

**ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ  
УНІВЕРСИТЕТ**

**Інженерно-технологічний факультет**

Кафедра тракторів і сільськогосподарських машин

**П о я с н ю в а л ь н а   з а п и с к а**

до дипломної роботи

освітнього ступеня "Магістр" на тему:

**Обґрунтування параметрів та дослідження  
конструкції самоскидного машинно-тракторного  
агрегату**

**Виконав:** студент 2 курсу, групи МГАІ-3-24  
за спеціальністю 208 "Агроінженерія"

\_\_\_\_\_ Ігнатченко Максим Іванович

**Керівник:** \_\_\_\_\_ Пугач Андрій Миколайович

**Рецензент:** \_\_\_\_\_

Дніпро 2025



1. Мета і задачі досліджень. 2. Аналіз літературних і патентних джерел. 3. Теоретичні дослідження. 4. Програма і методика досліджень 5. Результати досліджень. 6. Економічні показники. 7. Висновки

## 6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1	Пугач А.М., професор		
2	Пугач А.М., професор		
3	Пугач А.М., професор		
4	Пугач А.М., професор		
5	Пугач А.М., професор		
нормоконтроль	Теслюк Г.В., доцент		

7. Дата видачі завдання: 18.09.2024 р.

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналітичний (оглядовий)	до 18.04.2025 р.	Виконав
2	Теоретичний	до 20.06.2025 р.	Виконав
3	Експериментальний	до 12.09.2025 р.	Виконав
4	Охорона праці	до 07.11.2025 р.	Виконав
5	Економічний	до 14.11.2025 р.	Виконав
6	Демонстраційна частина	до 8.12.2025 р.	Виконав

**Студент**

\_\_\_\_\_.

( підпис )

( прізвище та ініціали )

**Керівник роботи**

\_\_\_\_\_.

( підпис )

( прізвище та ініціали )



## РЕФЕРАТ

Ігнатченко М.І. Обґрунтуванням параметрів та дослідження конструкції самоскидного машино-тракторного агрегату / Випускна кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня «магістр» за спеціальністю 208 «Агроінженерія» - ДДАЕУ, Дніпро, 2025.

**У першому розділі** представлено огляд літературних джерел за темою досліджень.

**У другому розділі** обґрунтовані параметри технологічного процесу розвантаження з використанням вдосконаленого перевантажувального пристрою

**У третьому розділі** представлено програму та методику експериментальних досліджень.

**У четвертому розділі** виконано аналіз результатів математичного моделювання

**У п'ятому розділі** приведено аналіз стану охорони праці.

**У шостому розділі** приведено розрахунок економічних показників

Машинописного тексту\_\_\_\_, малюнків\_\_\_\_, таблиць\_\_\_\_, містить джерел використаної літератури\_\_\_\_\_ і має графічної частини\_\_\_\_ листів

Ігнатченко М.І. Огляд методик визначення складу вороху при роботі повітряно-решітної зерноочисної машини / М.І. Ігнатченко. // The 3<sup>th</sup> International scientific and practical conference «Science, technology and global challenges» (11, 6-8, 2025), Tokyo, Japan. 20-23p.

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	8
1 СТАН ПИТАННЯ ТА ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	12
1.1. Роль транспортних робіт у виробництві сільськогосподарської продукції.....	12
1.2. Транспортні засоби АПК.....	14
1.3. Зниження ушкоджень сільськогосподарських вантажів при їх транспортуванні.....	25
1.4. Перспективні конструкції кузовів самоскидів транспортних засобів.....	30
Висновки.....	38
2 ТЕОРЕТИЧНИЙ АНАЛІЗ ЗАСТОСУВАННЯ КОМПЛЕКСІВ МАШИН ДЛЯ ЗДІЙСНЕННЯ ПРИБИРАЛЬНО-ТРАНСПОРТНИХ РОБІТ В КАРТОПЛЯРСТВІ.....	39
2.1. Аналіз причин обмеження продуктивності збирально-транспортних технологічних комплексів в рослинництві.....	39
2.2. Методика оцінки застосування комплексів машин для здійснення прибирально-транспортних робіт в рослинництві.....	40
2.3. Умови потокового виконання прибирання, транспортування і товарної обробки плодів.....	44
2.4. Аналіз процесу вивантаження бульб з вдосконаленого кузова самоскидного МТА.....	49
2.5. Конструктивна схема вдосконаленого кузова самоскидного МТА... ..	60
Висновки.....	64
3 ЛАБОРАТОРНО ПОЛЬОВІ ВИПРОБУВАННЯ.....	65
3.1. Програма експериментальних досліджень.....	65
3.2. Експериментальна установка і устаткування для випробувань.....	65
3.3. Результати лабораторно-польових досліджень.....	68
3.4. Оптимальні параметри вдосконаленого кузова самоскидного МТА при вивантаженні картоплі.....	71

3.5. Оцінка достовірності результатів, отриманих при моделюванні оптимізації.....	76
Висновки.....	83
4 ОСНОВНІ ВИМОГИ З ТЕХНІКИ БЕЗПЕКИ ТА ОХОРОНИ ПРАЦІ ПРИ РОБОТІ САМОСКИДНОГО ТРАКТОРНОГО ПРИЧЕПУ.....	84
Висновки.....	87
5 ЕФЕКТИВНІСТЬ ЕКОНОМІЧНА.....	89
Висновки.....	93
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	94
БІБЛІОГРАФІЯ.....	96
ДОДАТКИ.....	102

## ВСТУП

Раціональна організація перевезення вантажів є одним із ключових факторів ефективного функціонування сільськогосподарського виробництва, промисловості, будівництва та інших галузей народного господарства. У системі транспортного забезпечення важливе місце посідають причепа, які забезпечують гнучкість, мобільність і економічну доцільність перевезення різноманітних вантажів. Використання причепів дозволяє підвищити продуктивність автотранспортних засобів, знизити витрати на паливо та обслуговування техніки, а також оптимізувати логістичні процеси на підприємствах різних форм власності.

Причепа як допоміжний транспортний засіб використовуються у складі автопоїздів і тракторних агрегатів, дозволяючи значно збільшити вантажопідйомність транспорту без істотного збільшення експлуатаційних витрат. Такий тип перевезень набув широкого розповсюдження як у сільському господарстві – для транспортування зерна, коренеплодів, сіна, мінеральних добрив, так і в будівельній, комунальній та лісогосподарській сферах. Важливою перевагою є можливість застосування причепів різної конструкції залежно від типу вантажу, дорожніх умов і специфіки транспортної операції.

Розвиток техніки перевезення вантажів причепами тісно пов'язаний із вдосконаленням конструкцій самих причепів, підвищенням їх надійності, безпеки руху та адаптації до сучасних вимог енергоефективності. Сучасні конструкції оснащуються гідравлічними системами розвантаження, ресорними або пневматичними підвісками, системами гальмування, що узгоджуються з тяговим транспортним засобом. Залежно від функціонального призначення виділяють універсальні, спеціальні,

самоскидні, платформні, контейнерні, бортові, цистернові та інші типи причепів.

У процесі перевезення вантажів причепами особливого значення набувають питання безпеки руху, стабільності автопоїзда, розподілу маси вантажу та вибору оптимальної швидкості руху. Недотримання технічних вимог під час експлуатації причепів може призвести до перевантаження осей, втрати керованості або пошкодження вантажу. Саме тому необхідно враховувати не лише конструктивні особливості транспортного засобу, але й дорожні умови, кліматичні фактори та вимоги нормативних документів, які регламентують правила перевезення вантажів на території України та за її межами.

Вагоме місце у підвищенні ефективності перевезень займає правильна організація транспортного процесу. До неї належать планування маршрутів, вибір оптимальної кількості транспортних засобів і причепів, визначення місць завантаження та розвантаження, а також контроль за технічним станом агрегатів. Комплексний підхід до організації перевезень сприяє зменшенню простоїв техніки, економії ресурсів і забезпеченню ритмічності роботи всього транспортного господарства підприємства.

Крім технічних і організаційних аспектів, важливе значення мають екологічні та економічні чинники. Використання причепів дозволяє скоротити кількість рейсів основних транспортних засобів, що призводить до зменшення викидів шкідливих речовин у навколишнє середовище, зниження навантаження на дорожню інфраструктуру та зменшення собівартості перевезень. Особливо актуальними стають питання розроблення нових конструкцій причепів із полегшених матеріалів, застосування енергоощадних технологій і автоматизації процесів навантаження та розвантаження.

Отже, перевезення вантажів причепами є важливою складовою сучасної транспортної системи, яка забезпечує економічну ефективність, екологічну безпеку та технологічну гнучкість перевізного процесу. Подальший розвиток цього напрямку пов'язаний із удосконаленням технічних

характеристик причепів, удосконаленням нормативно-правової бази та впровадженням сучасних систем управління транспортними потоками. Дослідження в цій галузі спрямовані на підвищення ефективності використання причепів, зниження експлуатаційних витрат і забезпечення безпеки перевезень різних типів вантажів.

Собівартість вироблюваної в АПК продукції значною мірою залежить від її ушкоджень робочими органами сільськогосподарських машин і агрегатів. Дослідженнями встановлено, що ціна цілих плодів сільськогосподарських культур на 30-50% більша, ніж пошкоджених. В цей же час втрати при зберіганні пошкоджених сільськогосподарських плодів з досліджень досягають 50-60% від усієї кількості.

Виходячи із сказаного, найважливішим завданням для сільського господарства України є зменшення ушкоджень його продукції при її переміщенні з поля до споживача

**Мета досліджень** - підвищення ефективності внутрішньогосподарських перевезень картоплі зниженням його ушкоджень у вдосконаленому кузові самоскидному МТА.

**Завдання дослідження:**

- проаналізувати існуючі способи і конструкції кузовів самоскидних і процес розвантаження МТА при внутрішньогосподарських перевезеннях;
- теоретично обґрунтувати параметри технологічного процесу розвантаження картоплі з вдосконаленого кузова самоскидного МТА;
- експериментально уточнити параметри технологічного процесу розвантаження з використанням вдосконаленої конструкції кузова самоскидного МТА;
- визначити економічний ефект від застосування МТА з вдосконаленою конструкцією кузова самоскидного при внутрішньогосподарських перевезеннях картоплі в АПК.

**Об'єкт дослідження** - МТА з вдосконаленим кузовом самоскидним.

**Предмет дослідження** - встановлення параметрів розвантажувального процесу внутрішньогосподарських перевезень картоплі.

**Методологія і методи дослідження.** Виконання теоретичних розрахунків і обробка статистичної інформації була виконана за допомогою MathCAD15. Експериментальні дослідження технологічного процесу розвантаження МТА з вдосконаленою конструкцією кузова самоскидного проводилися як по загальноприйнятих, так і приватним методикам. Вони виконані з використанням теорії планування експерименту.

**Наукова новизна:** теоретично обґрунтовані і експериментально уточнені параметри технологічного процесу розвантаження картоплі з вдосконаленого кузова самоскидного МТА. Науково-обґрунтоване технічне рішення МТА з вдосконаленим кузовом самоскидним, зниження ушкоджень картоплі, що забезпечує, на внутрішньогосподарських перевезеннях в процесі розвантаження.

## 1 СТАН ПИТАННЯ ТА ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ

### 1.1. Роль транспортних робіт у виробництві сільськогосподарської продукції

Для обробітку сільськогосподарських культур сільськогосподарської продукції потрібні великі енергетичні і трудові витрати.

Транспорт при цьому має первинне значення. Тільки на перевезення сільськогосподарської продукції доводиться від 25% до 40% усіх витрат, що доводяться на її переміщення до споживача з поля. Транспортний процес в сільському господарстві в основному виконується автомобілями і тракторами з причепами.

Близько 50-60% усього об'єму внутрішньогосподарських перевезень в АПК України при переміщенні сільськогосподарських вантажів виконується тракторними транспортними агрегатами.

Згідно з даними вантажообіг залежно від виду транспорту має наступний вигляд (таблиця. 1).

Таблиця 1.1 - Розподіл об'ємів перевезення вантажів по видах транспорту (млн. тонн)

Вид транспорту	Січень - грудень	Січень - грудень
залізничний	1279,4	1244,6
автомобільний	5735,3	5404,7
морський	18,507	24,597
внутрішній водний	108,2	108,9
повітряний	1,147	1,174

\* на 2022 рік

Основною єдиною частиною технологічних операцій по обробітку сільськогосподарських культур являється роботи, пов'язані з

транспортуванням різних предметів, речовин, і рідин без яких здійснення будь-якої операції неможливе.

Серед операцій обробітку картоплі за загальними витратами перше місце займає прибирання (60-70%). А серед прибиральник технологічних операцій одне з провідних місць займає переміщення свіжоприбраних бульб картоплі, що складає приблизно 10-12 відсотків від загального об'єму робіт.

Для вищезгаданої мети нині застосовуються універсальні вантажні МС (таблиця. 1.2), не пристосовані для цього виду робіт. Тому 46% усіх вантажів перевозиться МТА.

Раціональним варіантом є застосування МТА при вантажоперевезенні на відстані 5...10 км.

Таблиця 1.2 - Транспортні засоби, вживані при машинному прибиранні картоплі

Марка і модель	Вантажопідйомність, т
Самоскид ГАЗ - 3309	4,5
Самоскид ГАЗ - СА3 - 4509	4,25
Самоскид ЗИЛ - ММЗ - 4563	5,7
Самоскид ЗИЛ - 433360	6
Тракторний причіп Самоскидний ЗПТС - 6,5	6,5
Тракторний причіп Самоскидний 2ПТС - 4М	4

Тракторні причепа найефективніше можуть бути використані на пересіченій місцевості сільськогосподарських угідь. В цьому випадку поверхня шляху дотримання машини має хвилеподібний характер. При русі навантаженого транспортного засобу (особливо причепа або напівпричепа) спостерігаються додаткові коливання:

виляння кузова, розгойдування у вертикальній площині і іншій. Дана ситуація посилюється при швидкостях руху МС більше 15 км/год, що призводить до додаткового ушкодження свіжоприбраної продукції.

Процес коливання МТА постійно супроводить виконання перевізного процесу, міняється лише його інтенсивність. Тому функціонування

трансмисії, ходовій частині погіршується, як і динамічні і експлуатаційні показники вживаних агрегатів.

## **1.2 Транспортні засоби АПК**

У зв'язку з постійним зростанням останнім часом об'ємів вироблюваної продукції в сільському господарстві зростає і вантажообіг. Тому актуальним є питання: як і чим, возити сільськогосподарські вантажі, щоб не понизити ефективність виробництва в цілому.

Самоскиди різної вантажопідйомності, іноді будівельного призначення застосовуються на перевезеннях в АПК. В цьому випадку потрібно дороги, що мають тверде покриття практично до усіх полів. Тому зважаючи на зайві проїзди прибиральних агрегатів до автомобіля на край поля зростають втрати урожаю, а разом з цим витрати засобів. А проїзд багатотонної машини по ріллі спричиняє за собою значне ущільнення ґрунту, що тягне значне підвищення витрат ГСМ при подальших операцій по основній і передпосівній обробці значних ділянок землі. І це, поза сумнівом, позначиться на урожаї в майбутньому. Встановлено, що зменшення урожаю зернових культур на 8-13% пояснюється, у тому числі ущільненнями ґрунту. Поставлені спеціально дослідження в різних країнах показали, що урожай бульб картоплі зменшується на 10-50% із-за ущільнення суглинку пилового - мулуватого рушіями транспорту, якщо вони впливають на нього тиском  $20 \text{ Н/см}^2$ . Підвищення ефективності перевізного процесу можливе, якщо МС під'їжджає впритул до прибиального агрегату. Тому ТЗ повинен мати місткість кузова кратну об'єму бункера збиральної машини, відповідну прохідність і трохи ущільнювати ґрунт.

На цьому етапі технічного розвитку, сучасні транспортні засоби не повною мірою задовольняють вимоги, що пред'являються до них. Найбільший пріоритет в цьому питанні віддають спеціалізованим транспортним засобам.

Підприємства АПК України не мають достатньої кількості МС що відповідають усім умовам сільськогосподарського виробництва [6, 8]. А кількість автомобільних самоскидів вантажопідйомністю від 2 до 8 тон в 2 рази менше необхідної кількості [2, 7]. Цей дефіцит заповнюється в основному транспортними засобами, що не відповідають агротехнічним вимогам.

Організація вивезення свіжоприбраної картоплі здійснюється з урахуванням наявної в господарстві транспортної техніки.

Так, приміром, особливо часто в картоплярських господарствах використовуються автосамоскиди або МТА з причепами / напівпричепами [8]. З метою підвищення продуктивності процесу перевезення бульб картоплі, останнім часом активно став використовуватися транспорт підвищеної вантажопідйомності [2, 5].

Новим в конструкції цих машин є те, що кабіна висунена помітно вперед, а двигун зміщений в колісну базу за кабіну. При цьому коробка зміни передач об'єднана з мотором. При цьому отримали рішення наступні цілі. По-перше, розподіл навантаження між передньою і задньою осями вийшло приблизно п'ятдесят на п'ятдесят. А в-других, з'явилася можливість відмови від відкидної кабіни, що дозволило усунути її мимовільне відкривання. Крім того знизилася трудомісткість операцій ТЕ по двигуну [9].

На шасі вантажного автомобіля УРАЛ, що серійно випускається, можуть застосовуватися різні змінні кузови (рис. 1.2). Перевага такої конструкції обумовлена тим, що вона може використовуватися без додаткового устаткування на різних сільськогосподарських роботах, які носять сезонний характер.

Автомобіль-самоскид, с.-г. призначення, 4х4, вантажопідйомність 6т	Автомобіль для перевезення силосу та сінажу з гідролікованим заднім бортом	Автомобіль - завантажувач зерна	Автомобіль - пересувна майстерня
			
Автомобіль з обладнанням для внесення рідких добрив	Автомобіль для внесення твердих органічних добрив	Автомобіль для внесення мінеральних добрив	Автомобіль - обприскувач
			
Автомобіль-цистерна для води та молока	Автомобіль для перевезення коренеплодів	Автомобіль із цистерною для ПММ	Автомобіль із буровою установкою
			

Рисунок 1.1 - Модельний ряд змінних кузовів для шасі

Крім того, широкопрофільні шини з регулюванням тиску водієм чинять дію на поверхню поля із зусиллям близько 0,145 МПа, що порівняно з тиском коліс тракторів або самохідних збиральних машин. При цьому забезпечується відповідність встановленим межам за цим показником агротехнічних вимог. У теж час такі шини сприяють підвищенню маневреності і прохідності, отриманню порівняно низької витрати палива (19л/100км) і конкурентоздатної вартості володіння.

При прибиранні картоплі до транспортних засобів пред'являються наступні вимоги:

1. Ушкодження при перевезенні картоплі повинні відповідати агротехнічним вимогам.
2. Підвищення продуктивності.
3. Зменшення негативного впливу на ґрунт.
4. Зменшення простоїв при вантаженні і розвантаженні.

Для зменшення кількості бульб що отримали механічні ушкодження при завантаженні кузова транспортного засобу застосовуються різні гасителі

енергії падіння бульб. Так на рис. 1.2. представлений тракторний причіп, обладнаний подібним технічним рішенням.



Рисунок 1.2 - Облаштування для гасіння енергії падіння бульб в кузов напівпричепа самоскиду

Якщо проводити класифікацію, то можна виділити 2 основні види гасителів : стрічкового типу (рис. 1.3) і полотняного (рис. 1.4).



Рисунок 1.3 - Стрічкові пристрої для гасіння енергії падіння бульб в кузов транспортного засобу



Рисунок 1.4 - Полотняний гаситель енергії бульб, які падають

Так на рис. 1.5 представлений процес перевантаження свіжоприбраної картоплі в кузов транспортного засобу. При цьому в конструкції останнього застосовується гасителі енергії падіння бульб стрічкового типу.



Рисунок 1.5 - Процес завантаження кузова МС з облаштуванням для гасіння енергії падіння бульб

Вироблювані в Україні картоплевози можуть також возити буряк, моркву, лук і деякі зернові культури (рис. 1.6).



Рисунок 1.6 - Саморозвантажний кузов і причіп Балт «Гранд - Польовик»

В процесі розвантаження кузова самоскидного транспортного засобу необхідно враховувати перепад висот (між днищем кузова МС і основою, на яку робиться розвантаження) [13]. Інакше бульби, падаючи на непружну поверхню, отримуватимуть механічні ушкодження (забив м'якуші і сдир шкірки) [11, 13].

Наприклад, деякі кузови транспортних засобів оснащені донними транспортерами, що дозволяють робити бульби максимально дбайливо. На рис. 1.7 представлений процес розвантаження автомобіля БАЛТ- Гранд-польовик.



Рисунок 1.7 - Процес розвантаження кузова Балт-гранд-польовик

До перевагою цієї конструкції кузова можна віднести наступне:

- виключається перепад висот при вивантаженні бульб;
- картопляна купа вивантажується без нахилу вантажної платформи - не потрібно високі стелі в приміщенні картоплесховища;
- купа подається порційно і залежить від продуктивності донного транспортера.

При цьому повне спустошення кузова транспортного засобу варіюється в інтервалі від 5 до 6 хвилин.

З'явилася нова модель напівпричепа-картофелевоза (Рис. 1.8). Ця модель отримала заводське позначення -Тонар-95235 [16]. Об'єм кузова складає 47 кубічних метрів, він обладнаний донним транспортером для дбайливого вивантаження легко пошкоджуваного сільськогосподарського вантажу щільністю до 800 кг/м<sup>3</sup>.



Рисунок 1.8 - Напівпричіп Тонар - 95235 з донним транспортером для розвантаження бульб [16]

Розвантаження з використанням донного транспортера є її перевагою, що дозволяє порівняно швидко і без іншого додаткового устаткування випорожнити кузов. Привід може здійснюватися від зовнішньої електромережі і від гідравлічної системи автомобіля.

При цьому конструкція кузова транспортного засобу має на увазі установку спеціального захисного козирка, що запобігає ушкодженню донного транспортера при завантаженні (рис. 1.9).



Рисунок 1.9 - Облаштування кузова напівпричепа «Тонар - 95235»

При попаданні бульб в процесі завантаження транспортного засобу на захисний козирок, вони можуть отримувати травми [6, 12]. З метою недопущення цього явища може бути застосоване наступне рішення (рис. 1.10).



Рисунок 1.10 - Покриття демпфуючим матеріалом захисного козирка донного транспортера

Як і у інших виробників транспортних засобів, установка ударопоглинаючих ременів є опціональною функцією.

Окрім доповнень і всіляких опцій (гасителі падіння енергії бульб або вивантажні облаштування кузовів транспортних засобів) до універсальних транспортних засобів, що серійно випускаються, ведуться розробки і вузькоспеціалізованих аналогів. Так, наприклад, вченими Вима було розроблено технічне рішення для підвищення ефективності вивезення свіжоприбраної картоплі з поля при одночасному зниженні ушкодження бульб. Комплекс технічних засобів включає (рис. 1.11):

- мобільну автосистему для транспортування змінних кузовів (вантажопідйомністю 16 або 20 тон);
- змінні кузова підвищеної місткості або тракторні напівпричепи вантажопідйомністю 16 тон.



Мобільна автосистема  
вантажопідйомністю 20 т



Мобільна автосистема  
вантажопідйомністю 16 т



Тракторний напівпричіп  
вантажопідйомністю 20 т

Рисунок 1.11 - система ВИМЛИФТ



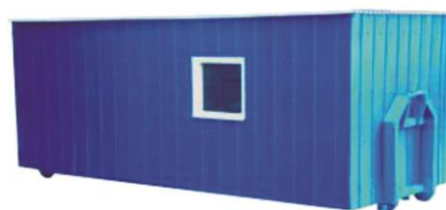
Універсальний кузов



Цистерна



Кузов із гідробортом



Житловий модуль



Низькобортовий кузов



Платформа

Рисунок 1.12 - Змінні кузова системи ВИМЛИФТ

На вибір замовникові надавалися цілий ряд різних змінних кузовів (Рис. 1.12), призначених для виконання більшості завдань в сільському господарстві (пов'язаних з перевезенням вантажу різного виду).

Представлений вище огляд наочно показує високий технічний рівень не лише універсальних, але і спеціалізованих транспортних засобів [18], вживаних в сільському господарстві.

Схема роботи системи ВИМЛИФТ представлена на рис. 1.13.

Дослідженням питання технічного забезпечення сільськогосподарського виробництва (зокрема обробітки картоплі) займалися свого часу такі учені як Н. Н. Колчин, К. А. Пшеченков, С. З. Трубочев і інших учених. Був розроблений і запатентований цілий ряд перспективних технічних рішень в області прибирання і транспортування картоплі.

У різних аграрних ВНЗ країни у рамках виконання НІОКР розробляються і проходять випробування перспективні зразки техніки [12, 16], здатні значно підвищити рівень виконуваних робіт. У конструкціях транспортних засобів, в першу чергу самоскидних і саморозвантажних знаходять застосування сучасні матеріали і технічні рішення, розробляються опціонально встановлювані облаштування пристосування і інше. детальніше розглянемо їх нижче в цій главі дослідження.

Є аналогічні технічні рішення, розроблені і запатентовані співробітниками наукових і науково-дослідних установ.

Так існує конструкція транспортного засобу зі змінними кузовами [7] (рис. 1.14). Відмітними особливостями якого є:

- МС має пристрій для виштовхування вантажу з кузова з приводом від тягово-зчіпного пристрою;
- дно кузова МС рухливе і дозволяє вивантажувати продукцію, що перевозиться, без перекидання



Рисунок 1.13 - Принцип функціонування системи ВІМЛІФТ

Запропонована конструкція МС дозволяє звести до мінімуму кількість перевалок вантажу, а також забезпечити дбайливе вивантаження продукції з кузова [9].

Розглянуті вище спеціалізовані МС, вживані для здійснення внутрішньогосподарських перевезень сільськогосподарської продукції дозволяють добитися зниження ушкодження [3, 5, 8] і втрат зібраного урожаю, наприклад, картоплі.

