів і обробки даних

Ефективність роботи пристрою для відвантаження качанів і ступінь зниження пошкоджуваності качанів при цьому залежать від його конструктивних параметрів, зокрема від кута α (Рис. 3.3) нахилу дотичної гнучкого пружного лотка до горизонту в зоні падіння качанів і від зусилля притискання фартуха до лотка. Ці параметри, своєю чергою, залежать від розташування задньої кромки жорсткого піддону (відстані Δ_2) і шарніра кріплення фартуха (відстані Δ_1) відносно вивантажувальної частини елеватора. Ступінь пошкодження качанів також залежить від висоти вивантаження H , точніше від кінцевої висоти вільного падіння H' на дно кузова.

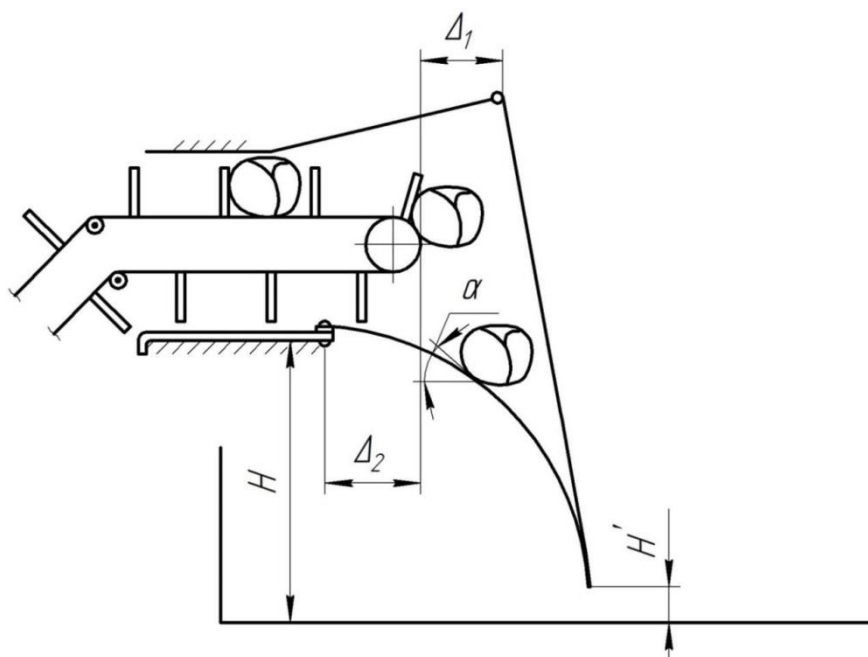


Рис. 3.3 – Основні параметри пристрою для відвантаження качанів капусти в щадному режимі

З метою встановлення впливу названих параметрів на ступінь пошкоджуваності качанів під час відвантаження та пошуку їхніх оптимальних значень проведено лабораторні дослідження.

Лабораторні дослідження проводилися на установці, представлений на малюнках 3.4 і 3.5.

Вона являє собою дослідний зразок капустозбирального комбайна, що складається з рами 1 з опорними колесами, столу доопрацювання (транспортера- обрізувача) 2, елеватора 3 з відвантажувальним пристроєм 4. Привід його робочих здійснювався від стаціонарного електродвигуна 5 через ланцюгові передачі 6, 7 і 8. Джерело живлення електродвигуна - трифазний струм. Пуск двигуна здійснюється пускачем АП-50, встановленим на панелі управління лабораторної установки після розміщення качанів на столі доопрацювання.

Відключення живлення електродвигуна від мережі відбувалося після проходження качанів капусти в елеваторі та відвантажувального пристрою.

Під час експерименту за вимкненого електродвигуна на транспортер-

обрізувач 2 укладали качани капусти з кроком, що дорівнює середньому кроку між рослинами капусти на полі, щоб імітувати реальну інтенсивність надходження качанів на відвантаження. Перед цим качани перевіряли на відсутність видимих пошкоджень. Далі за командою оператора запускали електродвигун, який приводив у дію всі робочі органи комбайна. Качани послідовно подавалися елеватором 3 на відвантаження в тару 9 із жорстким дном.

При цьому попередньо проаналізовано об'єкт досліджень.

Інформацію отримували, аналізуючи раніше проведені нами роботи.

Зауважимо, в цілому об'єкт досліджень є керованим, тобто дає змогу проводити активний експеримент.

Рівні, інтервали варіювання факторів обрано за результатами попередніх пошукових експериментів.

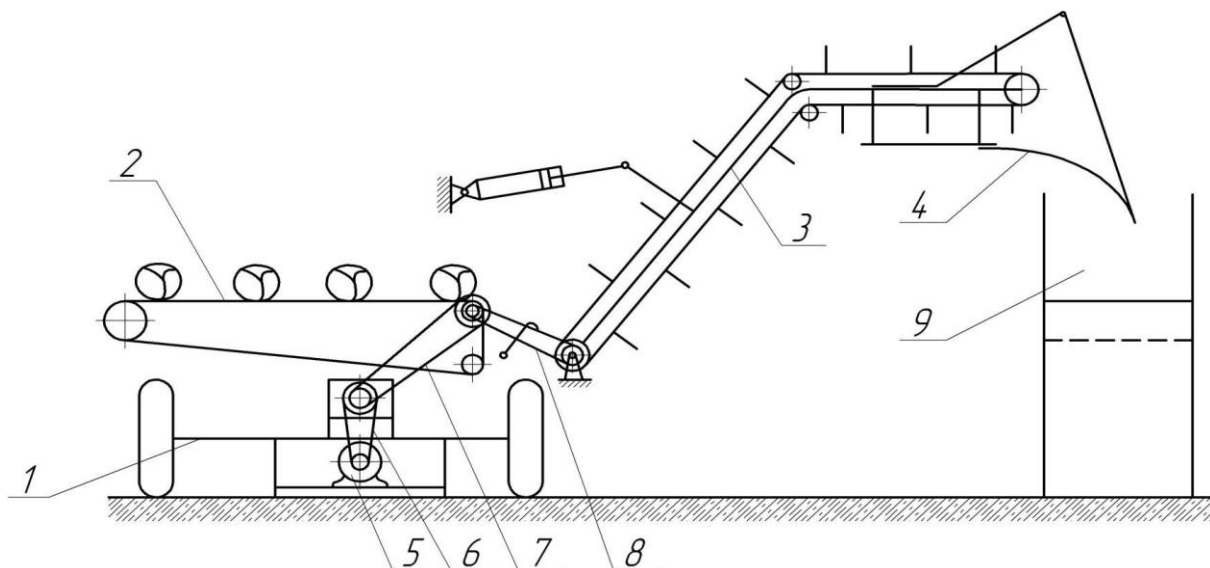


Рис. 3.4 - Принципова схема установки для дослідження пристрою для відвантаження качанів капусти в лабораторних умовах: 1 - рама з опорними колесами; 2 - стіл доробки; 3 - елеватор; 4 - відвантажувальний пристрій; 5 - електродвигун; 6,7,8 - ланцюгові передачі; 9 – тара

Після кожного досліду оцінювали пошкодження качанів візуально та за допомогою замірів. Зафіксовано пошкодження слабого ступеня - у вигляді

вм'ятин і тріщин у верхніх покривних листках.



Рис. 3.5 - Загальний вигляд установки для дослідження пристрою для відвантаження качанів капусти в лабораторних умовах

Ступінь пошкодження качанів кількісно оцінювали за середньою довжиною утворених тріщин і вм'ятин у шарі покривного листа. Дані замірів занесено в таблицю 4.2.

Таблиця 3.1 - Інтервали та рівні варіювання факторів

Фактори	Верхній рівень +1	Основний рівень 0	Нижній рівень -1	Інтервали- ли варіі- ровання
X_1 - розмір Δ_1 , мм	310	230	150	80
X_2 - розмір Δ_2 , мм	150	100	50	50
X_3 - висота H вивантаження качанів, мм	1100	900	700	200

Результати дослідів оброблено у програмі 10 та апроксимовано

рівняннями регресії виду [6]:

$$Y = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_3 x_3 + b_{12} x_1 x_2 + b_{13} x_1 x_3 + b_{23} x_2 x_3 + b_{11} x_1^2 + b_{22} x_2^2 + b_{33} x_3^2,$$

де $b_0, b_1, b_2, b_{11}, b_{12}, b_{22}$ - коефіцієнти рівняння регресії.

Коефіцієнти рівняння регресії піддавалися перевірці значущості за критерієм Стюдента. Адекватність моделі перевіряли за критерієм Фішера.

Для глибшого вивчення характеру і ступеня впливу чинників процесу на пошкоджуваність качанів під час відвантаження на жорстке дно за отриманими рівняннями регресії побудовано двовимірні перерізи поверхонь відгуку (малюнки 4.12, 4.13, 4.14). Двовимірні перерізи було виконано за $x_1 = 0$, $x_2 = 0$ і $x_3 = 0$ відповідно.

Таблиця 3.2 - Матриця планування дослідів

Номер досвіду	X_1	X_2	X_3
1	-	-	-
2	+	-	-
3	-	+	-
4	+	+	-
5	-	-	+
6	+	-	+
7	-	+	+
8	+	+	+
9	-1,215	0	0
10	+1,215	0	0
11	0	-1,215	0
12	0	+1,215	0
13	0	0	-1,215
14	0	0	+1,215
15	0	0	0

Математична модель, що адекватно описує процес відвантаження качанів у жорстку тару, була використана під час оцінки результатів теоретичних досліджень і остаточного визначення раціональних значень основних параметрів пристрою для відвантаження качанів капусти в кузов у щадному режимі.

3.3 Обладнання та методика польових досліджень

Польові дослідження передбачали оцінку якості функціонування розробленого пристрою у складі капустозбирального комбайна та ступеня пошкоджуваності качанів капусти за його використання в реальних польових умовах.

Для цього пристрій для відвантаження качанів капусти в щадящому режимі змонтували на дослідному зразку капустозбирального комбайна (Рис. 3.6).



Рис. 3.6 - Дослідний капустозбиральний комбайн із пристроєм для відвантаження качанів капусти в щадному режимі

Пристрій для відвантаження качанів капусти закріпили на елеваторі за допомогою болтових з'єднань з урахуванням встановлених у результаті лабораторних досліджень параметрів.

У процесі роботи механізатор мав змогу регулювати положення пристрою для відвантаження качанів капусти разом з елеватором відносно кузова транспортного засобу за допомогою гідроциліндра підйому елеватора.

Дослідний капустозбиральний комбайн із пристроєм для відвантаження качанів капусти в щадному режимі агрегувався з трактором МТЗ-82.



Рис. 3.7 - Поле, на якому проводилися дослідження дослідного капустозбирального комбайна з пристроєм для відвантаження качанів капусти в щадному режимі

Оцінювання якості функціонування пристрою для відвантаження качанів капусти в щадному режимі проводили візуально, а також проводячи хронометраж роботи капустозбирального комбайна з цим пристроєм у протягом робочої зміни. За результатами хронометражу проводили аналіз причин і ступінь складності відмов у роботі капустозбирального комбайна, пов'язаних із пристроєм для відвантаження качанів.