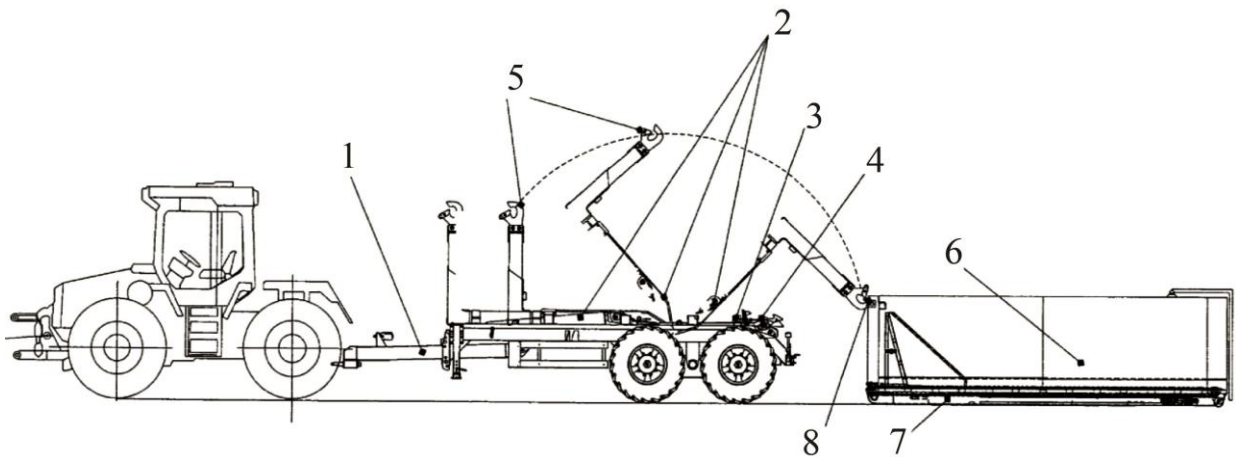


Рисунок 1.14 - МС зі змінним кузовом для перевезення картоплі

- 1 - шасі; 2 - навантажувально-розвантажувальний механізм; 3 - замок;  
 4 - опорний ролик; 5 - тягово-зчіпний пристрій; 6 - змінний кузов;  
 7 - лонжерон; 8 - зчіпна скоба.

При цьому вузька їх спеціалізація не дозволяє знайти застосування подібним транспортним засобам при виконанні інших сільськогосподарських робіт.

### **1.3. Зниження ушкоджень сільськогосподарських вантажів при їх транспортуванні**

Процес вивезення свіжозібраного урожаю з поля може бути ускладнений складними дорожніми умовами. При внутрішньогосподарських перевезеннях кузов навантаженого МС здійснює постійні коливальні рухи. Це може привести до ушкодження вантажу, що перевозиться, особливо на великих відстанях. Зараз в країні багато доріг з поганим покриттям. І по них вимушені їздити транспортні засоби з сільськогосподарською продукцією. При збільшенні швидкості руху транспортного засобу починає знижуватися його плавність. Це здатне привести до ушкодження частини або усіх сільськогосподарських культур, що транспортуються [12].

Серед можливих негативних чинників при перевезенні сільськогосподарської продукції можна назвати вібрацію. До неї призводить зміна швидкості переміщення, рух по нерівній дорозі зміна напрямку переміщення машини [1, 9]. До ушкодження вантажу, що транспортується, можуть привести навіть одиничні недоліки дорожнього покриття, не говорячи про тих, що часто виникають. Негативних чинників належить, у тому числі різке гальмування унаслідок дорожніх ям, що з'явилися на шляху, на окремих ділянках, негативно позначається і швидкий розгін і тому подібне

Негативно позначається на стані сільськогосподарського вантажу в числі іншого рух транспорту по недостатньо рівній дорозі. Погано навіть якщо на дорозі є присутніми одиничні нерівності [9]. Це негативно позначається як на вантажі, що перевозиться, так і на стані самого транспортного засобу.

Досить часто на практиці відбувається відведення причепа машини убік під час руху. Важливо, щоб ширина смуги руху транспортного засобу не перевищувала 3% від зовнішньої ширини кузова причепа або трактора. На практиці із-за коливань, що відбуваються, під час руху міняються різні параметри транспортного засобу. Для забезпечення нормального руху автомобіля важливо, щоб дорога була досить рівною, тобто без ям і нерівностей. У такому разі можна без зусиль довести сільськогосподарську продукцію в пункт призначення. Але на практиці так відбувається не так вже часто. На якість перевезення серед іншого впливає вологість і непостійна твердість дорожнього покриття.

З причини того, що сільськогосподарська продукція, що перевозиться, має невелику об'ємну масу, відбувається зростання віброприскорень коливань вантажу в кузові МС, збільшенню висоти і кількості його подбросов, що переміщуваних і призводять згодом до додаткових механічних ушкоджень [3, 4, 7, 15].

Три що найчастіше зустрічаються нині в картоплярських господарствах України способу прибирання картоплі :

1. Прибирання картоплі комбайном елеваторного типу і завантаження бульб в те, що поруч йде МС.
2. Прибирання картоплі здійснюється комбайном бункерного типу. Після його заповнення, зібраний урожай вивантажується в самоскид або саморозвантажне МС.
3. Прибирання бульб картоплекопачем або копає-валкоукладацьником, з подальшим ручним їх підбором.

Основними критеріями, що відповідають за вибір технології проведення прибиральних робіт, являються в першу чергу фінансові і трудові можливості сільгоспвиробника. Бувають такі ґрунтово-кліматичні умови, коли комбайни не можуть при своєму функціонуванні дотримуватися агротехнічних вимог до прибирання картоплі. В принципі це неординарний випадок, коли в технології машинного збирання врожаю немає досить ефективної альтернативи картоплекопачу з подальшим збором бульб вручну.

Зниження механічних ушкоджень урожаю вживаними технічними засобами при прибиранні можливо (рис 1.15) [5] при попередньому видаленні бадилля, і зокрема застосовуючи хімічний спосіб.

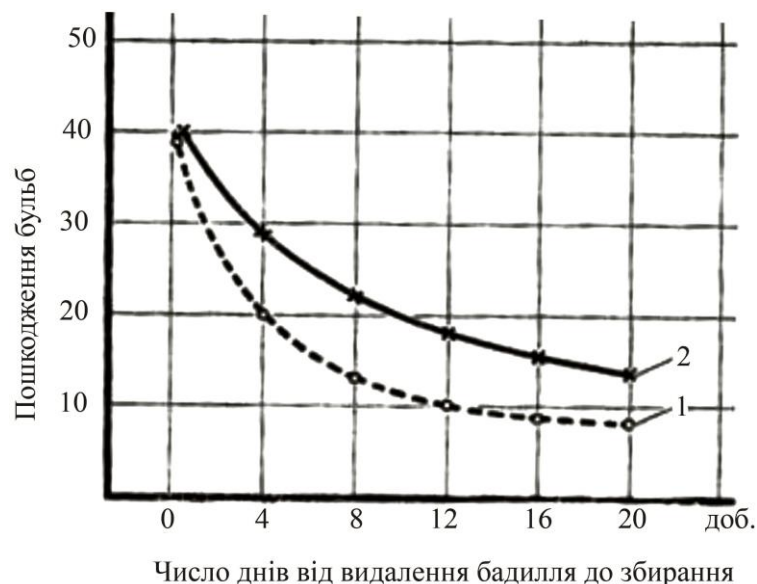


Рисунок 1.15 - Залежність доли бульб з механічними ушкодженнями від числа днів після видалення бадилля: 1 - хімічне видалення бадилля; 2 - механічне видалення бадилля.

Загальновідомо, що збільшення механічних ушкоджень бульб має зворотний зв'язок з температурою ґрунту (рис. 1.16) [6].

На ушкодження, що наносяться урожаю картоплі впливають не лише застосовні машини і температура ґрунту, але і питання, пов'язані з використовуваними технологічними операціями : післяжнивне доопрацювання, завантаження в сховище і параметри самого зберігання. Але в той же час дослідження потемніння м'якуша від ударів, проведені Н. І. Верещагиним [14, 15] показали, що значний вплив на посилення цього процесу роблять вологість і температура повітря, оскільки він прогрівається набагато швидше за ґрунт і саму картоплю (рис. 1.17).

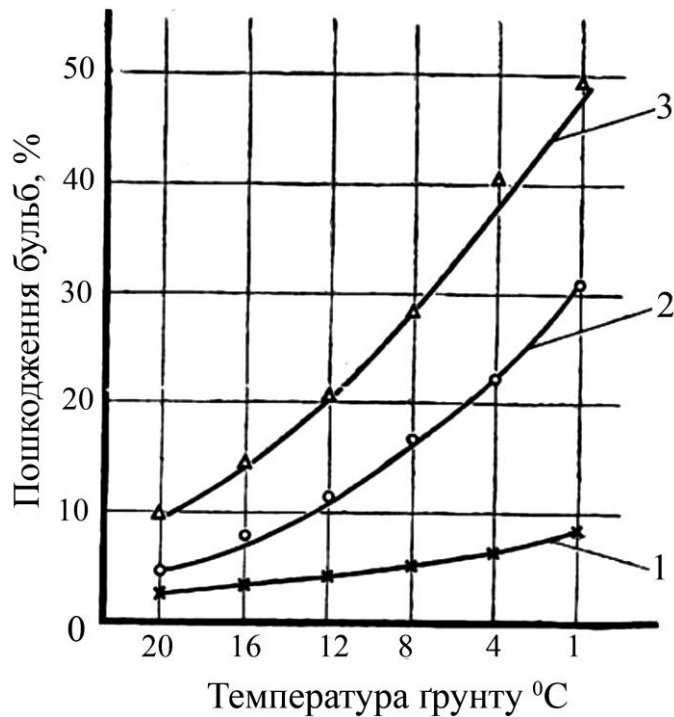


Рисунок 1.16 - Зв'язок кількості бульб з механічними ушкодженнями від температури ґрунту

1 - сдир шкірки; 2 - внутрішні ушкодження бульб; 3 - загальні величини ушкоджень.

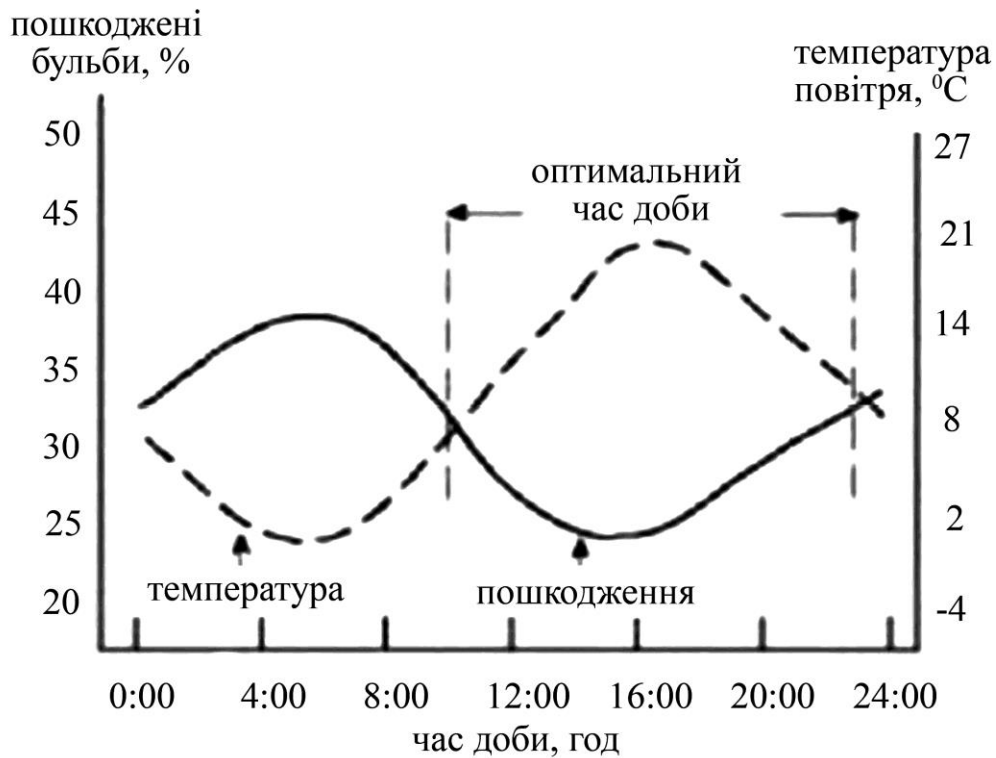


Рисунок 1.17 - Залежність долі бульб з механічними ушкодженнями від температури навколишнього повітря

Число і тип вживаних картоплезбиральних комбайнів значною мірою визначають організацію збору урожаю [12].

Змінне вироблення при одному прибиральному агрегаті в основному залежить від забезпеченості МС. Їх кількість в основному визначається завдовжки шляхи з вантажем, часом розвантаження місткості бункера комбайна і врожайністю картоплі. При цьому організація прибирально-транспортного комплексу повинна забезпечувати безперебійну роботу техніки [12, 17, 33].

Встановлено, що для досягнення найвищої продуктивності одного комбайна слід мати два автомобілі (чи більше, залежно від місця складування свіжоприбраної картоплі), які перевозили б картоплю з поля до місць післяжнивної обробки і зберігання. Груповий же спосіб можливий при спільному функціонуванні двох або більше за комбайни. [6, 7, 11].

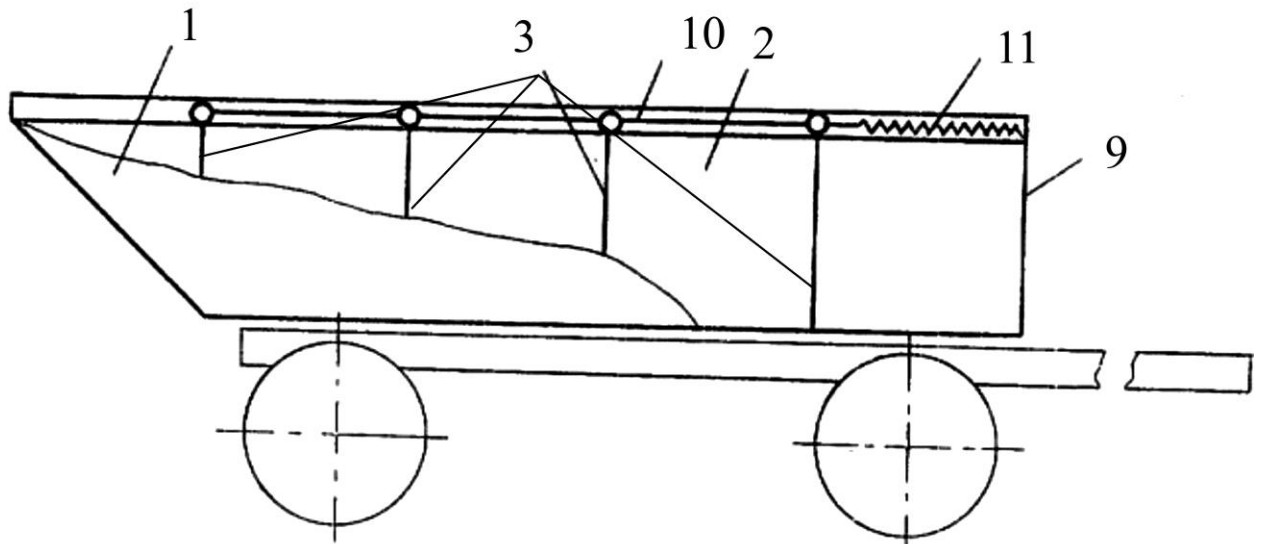
При цьому існують наступні варіанти роботи техніки : на самостійних загородах, розташованих один біля одного або їх рух услід один за одним.

Виходячи з цього, витікає, що є можливість один і ряду існуючих способів прибирання, який забезпечить мінімальну кількість продукції з механічними ушкодженнями, підбравши набір машин, що відповідають агротехнічним вимогам в конкретних умовах виробництва, що складаються [4].

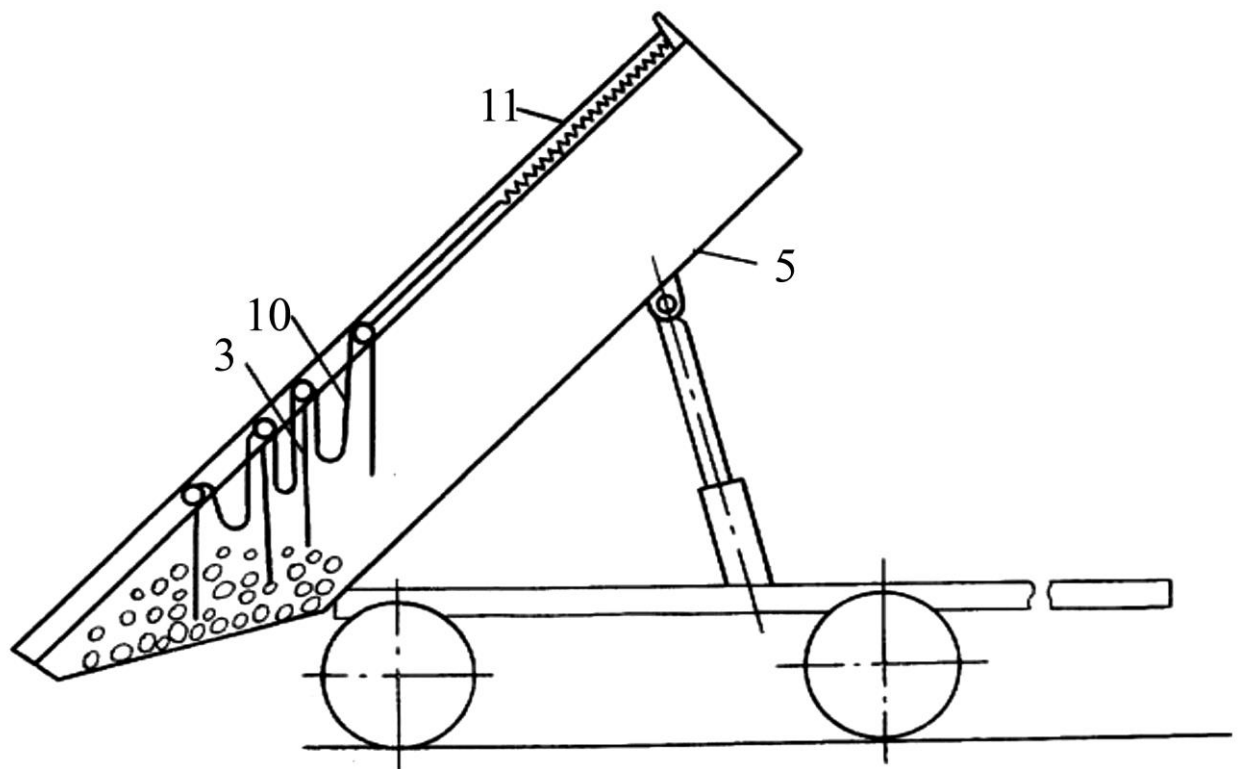
#### 1.4 Перспективні конструкції кузовів самоскидів транспортних засобів

Нині в картоплярських господарствах, як України, так і у світі можна зустрінь різні конструкції транспортних засобів самоскіних або саморозвантажних. Причому деякі з них мають вузьку спеціалізацію - перевезення легкопошкоджуальної продукції [4].

В ході проведеного патентного пошуку була виявлена подібна конструктивна схема кузова самоскидного МС (рис. 1.18) [1].



a)



б)

Рисунок 1.18 - Схема кузова самоскидного транспортного засобу (вигляд збоку)

а - в транспортному положенні; б - при розвантаженні.

1 - кузов; 2 - подовжня перегородка; 3 - поперечні перегородки;

5 - дно кузова МС; 9 - передній борт; 10 - трос; 11 - пружина.

Дана конструкція включає жорстко встановлені передній 2, задній 3, а так само бічні борти [1].

Внутрішній простір кузова зонировано подовжньою нерухомою перегородкою 2 і поперечними рухливими перегородками 3 [1].

Подовжня перегородка і поперечні перегородки утворюють секції, що перешкоджають неконтрольованому скачуванню бульб при перекиданні кузова самоскидного МС при розвантаженні [1].

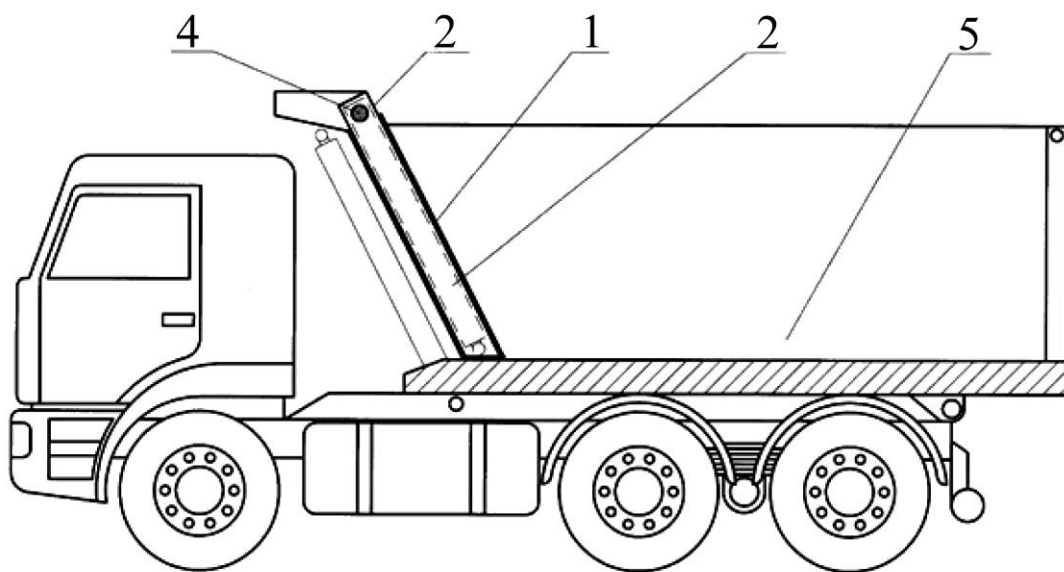
При цьому усі внутрішні поверхні покриті пружним матеріалом. Це дозволяє понизити ушкодження бульб при завантаженні [1].

Відома конструкція кузова самоскидного МС з висувним бортом (рис. 1.19) [2].

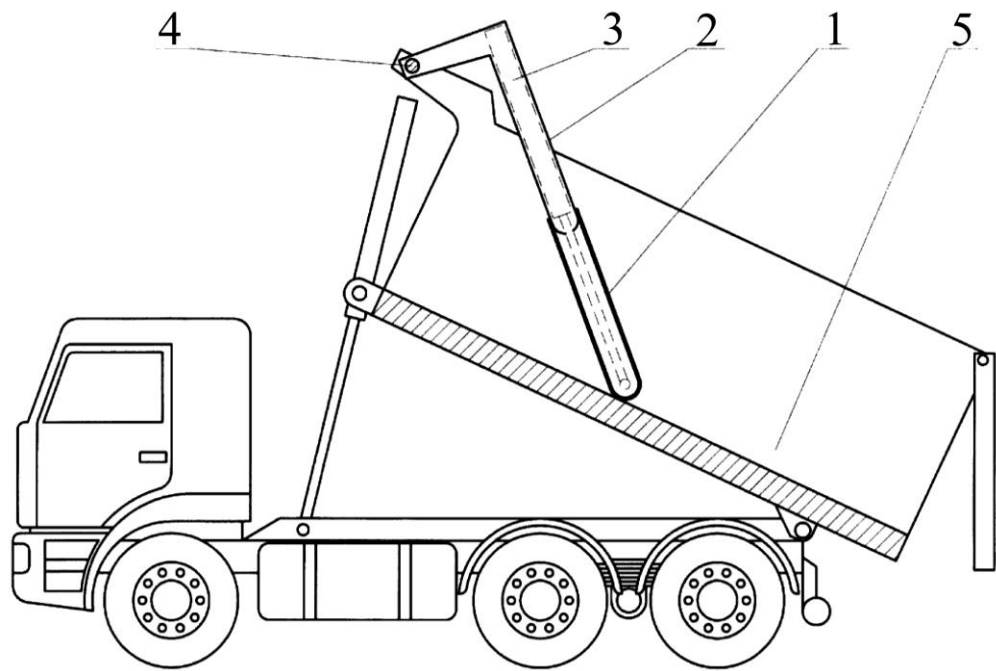
Відмітна особливість розглянутої конструкції МС полягає в тому, що завдяки висувному борту для повного вивантаження продукції, що перевозиться, потрібно менший кут перекидання кузова самоскидного. Внаслідок чого бульби картоплі переміщуються з меншим прискоренням (порівняно з серійним МС) і отже менше ушкоджуються [14].

Тільки на застосуванні енергозбереження технологій [6, 18] і техніка з високою продуктивністю має бути орієнтований сучасний розвиток сільського господарства, щоб в майбутньому воно могло б нагодувати усе людство [18]. Збільшення потужності двигуна використовуваних в сільськогосподарському виробництві тракторів з колісними рушіями, є неодмінною умовою рішення цієї задачі. Однією з важливих проблем при цьому є зростаюча ефективність функціонування тракторно-машинних агрегатів, за рахунок поліпшення показників їх експлуатації [1, 8, 11, 18].

Для забезпечення вивантаження сільськогосподарських вантажів з дотриманням агротехнічних вимог була розроблена конструкція кузова машинно-транспортного агрегату самоскидного для [9, 19, 20] переміщення усередині сільськогосподарських підприємств урожаю, ушкоджуваних при цьому оброблюваних на селі культур (рис. 1.20).



a)



б)

Рисунок 1.19 - Схема кузова самоскидного транспортного засобу (в процесі розвантаження)

а) в транспортному положенні; б) в процесі розвантаження

1 - стінна панель; 2 - телескопічна стійка; 3 - гідроциліндр;

4 - шарнірне з'єднання; 5 - кузов

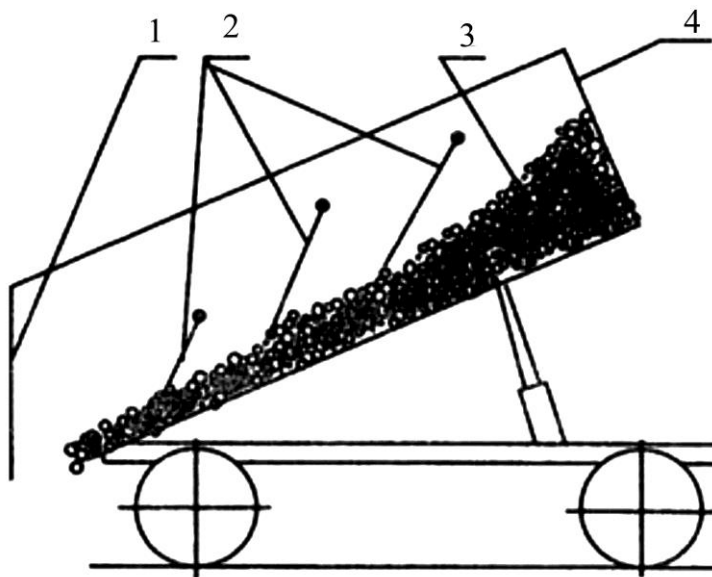


Рисунок 1.20 - Схема кузов Самоскидний МС 1 - задній борт відкидний;

2 - поперечні рухливі перегородки; 3 - дно кузова МС; 4 - передній

нерухомий борт

У цій конструкції задній борт 1 є відкидним. Внутрішню частину кузова розділяє подовжня перегородка, жорстко сполучена з переднім бортом. Поперечні перегородки 2, розміщені на різній висоті відносно дна 3 і мають можливість обертатися навколо своїх осей 5.

Із забезпечення можливості обмеження їх переміщення в осях 5 встановлені стопорні пальці 6.

Дослідний зразок кузова самоскидного транспортного засобу був випробуваний в період масового прибирання картоплі на полях Миколаївської області. Отримані технологічні і експлуатаційні показники його роботи підтвердили ефективність цього рішення.



Рисунок 1.21 - Загальний вид дослідного зразка кузова самоскидного МС

1 - відкидний борт; 2 - поперечні перегородки; 3 - дно кузова МС;

4 - передній нерухомий борт кузова самоскидного; 5 - осі обертання поперечних перегородок; подовжня нерухома перегородка.

Робота кузова самоскидного, представленого на рис. 1.21, здійснюється в наступній послідовності.

Спочатку відбувається відкидання заднього борту 1, за допомогою дії на нього оператора машини. Потім слідує перекидання кузова назад. Внаслідок чого частина картопляної купи вивантажується на поверхню підлоги - інакше кажучи, ті бульби, які були розташовані між заднім відкидним бортом і поперечною перегородкою.

Після цього з кузова вивантажується та частина продукції, яка розташована вище за осі 5 перегородок. Під дією тиску купи бульб поперечні перегородки здійснюють обертання навколо осей 5. Цей процес протікає до тих пір, поки пальці бне припинять їх рух (обертання поперечних перегородок навколо своїх осей). У результаті починають відкриватися послідовно один за одним поперечні перегородки. Це дає можливість розвантажуваної продукції переміщатися досить рівномірно.

Це технічне рішення МС при порівняльному дослідженні з серійною машиною, прийнятою за прототип сприяє зменшенню ушкоджень вантажу і підвищує показники виконуваного процесу.

Можливість фіксації рухливих поперечних перегородок при розвантаженні в різних положеннях з плавним зменшенням кута відкриття дозволяє добитися рівномірного розвантаження, що, поза сумнівом, скорочує кількість ушкоджень сільськогосподарської продукції. На жаль, значно понизити витрати перевізного процесу при одночасному безперервному вивантаженні усього лише через задній борт в складських будовах, що мають невелику територію, цією розробленою перевагою не представляється можливим.

З причини відсутності механізму управління відкриття поперечних перегородок, був розроблений наступний кузов Самоскидний транспортного засобу.

Взявши до уваги усі виявлені в ході аналітичного огляду технічних рішень недоліки конструкцій, був запатентований наступний кузов транспортного засобу (рис. 1.22).

У цьому технічному рішенні приведення в дію поперечних перегородок здійснюється за допомогою гідроприводу машини. При цьому варто врахувати, що кожна поперечна перегородка відкривається в певний момент часу, а проміжок (між поперечною перегородкою і дном кузова МС), що утворюється при цьому, має різну висоту.

Завдяки запропонованим рішенням забезпечується можливість порційного вивантаження картопляної купи, минувши ефект утворення склепіння. При цьому контроль цього процесу не дозволяє бульбам розвивати швидкості на яких вони можуть отримати механічні ушкодження (при контакті з не пружними поверхнями або від зіткнення з іншими бульбами).

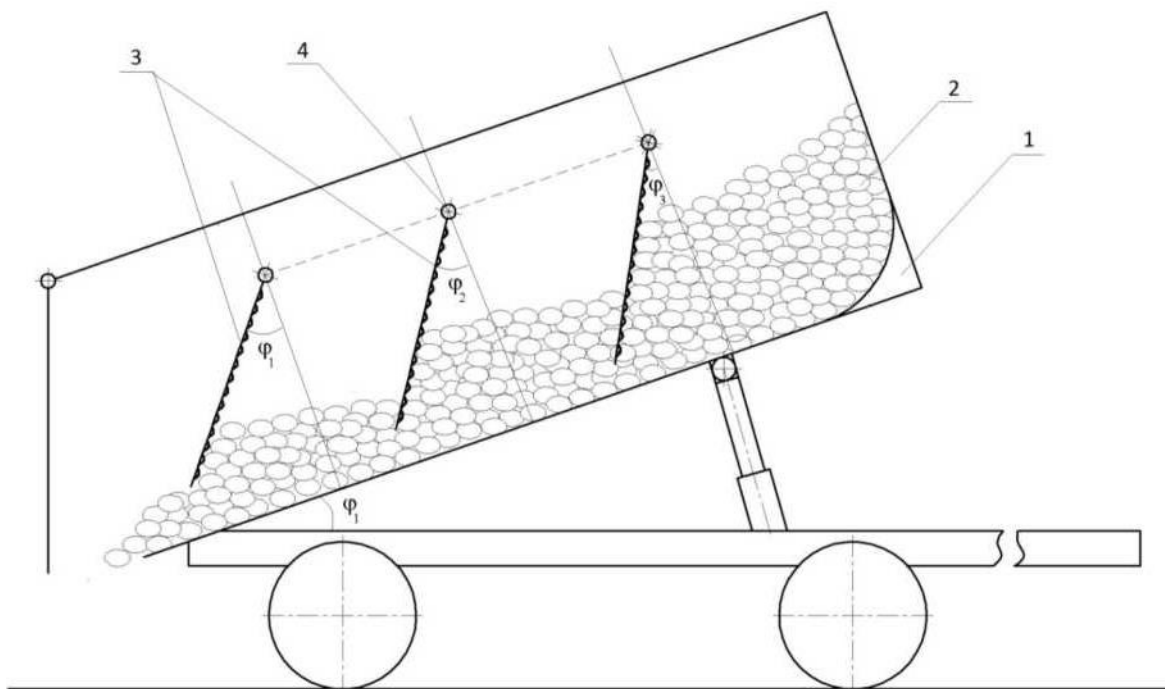


Рисунок 1.22 - Вигляд збоку кузова самоскидного МС

1- кузов МС, 2 - картопляна купа; 3 - поперечні перегородки; 4 - осі обертання поперечних перегородок.

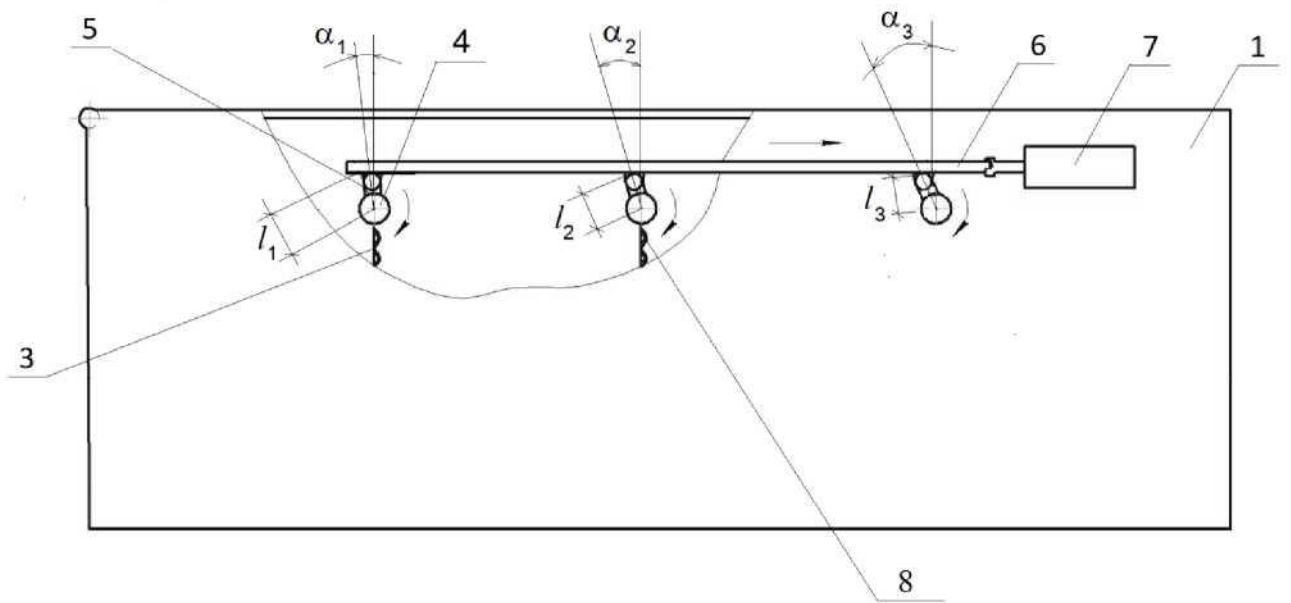


Рисунок 1.23 - Механізм приводу поперечних перегородок кузова самоскидного МС

1 - кузов; 3 - поперечна перегородка; 4 - вісь поперечної перегородки;

5 - консоль; 6 - шток гідроциліндра; 7 - корпус гідроциліндра; 8 – нежорстке протиковзке покриття.

Механізм приводу відкриття поперечних перегородок кузова самоскидного МС приведений на рис. 1.23.

Підводячи проміжні підсумки, можна зробити висновки, що розглянуті конструкції кузовів самоскидних МС знаходяться на високому технічному рівні. На ринку представлений широкий вибір всіляких рішень в області забезпечення транспортних робіт при машинному виробництві картоплі. При цьому виділяється один істотний недолік, а саме відсутність додаткових (опціональних) пристроїв, що дозволяють підвищити ефективність роботи транспорту [22].

У зв'язку з цим дуже перспективним напрямом розвитку конструкцій кузовів самоскидних МС є дооснащення універсальних моделей техніки спеціалізованими пристроями [84].

## **Висновки**

Проблема низької продуктивності збирально-транспортно розвантажувального процесу при виконанні внутрішньогосподарських перевезень визначена при вивченні досвіду науки і виробництва при здійсненні ВП. Її існування зумовлене деякими характерними відмінностями переміщення вантажів в сільському господарстві: зважаючи на малу масу об'ємної значної кількості класів вантажів, що перевозяться в АПК, не повністю використовується вантажопідйомність транспортних агрегатів, а розвантаження здійснюється за законами відмінними від рівномірного характеру.

З метою мінімізації ушкоджень продукції, що перевозиться, на внутрішньогосподарських перевезеннях при її механізованому розвантаженні необхідно для виключення явища утворення склепіння, зменшення висоти падіння бульб і забезпечення рівномірного вивантаження картопляної купи з кузова МТА при дотриманні агротехнічних вимог удосконалити існуючі кузови самоскидні МС.

## **2 ТЕОРЕТИЧНИЙ АНАЛІЗ ЗАСТОСУВАННЯ КОМПЛЕКСІВ МАШИН ДЛЯ ЗДІЙСНЕННЯ ПРИБИРАЛЬНО-ТРАНСПОРТНИХ РОБІТ В КАРТОПЛЯРСТВІ**

### **2.1 Аналіз причин обмеження продуктивності збирально-транспортних технологічних комплексів в рослинництві**

Зниження якості і кількості урожаю картоплі, зростання витрат праці, витратних матеріалів і засобів, як видно з наведених вище матеріалів пов'язано безпосередньо з порушеннями його технологічного процесу вирощування, причини яких обумовлені :

- слабо розвинена інфраструктура підприємств, в значній частині яких практично немає доріг з твердим покриттям;
- окремі засоби техніки, не відповідають один одному так само, як і параметри вживаних технічних комплексів не відповідають існуючим конкретним умовам роботи в господарствах;
- ґрунтово-кліматичні умови використання техніки і устаткування змінюються непередбачувано і часто;
- недостатня кількість інших засобів, у більшій частині транспортних і втрати робочого часу з різних причин;
- порушення працездатності виробів техніки та ін.

При посадці і прибиранні картоплі найчастіше відбувається значне збільшення об'єму робіт, яке окрім вище переліченого відбувається через вимоги агротехнічні, пов'язаних з обмеженими термінами здійснення заходів, життєво необхідних для виконання операцій посадки або ж недостатньо добре організованої передпосівної операції підготовки бульб картоплі. Осінні прибиральні роботи, утруднення в процесі їх реалізації виникають у зв'язку з недовгим терміном, відведеним на їх виконання із-за помітного пониження температури повітря і ґрунту вдень і вночі і не налагодженої роботи картофелесортувальні машин в господарствах. Старт

прибирання залежить від тимчасових моментів розвитку певних бульб, а фініш - момент появи випадку зниження температури повітря нижче +50С.

## **2.2. Методика оцінки застосування комплексів машин для здійснення прибирально-транспортних робіт в рослинництві**

Етапи машинного виробництва картоплі враховують застосування комплексу машин на усіх етапах: підготовка ґрунту до посадки, посадка, відхід, прибирання, транспортування і післяжнивне доопрацювання бульб.

З усього перерахованого можна виділити прибирально-транспортні роботи як самі трудомісткі і енерговитратні.

Свіжоприбрана картопля поступає від комбайна в транспортний засіб, який доставляє його до місця післяжнивного доопрацювання або зберігання. Порожні МС повертаються у вихідну точку (від пункту післяжнивного доопрацювання до комбайна) і цикл замикається.

При цьому засоби вантаження застосовуються у вищеназваних операціях обробітку і прибирання сільськогосподарської культури. Урожай у бункери-накопичувальники може поступати від різних машин.

Прибуття навантажених транспортних засобів до приймального бункера пункту післяжнивного доопрацювання бульб можна представити як сумарний випадковий потік.

Скориставшись теоремою А. Я. Хинчина можна сформулювати висновок про те, що незалежно від складових його одиничних потоків, він наближається скільки завгодно близько до стаціонарного пуассоновському потоку.

Виходячи з цього, з'являється можливість застосування деяких елементів теорії систем масового обслуговування (СМО) при моделюванні процесу прибирально-транспортних робіт.

Послідовність прибирально-транспортних робіт можна представити у вигляді відкритих простих СМО з необмеженою чергою на обслуговування,

де, наприклад, прибуття МС до приймального бункера пункту післязбирального доопрацювання бульб буде окремою подією.

За допомогою закону Пуассона стає можливо визначити вірогідність появи подій за період  $t$ . По наступній формулі:

$$P_m = \frac{\lambda^m}{m!e^\lambda} \quad (2.1)$$

де  $P_m$  - вірогідність появи  $m$  МС кожна 1 година

$\lambda$  - кількість МС, що з'явилися у бункера прийому продукції за 1 годину.

Розглянемо наступний приклад. За сезон прибирання 1019 тон картоплі з різними домішками поступило на один пункт його сортування КСП - 15В за допомогою здійснення тракторами 403 поїздки з середньою інтенсивністю прибуття на розвантаження 1.78 авто/годину.

Опис функціонування цього потоку можливий за допомогою наступної залежності:

$$P_m = \frac{1,87^\lambda}{m!} e^{-1,87} \quad (2.2)$$

Тривалість циклу роботи транспортного засобу при виконанні прибиральних робіт може бути виражена як:

$$t^y = t^{оч} + t^{обсл} + t^{дв} \quad (2.3)$$

де  $t^{ож}$  - час очікування МС перед його завантаженням свіжоприбраною картоплею (біля прибиральної техніки)

$t^{обсл}$  - тривалість заповнення кузова МС

$t^{дв}$  - тривалість маршруту прямування від поля до пункту післязбирального доопрацювання бульб.

Усереднена тривалість розвантаження транспортного засобу при простій схемі реалізації транспортних робіт можна виразити за допомогою формули:

$$t_{разгр} = \frac{1}{t_{обсл}} \quad (2.3)$$

Ефективність роботи даної системи в цілому знижується при виникненні черг, наприклад при просте транспортного засобу перед його завантаженням або біля приймального бункера.

Загальне число МС, задіяних при прибиранні картоплі розраховується по формулі:

$$m^T = m^0 \left(1 + \frac{m_{don}}{m_0}\right) \quad (2.5)$$

де  $m^0$  - необхідна кількість МС для безпростійною роботи усього комплексу техніки, задіяної при прибиранні картоплі.

У цій ситуації виникають прості МС у приймального бункера пункту післязбирального доопрацювання, внаслідок високого потоку машин, але і при перебуванні у комбайнів і навантажувальних пристроїв.

У разі роботи шести засобів транспорту і чотирьох картоплесаджальних машин з одним навантажувачем картоплі втрати робочого часу складають: навантажувач - 10%, засіб транспорту до 30%. Поза сумнівом, в ситуації, що склалася, потрібно додати для обслуговування автосамоскидів декілька навантажувальних засобів.

З літератури відомо, що за наявності одного приймального бункера сортувального пункту втрати часу засобів транспорту на розвантаженні можуть бути до 20%.

Щоб уникнути цих негативних моментів, можна використати для нетривалого зберігання картоплі різні по конструкції бункери. У разі вступу до місця зберігання 5-7 автомобілів, щоб процес збору урожаю не уривався, потрібно мати приймальний бункер сховища з місткістю від 10 до 15 тон. При цьому для усунення черги в роботі цієї СМО слід мати додатково від 27 до 34% засобів транспорту від необхідного їх кількості.

Навесні заздалегідь приготований насінний матеріал для зменшення втрат часу засобів транспорту, їх завантаження слід організувати декількома навантажувальними машинами з різних місць з використанням

компенсаторів-накопичувачів підвищеної місткості і з вивантажними транспортерами.

Восени при прибиранні бункера приймальних пунктів і ліній можуть виконувати роль компенсаторів простоїв машин. У різних поєднаннях вони можуть вмішати від 1.5 до 60 тон.

При появі засобів транспорту з урожаєм бульб від прибирального транспорту до місця зберігання слід збільшити швидкість їх розвантаження. Вирішенням такої проблеми може бути розміщення двох каналів прийому на заміну одного в одноканальних лініях. Продуктивність лінії збільшується, що ясно з даних (таблиця. 2.1) при зростанні кількості каналів прийому з одночасним зменшенням простоїв техніки під розвантаженням, і в період очікування відповідає черзі.

Таблиця 2.1 - Результати взаємодії транспортних засобів і приймальних каналів пункту післяжнивного доопрацювання бульб

Показники	Кілок - в приймальних каналах	
	1	2
Середня кількість машин в черзі, що прибули від комбайнів, шт.	1,05	0,07
Середній час очікування машини розвантаження в черзі, хв.	8,8	1,0
Продуктивність, т/год	7,1	18,9

Тому для прискорення прибиральних робіт, скорочення втрат часу при вивантаженні картоплі засобами транспорту у бункери, необхідно при інтенсивному потоці задіяти два і більше бункерів прийому (каналів прийому або місць).

Місткість бункерів-накопичувачів комбайнів для прибирання картоплі збільшують з цією ж метою. Наприклад, місткість бункера- накопичувача причіпного комбайна AVR - 220 «Variant 2011» виробництва ЗАТ «Колнаг»

зросла до 5,5 тон. Бункери-накопичувачі деяких зарубіжних зразків самохідних комбайнів для прибирання картоплі складає більше 10 тон [25].

Завдяки системі глобального позиціонування GPS можливе розвантаження купи з бункерів комбайнів в засоби транспорту без зупинки прибирального процесу. Крім того, для переміщення в кузов засобу транспорту з бункера комбайна французької фірми CASEIH пропонується автоматична система синхронізації роботи комбайна і транспортного засобу.

Функціонування цього електронного пристрою також пов'язане з системою зв'язку Bluetooth. На засоби транспорту і машину для прибирання монтують ті, що відповідають устаткування. При русі по полю при розвантаженні бункера комбайн продовжує прибиральний процес, і засіб транспорту рухається разом з ним у вигляді прибирально-транспортного агрегату. Засобом транспорту завдяки вищезгаданому електронному пристрою автоматично управляє оператор комбайна. При цьому знижуються втрати урожаю і підвищується продуктивність вживаної сільськогосподарської техніки.

На міжнародному показі техніки вживаній для сільськогосподарського виробництва SIMA - 2011 в Парижі розробники цієї системи нагороджені золотою медаллю.

### **2.3. Умови потокового виконання прибирання, транспортування і товарної обробки плодів**

У разі потокового виконання прибирання, транспортування і товарної обробки плодів, усі технологічні процеси і відповідні засоби механізації мають бути пов'язані між собою. Застосування мобільних контейнерів-накопичувачів на прибиранні і транспортуванні вимагає обов'язкової механізованої товарної обробки плодів, оскільки вивантаження плодів з контейнерів-накопичувачів можливе тільки на приймальні пристрої, якими оснащуються лінії товарної обробки. Збиральними машинами плоди

завантажуються в контейнери-накопичувачі, які доставляють їх на лінії товарної обробки. Схема потоку на прибиранні показана на рис. 2.1.

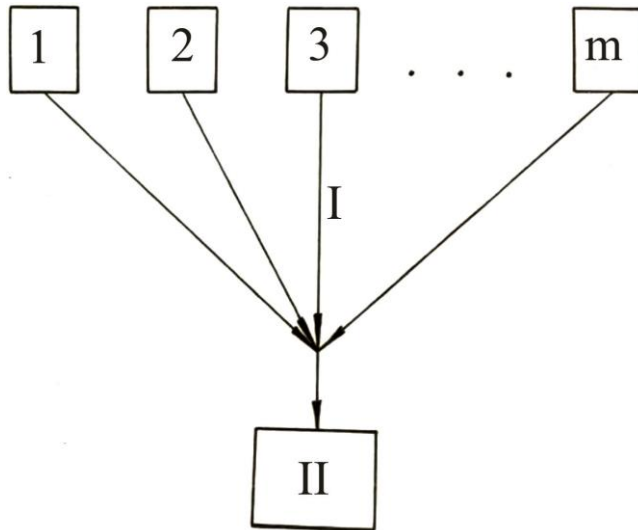


Рисунок 2.1 - Схема потокового прибирання і товарної обробки плодів

I - потік контейнерів-накопичувачів; II - лінія товарної обробки з приймальним пристроєм

В процесі потокового прибирання на роботу окремих ланок впливає ряд некерованих чинників, тому потік контейнерів-накопичувачів має імовірнісний характер. Систему взаємодії контейнерів-накопичувачів, що доставляють прибрані плоди на лінію товарної обробки з приймальним пристроєм (каналом обслуговування) можна розглядати як функціонуючі системи масового обслуговування. При цьому можна встановити характерні властивості потоку мобільних контейнерів-накопичувачів, зв'язок його з пропускною спроможністю лінії товарної обробки. У цій системі заявками є мобільні контейнери-накопичувачі, що поступають на розвантаження, а каналом обслуговування - приймальне облаштування лінії. У даному випадку маємо систему масового обслуговування з очікуванням обмеження довжини черги, в якій контейнер-накопичувач з прибраними плодами, що застав приймальний канал зайнятим, не покидає систему, а стає в чергу і чекає, поки канал не звільниться для вивантаження. В результаті нерівномірного вступу контейнерів-накопичувачів до місця товарної обробки, біля лінії

утворюватиметься черга. Це приведе до даремних простоїв, зниження продуктивності контейнерів-накопичувачів, що не лише погіршить економічні показники потокового прибирання, але і викличе нестачу контейнерів-накопичувачів в цій системі. Тому, при організації потокового прибирання необхідно розглянути закономірність утворення черги контейнерів-накопичувачів перед приймальним облаштуванням лінії, щоб своєчасно, виключити причини, що знижують продуктивність контейнерів-накопичувачів і усієї технології в цілому. При зборі плодів декількома машинами, від кожної з них періодично відходять контейнери-накопичувачі. Таким чином, кожна машина або бригада є джерелом утворення свого власного потоку. Очевидно, що кожен з цих потоків є стаціонарним, ординарним і незалежним від потоків, що утворюються іншими бригадами. Практично можна вважати, що чотирьом-п'яти таких потоків вистачає для того, щоб сумарний потік, що замикається на лінії товарної обробки, був близький до простого.