Таблиця 3.3 - Характеристика умов проведення польових досліджень

Найменування показників	Середні значення показників
Рельєф	рівний
Мікрорельєф	слабогребнистий
Переважаючий вид бур'янів	лобода біла
Схема посадки, мм	700x500
Ширина основних міжрядь, мм	680...690
Ширина стикових міжрядь, мм	672...728
Прямолінійність рядків, $\pm$ мм	
а) кількість рослин, розташованих на осьовій лінії, %	46,5
б) у зоні ± 100 мм, %	35,6
в) у зоні ± 200 мм, %	17,9
Стан і розташування листків за формою, % а) стоячі	36,6...50
б) напівлежачі	30,0...54,5
в) ті, що лежать	9,1...20
Розташування качанів щодо поверхні ґрунту, %	
від 0 до 50 мм	23,5...25,7
від 50 до 100 мм	55,0...60,0
понад 100 мм	18,0...28,5

Для проведення дослідів з оцінювання ступеня пошкоджуваності качанів під час установавання відвантажувального пристрою на дослідному капустозбиральному комбайні ділянку капусти було розбито на облікові ділянки (Рис. 3.8), підготовлено смуги першого проходу та розвороту.

У робочому проході капустозбирального комбайна збір качанів, зрізаних на кожній із ділянок, проводили в окремих брезентових накидках, підстелених на кузові транспортного засобу, що супроводжує. Далі зібрані качани

піддавалися інспекції відповідно до характеристики пошкоджень (таблиця 3.4), складеної згідно з ДСТУ Р 51809-2001 "Капуста білокачанна свіжа, що реалізується в роздрібній торговельній мережі. Технічні умови" [33].

Таблиця 3.4 - Шкала оцінки качанів за ступенем пошкоджуваності в польових дослідженнях пристрою для відвантаження качанів

Ступінь пошкоджень	Характер пошкоджень
Слабка	Механічні пошкодження на глибину не більше двох облягаючих листків у бічній і нижній частині качана і не більше п'яти облягаючих листків у верхній третині качанів. Під час зачищення качана набуває товарного вигляду першого класу.
Середня	Механічні ушкодження на глибину понад два, але не більш як п'ять облягаючих листків у бічній і нижній частині качана і не більш як 1,5 см глибиною у верхній частині качана. Качан належить до продукції другого класу.
Сильна	Механічні пошкодження на глибину понад 3 см. Качани втрачають товарний вигляд.

Перед проведенням збиральних робіт за допомогою комбайна МКК-1 ділянки капусти розбивали на загони (Рис. 3.11). Уздовж кожної загороди з обох боків прибирали капусту вручну, утворюючи смуги першого проходу шириною B_1 .

Як поворотні смуги використовували сусідні ділянки, оскільки до цього часу на цих ділянках уже було зібрано сільськогосподарські культури. Збиральний процес організували за схемами "взвал" (Рис. 3.11, а) і "врозвал" (Рис. 3.11, б).

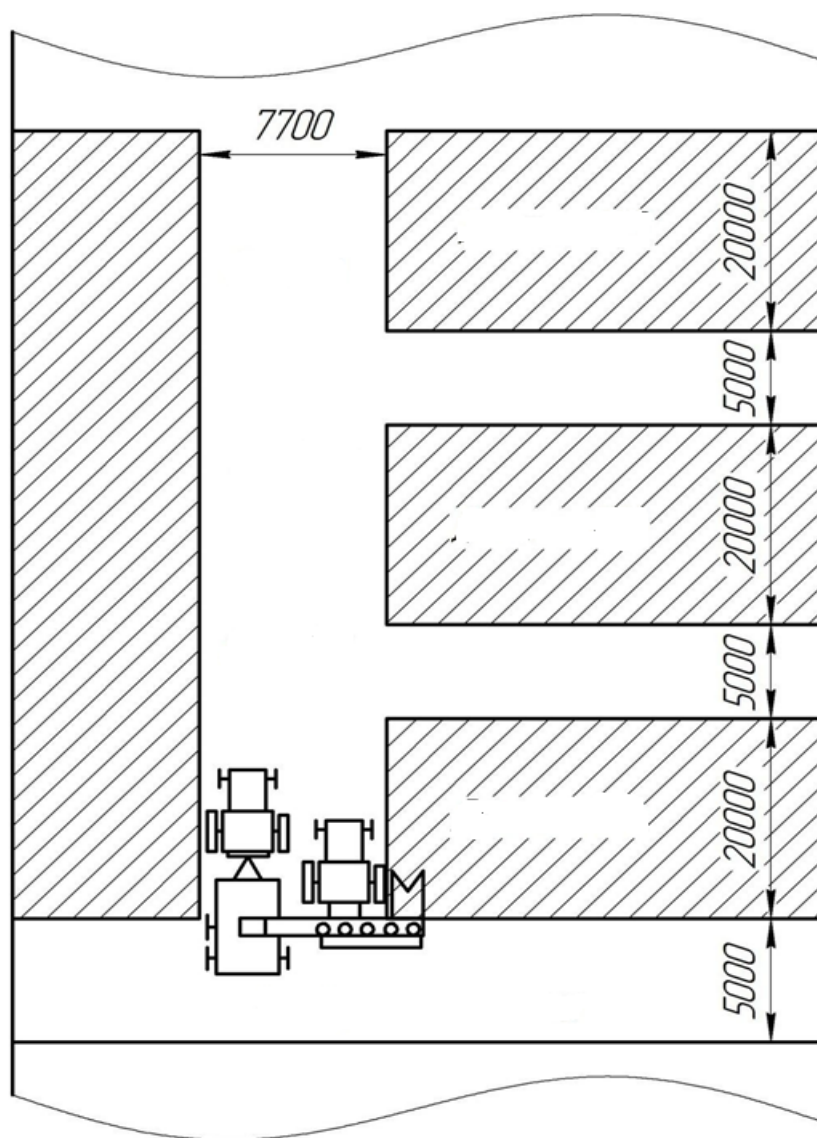


Рис. 3.8 - Схема, розбивки ділянок для проведення дослідів з оцінювання ступеня пошкоджуваності продукції на капустозбиральному комбайні МКК-1 з пристроєм для відвантаження качанів у щадному режимі

Капустозбиральний комбайн МКК-1 із пристроєм для відвантаження качанів у щадному режимі працював за схемою укладання качанів у контейнери (Рис. 3.12) і в кузов транспортного засобу навалом (Рис. 3.13).



Рис. 3.9 - Загальний вигляд капустозбирального комбайна МКК-1 із пристроєм для вкладання качанів у контейнери та кузов транспортного засобу



Рис. 3.10 - Виробничі випробування капустозбирального комбайна МКК-1 з пристроєм для укладання качанів капусти в щадному режимі (зліва - автор дисертаційної роботи)

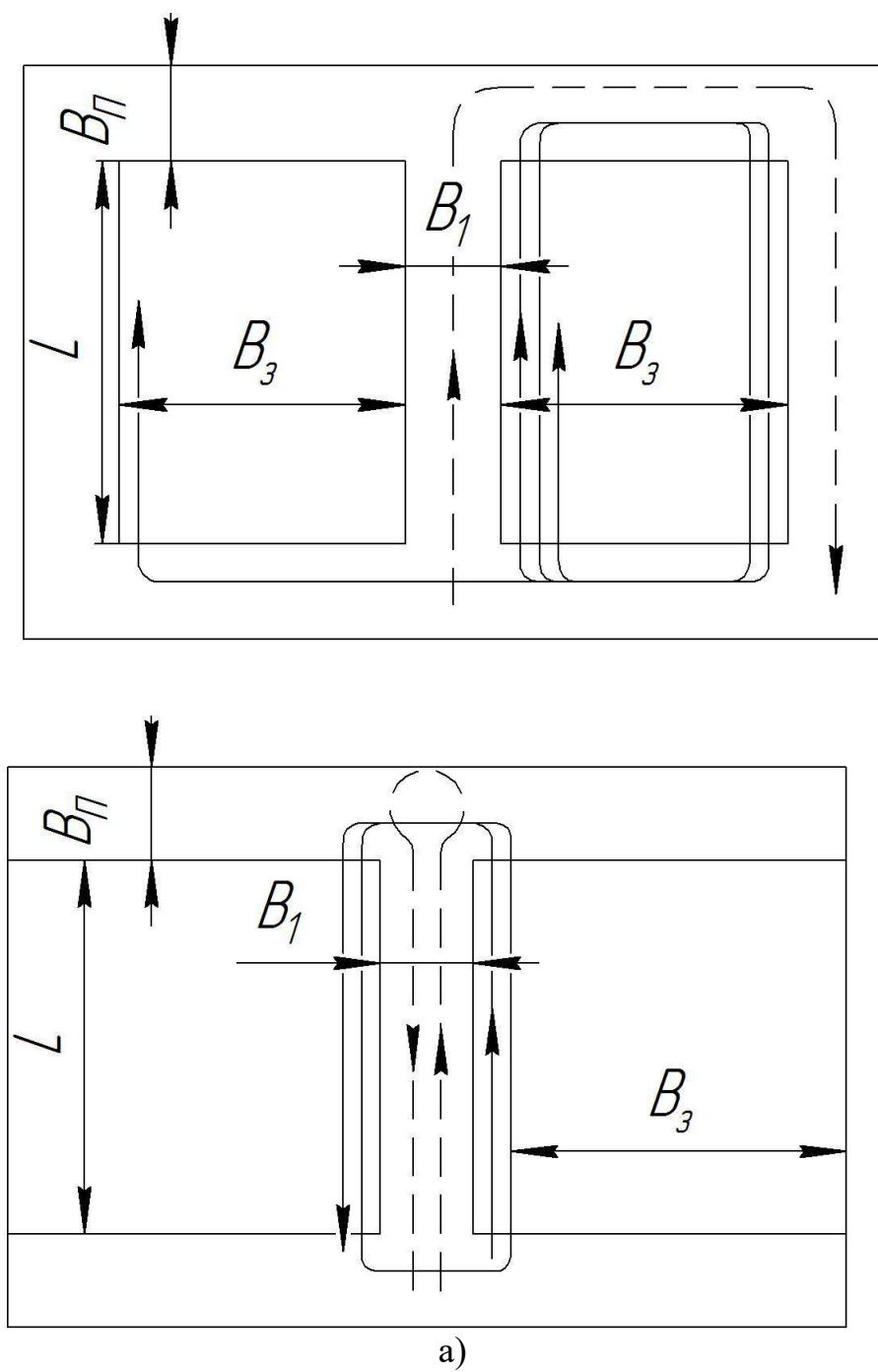


Рис. 3.11 – Схеми руху капустозбирального агрегату (-) і транспортного засобу (: а- "взвал"; б - "врозвал": L - довжина ділянки; B_3 - ширина загороди; B_1 - ширина смуги першого проходу; $B_{П}$ - ширина поворотної смуги)



Рис. 3.12 - Відвантаження качанів капусти в контейнери



Рис. 3.13 - Відвантаження качанів капусти в кузов транспортного засобу

3.4 Розмірно-масові характеристики качанів капусти

Розмірно-масова характеристика качанів капусти після машинного зрізу представлена такими параметрами: діаметром качана в горизонтальній площині D_{Γ} (Рис. 3.14), діаметром качана у вертикальній площині D_B , довжиною частини качана l , що залишилася, качана, що числиться, числом листя, що вкриває z , і масою качана m_k .