Як вже відзначалося, система має один канал обслуговування ( $i = 1$ ), на який поступає простий потік заявок з щільністю  $\lambda$ . В цьому випадку щільність обслуговування МС каналом дорівнює  $\mu$ . У випадку якщо заявка, що поступила, застала канал вільним, то вона приймається на обслуговування і обслуговується до кінця, а якщо заявка застає канал зайнятим, то вона стає в чергу і чекає свого обслуговування. Кількість місць в черзі не обмежена тобто

$$m^* = \infty, \lambda = const, \mu = const \quad (2.6)$$

$$t \rightarrow \infty$$

У даному випадку вірогідність того, що в системі буде до  $k$  - заявок (одна заявка обслуговується, а інші чекають черги), буде рівна:

$$p_k = \rho^k (1 - \rho), (k = 0, 1, 2, \dots) \quad (2.7)$$

$$\rho = \lambda / \mu$$

Вірогідність обслуговування в цьому випадку дорівнюватиме одиниці, вірогідність того, що канал зайнятий буде

$$p_{3-k} = \bar{k} = \rho \quad (2.8)$$

Кількість заявок (усереднене значення) в черзі розраховується по формулі:

$$\bar{r} = \sum_{r=0}^{\infty} r P_{1+r} = \sum_{k=1}^{\infty} (k-1) P_k = \frac{\rho^2}{1-\rho} = \frac{\lambda^2}{\mu(\mu-\lambda)} \quad (2.9)$$

Середнє значення тривалості простою МС в черзі:

$$\bar{t}_{ou} = r / \lambda = \frac{1}{\mu} \frac{\rho}{1-\rho} = \lambda / \mu(\mu-\lambda) \quad (2.10)$$

Тривалість перебування заявки в досліджуваній системі рівно

$$t = (\bar{r} + \bar{k}) / \mu = (\mu - \lambda)^{-1} \quad (2.11)$$

У даній системі масового обслуговування з очікуванням контейнер-накопичувачі в загальному випадку можуть знаходитися в черзі необмежений час. Але зі збільшенням часу знаходження їх в черзі, як вже відзначалося, росте і потрібна їх кількість. З урахуванням знаходження в черзі загальна необхідна кількість контейнерів-накопичувачів визначається вираженням:

$$m_k = m_0(1 + r / m_0) \quad (2.12)$$

де  $m_0$  - число контейнерів-накопичувачів, необхідне для роботи цієї системи за відсутності черги.

$$m_0 = \lambda t_y$$

де  $t_y$  - тривалість одного циклу (2.3).

Приведені залежності дозволяють визначити основні характеристики аналізованої системи.

Як видно з виразів імовірнісні характеристики процесу в основному залежать від коефіцієнта завантаження системи  $\rho$ . З теорії масового

обслуговування відомо, що довжина черги досягає статистичної рівноваги при коефіцієнті завантаження системи меншим одиниці ( $\rho < 1$ )

Залежність середньої довжини черги транспортних засобів (числа заявок) від коефіцієнта завантаження системи показана на рис. 2.2.

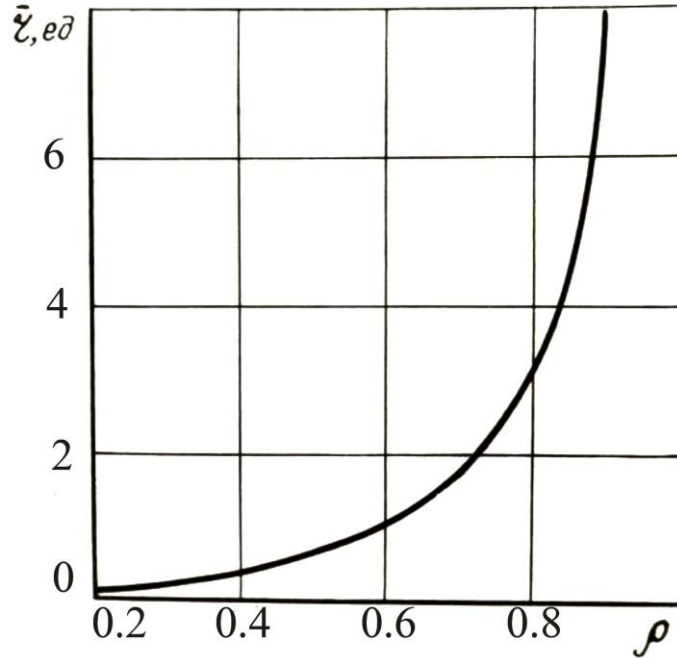


Рисунок 2.2 - Залежність середньої довжини черги транспортних засобів  $\bar{z}$  від коефіцієнта завантаження системи  $\rho$  [23].

Важливим показником, що характеризує систему, являється середній час очікування в черзі, яке залежить від продуктивності лінії товарної обробки і коефіцієнта завантаження системи. Зі збільшенням продуктивності лінії товарної обробки і зменшенням коефіцієнта завантаження системи час очікування заявок зменшується.

Необхідна кількість контейнерів-накопичувачів для стійкої роботи системи залежить від тривалості одного циклу  $t$ , залежного у свою чергу від відстані транспортування, середньої швидкості руху  $V$ , вантажопідйомності контейнера-накопичувача, продуктивності комбайнів  $W_{сб}$ , продуктивності лінії товарної обробки  $W_{АТО}$  і коефіцієнта завантаження системи  $\rho$ , який залежить від кількості комбайнів і пропускнуої спроможності лінії товарної обробки  $u$ .

## 2.4. Аналіз процесу вивантаження бульб з вдосконаленого кузова самоскидного МТА

В процесі розвантаження кузова самоскидного МТА, бульби можуть рухатися:

- скачуватися по насипу з бульб;
- ковзати по дну кузова.

При досліджуваному русі бульби отримують деяку швидкість, яка сприятиме явищу нових механічних ушкоджень. Розглянемо процес руху бульби по (похилій площині) насипу картоплі в наслідку дії сили тяжіння.

Використовуємо для цих цілей теорему про зміну кінетичної енергії :

$$T_2 - T_1 = A_{(c)} \quad (2.13)$$

де  $T_1$  - початкова кінетична енергія бульби ( $T_1 = 0$ ), Дж;

$T_2$  - кінцева кінетична енергія бульби, Дж;

$A_{(c)}$  - робота зовнішніх сил, Дж.

Оскільки бульба перед вивантаженням знаходиться у спокої ( $T_1 = 0$ ), запишемо вираження для кінетичної енергії бульби:

$$T = T_2 = \frac{1}{2} M V_{\text{кл}}^2 + \frac{1}{2} J \omega^2 \quad (2.14)$$

де  $M$  - маса бульби картоплі, кг;

$V_{\text{кл}}$  - швидкість центру тяжіння бульби, м/с;

$J$  - момент інерції бульби, кгм<sup>2</sup>;

$\omega$  - кутова швидкість бульби, рад/с.

При дослідженні руху бульби введемо допущення, що бульба має форму кулі, тоді момент інерції визначається вираженням:

$$J = \frac{2}{5} M r^2 \quad (2.15)$$

де:  $r$  - радіус кулі, м.

Оскільки точка дотику кулі (бульби) є миттєвим центром швидкостей, то можна записати:

$$V_{\text{кл}} = \omega \cdot r \quad (2.16)$$

Підставивши отримані значення у формулу 2.14, отримаємо

$$T = \frac{1}{2}MV_{\text{кл}}^2 + \frac{2}{5}Mr^2 \cdot \left(\frac{V_{\text{кл}}}{r}\right)^2 = \frac{9}{10}MV_{\text{кл}}^2 \quad (2.17)$$

При коченні бульби по насипу картоплі сила тертя завжди прикладена в точці контакту і тому не здійснює роботу. Виходячи з цього визначимо роботу сили тяжіння

$$A_{(c)} = G \cdot h_{\text{кл}} \quad (2.18)$$

де  $G$  - сила тяжіння бульби ( $G = M \cdot g$ ), Н;

$g$  - прискорення вільного падіння, м/с<sup>2</sup>;

$h_{\text{кл}}$  - висота переміщення бульби, м.

Висота переміщення бульби по насипу залежить від кута природного укосу насипу картоплі і довжини кузова (рис. 2.3):

$$h_{\text{кл}} = L \sin \psi \quad (2.19)$$

де  $L$  - довжина кузова транспортного засобу (насипи в кузові), м;

$\psi$  - кут природного укосу картоплі.

Підставивши у вираження (2.13) значення величин з виразів (2.17), (2.18) і (2.19), отримаємо:

$$\frac{9}{10}MV_{\text{кл}}^2 = M \cdot g \cdot L \cdot \sin \psi \quad (2.20)$$

Виходячи з досліджень контактної динамічної взаємодії бульби картоплі з поверхнею витікає, що швидкість бульби кл має бути менше допустимого значення швидкості удару  $d$  (таблиці).

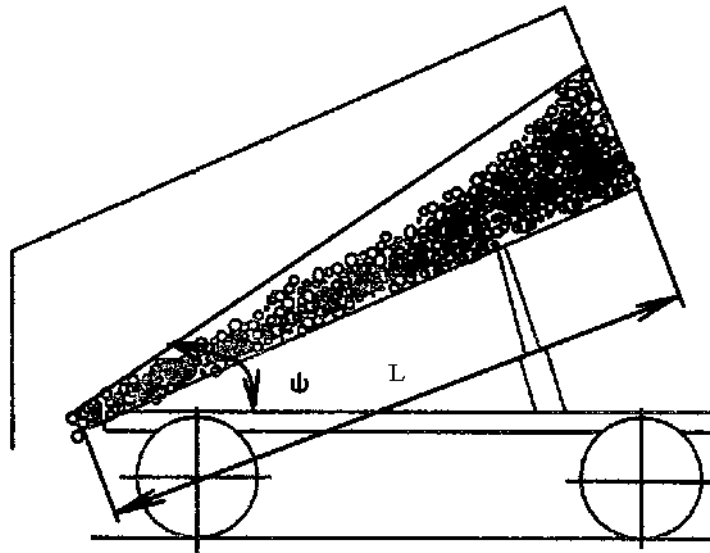


Рисунок 2.3 - Загальний вигляд переміщення насипу бульб картоплі з кузова МТА при розвантаженні

Таблиця 2.2 - Висоти падіння і швидкості удару бульби, що допускаються

Поверхня	Висота падіння, м	Швидкість удару
сталь, дерево	0,18 - 0,33	1,9 - 2,5
Гума	1,6 - 2,8	5,6 - 7,5
вільна бульба	-	3,8-5
скована бульба		
до=2	0,1-0,2	2,7-3,6
до=1	0,37-0,66	2,7-3,6
до=0,5	0,87-1,6	4,1-5,2

Примітка: до – це співвідношення радіусів бульб R1 (бульба, яка падає) на R2 (бульба, на яку падає).

Виразимо значення швидкості бульби

$$V_{\text{кл}} = \sqrt{\frac{10g \cdot L \cdot \sin \psi}{9}} \quad (2.21)$$

Таким чином, отримана залежність швидкості бульби, що скачується по насипу, від довжини кузова МТА (рис. 2.4).

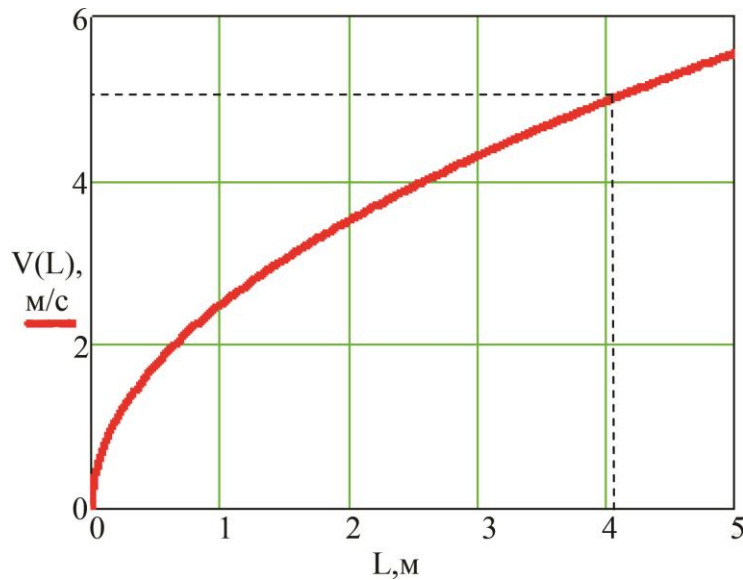


Рисунок 2.4 - Залежність швидкості кочення бульби від довжини насипу.

Підставимо наступні дані  $\psi = 45$  град і  $L=4,08$  м (конструктивні параметри причепа самоскидного 2 ПТС-4) у формулу (2.21) отримаємо:

$$V_{\text{кл}} = \sqrt{\frac{10 \cdot 9.81 \cdot 8.08 \cdot \sin 45}{9}} = 5.61 \text{ м/с}$$

Отримуємо, що розрахункове значення  $V_{\text{кл}} = 5,61$  м/с властиво тільки допустимому значенню швидкості падіння бульб на гумову поверхню (таблиця. 2.2). Інакше висока вірогідність ушкодження плоду.

Слід зазначити, що при вивантаженні максимальна висота переміщення бульби досягається при певній величині кута підйому кузова, що відповідатиме максимально можливій швидкості коренеплоду.

Розглянемо рух бульби без можливості обертання (при русі насипу цілком). Аналогічно, як і у попередньому випадку, кінетична енергія ковзаючої бульби рівна

$$T = T_2 = \frac{1}{2} M V_{\text{кл1}}^2 \quad (2.22)$$

де  $V_{\text{кл1}}$  - швидкість бульби при поступальній ході, м/с;

При поступальній ході бульби робота зовнішніх сил визначатиметься не лише силою тяжіння, але і силою тертя бульби від днища кузова [8]:

$$A_{(c)} = (G \sin \alpha - F_{\text{тр}})L \quad (2.23)$$

де  $\alpha$  - кут підйому кузова транспортного засобу, град;

$F_{\text{тр}}$  - сила тертя бульби об поверхню ( $F_{\text{тр}} = f \cdot N$ ), Н;

$f$  - коефіцієнт тертя бульб картоплі про днище кузова;

$N$  - сила нормального тиску ( $N = G \cdot \cos \alpha$ ), Н.

З урахуванням виразів (2.13), (2.22) і (2.23), отримаємо

$$\frac{1}{2}MV_{\text{кл1}}^2 = (Mg \cdot \sin \alpha - fMg \cdot \cos \alpha) \cdot L \quad (2.24)$$

Перетворивши вираження (2.24), отримаємо

$$V_{\text{кл1}} = \sqrt{2gL(\sin \alpha - f \cos \alpha)} \quad (2.25)$$

Побудуємо графік швидкості бульб в програмі MathCAD (рис. 2.5)

Підставимо наступні дані  $\alpha = 45$  град і  $L = 4,08$  м (конструктивні параметри причепа самоскидного 2ПТС-4) і  $f = 0,56$  (коефіцієнт тертя ковзання бульби об сталь) у формулу (2.25) отримаємо [8]:

$$V_{\text{кл1}} = \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 4,08 \cdot (\sin 45 - 0,56 \cos 45)} = 4,99 \text{ м / с}$$

Провівши аналіз відповідних кузовів транспортних засобів швидкість бульб при сході з днища причепа 2ПТС-4 залежно від кута підйому кузова складає:

при коченні бульби близько 4,2... 5,7 м/с;

при ковзанні бульби 3,8... 5,2 м/с.

Аналіз отриманих результатів показує, що кінетична енергія бульби на момент сходу бульби з кузова складає:

для кочення 2,36 Дж;

для ковзання 1,875 Дж.

Таким чином, бульба, що котиться, має велику кінетичну енергію порівняно з тим, що ковзає. Тому для гасіння кінетичної енергії використовуємо перевантажувальний пристрій.

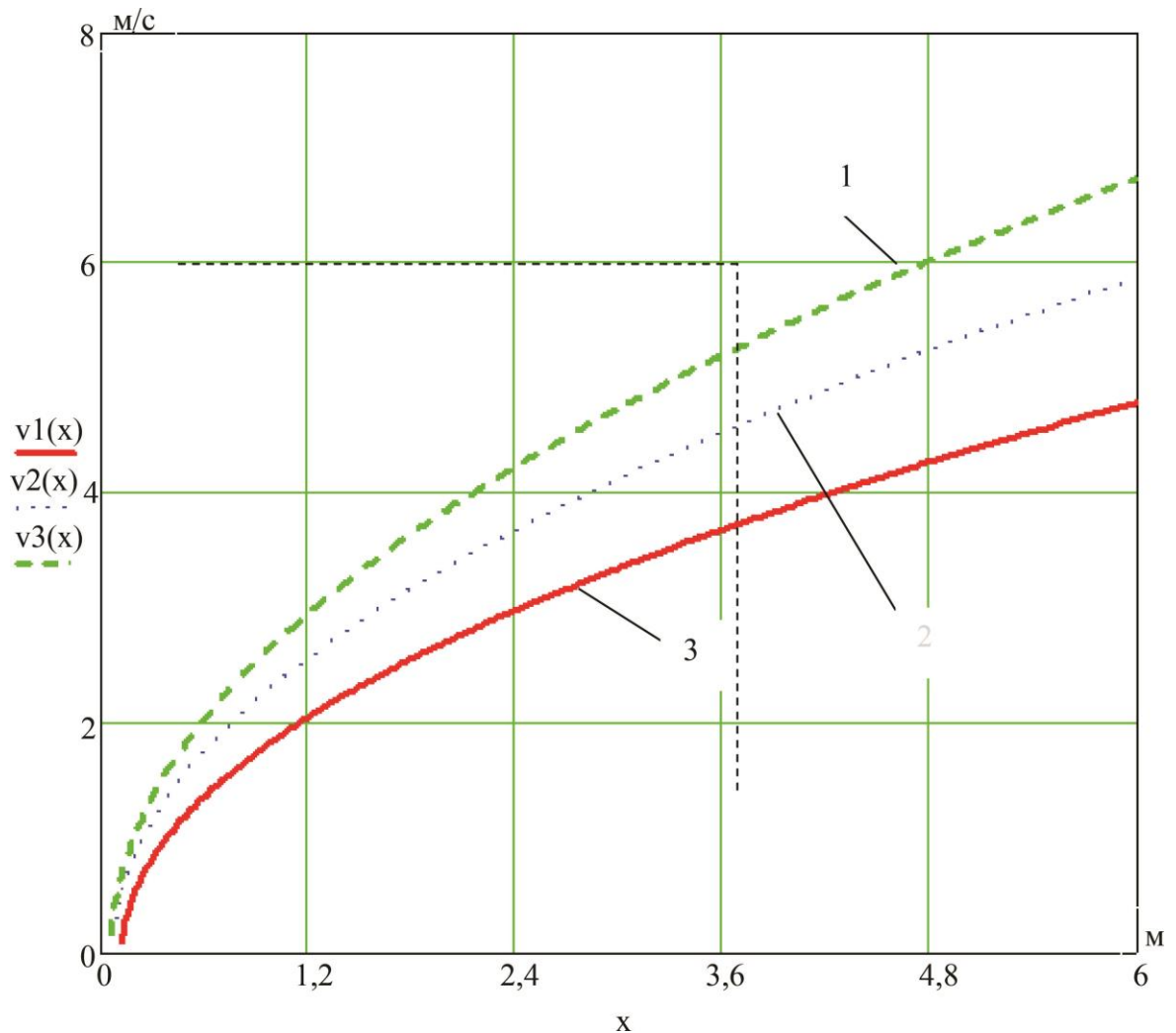


Рисунок 2.5 - Залежність швидкості ковзання бульби від довжини кузова причепа 2-ПТС-4 при різних кутах підйому кузова а: 1 - кут підйому  $45,0^\circ$ ; 2 - кут підйому  $34,5^\circ$ ; 3 – кут підйому  $23,0^\circ$ ;

При вивантаженні бульб картоплі з кузова, обладнаного перевантажувальним пристроєм, бульби на момент попадання на перевантажувальний пристрій мають деяку швидкість. Зустріч бульб з роликками Н. Н. Колчин розглядав у вигляді ударних взаємодій. Розглянемо удар бульби, що обертається, об ролик (рис. 2.6), що обертається

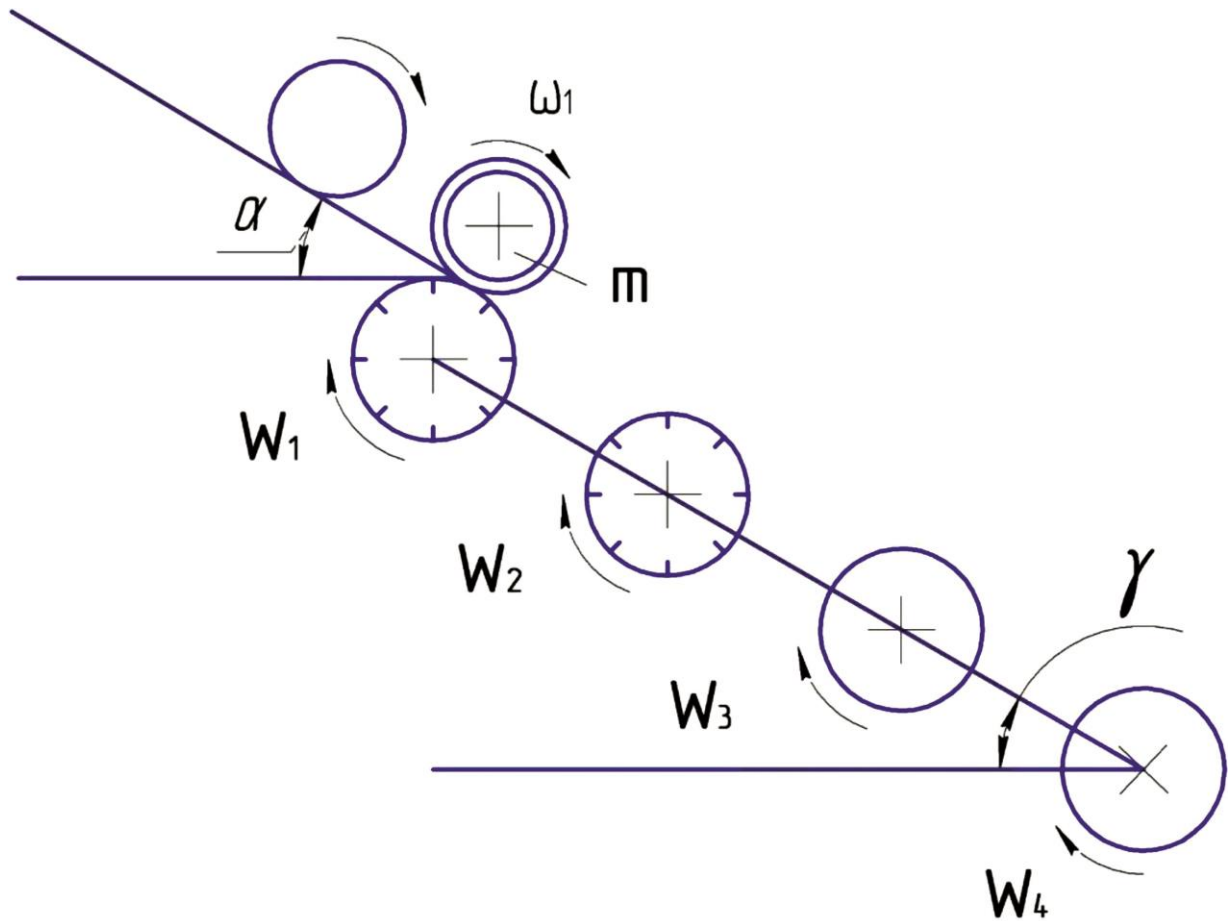


Рисунок 2.6 - Розрахункова схема до визначення кутової швидкості бульби при взаємодії з роликами, що обертаються

Оскільки ролики перевантажувального пристрою знаходяться на рівні днища кузова і обертаються із зустрічним напрямом по відношенню до бульби, те застосуємо теорему про зміну моментів кількості руху до взаємодії бульби з роликом. Ударні імпульси бульби і ролика запишуться:

$$I_1(\omega_2 - \omega_1) = S \cdot r_1 \quad (2.26)$$

$$I_2(w_2 - w_1) = S \cdot r_2 \quad (2.27)$$

де  $\omega_1$ ;  $\omega_2$  - моменти інерції бульби і ролика відповідно, кгм<sup>2</sup>;

$w_1$ ;  $w_2$  - кутові швидкості бульби до удару і після удару, рад/с;

1 ; 2 - кутова швидкість ролика до удару і після удару, рад/с;

S - імпульси, км/с

$r_1$ ;  $r_2$  - радіуси бульби і ролика, м.

Прирівнявши ударні імпульси з виразів (2.26) і (2.27), отримаємо

$$-I_1 \cdot (\omega_2 - \omega_1) \cdot r_2 + I_2 \cdot (w_2 - w_1) \cdot r_1 = 0 \quad (2.28)$$

Швидкості точки контакту у момент ударної взаємодії бульби і ролика відповідно рівні:

$$V_1 = \omega_1 \cdot r_1 \quad (2.29)$$

$$V_2 = \omega_2 \cdot r_1 \quad (2.30)$$

$$U_1 = w_1 \cdot r_2 \quad (2.31)$$

$$U_2 = w_2 \cdot r_2 \quad (2.32)$$

де  $V_1$ ;  $V_2$  - окружна швидкість бульби до і після удару, м/с;

$U_1$ ;  $U_2$  - окружна швидкість ролика до і після удару, м/с;

По аналогії з поступальною ходою запишемо вирази коефіцієнта відновлення для обертального руху:

$$k = \frac{U_2 - V_2}{U_1 - V_1} = \frac{w_2 \cdot r_2 - \omega_2 \cdot r_1}{w_1 \cdot r_2 - \omega_1 \cdot r_1} \quad (2.33)$$

Тоді окружні швидкості бульби і ролика після зіткнення будуть:

$$w_2 \cdot r_2 - \omega_2 \cdot r_1 = -k\omega_1 \cdot r_1 + kw_1 \cdot r_2 \quad (2.34)$$

Перетворивши вираження (2.28), отримаємо

$$I_1 w_2 \cdot r_2 - I_2 \omega_2 \cdot r_1 = -I_1 \omega_1 \cdot r_1 - I_2 w_1 \cdot r_2 \quad (2.35)$$

Вирішивши спільно вирази (2.34) і (2.35) отримаємо кутову швидкість бульби після ударної дії

$$\omega_2 = \frac{-I_2 \cdot r_1 \cdot r_2 \cdot (1 + k) \cdot w_1 + (-I_1 \cdot r_2^2 + I_2 \cdot r_1^2 \cdot k) \cdot \omega_1}{I_1 \cdot r_2^2 - I_2 \cdot r_1^2} \quad (2.36)$$

Визначимо зміну кутової швидкості 2 з урахуванням значень моментів інерції бульби і ролика коефіцієнта відновлення залежно від кутової швидкості вальца.