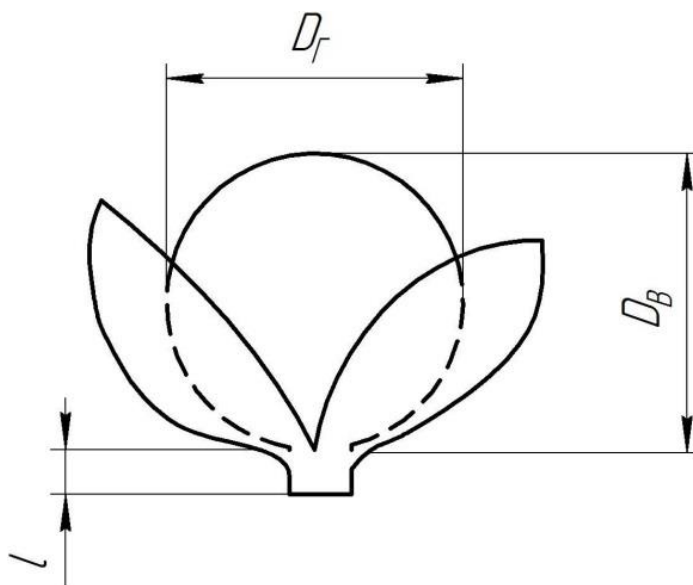


Рис. 3.14 - Параметри качана капусти: D_{Γ} , D_B - діаметри відповідно в горизонтальній і вертикальній площинах, l - довжина частини качана, що залишилася

Таблиця 3.5 - Розмірно-масові показники качанів капусти після машинного зрізу

Сорт капусти	Розміри, мм			Число пок- листя, що риває	Маса m_k качана, кг
	D_{Γ}	D_B	l		
Валентина	199 ± 19	203 ± 24	16 ± 7	2 ± 1	$3,5 \pm 0,5$
Подарунок	195 ± 27	169 ± 23	20 ± 9	2 ± 1	$2,5 \pm 0,9$

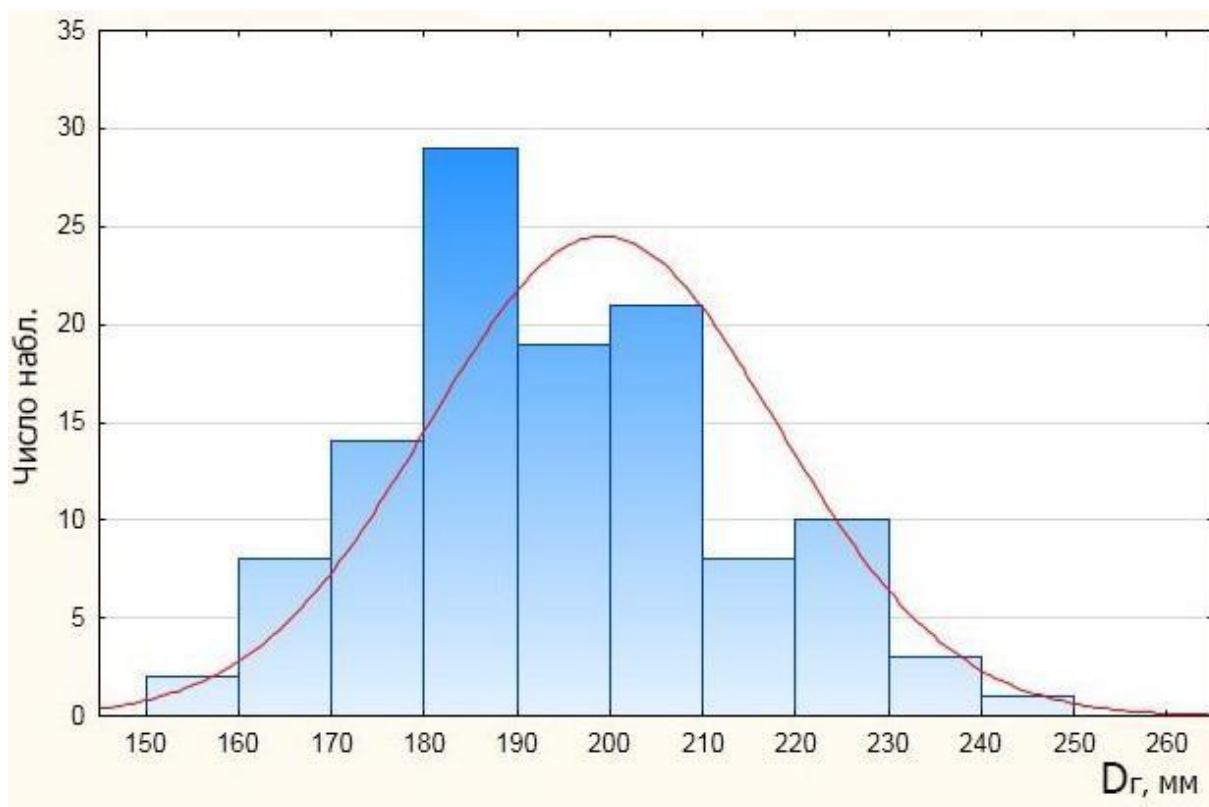


Рис. 3.15 - Гістограма та крива нормального розподілу діаметра D_{Γ} качанів капусти сорту Валентина в горизонтальній площині

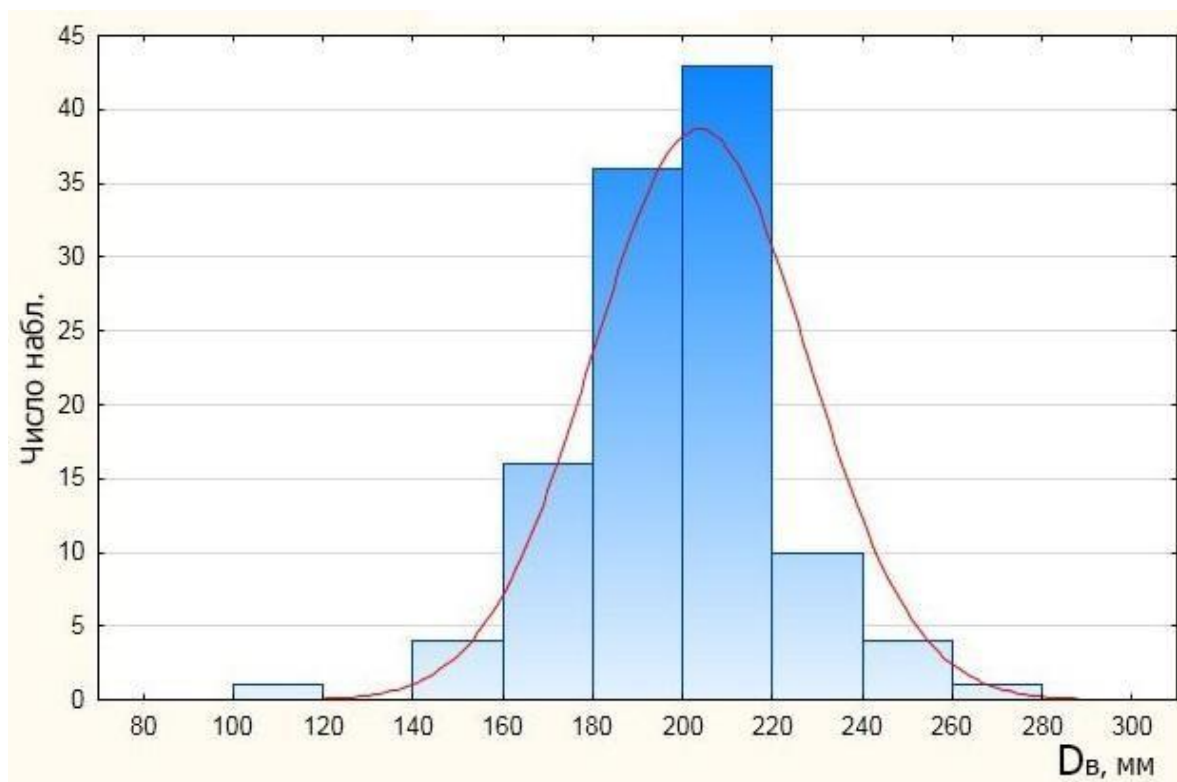


Рис. 3.16 - Гістограма та крива нормального розподілу діаметра $D_{\text{В}}$ качанів капусти сорту Валентина у вертикальній площині

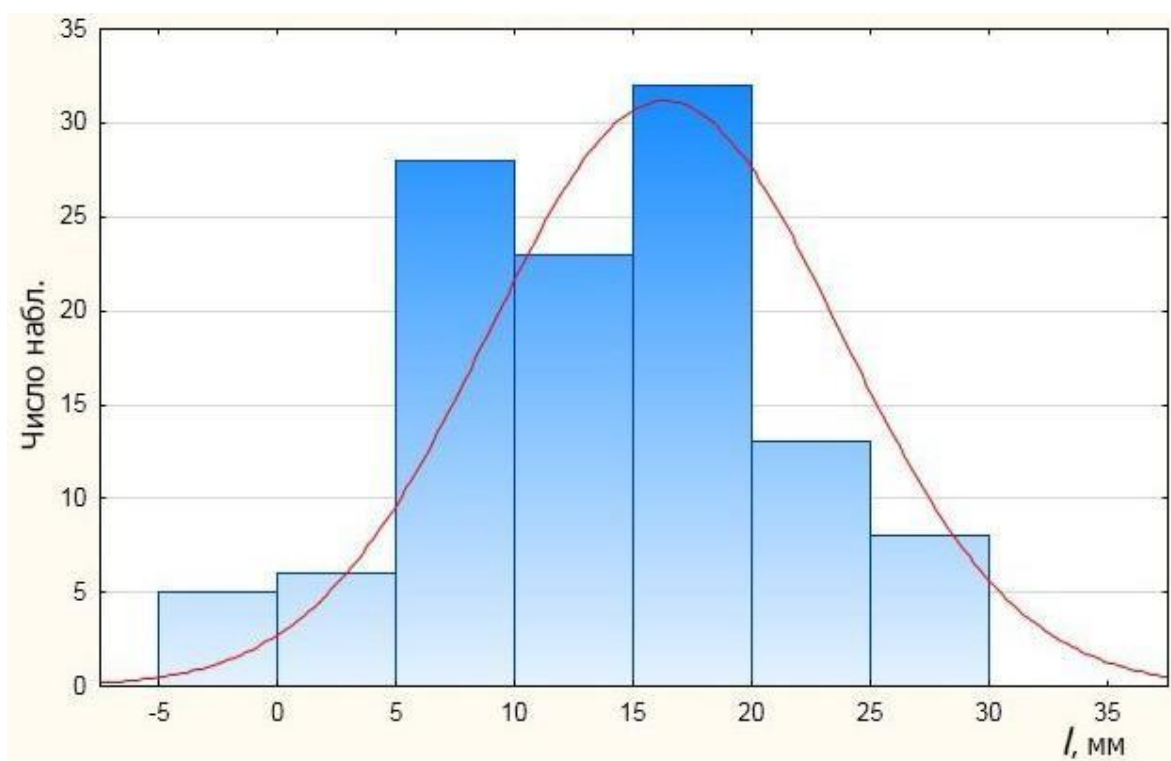


Рис. 3.17 - Гістограма і крива нормального розподілу довжини l частини качана, що залишилася після зрізу, при качанні капусти сорту Валентина