Аналізуючи графік кутової швидкості (рис. 2.7) можна бачити, що швидкість бульби при русі по роликах істотно залежить від їх кутової швидкості і початкової кутової швидкості бульби. При швидкості бульби до 4,6 м/с кутова швидкість обертання роликів буде в діапазоні від 20 до 50

рад/з при кутовій швидкості бульб від 80 до 200 рад/с, що в сукупності зводить можливість травмування плодів при розвантаженні до мінімуму (не більше 1,6 %).

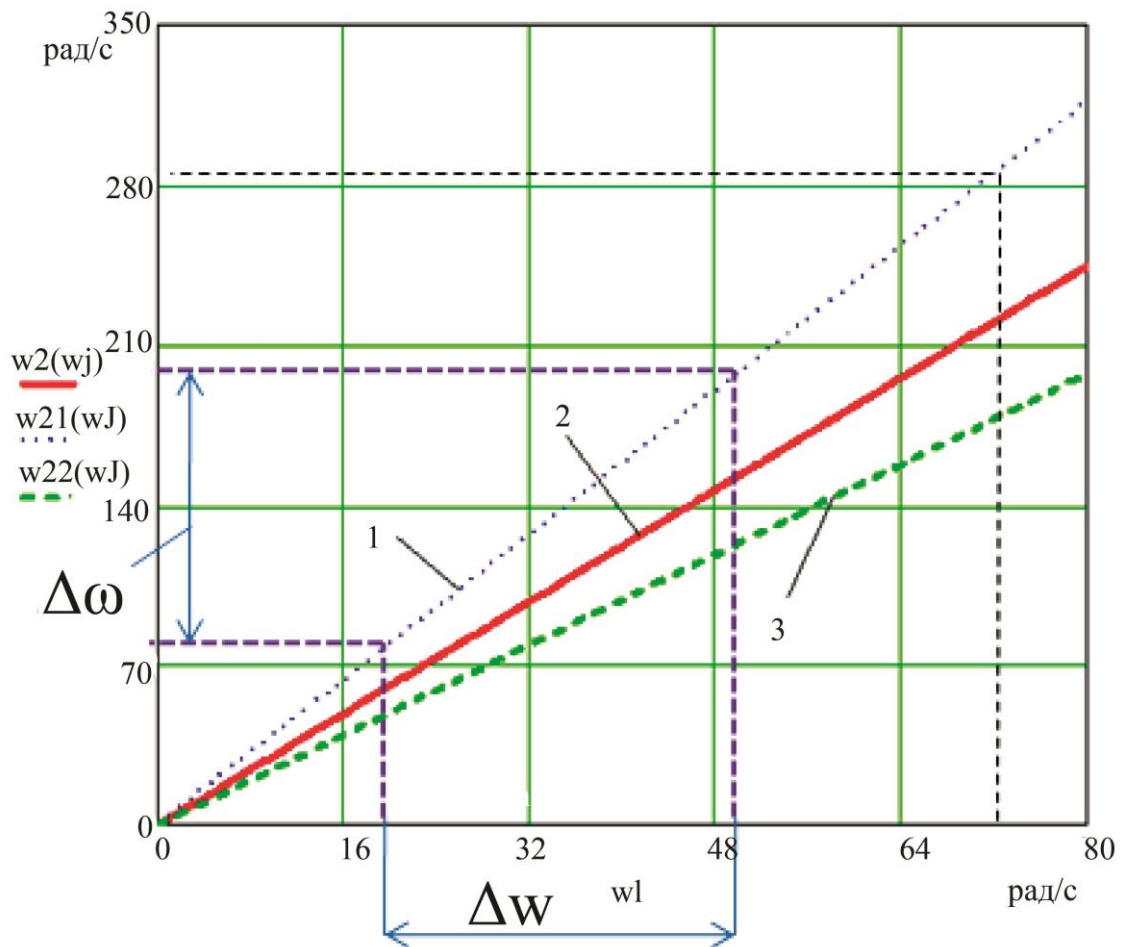


Рисунок 2.7 - Залежність кутової швидкості бульби від кутової швидкості обертання ролика при різних значеннях діаметру бульби 40, 50, 60мм: 1 - діаметр бульби 40 мм; 2 - діаметр бульби 50 мм; 3 - діаметр бульби 60 мм.

Оскільки напрям обертання бульби при русі і ролика протилежні, то після кожного ролика відбуватиметься уповільнення обертання бульби.

При недостатній кількості бульб на перевантажувальному пристрої і малому діаметрі бульб можливе обертання бульби між сусідніми роликами. Розглянемо умови виходу бульб з проміжку (рис. 2.8)

На бульбу діють реакції опор і сила тяжіння, сили інерції не враховуємо. Тоді диференціальне рівняння запишеться у виді:

$$m \frac{dV_{\tau}}{dt} = G \sin \xi - F_{mp} \quad (2.37)$$

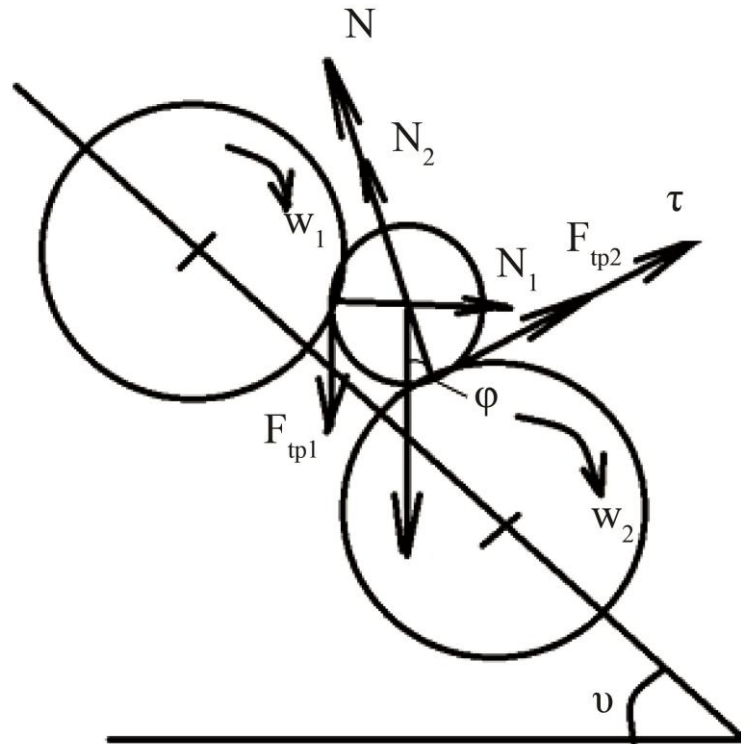


Рисунок 2.8 - Розрахункова схема до взаємодії бульби картоплі з сусідніми роликками

де  $G$  - сила тяжіння бульби, ( $G=mg$ ), Н;

$m$  - маса бульби, кг;

$g$  - прискорення вільного падіння, м/с<sup>2</sup>;

$F_{mp}$  - сила тертя бульби об ролик  $F_{mp} = f_k \frac{N_1}{r_1} = f_k \frac{G \cos \xi}{r_1}$ , Н;

$f_k$  - коефіцієнт тертя кочення бульби про ролик  $f_k = 0,5 \dots 0,8$  мм;

$r_1$  - радіус бульби, м;

$\xi$  - кут між напрямом сили тяжіння і дотичної в місці контакту бульби з роликком, град.

Підставивши значення в рівняння (2.37) і розділивши на  $m$ , отримаємо:

$$\frac{dV_{\tau}}{dt} = g \sin \xi - f_k \frac{g \cos \xi}{r_1} \quad (2.38)$$

Розділимо змінні і проінтегруємо

$$\int_{v_0}^v dV_\tau = g \int_0^t (\sin \xi - f_k \frac{\cos \xi}{r_1}) dt \quad (2.39)$$

Після підстановки меж інтеграції отримаємо:

$$V - V_0 = g(\sin \xi - f_k \frac{\cos \xi}{r_1})t \quad (2.40)$$

або

$$V = V_0 + gt(\sin \xi - f_k \frac{\cos \xi}{r_1}) \quad (2.41)$$

де t - час взаємодії, с.

Кут  $\xi$  залежить від співвідношення геометричних показників бульби і роликів перевантажувального пристрою, які пов'язані співвідношенням:

$$d \geq \frac{D(1 - \sin \varphi) + c}{\sin \varphi} \quad (2.42)$$

де d - діаметр бульби, м;

D - діаметр ролика, м;

c- величина проміжку між роликами, м;

$\varphi$  - кут між кутом нахилу перевантажувального пристрою і дотичній в точці контакту бульби з роликом, град.

Співвідношення кутів для перевантажувального пристрою виглядає таким чином:

$$\xi = \gamma - \varphi \quad (2.43)$$

де  $\gamma$  - кут нахилу перевантажувального пристрою, град.

Таким чином, підставивши вираження (2.43) у вираження (2.41), отримаємо:

$$V = V_0 + gt(\sin(\gamma - \varphi) - f_k \frac{\cos(\gamma - \varphi)}{r_1}) \quad (2.44)$$

Побудуємо залежність швидкості бульби від часу знаходження на перевантажувальному пристрої для бульби діаметром 50 мм (рис. 2.9).

З графіку видно, що бульба поступово сповільнюється при русі по перевантажувальному пристрою. Зі зменшенням кута нахилу перевантажувального пристрою швидкість бульби зменшується.

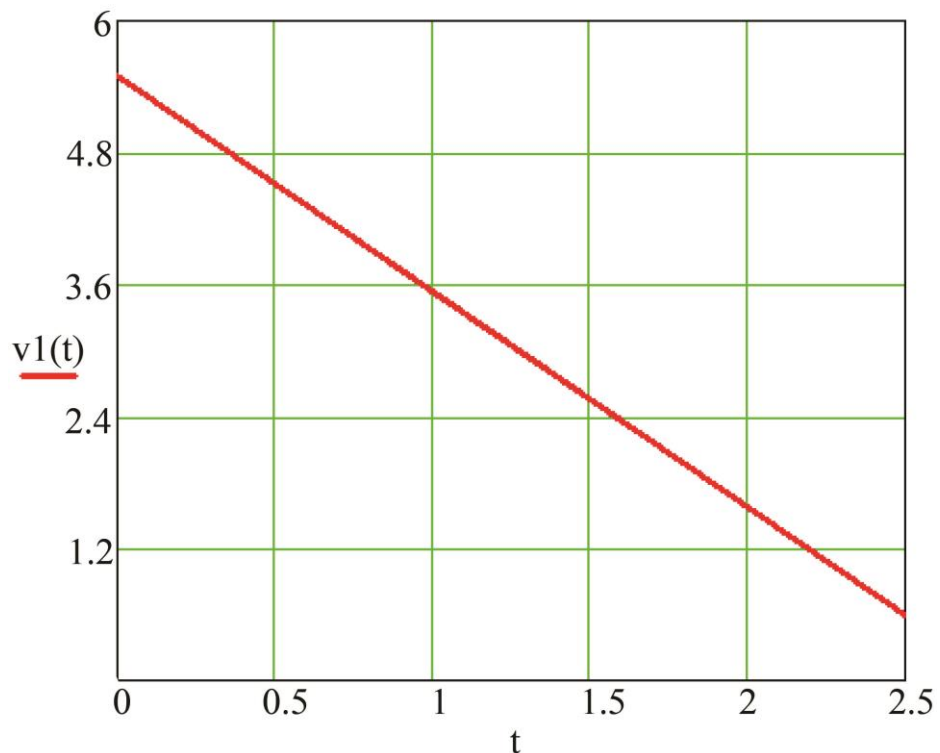


Рисунок 2.9 - Залежність швидкості бульби від часу знаходження на перевантажувальному пристрої для бульби діаметром 50 мм.

## 2.5. Конструктивна схема вдосконаленого кузова самоскидного МТА

Після проведення аналізу облаштування транспортних засобів самоскидних було виявлено, що вони не відповідають в повному об'ємі усім вимогам агропромислового сектора, що постійно збільшуються, адже усі вони в першу чергу орієнтуються на транспортування вантажів (від будматеріалів до рослин). Універсальність цього засобу транспортування буде вигідна для маленьких виготівників і фермерських господарств, але робитиме значний вплив на ефективність великих компаній. Саме з цього витікає головне завдання агропромислового комплексу - збільшення функцій,

характеристик і можливостей сьогоденних моделей автомобілів самоскидних.

Науково-дослідна діяльність працівників привела до розробки навісного перевантажувального пристрою для кузова самоскидного МТА (рис. 2.10). У конструкції є присутнім транспортер 1 з приводом на рамці в задній частині кузова, яку можна повертати у вертикальну орієнтацію (рис. 2.11). Підвіска містить рамку транспортера 2, раму базової машини 3 і гідроциліндр під'їм 4. Транспортер 1 виконується роликівим, ролики 5 оснащуються виступами 6 з пружної сировини. Розміщуються вони подовжніми рядами уздовж усієї поверхні на однаковому видаленні. Мають вони контур усіченого конуса, а обертання всякого ролика 5 перевищує частоту обертання попереднього. З краєм транспортера на рамці приєднані боковини 7 з пружного матеріалу.

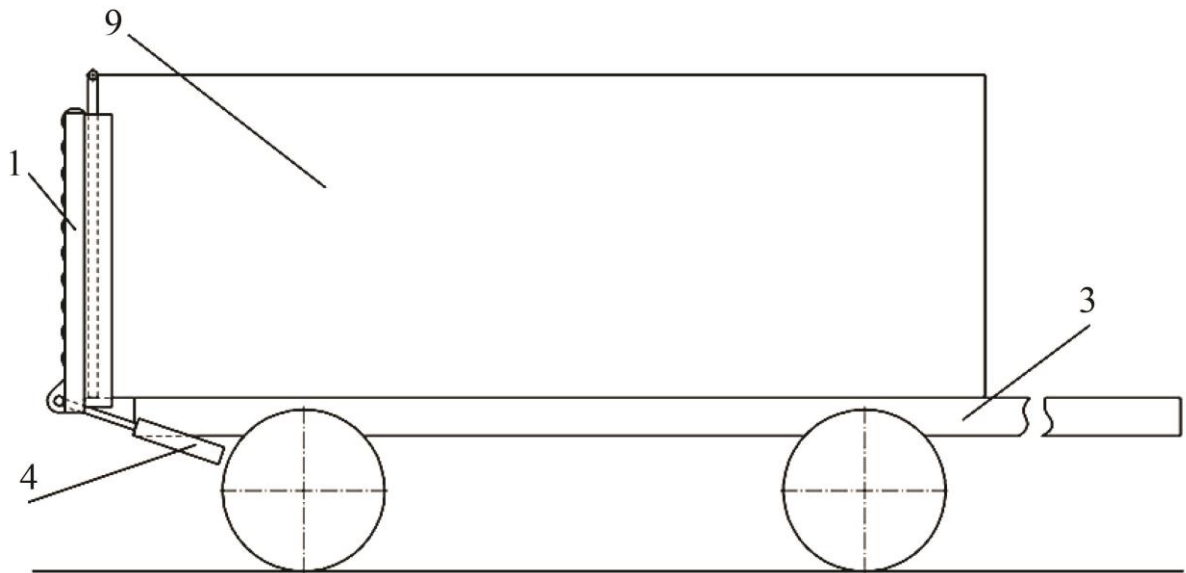


Рисунок 2.10 - Вдосконалений кузов Самоскидний МТА в транспортному положенні

1 - транспортер; 3 - рама базової машини; 4 - гідроциліндр підйому; 9 - кузов самоскидний

Принцип роботи перевантажувального пристрою виглядає таким чином. Як тільки транспортний засіб наближається до місця розвантаження, водій циліндром 4 активує роликівий транспортер 1, нахил для якого задає

оператор. Кут нахилу залежить від конкретного завдання, що дає можливість проводити вивантаження продукції сільськогосподарського призначення прямо в тару (рис. 2.11).

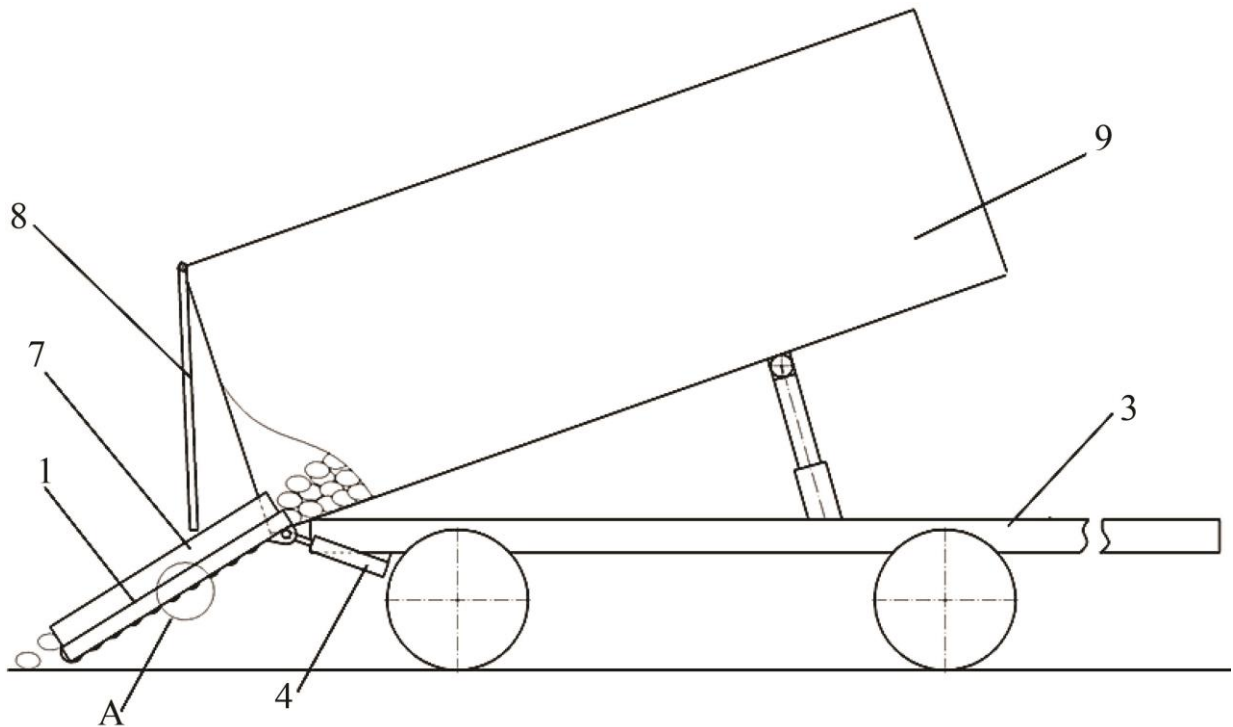


Рисунок 2.11 - Вдосконалений кузов Самоскидний МТА при розвантаженні

1 - транспортер; 3 - рама базової машини; 4 - гідроциліндр підйому; 7 - пружні боковини; 8 - відкидний борт; 9 - кузов Самоскидний

Після проведеної роботи оператор запускає гідромеханічну схему, яка відповідає за функціонування усіх роликів 5 транспортера 1. Частота обертання в даному випадку будь-якого подальшого ролика буде більше, чим частота обертання попереднього ( $w_1 < w_2 < w_3 < w_4 < \dots < w_n$ ) (рис. 2.12). Відкривається відкидний борт ззаду 8 кузова 9 (рис. 2.11) продукція переходить на транспортер 1.

Пересуванню продукції допомагають ролики 5. Щоб зупинити відвантаження з країв транспортера 1 встановлені спеціальні боковини 7 з пружного матеріалу. В процесі транспортування продукції по транспортеру 1 дрібні домішки залишаються у виступах 6 роликів 5 (рис. 2.13). Це дозволяє

добитися попереднього очищення продукції. В ході свого обертання ролики 5 віддають домішки, що залишилися, під транспортер 1. По ходу вивантаження сільськогосподарських продуктів гідросистема транспорту піднімає кузов 9 на більший кут, щоб повністю його спустошити.

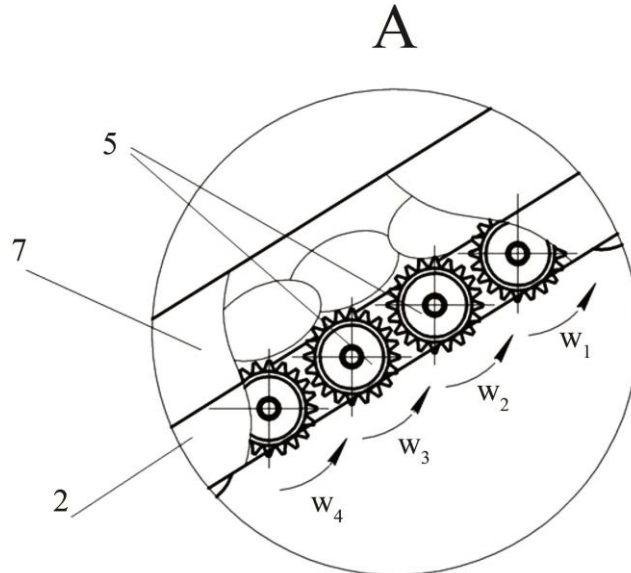


Рисунок 2.12 - Місцевий вид по А роликового транспортера

2 - рама транспортера; 5 - ролики; 7 - пружні боковини

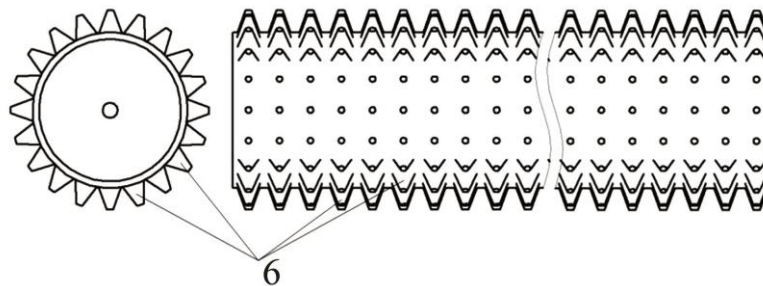


Рисунок 2.13 - Ролик транспортера навісного перевантажувального пристрою

Після відвантаження усього матеріалу з кузова 9, він переходить в транспортну позицію (рис. 2.10), оператором закривається борт відкидної 8 і деактивує гідромеханічна система приводу роликів 5. Після транспортер переходить назад в транспортне положення за допомогою гідроциліндра 4. Транспортний засіб приходить в готовність до подальшої поїздки. Цей пристрій зможе допомогти зберегти сільськогосподарську продукцію в ході

відвантаження її з кузова транспортного засобу. Застосування вказаного вище рішення на причепі самоскидному дозволяє бульбовій купі переходити на роликовий транспортер. Ролики при цьому наділені пружними виступами. Усе це укупі дозволяє звести можливість ушкодження продуктів до мінімуму.

Дані вище говорять про ефективність і доцільність застосування навісного перевантажувального пристрою на причепі транспортного засобу самоскидного, який забезпечує зниження ушкоджень картоплі і іншої продукції в ході відвантаження.

## **Висновки**

Виявлено, що найбільш перспективними на сьогодні методами підвищення продуктивності прибиранно-транспортних робіт в рослинництві є: збільшення числа приймальних каналів на пунктах післяжнивної обробки і місткості бункерів-накопичувачів, розвантаження комбайнів без зупинки транспортних засобів за рахунок автоматизації синхронності руху двох машин (комбайн - транспорт) на основі систем Bluetooth, GPS, а в перспективі і ГЛОНАСС. Запропоновано технічне рішення МТА з вдосконаленою конструкцією кузова самоскидного, що дозволяє мінімізувати ушкодження картоплі при розвантаженні на внутрішньогосподарських перевезеннях.

За результатами теоретичних досліджень параметрів технологічного процесу розвантаження картоплі з вдосконаленого кузова самоскидного МТА встановлено, що бульбова купа не падає вниз, а поступає на роликовий транспортер (причому ролики забезпечені виступами з пружного матеріалу) при швидкості бульби до 4,6 м/с кутова швидкість обертання роликів буде в діапазоні від 20 до 50 рад/с при кутовій швидкості бульб від 80 до 200 рад/с, що в сукупності зводить можливість травмування плодів при розвантаженні до мінімуму (не більше 1,6 %).

## **3 ЛАБОРАТОРНО-ПОЛЬОВІ ВИПРОБУВАННЯ**

### **3.1 Програма експериментальних досліджень**

Для визначення кількості бульб картоплі, що отримали механічні ушкодження в процесі їх вивантаження з вдосконаленого кузова самоскидного МТА, а так само підтвердження на практиці, правильності отриманих розрахунковим шляхом параметрів його конструкції, була спланована програма досліджень.

Програма досліджень включала наступні етапи:

1. Дослідження процесу вивантаження картопляної купи з вдосконаленого кузова самоскидного МТА.
2. Оптимізація параметрів вдосконаленого кузова самоскидного МТА в процесі розвантаження картоплі.

### **3.2 Експериментальна установка і устаткування для випробувань**

Для забезпечення доцільності використання подібних технічних засобів в картоплярських господарствах з посадочними площами 100 гектар і менш було розроблено універсальний навісний перевантажувальний пристрій для причепів самоскидних.

На рис. 3.1 представлений навісний перевантажувальний пристрій, встановлений на тракторний причіп Самоскидний 2ПТС-4.

Розглянемо переваги пропонованого технічного рішення. По-перше, навісний пристрій дозволяє робити вивантаження картопляної купи, як в пункт післяжнивного доопрацювання, так і безпосередньо в засіки картоплесховища. При цьому вирішується головна проблема кузовів самоскидних транспортних засобів і напівпричепів - висота падіння бульб при вивантаженні зводиться до мінімуму. У других, ролики навісного пристрою мають гідروпривід - що забезпечує можливість регулювання

подання купи через частково відкритий задній відкидний борт (рис. 3.1б) без розвантажування. У третіх, ролики пристрою мають гумові виступи з одного боку що перешкоджають ушкодженню бульб при вивантаженні, а з іншою утримуючі наявні в картопляній купі ґрунтові і рослинні домішки. Пропонований пристрій має порівняно невисоку вагу (на відміну від транспортера «РОМ-Over», де використовується складна система гідроприводів) може бути використано з більшістю вітчизняних причепів і напівпричепів.