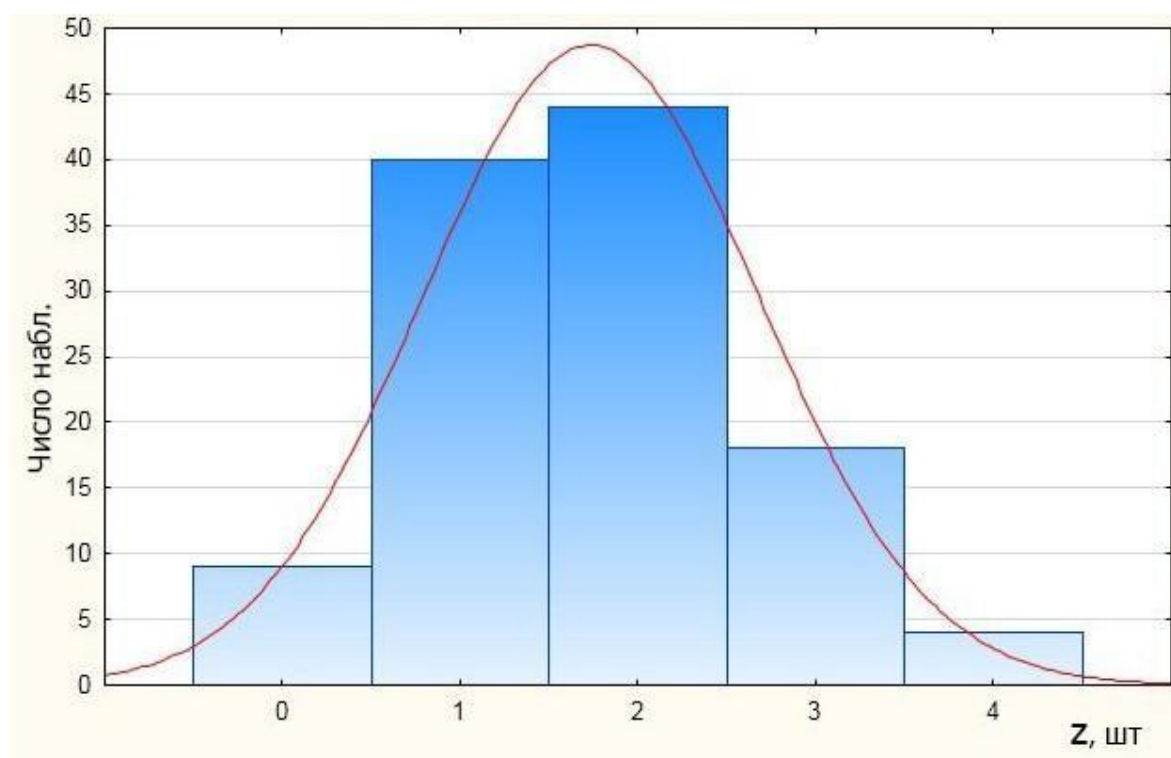


Рис. 3.18 - Гістограма і крива нормального розподілу кількості z покривних листків при качанні капусти сорту Валентина після зрізу

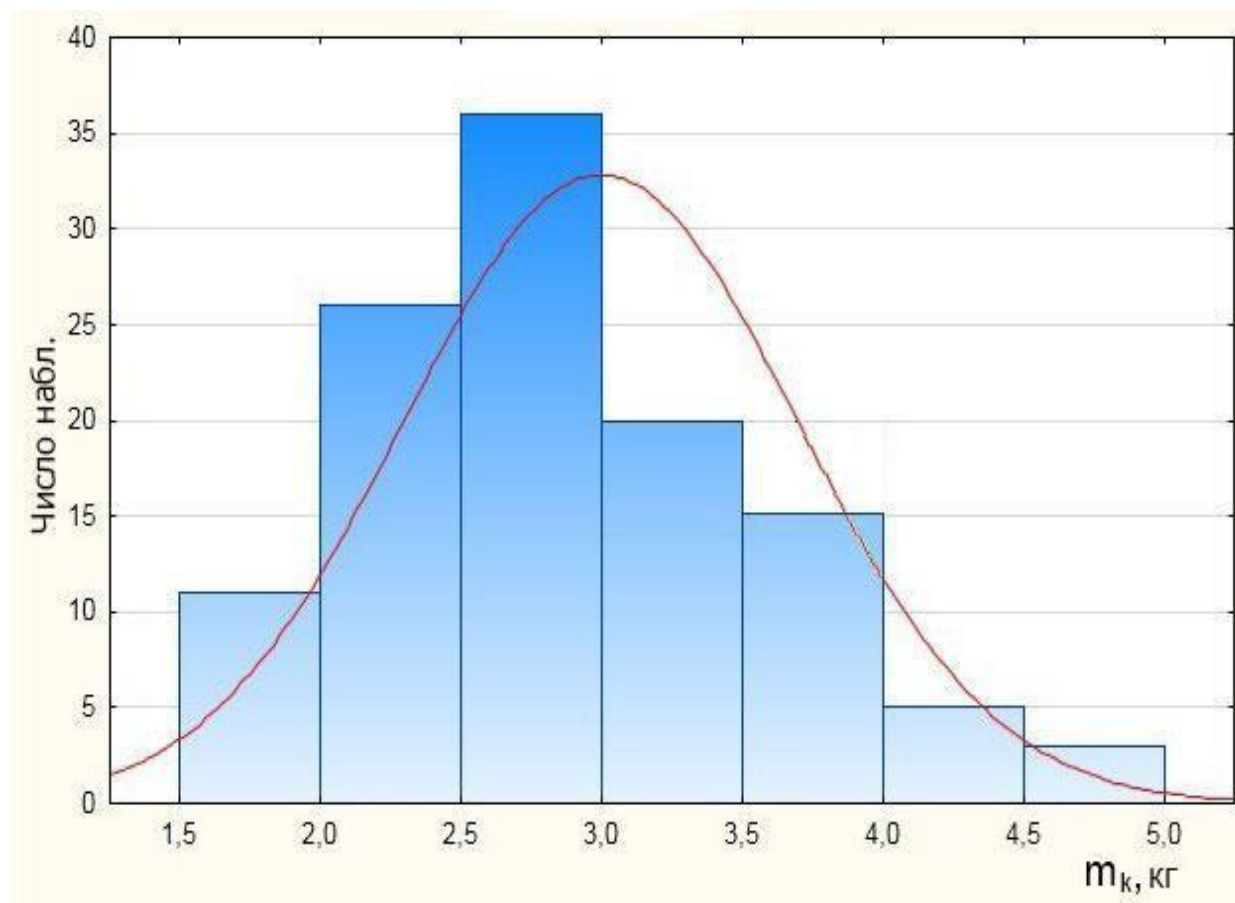


Рис. 3.19 -Гістограма та крива нормального розподілу маси m_k качанів капусти сорту Валентина

На основі ймовірісно-статистичного опрацювання дослідних даних та їхньої перевірки щодо узгодженості розподілів за критерієм χ^2 встановлено, що показники розмірно-масової характеристики качанів капусти зазначених вище сортів підпорядковуються нормальному закону розподілу.

При цьому також встановлено, що досліджувані параметри характеризуються невеликою асиметрією, статистично незначущою для досліджених масивів. Наявність асиметрії вемпіричному розподілі здебільшого пояснюється сортовими особливостями капусти та виставленими конструктивними параметрами капустозбирального комбайна.

Порівнюючи досліджені сорти виявлено, що качани капусти сорту Валентина більші, округлої форми ($D_r = 199 \pm 19$; $D_v = 203 \pm 24$), качани сорту Подарунок злегка овальної форми ($D_r = 195 \pm 27$; $D_v = 169 \pm 23$) середніх розмірів.

Качани капусти в пробах, знятих у ділянках, також піддавали аналізу за

ступенем пошкоджуваності після відвантаження в кузов транспортного засобу і товарності (додатки А і Б). При цьому ступінь пошкоджень качанів оцінювали за шкалою, наведеною в таблиці 3.4.

В пробах мала місце лише слабка ступінь ушкоджень деяких качанів (ушкодження на глибину не більше одного-двох облягаючих листків).

Аналіз показує, що слабо пошкоджених качанів в пробах не перевищувало 9 % від їх загальної кількості.

Качани мали товарний вигляд, містили 1-3 покривні листки, що давало змогу закладати їх на зберігання в контейнерах.

3.5 Вплив параметрів пристрою для відвантаження качанів капусти на якість функціонування

Попередніми дослідженнями встановлено, що ефективність роботи пристрою та ступінь зниження пошкоджуваності качанів у процесі відвантаження в кузов залежать від конструкційних параметрів пристрою, зокрема від кута α нахилу дотичної пружного лотка до горизонту в зоні падіння качанів і від зусилля притискання фартуха до лотка. Ці параметри, своєю чергою, залежать від розташування задньої кромки жорсткого піддону (відстані Δ_2) і шарніра кріплення фартуха (відстані Δ_1) відносно вивантажувальної частини елеватора. Ступінь пошкодження качанів також залежить від висоти вивантаження H , точніше від кінцевої висоти вільного падіння H' на дно кузова (див. Рис. 3.3).

Таким чином, залежність ступеня пошкоджуваності качанів Y під час відвантаження в кузов може бути представлена в загальній формі виразом [23]:

$$Y = f(x_1, x_2, x_3),$$

де x_1 - розмір Δ_1 ;

x_2 - розмір Δ_2 ;

x_3 - висота H вивантаження качанів.

Рівні та інтервали варіювання в дослідях обрано за результатами

попередніх пошукових однофакторних експериментів. Їх наведено в таблиці 3.1.

Результати дослідів, реалізованих за описаною в розділі 3 методикою, представлені в таблиці 3.6.

Таблиця 3.6 - Результати дослідів

Номер досвіду	X_1	X_2	X_3	Y - ступінь пошкодження (середня довжина тріщин і вм'ятин, мм)
1	-	-	-	0
2	+	-	-	10
3	-	+	-	10
4	+	+	-	30
5	-	-	+	30
6	+	-	+	40
7	-	+	+	30
8	+	+	+	40
9	-1,215	0	0	20
10	+1,215	0	0	25
11	0	-1,215	0	0
12	0	+1,215	0	0
13	0	0	-1,215	0
14	0	0	+1,215	60
15	0	0	0	20

Дослідні дані, наведені в таблиці 4.2, опрацьовано в програмі Statistica 10 і апроксимовано рівняннями регресії:

а) за умови $X_3 = 0$:

$$Y = 23,27 + 5,12X_1 + 2,74X_2 + 6,07X^2 + 1,25X_1X_2 - 9,18X^2 ;$$

б) за умови $X_2 = 0$:

$$Y = 8,45 + 5,12X_1 + 14,87X_3 + 6,05X^2 + 1,25X_1X_3 + 11,13X^2 ;$$

1в) за умови $X_1 = 0$:

$$Y = 19,57 + 2,74X_2 + 14,87X_3 - 9,18X^2 - 3,75X_2X_3 + 11,14X^2 .$$

Перевірка показала, що отримані математичні моделі адекватні за 5%-го рівня значущості. Це дає змогу зробити висновок з імовірністю $p = 0,95$, що обчислені за рівнянням регресії значення відрізняються від експериментальних на величину, яка не перевищує помилки дослідів.

Для глибшого вивчення характеру і ступеня впливу чинників процесу на ушкоджуваність качанів під час відвантаження на жорстке дно за отриманими рівняннями регресії побудовано двовимірні перерізи поверхонь відгуку (рисунки 3.20, 3.21, 3.22).

У зазначених межах варіювання факторів на пошкоджуваність качанів істотний вплив мала висота вивантаження H (параметр X_3). Найбільшою мірою це проявилось у верхніх "зоряних" точках дослідів, оскільки при цьому мав місце максимум кінцевої висоти H' вільного падіння качанів.

Менш значущими в результатах дослідів виявилися положення лотка і фартуха (параметри X_1 і X_2). Проте зі зменшенням значення параметра X_2 ступінь пошкоджуваності качанів знижувався. Однак за малих значень X_2 спостерігалось порушення процесу відвантаження качанів: після падіння на лоток вони довше затримувалися на ньому, захоплювалися скребками і зтягувалися на жорсткий піддон під елеватором, а потім падали на підлогу. Зі збільшенням параметра X_2 працездатність відвантажувального пристрою відновлювалася, але підвищувалася пошкоджуваність качанів, оскільки вони перебували під впливом лотка і фартуха на малій ділянці.

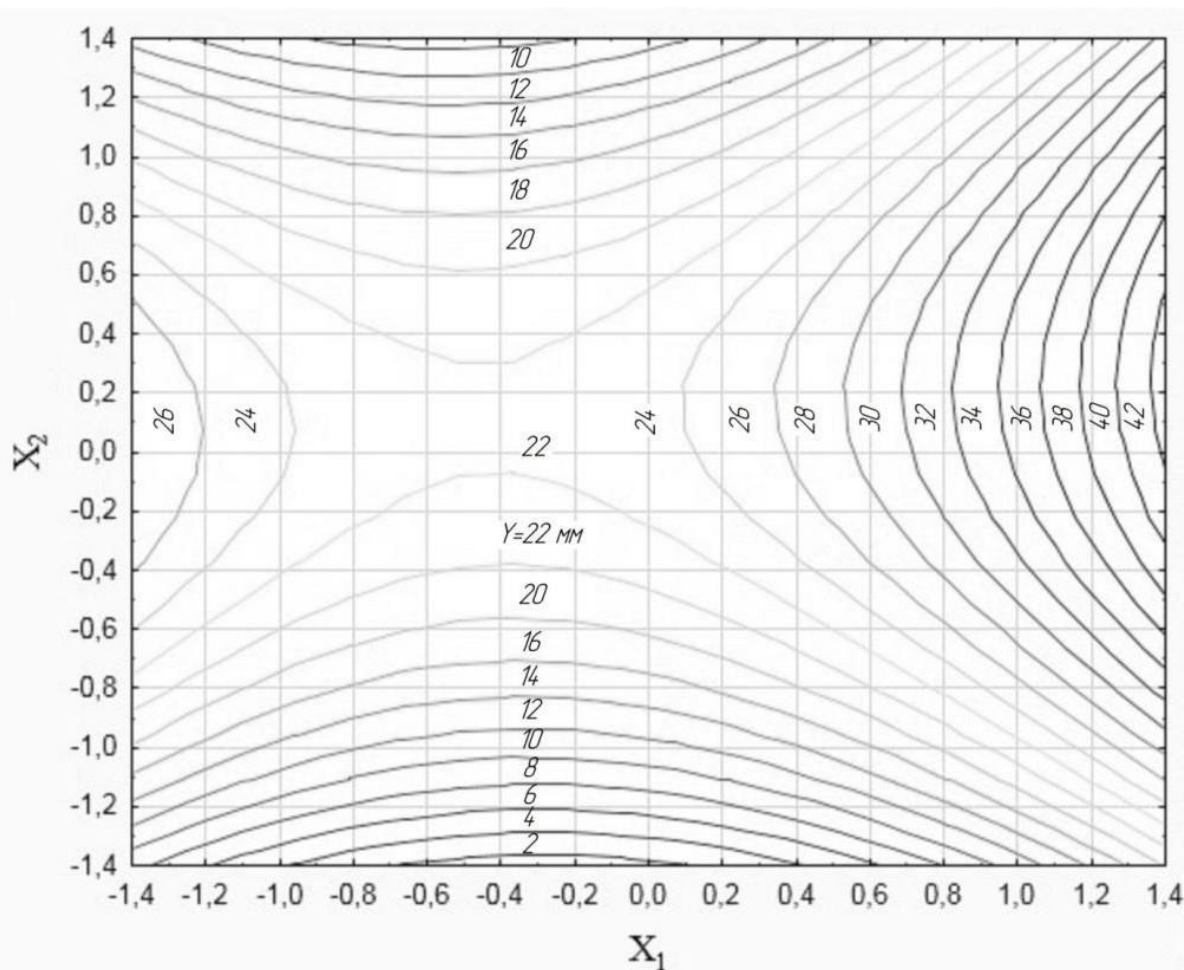


Рис. 3.20 - Залежність ступеня пошкоджуваності качанів під час відвантаження на жорстке дно відвантажувальним пристроєм від положень фартуха X_1 і лотка X_2 за висоти відвантаження $X_3 = 0$

Зі зменшенням відстані Δ_1 (параметра X_1) сила притискання фартуха до лотка збільшувалася. Це сприяло більшій втраті кінетичної енергії качанів у період взаємодії з відвантажувальним пристроєм. Зазначимо, що мінімальне значення Δ_1 обмежене тим, що кінці скребків починають торкатися фартуха під час роботи, а це не бажано, оскільки термін їхньої служби знижується через стирання.

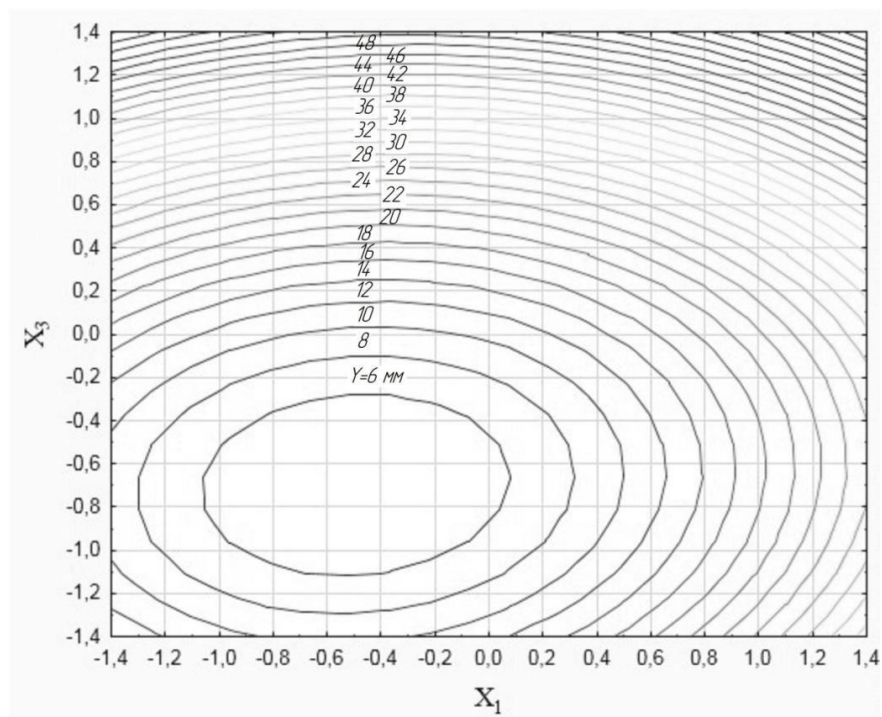


Рис. 3.21 - Залежність ступеня пошкоджуваності качанів під час відвантаження на жорстке дно відвантажувальним пристроєм від положень фартуха X_1 і висоти відвантаження X_3 за положення лотка $X_2 = 0$

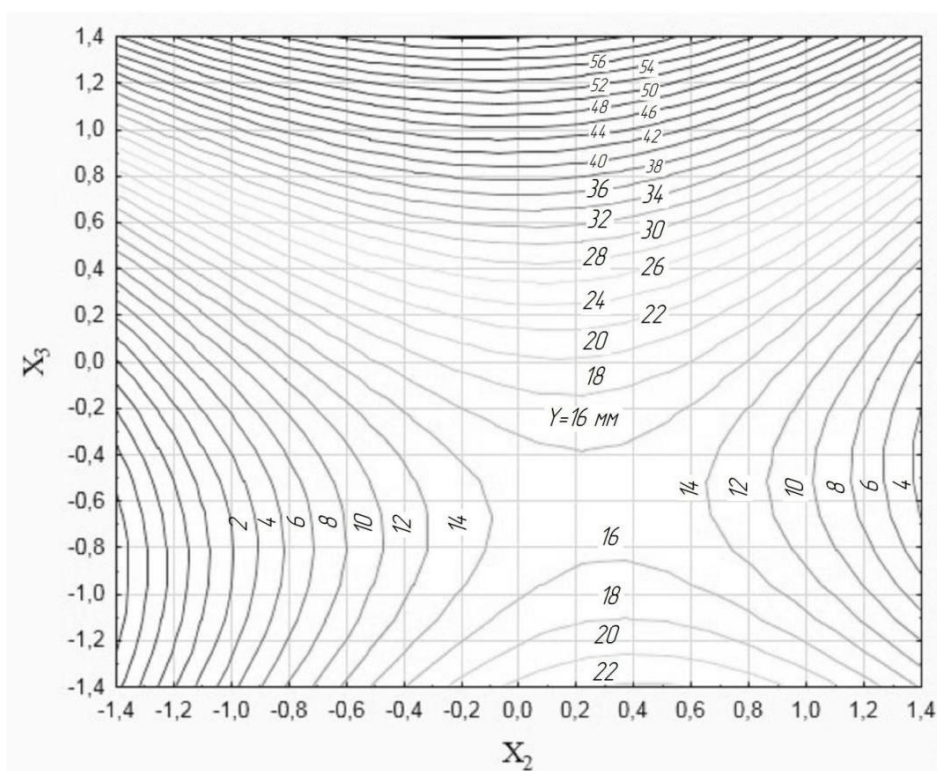


Рис. 3.22 - Залежність ступеня пошкоджуваності качанів під час відвантаження на жорстке дно відвантажувальним пристроєм від положень лотка X_2 і висоти відвантаження X_3 за положення фартуха $X_1 = 0$

З огляду на сказане і розкодуючи отримані експериментальні дані, рекомендуємо прийняти $\Delta_1 = 240 \dots 260$ мм, $\Delta_2 = 100 \dots 130$ мм, $H = 750 \dots 800$ мм. При цьому для підтримання висоти вивантаження на зазначеному рівні в міру наповнення кузова качанами необхідно періодично регулювати положення елеватора за допомогою механізму його підйому й опускання.