а)



б)

Рисунок 3.1 - Причіп самоскидний з навісним перевантажувальним пристроєм.

Якщо порівнювати ефективність функціонування цього навісного перевантажувального пристрою з аналогічними засобами, наприклад з напівпричепом-самоскидом з донним транспортером, то отримаємо наступні переваги:

- низький рівень травмування бульб порівняно з кузовом з донним транспортером (де контакт бульб з жорсткими елементами кузова при роботі донного транспортера призводить до додаткових ушкоджень);
- можливість регулювання швидкості вивантаження картоплі при використанні навісного перевантажувального пристрою;
- універсальність модернізованого транспорту, оскільки монтаж навісного перевантажувального пристрою не вимагає значних конструктивних змін кузова самоскидного, а його демонтаж робиться оперативна і без залучення висококваліфікованого персоналу.

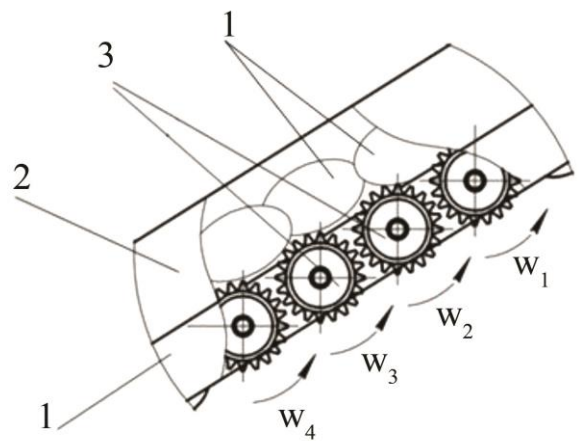


Рисунок 3.2 - Навісний перевантажувальний пристрій в роботі.

1 - рама; 2 - пружна боковина; 3 - ролики; 4 - бульби;  $w_i$  - частота обертання роликів.

Швидкість руху вдосконаленого кузова самоскидного МТА вимірювалася за допомогою серійного приладу - тахоспидометра встановленого на тракторі, і руху, що реєструє такі показники, як швидкість, частоту обертання колінчастого валу ДВС трактора. Виміри відрізків часів виконували за допомогою ручного секундоміра високої точності.

Маса навантаженого вдосконаленого кузова самоскидного МТА для обчислення кількості продукції, що перевозиться, визначалася за допомогою вагів платформенних (для вантажних і легкових МС).

### **3.3 Результати лабораторно-польових досліджень**

Для постановки лабораторно-польових досліджень був розроблений план повнофакторного експерименту  $3^2$  (кожен з 2 незалежних чинників набуває 3 кодовані значення) згідно із стандартною методикою.

На підставі апріорного ранжирування усіх відомих чинників, що впливають на ушкодження бульб при розвантаженні вдосконаленого кузова самоскидного МТА для досліджень були вибрані :

x - діаметр бульби картоплі, мм;

y - швидкість руху бульб, м/с

результативний показник:  $Var_3$  - маса бульб картоплі з механічними ушкодженнями, кг

Усі включені в рівняння регресії чинники відповідали вимогам, що пред'являлися : була відмірена попарно незалежні, статистично значимі і мають високу кореляцію з результативним показником. Рівні і діапазони їх варіювання приведені в таблиці 3.1.

Отримані в ході лабораторного експерименту дані були піддані аналізу за допомогою статистичних методів аналізу випадкових величин. Результати представлені в таблиці 3.2.

Таблиця 3.1 - Рівні і інтервали варіювання чисельних значень незалежних чинників рівняння регресії

№	Чинники	Ед. виміри	Основний рівень		Інтервал.	Верхній рівень		Нижній рівень	
			Нат. знач.	Кодир. знач.	Нат. знач.	Нат. знач.	Кодир. знач.	Нат. знач.	Кодир. знач.
1	x	мм	50	0	10	60	+1	40	-1
2	y	м/с	5,0	0	1,0	6,0	+1	4,0	-1

Таблиця 3.2 - План повнофакторного експерименту і значення результативного показника (кількість бульб з механічними ушкодженнями)

№	Чинники і їх взаємодії		Маса пошкодженої картоплі (при вивантаженні 2880 кг картоплі), кг
	x	y	Var3
1	0	+1	57,6
2	0	0	50,4
3	0	-1	64,8
4	-1	+1	79,2
5	-1	0	43,2
6	-1	-1	57,6
7	+1	+1	122,4
8	+1	0	122,4
9	+1	-1	108

В результаті обробки отриманих в ході випробувань даних було отримано рівняння регресії. Вплив незалежних чинників на результативний показник характеризується як високе (коефіцієнт детерміації  $R^2 = 0,929$  і коефіцієнт кореляції  $R=0,0964$ ). При цьому середня оцінка апроксимації

отриманого рівняння регресії склала 2,6%, що говорить про високу достовірність моделі.

$$Var3 = 51.3556 + 28.6833 \cdot x + 4.8 \cdot y + 31.3167 \cdot x^2 - 1.8 \cdot x \cdot y + 9.3667 \cdot y^2 \quad (3.1)$$

Найбільший вплив на результативний показник робить чинник  $x$  - діаметр бульби.

Скориставшись отриманим рівнянням був побудований графік залежності маси пошкодженої картоплі (при вивантаженні 2880 кг картоплі) від діаметру бульби і швидкості його руху по роликовому транспортеру вдосконаленого кузова самоскидного МТА (рис. 3.3).

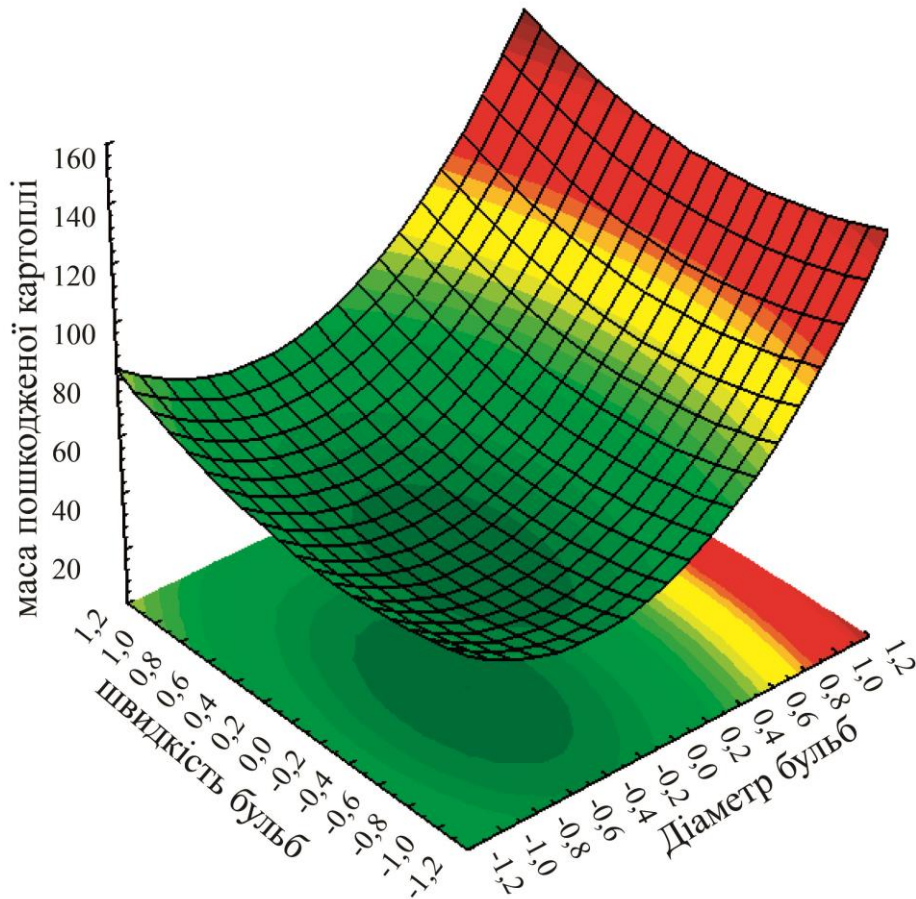


Рисунок 3.3 - Графік залежності маси пошкодженої картоплі (при вивантаженні 2880 кг картоплі) від діаметру бульби і швидкості його руху по роликовому транспортеру вдосконаленого кузова самоскидного МТА

Аналіз залежності маси пошкодженої картоплі (при вивантаженні 2880 кг картоплі) від діаметру бульби показує, що раціональним значенням є

діаметр бульби картоплі 48 мм, а швидкість його руху по роликовому транспортеру вдосконаленого кузова самоскидного МТА 4,6 м/с, що відповідає масі пошкодженої картоплі близько 43,77 кг (1,52% від 2880 кг) і відповідає агротехнічним вимогам, що пред'являються до процесу розвантаження (не більше 3%).

### **3.4 Оптимальні параметрів вдосконаленого кузова самоскидного МТА при вивантаженні картоплі**

Після отримання нової моделі (3.1), яка визначила залежність результативного показника від параметрів розробленого кузова самоскида на тракторному причепі на правильність його роботи, з'явилася необхідність у більше кращому показнику за відповідних умов. В якості параметрів оптимізації були вибрані конструктивно-технологічні характеристики кузова самоскидного МТА при вивантаженні картоплі.

Вибраному параметру оптимальності задовольняє особлива функція (3.1), яка є поліномом другої міри. Це залежність критерію поліпшення від технологічних і конструкторських характеристик причепа.

Замість величини призначення зміненого кузова самоскидного МТА була узята маса пошкоджених бульб картоплі. Вона була функцією мінімізації чинниками, показану в рівнянні 3.1, що впливає на змінні, вказані в таблиці 3.1. Ці параметри, що цікавлять, обмежують змінювані чинники.

Схема завдання по оптимізації системи у вигляді параметрів, обмежень об'єкту, що показують їх зв'язок, позначена на рис. 3.4.

На основі наступних чинників: критерію оптимальності, обмежень, спеціальної функції і параметрах, було сформульовано завдання по оптимізації з техніко-економічного і математичного місць спрямованості.

Техніко-економічна складова: «Визначення значень технологічних параметрів, конструктивних розмірів причепа, які забезпечують найменші

втрати картоплі під час розвантаження, при виконанні агротехнічних умов і необхідної продуктивності».

З математичної позиції: «Знаходження мінімального значення цільової функції в заданій області закінченого векторного простору, яка обмежена переліком лінійних і нелінійних нерівностей».

Аналіз джерел показав відсутність уніфікованого підходу отримання найкращого рішення в доступних умовах, відповідно достовірність результату оптимізаційного завдання багато в чому залежить від обґрунтованості використовуваного методичного алгоритму.

Як критерії ефективності методичних алгоритмів оптимізації найчастіше приймають: точність визначення результатів оптимізації і тимчасові витрати на ЕОМ.

Перспективними методичними алгоритмами оптимізації в завданнях експлуатації техніки вважаються: метод градієнтної оцінки поверхні, крутого сходження або спуску, а також повного перебору.

Встановлено, що найбільш перспективним підходом є рішення подібних завдань використовуючи методичний алгоритм повного перебору при пошуку оптимального рішення, суть якого полягає в розрахунку усіх можливих комбінацій змінних чинників рівняння регресії в заздалегідь встановлених інтервалах варіювання.

Для вибору методу оптимізації досліджуємо рівняння (3.1) на наявність локального екстремуму, для цього запишемо його в наступній формі:

$$Var_3 = 51.3556 + 28.6833x_1 + 4.8x_2 + 31.3167x_1^2 - 1.8x_1x_2 + 9.3667x_1^2$$

де  $x_1$  - діаметр бульб, мм;

$x_2$  - швидкість руху бульб, м/с.

Система лінійних рівнянь (СЛУР) є не поєднаною, тобто локальний екстремум відсутній, а найменше значення досягається на межах області

визначення функції. Відповідно, функція (3.1) монотонна, тому будь-який метод знаходження найбільшого і найменшого значення функції прийнятний.

Для вибору методу оптимізації проведемо оцінку монотонності, отриманої в ході експериментального дослідження функції (3.1):

$$\begin{cases} \frac{\partial y}{\partial x_1} = 28.6833 + 2 \cdot 31.3167x_1 = 0; \\ \frac{\partial y}{\partial x_2} = 4.8 + 2 \cdot 9.3667x_2 = 0; \\ \frac{\partial y}{\partial x_1 \partial x_2} = -1.8 = 0. \end{cases} \quad (3.2)$$

Сформулюємо оптимізаційне завдання і представимо її блок-схему на рис. 3.4.



Рисунок 3.4 - Блок-схема завдання оптимізації моделі

В якості інструменту рішення поставленої задачі використовуємо надбудову «Пошук рішення» в середовищі Excel.

Представлена графічна інтерпретація результатів рішення оптимізаційної задачі у вигляді залежності маси пошкодженої картоплі від діаметру бульб картоплі і швидкості їх руху по поверхні причепа в процесі їх розвантаження. Маса пошкодженої картоплі не повинна перевищувати 3 %, згідно з агровимогами.

Таблиця 3.3 - Результати рішення оптимізаційної задачі методом повного перебору

Діаметр бульби картоплі $x_1$ , мм	Швидкість руху бульб $x_2$ , м/с	Маса пошкодженої картоплі при вивантаженні $Y$ , кг	Відсоток ушкоджень від початкової маси 2 880 кг < 3 %
40...50	4,1	51,19	1,777338258
	5,0	51,20	- // -
	6,0	51,24	- // -
50...60	4,3	79,58	2,763336836
	5,0	79,59	- // -
	6,0	79,60	- // -
більше 60	4,3	114,24	- // -
	5,0	114,23	- // -
	6,0	114,23	- // -

В результаті рішення оптимізаційної задачі, отримані наступні оптимальні параметри що забезпечують відсоток ушкоджень < 3 %: для бульб діаметром 40...50 мм, оптимальна швидкість руху 4,1 м/с, відсоток ушкоджень при цьому 1,77 %, для бульб діаметром 50...60 мм, оптимальна швидкість руху 4,3 м/с, відсоток ушкоджень при цьому 2,76 %. Визначення оптимальних параметрів для бульб картоплі діаметрів 60 і більше мм, вимагає проведення додаткових досліджень, оскільки зі збільшенням діаметру бульби збільшується і маса адгезійно-когезійних домішок в ній, що вимагає уточнення деяких параметрів.

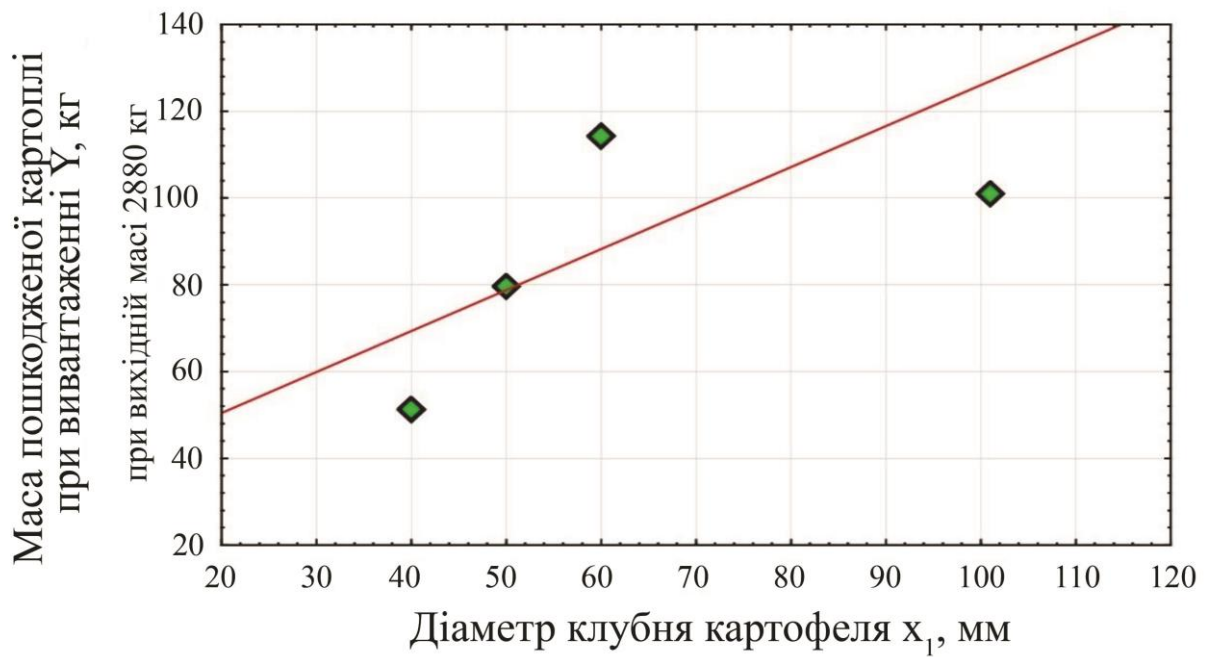


Рисунок 3.5 - Залежність маси ушкоджень від діаметру бульб

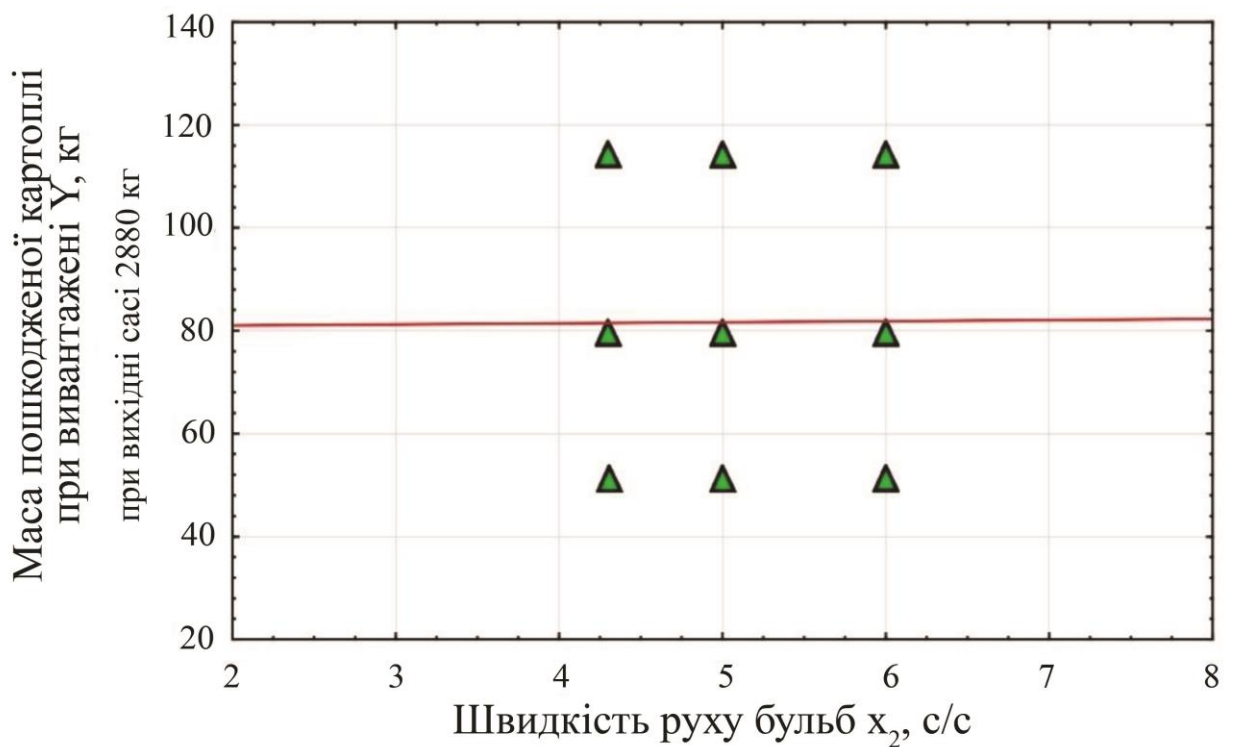


Рисунок 3.6 - Залежність маси ушкоджень від швидкості руху бульб

Отримані результати рішення оптимізаційної задачі параметрів вдосконаленого кузова самоскидного МТА при вивантаженні картоплі слід перевірити на достовірність.

### 3.5 Оцінка достовірності результатів, отриманих при моделюванні оптимізації

Для встановлення достовірності отриманих результатів математичного моделювання і рішення оптимізаційної задачі методом повного перебору оптимізації параметрів вдосконаленого кузова самоскидного МТА при вивантаженні картоплі експериментальним чином була проведена серія досліджень, з параметрами чисельні значення яких відповідають оптимальним.

Умови експерименту були наступні:

- початкова маса бульб картоплі завантажених в причіп 2 880 кг
- діаметр бульб 40...60 мм.

На рис. 3.9 представлена блок-схема оцінки достовірності отриманих при моделюванні і оптимізації результатів.

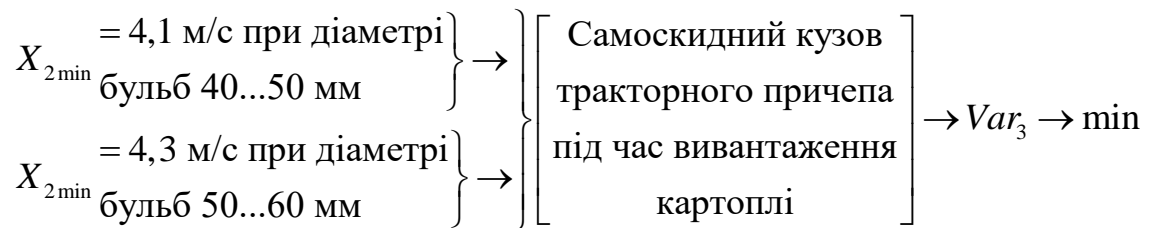


Рисунок 3.7 - Блок-схема оцінки достовірності отриманих результатів

Для формування мінімально прийнятної репрезентативної вибірки було реалізовано 10 паралельних дослідів. Результати яких представлені в таблицях 3.4 і 3.5.

Для обробки результатів експериментів застосовувалися ймовірнісно-статистичні методи аналізу даних. Розбіжність значень маси пошкоджених бульб картоплі, отриманих розрахунковим шляхом по моделі (3.1) в процесі рішення оптимізаційної задачі методом повного перебору і експериментально при оптимальних значеннях швидкостей руху бульб картоплі по вдосконаленому тракторному причепу визначалася по формулі :

Таблиця 3.4 - Результати оцінки достовірності оптимальних параметрів при швидкості 4,1 м/с для бульб діаметром 40.50 мм

№ з/п	Діаметр бульби картоплі $x_1$ , мм	Швидкість руху бульб $x_2$ , м/с	Маса пошкодженої картоплі при вивантаженні $Y$ , кг
1	40...50	4,1	52,4
2			52,01
3			50,1
4			51,5
5			52,1
6			49,9
7			51,4
8			52,6
9			50,2
10			50,34

Таблиця 3.5 - Результати оцінки достовірності оптимальних параметрів при швидкості 4,3 м/с для бульб діаметром 50.60 мм

№ з/п	Діаметр бульби картоплі $x_1$ , мм	Швидкість руху бульб $x_2$ , м/с	Маса пошкодженої картоплі при вивантаженні $Y$ , кг
1	50...60	4,3	82,4
2			81,9
3			82,1
4			80,79
5			79,6
6			79,9
7			80,1
8			80,9
9			81,1
10			79,6

Графічна інтерпретація результатів оцінки достовірності рішення оптимізаційної задачі представлена на малюнках 3.10...3.11.

$$\Delta M = \frac{\bar{N}_M^{on} - \bar{N}_M^e}{\bar{N}_M^{od}} \cdot 100; \quad (3.3)$$

де  $\bar{N}_M^{on}$  - оцінка маси ушкоджень бульб картоплі, кг;

$\bar{N}_M^e$  - оцінка середнього значення маси ушкоджень бульб картоплі, кг

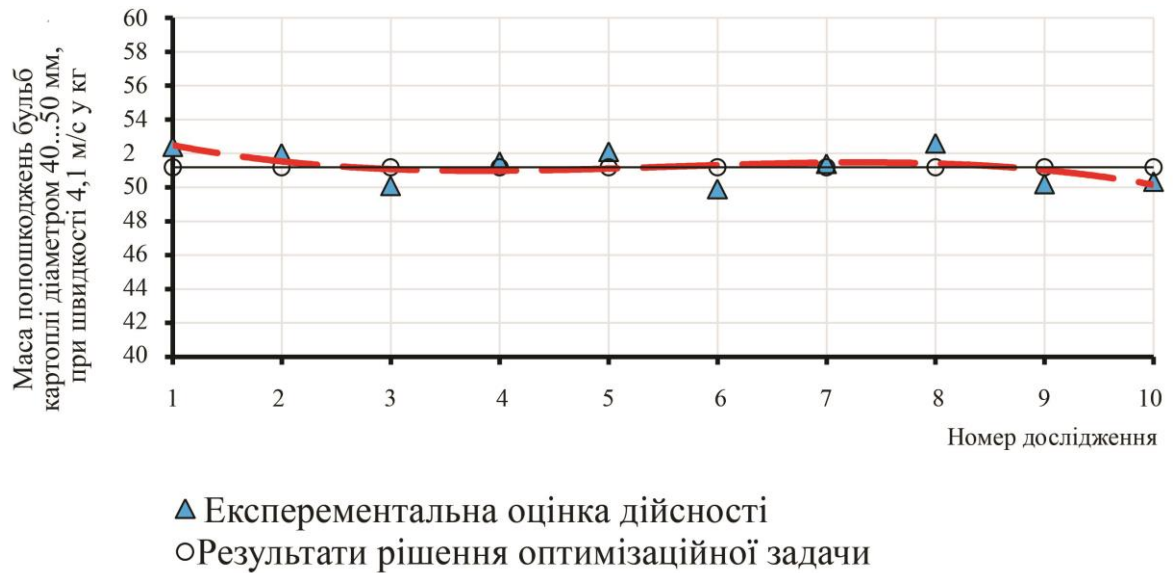


Рисунок 3.8 - Порівняння маси пошкоджених бульб картоплі діаметром 40.50 мм, отриманого в ході рішення оптимізаційного завдання і експериментальної оцінки достовірності при швидкості 4,1 м/с

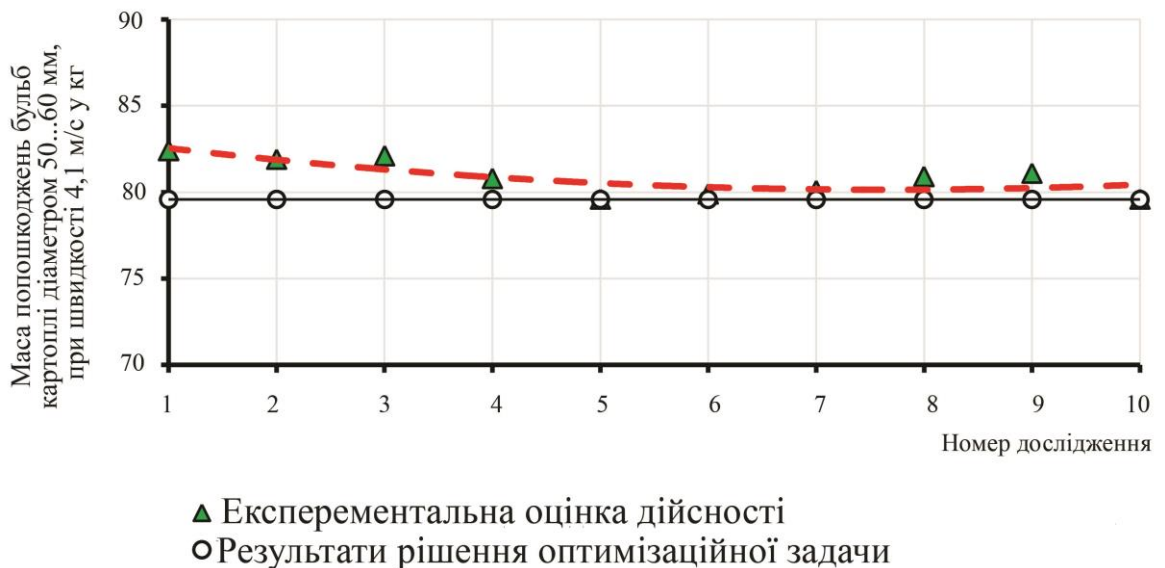


Рисунок 3.9 - Порівняння маси пошкоджених бульб картоплі діаметром 50.60 мм отриманих в ході рішення оптимізаційної задачі і експериментальній оцінці достовірності при швидкості 4,3 м/с

Після підстановки чисельних значень в модель (3.3) в обох випадках отримали  $\Delta_m < 2\%$ , що прийнятно при рішенні поставленої задачі і підтверджує достовірність моделі 3.1.