3.6 Результати польових досліджень

Качани і вільне листя капусти переміщалися на прутках верхньої гілки елеватора до вивантажувального кінця. При цьому частина вільного листя капусти провалювалася на жорсткий піддон. На вивантажувальному кінці елеватора качани відривалися від скребків і падали на похилу частину гнучкого прогумованого лотка (рисунок 3.23, а), удар пом'якшувався його пружністю. Далі качани скочувалися в клиноподібну щілину між лотком і фартухом (рисунок 3.23, б).

Під дією сили тяжіння качанів капусти фартух і лоток розсувалися, створюючи при цьому сили тертя по бічних поверхнях качанів. Під час проходження щілини клиноподібної форми (Рис. 3.23, в) качани втрачали кінетичну енергію на здійснення роботи деформації лотка, фартуха і на роботу сил тертя. Тому в момент звільнення від відвантажувального пристрою (Рис. 3.23, г) качани мали мінімальну швидкість. Отже, вивантаження качанів у кузов транспортного засобу відбувалося практично без пошкоджень.

Зауважимо, листя капусти, що залишилося на елеваторі, також падало на гнучкий пружний прогумований лоток, але продовжувало перебувати на місці падіння доти, доки наступний скребок не затягне його на жорсткий піддон. Далі вільне листя транспортувалося скребками по жорсткому піддону, виводилося за межі кузова транспортного засобу і скидалося на землю.

Таким чином, пропонований пристрій давав змогу не тільки уникнути ушкоджень качанів під час відвантаження в кузов транспортного засобу, а й відокремлювати наявне вільне листя від маси товарних качанів.



Рис. 3.23 - Покадрова фіксація процесу відвантаження качанів у кузов транспортного засобу: а - надходження качана на гнучкий пружний прогумований лоток; б - провалювання качана в клиноподібну щілину між лотком і фартухом; в - переміщення качана в щілині між лотком і фартухом; г - звільнення качана від відвантажувального пристрою

Так, на малюнку 3.24,а показано положення відвантажувального пристрою до взаємодії з качаном капусти, на малюнку 3.24,б - у період взаємодії його з качаном капусти, на малюнку 3.24,в - після взаємодії його з качаном капусти.

Порівнюючи кадри 3.24,а і 3.24,в переконуємося в тому, що відвантажувальний пристрій практично повернувся у вихідне положення протягом одного циклу відвантаження качанів капусти, що значною мірою підтвердило результати теоретичних досліджень, наведених у підрозділі 2.7.

Отримані в результаті агротехнічної оцінки показники наведено в таблиці 3.7.



а)



б)



в)

Рис. 3.24 - Повернення відвантажувального пристрою в початковий стан після взаємодії з качаном капусти: а - відеокадр до взаємодії; б - у період взаємодії; в - після взаємодії

Таблиця 3.7 - Агротехнічні показники дослідного капустозбирального комбайна з пристроєм для відвантаження качанів у щадному режимі (сорт капусти Подарунок)

Найменування показників	Значення показників
Робоча швидкість, м/с	0,8...1,5
Прибрано качанів, %	100
у тому числі стандартних	82
Втрати качанів, %	0
Пошкоджено качанів усього, %	7...9
у т.ч. слабого ступеня (до 3-х прилеглих листків)	7...9
середнього ступеня	0
сильного ступеня	0
Коефіцієнт повноти видалення капустяного листя	0,93
Забрудненість качанів	ні

Висновки до розділу

1. Розмірно-масова характеристика качанів капусти сортів Валентина і Подарунок незначно відрізняються від характеристик традиційних сортів. Показники їх статистично значуще підпорядковуються нормальному закону розподілу.

2. Качани капусти сорту Валентина більші округлої форми, качани сорту Подарунок середніх розмірів, мають злегка овальну форму.

3. На основі багатофакторного експерименту і подальшого аналізу дослідних даних встановлено значущість кожного з розглянутих чинників (Δ_1 , Δ_2 , і H), виявлено характер і ступінь їхнього впливу на ушкодженість качанів капусти під час відвантаження.

4. В області експерименту на пошкоджуваність качанів істотний вплив чинила висота вивантаження H , менш значущими в результатах дослідів виявилися положення лотка і фартуха (параметри Δ_1 і Δ_2). Проте зі

зменшенням значення параметра Δ_2 ступінь пошкодження качанів знизився. Однак за малих значень Δ_2 спостерігалось порушення процесу відвантаження качанів.

5. Зі зменшенням відстані Δ_1 сила притискання фартуха до лотка збільшилася, що сприяло більшій втраті кінетичної енергії качанів, а отже, забезпечило зниження пошкоджуваності качанів під час відвантаження. Однак мінімальне значення Δ_1 обмежене конструктивно.

6. Оптимальною є область зміни параметрів: $\Delta_1 = 240 \dots 260$ мм, $\Delta_2 = 100 \dots 130$ мм, $H = 750 \dots 800$ мм.

7. У результаті польових досліджень встановлено, що капустозбиральний комбайн із пристроєм для відвантаження качанів капусти виконує технологічний процес стійко. Розроблений пристрій практично дає змогу уникнути пошкодження качанів під час відвантаження.

8. Показники якості роботи капустозбирального комбайна МКК-1 з пристроєм для відвантаження качанів у щадному режимі задовольняють агротехнічні вимоги, встановлені на капустозбиральні машини. Відвантажувального пристрою в процесі механізованого збирання капусти.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ

4.1 Загальні положення

1. До виконання ручних робіт у рослинництві допускаються особи, які пройшли вступний інструктаж та первинний інструктаж на робочому місці.

2. Виконуйте тільки ту роботу, яка Вам доручена відповідним нарядом (крім екстремальних та аварійних ситуацій), не допускайте на робоче місце сторонніх осіб і не передоручайте свою роботу іншим особам.

3. До роботи приступайте у спецодязі, упевнившись, що він не має пошкоджень, елементів, що звисають, не прилягають, а також у необхідних засобах індивідуального захисту, що відповідають виду виконуваних робіт.

4. Не приступайте до роботи у стані алкогольного, наркотичного або медикаментозного сп'яніння, у хворобливому або стомленому стані.

5. Ознайомтесь із розташуванням місця для відпочинку й вживання їжі. Переконайтеся у наявності в місці відпочинку питної води, мила і медичної аптечки. Перед вживанням їжі вимийте руки з милом, витріть їх рушником або висушіть.

6. Не торкайтесь до лежачих, виглядаючих із землі або звисаючих проводів і кабелів. Не торкайтесь до лежачих предметів невідомого походження (міни, снаряди, гранати тощо).

1.8. Не ховайтесь від дощу і грози під транспортними засобами, сільськогосподарськими машинами, в копицях, скиртах, під самотніми деревами й іншими предметами, які височіють над навколишньою місцевістю. Під час грози знаходьтесь від названих предметів на віддалі не менше 20 м, а від широкозахватних дощувальних машин не менше 100 м.

1. Не приступайте до роботи, не витримавши строків виходу людей на оброблені пестицидами площі, для проведення ручних робіт по догляду за посівами.

2. Не знаходьтесь з боку рухомого агрегату на відстані менше 5 м, а також на шляху його руху. Наближайтесь до агрегату на меншу відстань тільки

після повідомлення про це водія і повної зупинки агрегату.

1.11. Переходьте через зрошувачі тільки по обладнаних для цих цілей переходах і переїздах.

1.12. Не ставайте на кришки колодязів закритої зрошувальної системи.

1. Інструмент, інвентар і пристосування використовуйте тільки за призначенням і в справному стані.

2. Відпочивайте в полі тільки у спеціально відведених місцях. Не відпочивайте під транспортними засобами і сільськогосподарськими машинами.

1.15. Дотримуйтесь виконання правил внутрішнього розпорядку підприємства.

1.16. Не використовуйте для їжі немиті овочі

1.17. Дотримуйтесь гранично допустимих норм піднімання і переміщення вантажів: гранично допустима вага вантажу для жінок при підніманні й перенесенні його при чергуванні з іншою роботою (до 2 разів на годину) - 10 кг. Піднімання й переміщення вантажів постійно протягом робочої зміни - 7 кг.

Сумарна вага вантажу, який переміщується протягом кожної години робочої зміни, не повинна перевищувати: з робочої поверхні - 350 кг, з підлоги - 175 кг.

1.18. Припиніть всі види польових робіт під час грози, зливи, урагану.

4.2 Вимоги охорони праці перед початком роботи

3.4 Збирання овочевих і баштанних культур. Проїзд до місця роботи та з роботи здійснюйте тільки на автобусах і обладнаних для перевезення людей автомобілях. Не дозволяється проїзд в кузовах тракторних причепів і на необладнаних для цих цілей автомобілях.

1. При переміщенні по плантації не наступайте на плоди овочів, грудки землі тощо.

2. Бережіть очі! Перед збиранням овочів і баштанних культур обминайте або притискуйте до землі ногами високі і грубі стебла бур'янів.

3. Виберіть рівний майданчик для складання ящиків з овочами. Очистіть його від сторонніх предметів і сміття.

4. Перед перенесенням або завантаженням ящиків на транспортні засоби надіньте рукавиці.

5. Не перевантажуйте овочеві платформи.

6. Складайте ящики на майданчику в перев'язку на зручну висоту, а на піддони - по схемі, вказаній керівником робіт. При підході до штабеля ящиків переконайтесь, що він стійкий.

7. Чітко виконуйте робочі операції при збиранні капусти. Лівою рукою відхиліть качан капусти вліво і різким, точним ударом ножа зрубайте качан. Оберегайтесь травмування ножом рук або ніг, а також працівника, що працює поруч.

Зрізаний качан капусти положіть у ящик (контейнер), розміщений на платформі або на стрічку транспортера.

1. Під час руху агрегату не відволікайтесь від роботи, не залишайте своє робоче місце.
2. Прислухайтесь до сигналів, які подає тракторист-машиніст.
3. Під час перерви (навіть короткочасної) вкладіть ніж у чохол-піхви і положіть його в безпечному місці. Не залишайте ніж без чохла.
4. При обрізанні плодів і овочів рухи ножом робіть тільки від себе.

5. Ручне навантаження проводьте тільки у транспортні засоби із заглушеним двигуном.

6. Під час навантаження затареної продукції знаходьтесь збоку вантажу, що подається. При цьому один (два) працівник(и) повинен(ні) знаходитись у кузові транспортного засобу і приймати вантаж.

7. Відкривайте й закривайте борти транспортного засобу вдвох, при цьому знаходьтесь збоку від бортів. Перед закриттям чи відкриттям бортів переконайтесь у безпечному розміщенні вантажу в кузові.

4.3 Правила техніки безпеки під час роботи на машинах

До роботи на сільськогосподарських машинах допускають механізаторів не молодше 17 років, які пройшли інструктаж і знають пристрій машин, регулювання, правила догляду за ними і техніку безпеки.

До управління складними сільськогосподарськими та спеціалізованими машинами допускають осіб, які мають права на управління цими машинами.

Працювати дозволяється на машинах технічно справних, відрегульованих, укомплектованих інструментом, приладами, огорожами і пристосуваннями. Перед початком роботи тракторист-машиніст має провести щозмінне технічне обслуговування трактора і машин, що входять в агрегат.

Технічні відходи, огляди, регулювання та очищення машин і механізмів слід проводити під час зупинок і перерв у роботі за заглушеного двигуна.

Сільськогосподарські роботи і переміщення тракторних агрегатів мають проводитися відповідно до робочих планів та затверджених маршрутами переїздів.

Тракторист-машиніст має виконувати всі заходи, що забезпечують безпеку праці: оглядати поле, виявляти природні перешкоди (глибокі ями, великі камені і т. ін.), які становлять небезпеку для машинно-тракторного агрегату. Небезпечні місця позначають віхами.

Причіпні машини. Перед початком роботи з причіпними сільськогосподарськими машинами слід перевірити надійність двобічної сигналізації між трактористом і робітниками, які обслуговують машину.

У причіпного пристрою трактора слід перевірити стан причіпної серги і міцність з'єднувального шкворня: отвір причіпної серги повинно мати форму округлості, а діаметр шкворня відповідати діаметрам отворів у причіпному пристрої машини і серзі трактора.

Слід перевірити справність ходової частини, важелів регулювання, сидінь, запобіжних скоб до них, захисних кожухів або сіток, огорожувальних обертових частини та передавальних механізмів і т. інше.

З'єднувати причіпний пристрій машини з причіпною сергою трактора можна тільки за зупиненого трактора і вимкненої передачі.

Після складання тракторного агрегату перевірити його справність і випробувати роботу вузлів і механізмів на холостому ході.

Очищати робочі органи машин від налиплої землі і рослинних залишків необхідно спеціальними чистиками наприкінці загону після зупинки агрегату і переведення його в транспортне положення.

Під час роботи з причіпними машинами не можна робити крутих поворотів, оскільки провідне колесо або гусениця трактора може зачепити причіп або машину і перекинути її.

Кріпильні або регульовальні роботи можна проводити тільки за зупиненого двигуна.

Не можна подавати трактор з причіпною машиною назад, особливо, якщо машина перебуває в робочому положенні.

Навісні та напівнавісні машини. Перед початком роботи трактора з начіпою або напівначіпною машиною слід перевірити перемикання важелів розподільника і його роботу, стан гнучких шлангів гідросистеми, щільність затягування з'єднувальних штуцерів маслопроводов, рівень масла в баку, вимикати урохомника насоса гідросистеми.

Навішувати сільськогосподарські машини на трактор треба відповідно до вимог заводських інструкцій. У момент навішування машини не можна перебувати між поздовжніми тягами механізму навішування, оскільки тяга може зіскочити з рами машини. Навішену машину піднімають у транспортне положення, а потім опускають.

Якщо гідросистема трактора працює нормально, то машина піднімається і опускається без ривків.

Щоб начіпна машина під час транспортування не розгойдувалася в поперечному напрямку, довжину обмежувальних ланцюгів регулюють таким чином, щоб кінці поздовжніх тяг мали бічне хитання не більше 20 мм в кожний бік.

Перед початком роботи з навісними знаряддями треба переконатися у відсутності пошкоджень центральної тяги механізму навішування, оскільки її поломка може призвести до закидання знаряддя на трактор.

Повертати трактор з навісним знаряддям треба плавно і стежити за тим, щоб не зачепити інші агрегати або будь-які предмети.

4.4 Вимоги охорони праці в аварійних ситуаціях

1. Будьте обережні при виявленні вибухонебезпечних предметів (гранат, снарядів, мін тощо). При їх виявленні роботу зупиніть, виведіть людей на безпечну віддаль, організуйте охорону цих предметів і повідомте керівника робіт.

2. При з'явленні на комбайні диму, запаху горілого, полум'я, незвичайного шуму або вібрації включіть звукову сигналізацію. Сповістіть тракториста (комбайнера). В подальшому дійте за вказівкою тракториста.

3. Припиніть всі види польових робіт під час грози, зливи, урагану.

4. При травмуванні працівників припиніть роботу, по можливості усуньте або нейтралізуйте джерело небезпеки і надайте долікарську допомогу, повідомте медичний заклад і керівника робіт.

5 ОБҐРУНТУВАННЯ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ

5.1 Вихідні дані для розрахунку

Розрахунок показників економічної ефективності від запровадження розробленого пристрою в капустоприбиральному комбайні проводили за матеріалами, отриманими в результаті виробничих випробувань (таблиця 5.1), а також використовуючи довідкові матеріали. При цьому капустозбиральний комбайн з пристроєм для відвантаження кочанів порівнювався з базовим капустоприбиральним комбайном МКК-1 (без відвантажувального пристрою на елеваторі).

У порівнюваних варіантах проведено розрахунки експлуатаційних витрат, питомих капітальних вкладень, очікуваної річної економічної ефективності за відомими методиками [24], використовуючи дані таблиць 5.1 та 5.2.

Таблиця 5.1 - Технічні показники для економічних розрахунків

Показники	Варіанти	
	Варіанти Базовий (джерело даних)	Новий
1	2	3
Кількість обслуговуючого персоналу: трактористів допоміжних робітників	1	1
	2	2
Маса капустозбирального комбайна, кг	850 [54]	890
Продуктивність комбайна за годину основного часу, га/год	0,2...0,3	0,2...0,3
Витрата палива, кг/га	10,3 [40]	10,3

Продовження таблиці 5.1

1	2	3
Річна завантаження, год: трактора МТЗ-82.1	1095 [20]	1095
капустозбирального комбайна	115 [20]	115
Балансова вартість, грн.: трактора МТЗ-82.1	1050000	1050000
капустозбирального комбайна	550000	600000

Таблиця 5.2 – Вихідні дані для економічних розрахунків

Найменування показників	Значення показника (Джерело даних)
Середня врожайність капусти, т/га	60
Комплексна ціна 1 т палива, грн.	35000
Годинна ставка, грн. Тракториста допоміжного робітника	114,2 [79] 71,4 [79]
Коефіцієнт, що враховує нарахування на заробітну плату	1,094 [60]
Норма відрахувань на поточний ремонт та технічне обслуговування, % трактора МТЗ-82.1 капустозбирального комбайна	10 [20] 9,1 [20]
Норма амортизаційних відрахувань, % за трактором МТЗ-82.1 з капусти збирального комбайна	10 [20] 9,9 [20]
Нормативний коефіцієнт ефективності капітальних вкладень	0,67 [58]

5.2 Визначення сумарних питомих експлуатаційних витрати

Обчислення складових експлуатаційних витрат та питомого капітального вкладення проводили за такою відомою методикою:

Витрати праці, чол. – люд./га:

$$З_T = \frac{n_M}{W_{\text{ч}}} + \frac{n_P}{W_{\text{ч}}},$$

де n_M, n_P – відповідно кількість механізаторів та обслуговуючого персоналу;
 $W_{\text{ч}}$ – продуктивність збирального агрегату за 1 годину експлуатаційного часу, га/год.

Витрати зарплатні з нарахуваннями, грн. га:

$$C_{\Gamma} = \frac{\delta_3 c_{\text{чМ}}}{W_{\text{ч}}} n_M + \frac{\delta_3 c_{\text{чП}}}{W_{\text{ч}}} n_P,$$

де δ_3 – коефіцієнт, що враховує нарахування на заробітну плату;;
 $c_{\text{чМ}}, c_{\text{чП}}$ – відповідно годинна ставка механізатора та обслуговуючого робітника, грн. /год.

Витрати зарплатню з нарахуваннями, крб. / га:

$$c_{\Gamma} = 10^{-3} \cdot C_{\Gamma} g_{\Gamma},$$

де C_{Γ} - комплексна ціна 1 т палива, грн. / т;
 g_{Γ} – питома витрата палива, кг/га.

Амортизаційні відрахування, грн. / га:

$$A = \frac{B_K a_K}{T_K W_q \cdot 100} + \frac{B_T a_T}{T_T W_q \cdot 100}$$

де B_K, B_T – відповідно балансова вартість комбайна та агрегувального трактора, грн.;

a_K, a_T – відповідно норми амортизаційних відрахувань (%) за комбайном та агрегатуючим трактором;

T_K, T_T – відповідно річне завантаження комбайна та агрегувального трактора, год.

Відрахування на поточний ремонт та технічне обслуговування, грн./га:

$$P = \frac{B_K r_K}{T_K W_q \cdot 100} + \frac{B_T r_T}{T_T W_q \cdot 100}$$

де r_K, r_T – відповідно норми відрахувань на поточний ремонт та технічне обслуговування (%) комбайна та агрегатуючого трактора.

Інші витрати, грн. /га:

$$P_p = 0,05(c_3 + c_r + A + P)$$

Експлуатаційні витрати на 1 га, грн. / га:

$$C = 0,05(c_3 + c_r + A + P + P_p)$$

Питомі капітальні вкладення, грн. / га:

$$K = \frac{B_K}{T_K W_q} + \frac{B_T}{T_T W_q}$$

Результати розрахунків експлуатаційних витрат та питомого капітального вкладення наведено у таблиці 5.3.

При використанні в капустоприбиральному комбайні розробленого пристрої вміст пошкоджених качанів у загальній масі знижується від 20 ... 25% до 7 ... 9%, тобто. на 13...16%.