Для як найповнішої оцінки достовірності результатів отриманих при рішенні оптимізаційної задачі, її експериментальній оцінці достовірності, порівняємо їх з розрахунковими результатами отриманими в главі 2 дисертації.

Представлені розрахункові залежності маси пошкоджених бульб від швидкостей їх переміщення і частоти обертання роликів.

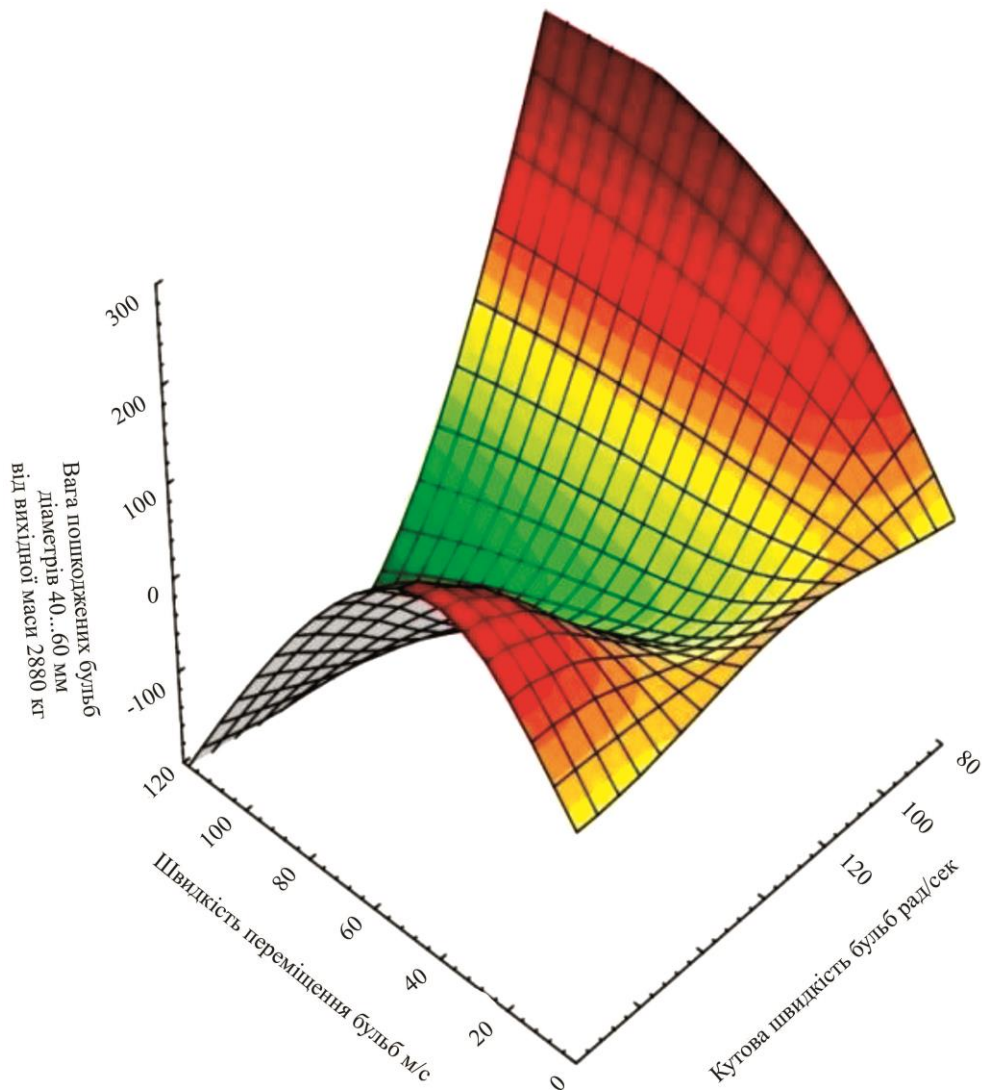


Рис. 3.10 - Розрахункова залежність маси пошкоджених бульб від швидкостей їх переміщення

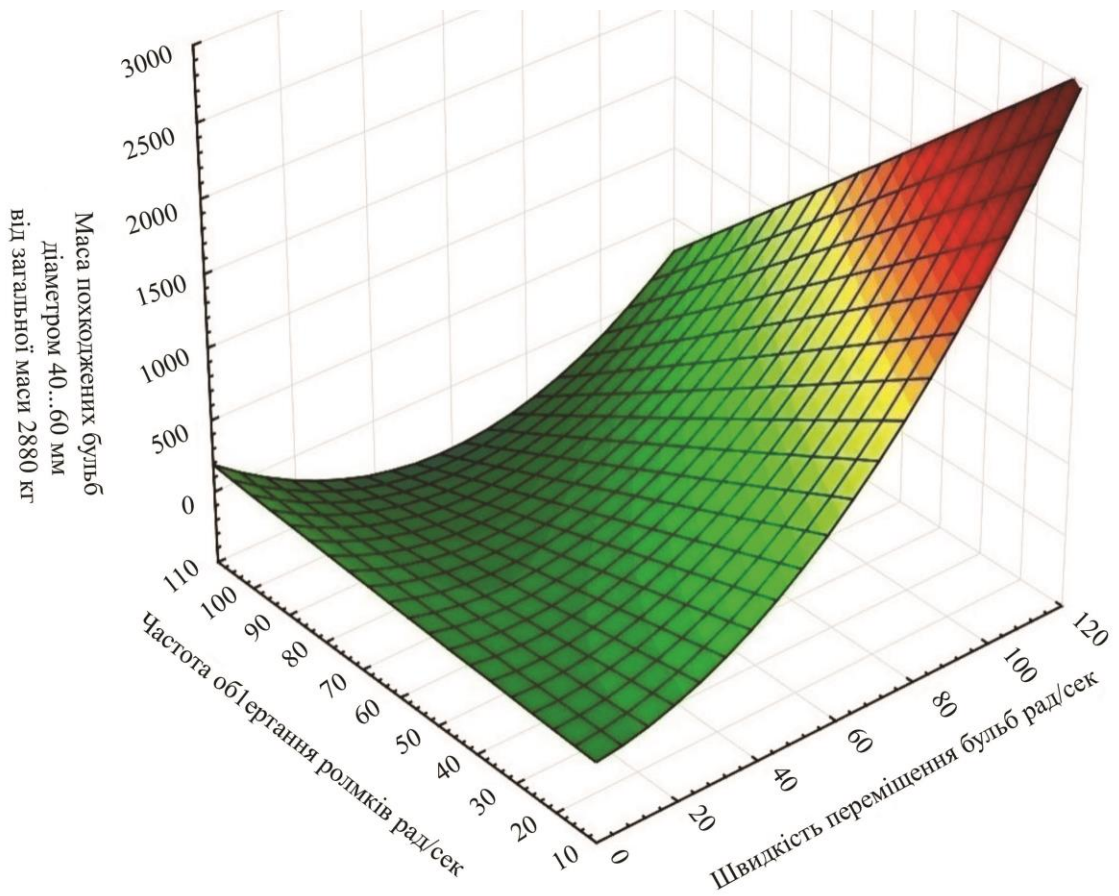


Рис. 3.11 - Розрахункова залежність маси пошкоджених бульб від частоти обертання роликів і швидкості їх переміщення

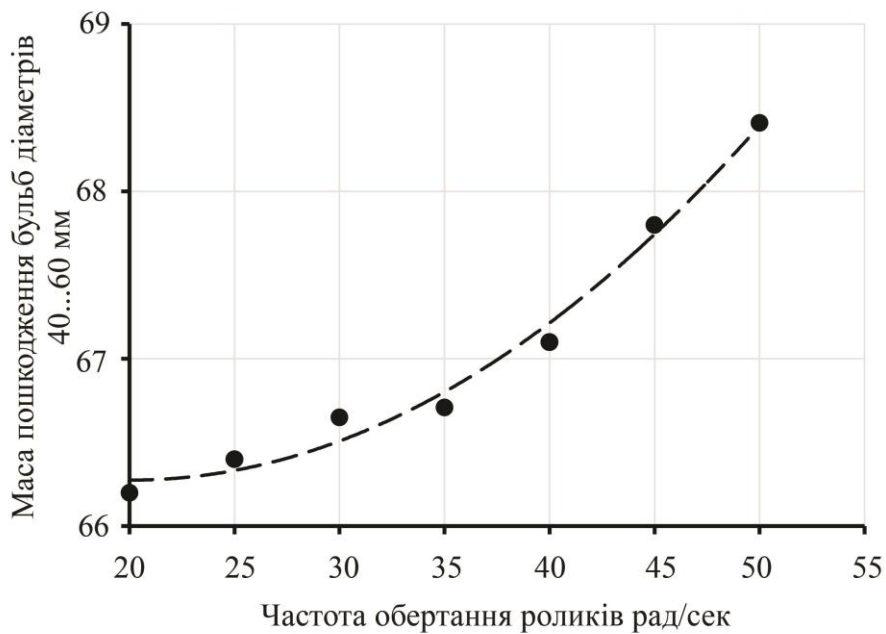


Рис. 3.12 - Розрахункова залежність маси пошкоджених бульб від частоти обертання роликів

Розрахункова залежність маси пошкоджених бульб від частоти обертання роликів (див. рис 3.14), може бути описана квадратичним рівнянням з коефіцієнтом детерміації  $R^2=0,98$ :

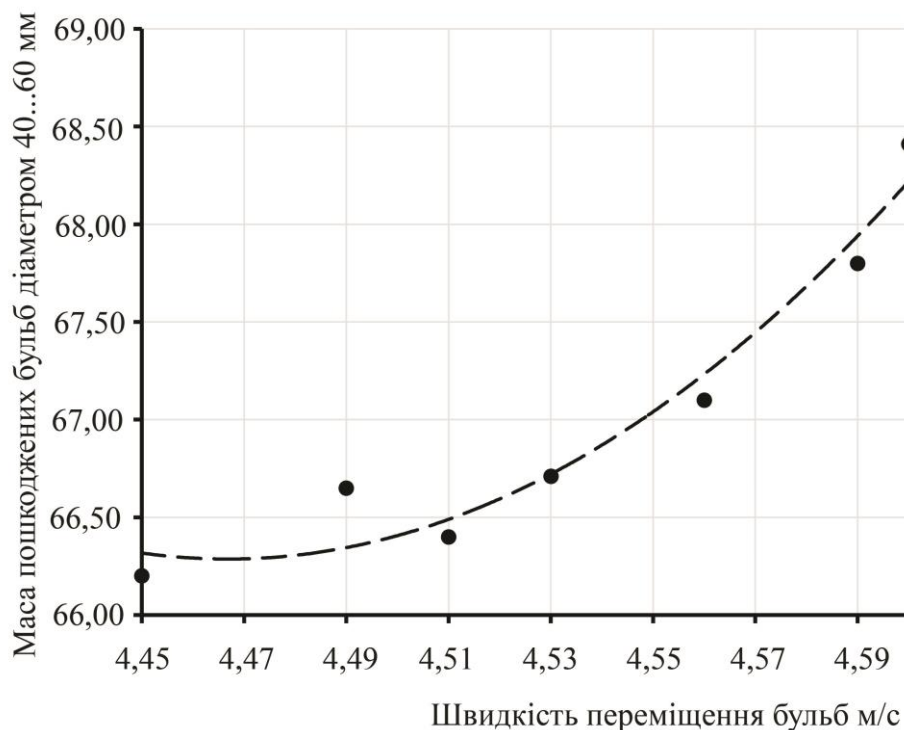
$$y = 0,0024x^2 - 0,0948x + 67,226. \quad (3.4)$$

Розрахункова залежність маси пошкоджених бульб від швидкості переміщення бульб (див. рис 3.15), може бути описана квадратичним рівнянням з коефіцієнтом детерміації  $R^2=0,95$ :

$$y = 108,99x^2 - 973,65x + 2240,90. \quad (3.5)$$

Узагальнивши результати теоретичних досліджень і залежностей, отриманих розрахунковим шляхом і представлених на малюнках 3.12.3.15 отримаємо рівняння, що описує залежність відсотка маси ушкоджень бульб від швидкості їх руху (див. рис. 3.16) з коефіцієнтом детерміації  $R^2 = 0,9$ :

$$y = -0,8265X_2^2 + 9,5012X_2 - 23,254. \quad (3.6)$$



Швидкість переміщення бульби м/с

Рисунок 3.13 - Розрахункова залежність маси пошкоджених клубенів швидкості переміщення бульб

Проаналізувавши результати, отримані розрахунковим шляхом в главі 2 дисертації, результати експериментальних досліджень, отримані в розділі 3.3, результати оптимізації параметрів вдосконаленого кузова самоскидного МТА при вивантаженні картоплі, отримані в розділі 3.4, а також в результаті експериментальній оцінці достовірності, розділ 3.5 оцінимо узагальнену погрішність дослідження, використовуючи залежність (3.3). Результати порівняння представимо графічно у вигляді гістограми.

Проаналізувавши дані можна зробити висновок, що відсоток ушкоджень в усіх випадках не перевищують 3% регламентовані агрономогами, відповідно, отримані результати є достовірними.

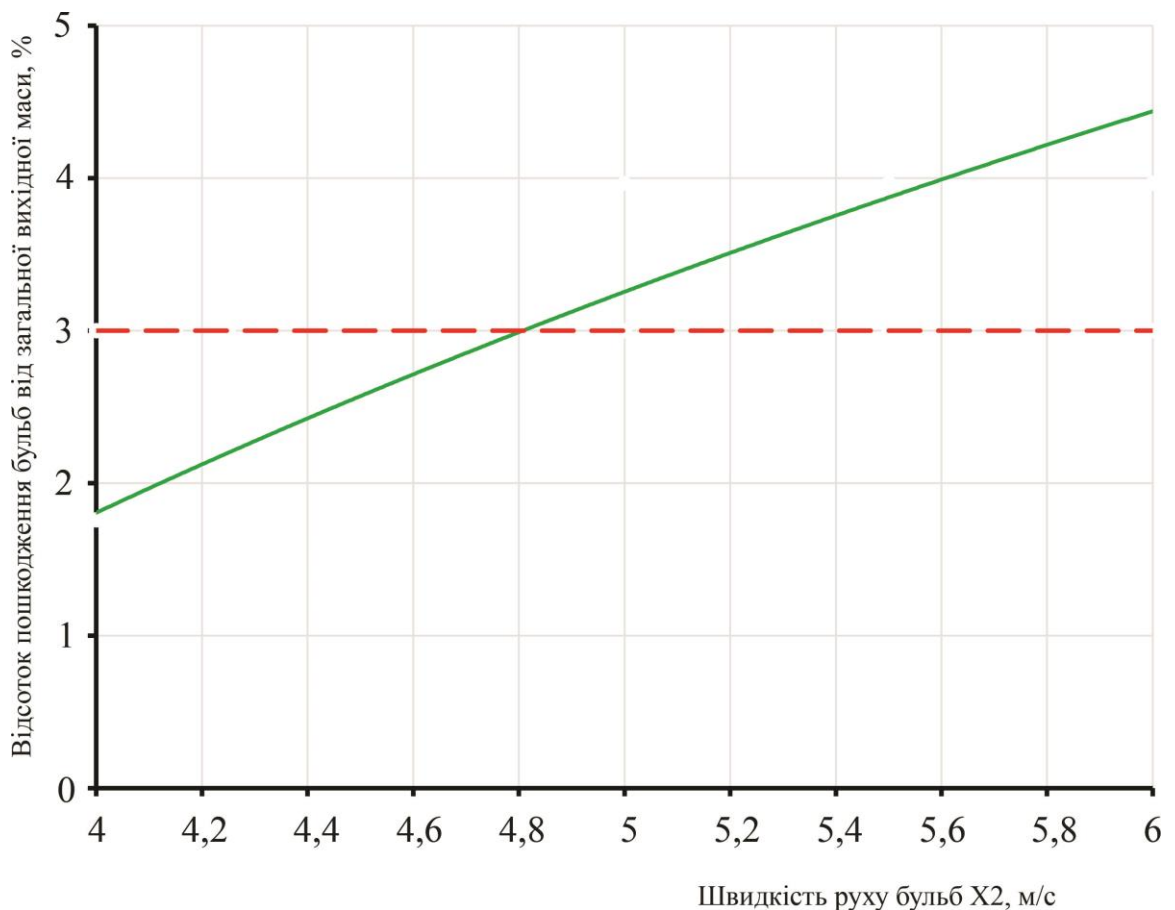


Рисунок 3.14 - Узагальнена залежність відсотка пошкоджених бульб залежно від швидкості їх руху

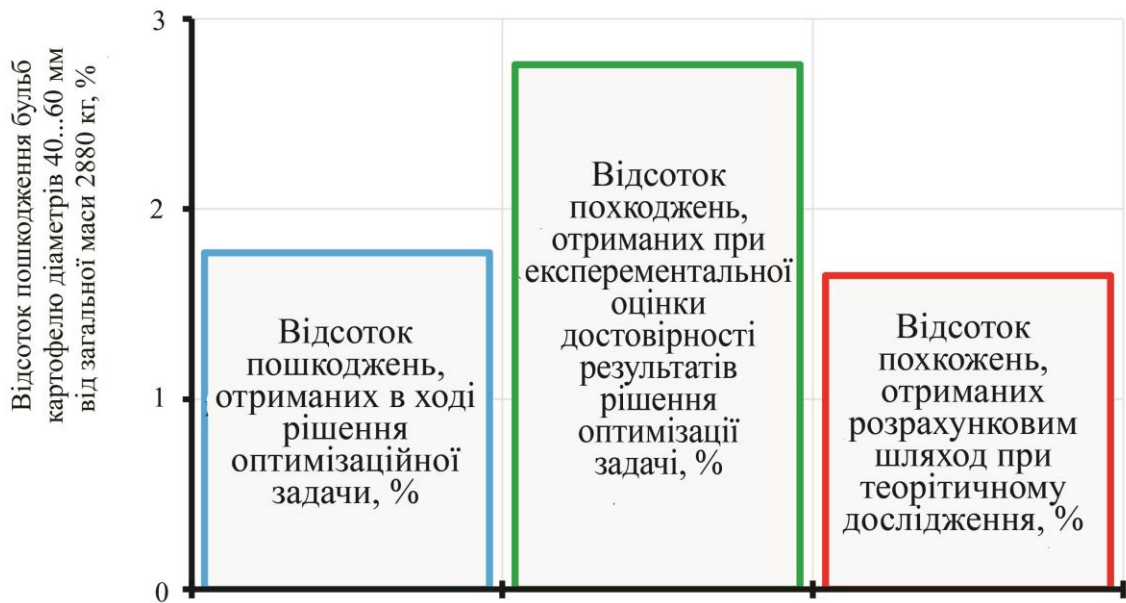


Рисунок 3.15 - Порівняння результатів, отриманих розрахунковим шляхом, в ході рішення оптимізаційної задачі і експериментальній оцінці достовірності

## Висновки

Доведений вплив діаметру бульби на процес ушкодження картоплі при вивантаженні з вдосконаленого кузова самоскидного МТА. При діаметрі бульби в інтервалі 46-50 мм при швидкості його руху по роликовому транспортеру вдосконаленого кузова самоскидного МТА до 5,0 м/с забезпечується мінімальна (раціональна) величина ушкодження картоплі 1,52-1,6%, що відповідає агротехнічним вимогам, що пред'являються до цього технологічного процесу (не більше 3%).

По результатом оцінки достовірності результатів отриманих при рішенні оптимізаційної задачі встановлено, що відсоток ушкоджень в усіх випадках не перевищують 3% регламентовані агротехнічними вимогами, відповідно, отримані результати є достовірними.

#### **4. ОСНОВНІ ВИМОГИ З ТЕХНІКИ БЕЗПЕКИ ТА ОХОРОНИ ПРАЦІ ПРИ РОБОТІ САМОСКІДНОГО ТРАКТОРНОГО ПРИЧЕПУ**

Самоскидні тракторні причепа є одними з найбільш поширених транспортних засобів у сільському господарстві, будівництві та лісозаготівельній діяльності. Вони призначені для перевезення різноманітних вантажів: ґрунту, врожаю, добрив, будівельних матеріалів, сміття та інших сипучих і штучних матеріалів.

Робота з самоскидним причепом пов'язана з підвищеним ризиком травматизму через використання великогабаритної техніки, підйом та скидання вантажу, рухомі робочі органи, небезпеку перекидання та нестабільність вантажу. Тому дотримання правил охорони праці та техніки безпеки є обов'язковим і дозволяє забезпечити ефективність, продуктивність та безпеку робочого процесу.

##### **1. Загальні вимоги до працівників**

До роботи з самоскидним тракторним причепом допускаються особи, які:

- досягли 18 років;
- пройшли медичний огляд і навчання з охорони праці;
- мають посвідчення тракториста-машиніста відповідної категорії;
- ознайомлені з інструкцією з експлуатації причепа та правилами безпечного перевезення вантажів.

Перед початком роботи проводиться інструктаж на робочому місці, що включає:

- порядок завантаження та розвантаження причепа;
- правила експлуатації на різних типах ґрунту та на схилах;
- поведінку при аварійних ситуаціях;
- взаємодію з іншими механізмами та людьми на полі чи будмайданчику.

Працівники повинні бути забезпечені засобами індивідуального захисту: спецодягом, захисним взуттям, рукавицями, касками, а також захисними окулярами, якщо є небезпека від пилу або уламків.

## 2. Підготовка причепа до роботи

Перед початком експлуатації самоскидний причіп підлягає технічному огляду:

- перевірка стану ходової частини, коліс та шин;
- огляд гідравлічної системи підйому кузова;
- перевірка зчіпного пристрою трактора;
- перевірка робочих гальм і сигналізації;
- контроль наявності аптечки та вогнегасника;
- очищення кузова від залишків попередніх вантажів, сміття та льоду (у зимовий період).

Забороняється експлуатація причепа з несправними гальмами, пошкодженими шинами, тріщинами в рамі або корпусі, а також з неповним або відсутнім захисним обладнанням.

## 3. Безпека при завантаженні та перевезенні вантажів

Основні вимоги:

- вантаж має бути розміщений рівномірно по всій площі кузова для уникнення перекидання.
- висота завантаження не повинна перевищувати допустимих норм, зазначених виробником.
- під час завантаження забороняється перебування людей у зоні дії ковша чи іншого навантажувального механізму.
- на схилах причіп повинен рухатися з максимальною обережністю, дотримуючись допустимого кута нахилу.
- перед рухом необхідно переконатися у надійному закріпленні зчіпного пристрою та виправності гальм.

Рух самоскидного причепа повинен здійснюватися рівномірно, без різких маневрів, гальмувань та поворотів, особливо при завантаженому кузові.

#### 4. Безпека при розвантаженні

Розвантаження самоскидного причепа здійснюється лише на рівній або спеціально підготовленій ділянці. Основні правила:

- перед підйомом кузова переконатися, що ніхто не перебуває поблизу задньої або бокових частин причепа;
- рухати трактор повільно, уникаючи різких маневрів;
- перевіряти стійкість причепа під час підйому кузова;
- забороняється залишати людей у кузові під час підйому або опускання кузова;
- при розвантаженні сипучих вантажів важливо контролювати напрямок потоку матеріалу та уникати завантаження на нерівну поверхню.