Таблиця 5.3 - Експлуатаційні витрати та питомі капітальні вкладення

№ п/п	Показники	Одиниця виміру	Варіант	
			базовий	новий
1.	Витрати праці	люд.год./га	12	12
2.	Витрати на заробітну плату з нарахуваннями	грн./га	1124,6	1121,6
3.	Витрати на пально-мастильні матеріали	грн./га	360,5	360,5
4.	Амортизаційні відрахування	грн./га	5546	5718,3
5.	Відрахування на поточний ремонт та технічне обслуговування	грн./га	5393	5551
6.	Інші витрати	грн./га	621,2	637,7
7.	Прямі виробничі витрати на експлуатацію агрегатів	грн./га	13045,3	13392,1
8.	Питомі капітальні вкладення	грн./га	55652,1	57391,3

5.3 Визначення річного економічного ефекту

Згідно з ГОСТ Р 51809-2001 пошкоджені качани ставляться до продукції другого класу, тому можуть бути реалізовані на ринку за нижчою закупівельною ціною (нижче на 15%). У зв'язку з цим річний економічний ефект визначаємо з урахуванням приросту валового прибутку від реалізації продукції обсягом 13...16 % підвищеної якості (за ціною продукції першого класу) за формулою [25]:

$$E_r = [(C_6 + E_n K_6) - (C_n + E_n K_n)] A_n + (Ц_I - Ц_{II}) A_n Y \frac{\Delta\P}{100},$$

де C_6, C_n - експлуатаційні витрати на 1 га прибраної площі, грн. /га;

E_n - нормативний коефіцієнт ефективності капітальних вкладень;

K_6, K_n - питомі капітальні вкладення при базовому та новому варіантах, грн. /га;

A_n - річне завантаження капустозбиральної машини (обсяг застосування капустозбирального комбайна у розрахунковому році, $A_n = T_K W_{\text{ч}}$), га;

$Ц_I, Ц_{II}$ - закупівельна ціна білокачанної капусти першого та другого класу відповідно, грн. / т;

Y - врожайність білокачанної капусти, т/га;

$\Delta\P$ - зниження вмісту кочанів з механічними пошкодженнями у загальній масі кочанів у % внаслідок впровадження розробленого пристрою.

Після встановлення цифрових значень параметрів отримуємо:

$$E_r = [(13045,30 + 0,67 \cdot 55652,10) - (13392,10 + 0,67 \cdot 57391,30)] \cdot 28,70 + (12000 - 10200) \cdot 28,70 \cdot 60 \cdot \frac{14,5}{100} = 406045 \text{ грн.}$$

де $A_n = T_K W_{\text{ч}} = 115 \cdot 0,25 = 28,70$ га.

Таким чином, впровадження розробленого пристрою для відвантаження качанів капусти в капустозбиральному комбайні дозволяє отримувати річний економічний ефект у розрахунку на 1 комбайн понад 406 тис. грн. за рахунок зниження вмісту пошкоджених качанів у загальній масі на 13 ... 16%.

ВИСНОВКИ

1. Встановлено, що основною причиною механічних пошкоджень качанів під час відвантаження збиральною машиною в кузов транспортного засобу є їхнє падіння зі значною швидкістю, що перевищує допустиму за критерієм їхньої міцності.

2. Сформульовано концепцію зниження пошкоджуваності качанів капусти під час машинного збирання шляхом відвантаження на гнучкий пружний лоток, одночасно обмежуючи їхній рух еластичним фартухом. У результаті запропоновано конструктивно-технологічну схему пристрою для відвантаження качанів капусти в кузов транспортного засобу в щадному режимі

3. Теоретичними та експериментальними дослідженнями встановлено закономірності процесу взаємодії качанів капусти з елементами пристрою для їхнього відвантаження, виявлено характер і ступінь впливу основних параметрів пристрою на якість протікання робочого процесу.

4. У результаті оцінки впливу основних факторів на якість функціонування пристрою для відвантаження качанів капусти визначено раціональні значення його параметрів:

- місце падіння качанів на пружному лотку ($l_l = 200 \div 300$ мм);
- місце розташування задньої кромки жорсткого піддону (параметр $\Delta_2 = 100 \div 130$ мм);
- місце розташування шарніра фартуха (параметр $\Delta_1 = 240 \div 260$ мм);
- оптимальна висота вивантаження $H = 750 \dots 800$ мм;
- розміри лотка $l_l \times B_l = 1000 \times 500$ мм; фартуха $l_\phi \times B_\phi = 1300 \times 500$ мм;
- матеріал лотка - п'ятишарова гумовотканинна стрічка типу $TK=400$ товщиною $S=15$ мм.

5. Пристрій для відвантаження качанів капусти, розроблений з урахуванням раціональних параметрів, упроваджений у конструкції серійно випускаемого капустозбирального комбайна МКК-1, працездатний у виробничих умовах забезпечує вивантаження качанів у кузов транспортного засобу за пошкоджуваності качанів не вище 16 %.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Іванов М.І., Веселовська Н.Р., Руткевич В.С., Шаргородський С.А. Гідравліка: навч. посіб. Вінниця: 2019. 222 с.
2. Іванов М.І., Шаргородський С.А., Руткевич В.С. Підвищення експлуатаційної ефективності блочно-порційного вивантажувача консервованих кормів шляхом гідрофікації привода робочих органів. Промислова гідравліка і пневматика. 2013. №1(39). С. 91–96.
3. Іскович-лотоцький Р.Д., Зелінська О.В., Веселоська Н.Р., Веселовський Я.П. Оцінювання ефективності функціонування технологічного комплексу з використанням системного підходу. Техніка енергетика транспорт АПК. 2017. №2. С. 109–114.
4. Калетнік Г.М., Чаусов М.Г., Швайко В.М., Пришляк В.М. Основи інженерних методів розрахунків на міцність і жорсткість. Ч.ІІІ: Підручник. Київ.: «Хай-Тек-Прес», 2013. 528 с.
5. Руткевич В.С. Адаптивний гідравлічний привод блочно-порційного відокремлювача консервованого корму. Техніка, енергетика, транспорт АПК. 2017. №4(99) . С. 108–113.
6. Серeda Л.П., В.С. Руткевич, М.В. Зінев. Study of the mathematical model of hydraulic drives segment-finger mower unit. Техніка, енергетика, транспорт АПК. 2018 №1(100). С. 111–123.
7. Адамчук В.В., Черниш О.М., Березовий М.Г., Калетнік Г.М., Яременко В.В. Прикладна механіка. Навчальний посібник. Київ: Аграр. наука, 2016. 816 с.
8. Булгаков В.М., Бурлака В.В., Калетнік Г.М., Кравченко І.Є., Кучеренко С.І., Мазоренко Д.І., Тіщенко Л.М., Березовий М.Г. Теоретична механіка. Посібник для практичних занять. Вінниця: Нова книга, 2010. 667 с.
9. Калетнік Г.М., Чаусов М.Г. Основи інженерних методів розрахунків на міцність і жорсткість. Підручник. Київ: «Хай-Тек-Прес», 2013. 528 с.
10. Солонa О. В., Купчук І.М. Теорія механізмів і машин. Курсове проектування: навч. посіб. Вінниця: ВНАУ, 2019. 249 с.
11. Булгаков В.М., Пилипака С.Ф., Яропуд В.М., Захарова Т.Н, Калетнік Г.М. Плоскі вертикальні криві, що забезпечують постійні тиск і швидкість руху матеріальної точки. Вібpaції в техніці та технологіях. 2014. № 1 (73). С. 25-33.
12. ГСТУ 46.012-2000. Техніка сільськогосподарська. Методи економічної оцінки техніки. – [Чинний від 2001.02.01] – К. : Мінагрополітики України, 2000. – ІІІ, 18 с. – (Галузевий стандарт України).
13. Пясецький А.А., Звонарьов Є.Г. Впровадження і застосування GPS технологій в сільському господарстві. Техніка, енергетика, транспорт АПК. № 4 (99). 2017. С. 138-141.
14. Труханська О.О. Підвищення якості ремонту і технічного обслуговування

- сільськогосподарської техніки. Техніка, енергетика, транспорт АПК. 2018. 3 (102). С. 120-125.
15. Видмиш А.А., Возняк О.М., Купчук І.М., Бойко Д.Л. Дослідження медіанної фільтрації одновимірних сигналів. Вібрації в техніці та технологіях. 2020. №1. С. 88-102.
 16. Мазур В.А., Гончарук І.В., Дідур І.М., Панцирева Г.В., Телекало Н.В., Купчук І.М. Інноваційні аспекти технологій вирощування, зберігання і переробки зернобобових культур: монографія. Вінниця: НІЛАН-ЛТД, 2021. 186 с.
 17. Єдина система конструкторської документації. Експлуатаційні документи : ДСТУ ГОСТ 2.601:2006. – [Чинний від 2007-01-01]. – К. : Держспоживстандарт України, 2007. – 144 с. – (Національний стандарт України).
 18. Пивовар В. С. та ін. Методичні положення та норми продуктивності і витрати палива при збиранні сільськогосподарських культур. К.: НДІ «Укragропромпродуктивність», 2013. 264 с.
 19. Пришляк В.М., Ковальчук О.В., Яропуд В.М. Робочі процеси сільськогосподарських машин. Машини для обробітку ґрунту, посіву, догляду за рослинами. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт для студентів спеціальності 133 «Галузеве машинобудування» денної форми навчання. Вінниця: ВНАУ, 2017. 76 с.
 20. Ріпка І.І., Семен Я.В., Крупич О.М., Бандера І.М. Основи механізації сільськогосподарського виробництва: Навч. посібник. Львів: ЛНАУ, 2013. 224 с. Змн. Арк. № докум. Підпис Дата Арк. 6 ДП.208.20-4.059.00.000.ПЗ
 21. Сільськогосподарські машини. Основи теорії та розрахунку: підручник / Д. Г. Войтюк, В. М. Барановський, В. М. Булгаков та ін., за ред. Д. Г. Войтюка. К.: Вища освіта, 2005. 464 с.
 22. Ю. П. Гончаров, О. В. Будьонний, В. Г. Морозов Перетворювальна техніка. Підручник. Частина 2. Харків: Фоліо, 2000. 360 с.
 23. Алієва Л. І., Таган Л.В. Ресурсозберігаючі процеси холодного видавлювання: навчальний посібник для студентів. Краматорськ: ДДМА. 2020. 95 с. Изм. Лист № докум. Подпись Дата Лист 35 ДП.208.19-1.015.00 ПЗ
 24. В.І. Бойко, А.М. Гуржій, В.Я. Жуйков, А.А. Зорі. Схемотехніка електронних систем: У 3 кн. Кн.1. Аналогова схемотехніка та імпульсні пристрої: Підручник, К.: Вища школа, 2004. 366 с.
 25. Веселовська Н. Р., Іскович-Лотоцький Р. І., Ковальова І. М. Теорія різання та інструмент : навч. посіб. Вінниця : ВНАУ, 2019. 297 с.