Особливу увагу слід приділяти гідравлічній системі: витіки масла або несправності можуть призвести до раптового опускання кузова та травмування працівників.

#### 5. Пожежна та екологічна безпека

- забороняється палити біля тракторного причепа, особливо під час роботи з горючими вантажами (солома, сіно, добрива).
- при транспортуванні паливно-мастильних матеріалів або хімічних вантажів необхідно дотримуватися спеціальних правил безпеки.
- слід своєчасно очищати кузов від залишків вантажу, сміття та пилу, щоб уникнути загоряння.
- використання вогнегасників обов'язкове під час виконання робіт із підвищеним ризиком пожежі.

#### 6. Організація робочого місця та взаємодія з персоналом

- чітке зонування робочих ділянок для безпечного маневрування техніки.
- використання сигналізації для попередження людей про рух причепа.
- забезпечення контролю за проходами, підйомами та спусками.

- дотримання режиму праці та відпочинку для запобігання перевтомі, що може призвести до помилок або травм.
- координація дій між трактористом, допоміжним персоналом та сигналізаторами.

#### 7. Вимоги після завершення роботи

- поставити причіп на стоянку на рівній поверхні;
- опустити кузов у транспортне положення;
- очистити від залишків вантажу та забруднень;
- провести технічний огляд, зафіксувати несправності;
- забезпечити належне зберігання причепа та інструментів.

Робота з самоскидним тракторним причепом є небезпечною через можливість перекидання, падіння вантажу, рухомі частини та гідравлічні механізми. Дотримання правил охорони праці та техніки безпеки дозволяє: зберегти життя та здоров'я працівників, запобігти травмам та аваріям; безпечну експлуатацію причепа та пов'язаних механізмів; підвищити ефективність завантаження, транспортування та розвантаження вантажів; знизити ризик аварій та поломок техніки; дотримуватися пожежної та екологічної безпеки; формувати культуру безпечної праці серед персоналу; сприяти стабільності та продуктивності виробничого процесу.

Системний підхід до безпеки та охорони праці під час роботи з самоскидним тракторним причепом є необхідною умовою ефективної, безпечної та високоякісної роботи в агропромисловому виробництві та будівельній сфері.

### **Висновки**

Робота з самоскидним тракторним причепом є комплексним процесом із підвищеною небезпекою для працівників через рухомі частини техніки, підйом та розвантаження важких вантажів, вплив пилу, шуму, вібрацій та ризику перекидання на нерівній місцевості. Комплексне дотримання правил

охорони праці та техніки безпеки є обов'язковим і забезпечує ефективність, продуктивність та безпеку робочого процесу.

Основними напрямками забезпечення безпеки є: підготовка персоналу, технічна підготовка причепа та трактора, безпечне завантаження, транспортування та розвантаження, організація робочого місця та взаємодія персоналу, пожежна та екологічна безпека, контроль режиму праці та відпочинку, системний підхід до безпеки.

Завдяки реалізації цих заходів забезпечується: збереження життя та здоров'я працівників; безпечна експлуатація трактора та самоскидного причепа; ефективне завантаження, перевезення та розвантаження вантажів; зниження аварійності та поломок техніки; дотримання екологічних норм та правил пожежної безпеки; формування культури безпечної праці серед персоналу; підвищення стабільності та продуктивності виробничого процесу.

Отже, системне дотримання вимог охорони праці та техніки безпеки при роботі самоскидного тракторного причепа є ключовим фактором забезпечення безпеки, ефективності та надійності виробничих процесів, що створює умови для стабільного, продуктивного та екологічно безпечного агропромислового та будівельного виробництва.

## 5 ЕФЕКТИВНІСТЬ ЕКОНОМІЧНА

Перевезення картоплі від місця збирання до місць первинного зберігання або переробки є важливою складовою виробничого процесу в картоплярстві. Значна частка витрат на транспортування припадає на період масового збирання, коли важливими є оперативність, мінімальні простої та збереження якості бульб. Для забезпечення ефективного транспортування широко застосовують самоскидні тракторні причепа, що дозволяють механізувати операції завантаження та розвантаження продукції, скорочуючи час обігу транспортних засобів і зменшуючи витрати праці.

Економічна доцільність використання самоскидних причепів визначається порівнянням витрат і результатів, тобто рівнем економії ресурсів, підвищенням продуктивності праці, скороченням простоїв техніки та підвищенням загальної рентабельності виробництва картоплі.

Після викопування бульби необхідно якнайшвидше доставити до пункту сортування чи зберігання, щоб уникнути механічних пошкоджень і втрат маси. Основними транспортними засобами для цього є трактори з причепами, вантажні автомобілі та спеціальні транспортно-технологічні комплекси.

Найпоширенішими у господарствах є тракторні причепа моделей 2ПТС-4, 2ПТС-6, ПТС-9, ПТС-12, а також їх модернізовані версії. Вони забезпечують транспортування вантажів масою від 4 до 12 т та мають механізм гідравлічного перекидання кузова, що істотно скорочує тривалість розвантаження.

Використання самоскидних причепів під час перевезення картоплі дозволяє:

- зменшити час розвантаження у 3–4 рази порівняно зі звичайними причепами;
- скоротити простої транспортних засобів у пункті приймання;
- знизити трудові витрати при розвантаженні;

- зменшити пошкодження картоплі завдяки рівномірному та контрольованому розвантаженню;
- забезпечити безперервність процесу перевезення при великих потоках продукції.

Економічна ефективність транспортного процесу визначається співвідношенням між результатами (виробітком, економією ресурсів, прибутком) та витратами на реалізацію технології. Основними показниками ефективності використання самоскидних причепів є:

- продуктивність транспортного засобу, т·км/зміну;
- собівартість перевезення 1 т вантажу, грн/т;
- економія витрат праці, люд.-год;
- зниження втрат картоплі під час перевезення, %;
- термін окупності додаткових капіталовкладень.

Загальна формула економічного ефекту:

$$E=(C1-C2) \times Q \quad (5.1)$$

де  $C1$  – собівартість перевезення 1 т картоплі базовим способом, грн/т;

$C2$  – собівартість перевезення 1 т картоплі з використанням самоскидних причепів, грн/т;

$Q$  – обсяг перевезень, т.

Термін окупності додаткових інвестицій:

$$T=K/E \quad (5.2)$$

де  $K$  – додаткові капітальні вкладення, грн;

$E$  – річний економічний ефект, грн.

Конкретний приклад розрахунку економічної ефективності

Господарство, яке займається вирощуванням картоплі на площі 80 га із середньою врожайністю 35 т/га. Загальний обсяг урожаю становить:

$$Q=80 \times 35=2800 \text{ т.}$$

Для перевезення картоплі на відстань 5 км використовується трактор МТЗ-82 із причепом 2ПТС-6 (вантажопідйомність 6 т).

Таблиця 5.1 - Вихідні дані для розрахунку

№	Показник	Звичайна конструкція	Запропонована
1	Вантажопідйомність, т	6	6
2	Тривалість одного рейсу, хв	60	45
3	Тривалість розвантаження, хв	15	5
4	Кількість рейсів за зміну	8	10
5	Продуктивність, т/зміну	48	60
6	Витрати пального, л/зміну	25	27
7	Заробітна плата з нарахуваннями, грн/зміну	700	700

Розрахунок собівартості перевезення 1 т картоплі

$$C = V_{п} + V_{зп} + V_{ам} Q_{зм}$$

$$C = Q_{зм} V_{п} + V_{зп} + V_{ам}$$

де  $V_{п}$  – витрати пального, грн;

$V_{зп}$  – заробітна плата, грн;

$V_{ам}$  – амортизаційні витрати, грн;

$Q_{зм}$  – кількість перевезеної картоплі, т/зміну.

Для звичайного причепа:

$$C_1 = (25 \times 70) + 700 + 15048 = 260048 \approx 54,2 \text{ грн/т}$$

Для самоскидного причепа:

$$C_2 = (27 \times 70) + 700 + 18060 = 276060 = 46,0 \text{ грн/т}$$

Розрахунок річного економічного ефекту

$$E = (54,2 - 46,0) \times 2800 = 8,2 \times 2800 = 22960 \text{ грн.}$$

Таким чином, за сезон господарство економить 22,96 тис. грн лише на перевезенні картоплі.

Оцінка окупності інвестицій

Додаткові витрати на придбання самоскидного механізму становлять 40 тис. грн.

$T=4000022960 \approx 1,74$  року

Отже, додаткові вкладення окупляться менш ніж за 2 роки, що свідчить про високу ефективність застосування самоскидного причепа.

Крім прямої економії коштів, застосування самоскидних причепів забезпечує низку непрямих економічних та організаційних переваг: Зменшення пошкоджень картоплі при механічному розвантаженні завдяки плавності перекидання кузова (зменшення втрат до 1–1,5 %). Скорочення простоїв транспорту біля складу чи приймального пункту, що підвищує коефіцієнт використання робочого часу машини.

Можливість роботи з мінімальною кількістю персоналу, оскільки не потребується ручне розвантаження. Покращення умов праці та зниження травматизму. Зменшення експлуатаційних витрат у перерахунку на 1 т перевезеної продукції.

Таблиця 5.2 - Підвищення продуктивності праці водіїв і трактористів.

№	Показник	Звичайна конструкція	Запропонована
1	Продуктивність, т/зміну	48	60
2	Собівартість перевезення, грн/т	54,2	46,0
3	Собівартість перевезення, грн/т	0,52	0,45
4	Річна економія коштів, грн	-	22960
5	Термін окупності, років	-	1,74

Результати підтверджують, що використання самоскидних причепів забезпечує комплексну економію ресурсів, підвищення продуктивності праці та швидке повернення інвестицій.

## **Висновки**

Використання самоскидних тракторних причепів при перевезенні картоплі дозволяє скоротити тривалість одного транспортного циклу на 25–30 %, що забезпечує зростання продуктивності на 20–25 %.

Собівартість перевезення 1 т картоплі знижується на 7–10 грн (до 15 %), а загальна економія коштів у середньому господарстві може становити понад 20 тис. грн за сезон.

Термін окупності додаткових капіталовкладень не перевищує двох років, що свідчить про високу економічну ефективність інвестицій.

Крім прямих економічних вигід, спостерігається поліпшення умов праці, зменшення пошкоджень бульб і підвищення організації логістичного процесу.

Отже, впровадження самоскидних причепів у систему перевезення картоплі є доцільним заходом, який сприяє підвищенню рентабельності виробництва та ефективному використанню машинно-тракторного парку.

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. З аналізу технологічного процесу розвантаження кузовів самоскидних МТА встановлено, що в переважній більшості вони не відповідають агротехнічним вимогам за показником ушкодження бульб (ушкодження не більше 3%).

2. За результатами проведених теоретичних розрахунків було встановлено, що картопляна купа вивантажувана з вдосконаленого кузова МТА не падає вниз, а поступає на роликовому транспортері. При цьому швидкість бульби досягає 4,6 м/с, а кутова швидкість обертання роликів перевантажувального пристрою буде в діапазоні від 20 до 50 рад/с, що в кінцевому рахунку дозволить мінімізувати можливість ушкодження плодів при розвантаженні (до 1,6%). При діаметрі бульби в інтервалі 46-50 мм при швидкості його руху по роликовому транспортері вдосконаленого кузова самоскидного МТА до 5,0 м/с забезпечується мінімальна (раціональна) величина ушкодження картоплі 1,52-1,6%.

3. Визначено, що застосування МТА з вдосконаленим кузовом самоскидним на внутрішньогосподарських перевезеннях картоплі дозволило добитися зниження ушкодження вантажу на 38,5% (за рахунок дбайливого розвантаження МТА).

4. Для раціонального технологічного процесу розвантаження картоплі з вдосконаленого кузова самоскидного МТА і дотримання при цьому агротехнічних вимог до цього виду робіт доцільним рішенням є використання навісного перевантажувального пристрою. При цьому необхідною умовою ефективного функціонування подібного навісного перевантажувального пристрою є оснащення вивантажного роликового транспортера гідроприводом, що забезпечує обертання його роликів із заданою кутовою швидкістю.

5. Робота з самоскидним тракторним причепом є комплексним процесом із підвищеною небезпекою для працівників через рухомі частини

техніки, підйом та розвантаження важких вантажів, вплив пилу, шуму, вібрацій та ризику перекидання на нерівній місцевості. Комплексне дотримання правил охорони праці та техніки безпеки є обов'язковим і забезпечує ефективність, продуктивність та безпеку робочого процесу. Основними напрямками забезпечення безпеки є: підготовка персоналу, технічна підготовка причепа та трактора, безпечне завантаження, транспортування та розвантаження, організація робочого місця та взаємодія персоналу, пожежна та екологічна безпека, контроль режиму праці та відпочинку, системний підхід до безпеки. Завдяки реалізації цих заходів забезпечується: збереження життя та здоров'я працівників; безпечна експлуатація трактора та самоскидного причепа; ефективне завантаження, перевезення та розвантаження вантажів; зниження аварійності та поломок техніки; дотримання екологічних норм та правил пожежної безпеки; формування культури безпечної праці серед персоналу; підвищення стабільності та продуктивності виробничого процесу.

6. Використання самоскидних тракторних причепів при перевезенні картоплі дозволяє скоротити тривалість одного транспортного циклу на 25–30 %, що забезпечує зростання продуктивності на 20–25 %. Собівартість перевезення 1 т картоплі знижується на 7–10 грн (до 15 %), а загальна економія коштів у середньому господарстві може становити понад 20 тис. грн за сезон. Термін окупності додаткових капіталовкладень не перевищує двох років, що свідчить про високу економічну ефективність інвестицій.

## БІБЛІОГРАФІЯ

1. Алімов Д. М., Шелестов Ю. В. Технологія виробництва продукції рослинництва. – К.: Вища школа, 1995. 271с.
2. Шабельник Б. П. Теорія і практичне обґрунтування параметрів робочих органів бурякозбиральних машин. – Харків: Міносвіта, 2001. 314с.
3. Войтюк Д. Г., Дубровін В. О., Іщенко Т. Д. Сільськогосподарські та меліоративні машини: Підручник. – К.: Вища освіта, 2004. 544с.
4. Гевко Р. Б. Викопувально-очисні пристрої бурякозбиральних машин. Конструювання і розрахунок. – Тернопіль: Поліграф. 1997. 126с.
5. Гевко Р. Б. Обґрунтування конструктивно-технологічних параметрів робочих органів бурякозбиральних машин. Дис. доктора техн. наук: 05.05.11. Національний аграрний університет. – К.: 2000. 362с.
6. Гевко Р. Б., Ткаченко І. Г., Синій С. В., Булгаков В. М., Рогатинський Р. М., Павелчак І. Б. Напрямки вдосконалення бурякозбиральної техніки. – Луцьк: ЛТДУ. 1999. 175с.
7. Погорелий Л. В. Индустриальная технология производства сахарной свеклы. – К.: Урожай, 1983. 136 с.
8. Дереза О. О. Обґрунтування режиму роботи пруткових транспортерів овочезбиральних машин. Дис. канд. техн. наук: 05.05.11. Таврійська державна агротехнічна академія. – Мелітопіль: 2006. 170с.
9. Погорелий Л. В. Свеклоуборочные машины: Конструирование и расчет. – К.: Техніка, 1983. 168с.
10. Литвиненко В. Л. Исследование и повышение долговечности цепных скребковых транспортеров свеклоуборочных машин: Автореф. дис. канд. техн. наук: 05.20.01. – Харьков, 1973. 26с.
11. Хомик Н.І. Дослідження пруткових транспортерів бурякозбиральних машин з врахуванням особливостей навантаження. Дис... канд. техн. наук: 05.05.11. Тернопільський державний технічний університет імені Івана Пулюя. – Тернопіль: 2002. 170с.

12. Ловейкін В. С., Ярошенко В. Ф., Коробко М. М. Дискретна модель динаміки руху пруткового конвеєра. Науковий вісник національного аграрного університету. – К.: 2004. №73. С. 292-296.
13. Калетнік Г. М., Черниш О. М., Березовий М. Г. Використання сучасних методів механіки для сільського господарства. Збірник наукових праць ВНАУ: – Вінниця, 2011. Т1 (65). С.8-18.
14. Хомик Н. І., Рибак Т. І. Зношування і нерівномірність навантаженості як фактори руйнування елементів транспортерів бурякозбиральних машин. Трибофатика: Праці симпозіуму. – Тернопіль, 2002. Т.1. С.273-278.
15. Василенко П. М., Погорелий Л. В. Основи научних досліджень. Механізація сільського господарства. Учебное пособие. – К.: Вища шк., 1985. 266с.
16. Шабельник Б. П. Конвейери-очистителі корнеуборочних машин. – К.: Міносвіта, 1988. 243с.
17. Гевко Б. М., Рогатинський Р. М., Данильченко М. Г. Механізми з гвинтовими пристроями. – Львів: Світ. 1997. 248с.
18. Зуев Н.М. Исследование качества работы свеклоуборочных комбайнов в зависимости от агрофизических свойств сахарной свеклы при различных способах формирования насаждения растений: Автореф. дис., канд. техн. наук. – Харьков, 1971. с. 20.
19. Саржанов О. А. Обґрунтування параметрів високопродуктивного конвеєра та технологічного процесу очищення коренеплодів від ґрунту. Автореф. дис. канд. техн. наук: 05.05.11. – Харків, 2002. 20с.
20. Ткаченко І., Гевко Р., Павелчак О. Підвищення якісних показників роботи транспортерів-сепараторів корнезбиральних машин. Вісник Тернопільського державного технічного університету. 2000. Т.5, №4. С.67-70.
21. Нагорняк С. Г., Луцив І. В. Предохранительные механизмы металлообрабатывающего оборудования. – К.: Техніка, 1992. 71 с.

22. Хорольський І. М. Динаміка ланцюгових систем і замкнутих контурів машин неперервного транспорту. – Львів, 1999. 184с.
23. Ловейкін В. С., Ярошенко В. Ф., Коробко М. М. Визначення жорсткості тягових роликів ланцюгів пруткових конвеєрів. Науковий вісник національного аграрного університету. – К.: 2005. №91. С. 201-204.
24. Солоня О. В., Купчук І.М. Практикум з теорії механізмів і машин: навч. посіб. – Вінниця: ВНАУ, ТОВ “Друк”. 2020. 252 с.
25. Солоня О. В., Купчук І.М. Теорія механізмів і машин. Курсове проектування. Навчальний посібник. 2-ге вид., допов. і перероб. – Вінниця: ВНАУ, 2019. 249 с.
26. Булгаков В. М., Калетнік Г. М., Черниш О. М. Теоретичне дослідження збурених гармонійних коливань у вібраційних приводах машин. Вібрації в техніці та технологіях. 2016. №2 (82). С.5–9
27. Пазюк В.М., Токарчук О.А., Токарчук Д.М. Сучасний стан проблеми енергоефективності в світі та в Україні. Техніка, енергетика, транспорт АПК. 2021. №1(112). С. 88 –99.
28. Калетнік Г.М., Черниш О.М., Березовий М.Г. Використання сучасних методів механіки для сільського господарства. Збірник наукових праць ВНАУ: – Вінниця, 2011.Т1 (65). С.8-18.
29. Калетнік Г.М., Войтюк В.Д., Бондар С.М. та ін. Управління інженерною діяльністю виробничих і сервісних підприємств АПК. – К.:, 2010. 448 с.
30. Сільськогосподарські машини: підручник / Д. Г. Войтюк, Л. В. Аніскевич, В. В. Іщенко та ін.; За ред. Д. Г. Войтюка. – К.: «Агроосвіта», 2015. – 679 с.
31. Сільськогосподарські та меліоративні машини: Підручник / Д.Г. Войтюк, В.О. Дубровін, Т.Д. Іщенко та ін.; За ред. Д.Г. Войтюка. – К.: Вища освіта, 2004. – 544 с.

32. Войтюк Д.Г., Барановський В.Н., Булгаков В.Н. та ін. Сільськогосподарські машини. Основи теорії та розрахунку. – К.: Вища освіта, 2005. - 464 с.

33. Кобець А. С. Основи теорії робочих органів сільськогосподарських машин. – Дніпропетровськ: ДДАУ, 1999. – 204 с.

34. Кобець А. С. Теорія і розрахунок сільськогосподарських машин: практикум / Кобець А. С. Кобець О. М., Пугач А. М. – Дніпропетровськ: Вид-во «Свідлер А. Л.», 2011. – 164 с.

35. Скрипник В.І. Розробка, виробництво, конструктивні особливості нової сільськогосподарської техніки: навчальний посібник для здобувачів професійної освіти / В.І. Скрипник. – Київ.: Літера ЛТД, 2019. – 256 с.

36. Головчук А. Ф., Марченко В. І., Орлов В. Ф., Експлуатація та ремонт сільськогосподарської техніки: Підручник: У 3 кн. / За ред. проф. А. Ф. Головчука. Книга 3 – Машини сільськогосподарські . – К.: Грамота, 2005 р. – 576 с.

37. Комаристов В. Ю., Дунай М. Ф. Сільськогосподарські машини. – К.: Вища школа, 1987. – 486 с.

38. Антонишин Р. З., Козырев С. Н. Карты технологической наладки почвообрабатывающих и посевных машинно-тракторных агрегатов: Учеб. пособие. – К.: Вища школа, 1991. – 126 с.

39. Гапоненко В. С. Сільськогосподарські машини. – К.: Урожай, 1993. – 448 с.

40. Головчук А. Ф., Марченко В. І., Орлов В. Ф., Експлуатація та ремонт сільськогосподарської техніки: Підручник: У 3 кн. / За ред. проф. А. Ф. Головчука. Книга 2 – Комбайни зернозбиральні . – К.: Грамота, 2004 р. – 320 с.

41. Комплексы машин для промышленных технологий производства сахарной свеклы и кукурузы / И. Н. Серебряков, Ю. И. Ковтун, Н. В.

Татьянко и др.; Под ред. И. Н. Серебрякова, Ю. И. Ковтуна. – К.: Урожай, 1988. – 136 с.

42. Паламарчук В. І., Проценко О. О., Козачук А. М. та ін. Довідник з механізації виробництва цукрових буряків. За ред. О. О. Проценко. – К.: Урожай, 1987. – 240 с.

43. Погорелый Л. В. «Механизация производства сахарной свеклы», – К.: Урожай. 1981. – 172 с.

44. Рудич С. И. и др. Комплексная механизация орошения малых участков. – К.: Урожай, 1973. – 220 с.

45. Справочник по механизации кормопроизводства / Л. И. Грачева, А. В. Грачев, А. П. Вербицкий; Под ред. Л. И. Грачевой. – К.: Урожай, 1989. – 168 с.

46. Тудель Н. В. и др. Индустриальная технология производства кукурузы. – К.: Урожай, 1985. – 168 с.

47. Тудель М. В., Козаченко Б. О., Герасимчик В. Г. та ін. Спеціальні комбайни. – К.: Урожай, 1988. – 463 с.

48. Практикум з технологічної наладки та усуненню несправностей сільськогосподарських машин. / Гаврилюк Г. Р., Живолуп Г. І., Короткевич П. С. та ін. За ред. Г. Р. Гаврилюка. – К.: Урожай, 1995. – 280 с.

49. Проектування сільськогосподарських машин / І. М. Бендера, А. В. Рудь, Я. В. Козій, Д. Г. Войтюк та ін. – Кам'янець-Подільський: ФОП Сисин О. В., 2010.

50. Панченко А. Н. Теория и расчет сельскохозяйственных машин. Лабораторный практикум. Днепропетровск: ДГАУ, 2002. – 396 с.

51. Погорелый Л. В., Татьянко А. В., Брей В. В. Свеклоуборочные машины: конструирование и расчет. – К.: Техника, 1989. – 168 с.

52. Сільськогосподарські машини. Частина 3. Посівні машини / Бакум М. В., Бобрусь І. С., Морозов І. В., Нікітін С. П. та ін.; за ред. М. В. Бакума. – Харків, 2005. – 332 с.

53. Бакум М. В. Сільськогосподарські машини: у 2-х т.: Ч.2. Машини для внесення добрив / М. В. Бакум, І. С. Бобрусь, А. Д. Михайлов та ін.; за ред. М. В. Бакума. – Харків: ХНТУСГ, 2008. – Т.1. – 285 с.
54. Технологічна наладка та усунення несправностей сільськогосподарських машин: Довід. / Г.Р. Гаврилук, Г.І. Живолуп, П.С. Короткевич та ін.. – К.: Урожай, 1988. – 256с.
55. Герасимов І. В. Механізація транспортування картоплі в господарствах України. – Київ: Урожай, 2021. – 112 с.
56. ДСТУ 4518:2020. Причепи тракторні. Загальні технічні вимоги. – К.: Держспоживстандарт України, 2020.
57. Коваленко С. М. Транспортно-технологічні комплекси в овочівництві. – Харків: НТУА, 2022. – 135 с.
58. Механізація сільськогосподарських процесів / За ред. В. О. Куценка. – К.: НАУ, 2023. – 280 с.
59. Паламарчук І. М. Економіка агропромислового виробництва. – Вінниця: Нова книга, 2021. – 320 с.
60. Пахомов П. В. Ефективність використання тракторних причепів у господарствах України. – Житомир, 2022. – 98 с.
61. Смирнов О. Г. Логістика аграрного виробництва. – К.: Центр навчальної літератури, 2020. – 240 с.
62. Шевченко В. П. Розрахунок економічної ефективності машинно-тракторного парку. – Харків: УААН, 2021. – 154 с.
63. Яценко О. В. Машини для транспортування сільськогосподарських вантажів. – Київ: Ліра-К, 2023. – 180 с.
64. ДСТУ 4397:2021. Машини сільськогосподарські. Методи оцінювання ефективності використання. – К.: ДП «УкрНДНЦ», 2021.

## ДОДАТКИ