

ВСТУП

Картопля займає одне з провідних місць у світовому виробництві сільськогосподарської продукції.

Картоплю в Україні вирощують на площі 1,5 млн. га, враховуючи всі категорії вітчизняних господарств, валовий збір у 2020 році становив 19,5 млн. т. У США зафіксовано зростання кількості переробленої картоплі в 3 рази з 1960 по 2019 роки [1]. Картоплепродукти займають важливе місце у раціоні жителів Європи, Америки та Азії.

У зв'язку з цим зменшення пошкоджень картоплі при розвантаженні кузова транспортних засобів є важливим актуальним науково-технічним завданням.

Мета досліджень – зниження пошкоджень під час розвантаження бульб картоплі вдосконаленням кузова транспортного засобу (ТЗ).

Об'єкт досліджень – технологічний процес вивантаження бульб картоплі із кузова транспортного засобу на внутрішньогосподарських перевезеннях.

Предмет досліджень – теоретичні моделі та аналітичні залежності процесу вивантаження з кузова транспортного засобу.

Методика досліджень. Для теоретичного дослідження руху коренеплодів у кузові транспортного засобу розроблено математичну модель вивантаження коренеплодів. В результаті моделювання з урахуванням умов виконання операцій встановлено значення параметрів запропонованого пристрою.

Наукову новизну роботи становлять:

- математична модель вивантаження бульб картоплі з кузова ТЗ з еластичними перегородками;
- аналітичні залежності, що описують взаємозв'язок вивантаження бульб від кута перекидання кузова ТЗ з еластичними перегородками.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ СПОСІБІВ І ЗАСОБІВ ДЛЯ ЗНИЖЕННЯ ПОШКОДЖЕНЬ БУЛЬБ КАРТОПЛІ ПРИ ТРАНСПОРТУВАННІ ТА ВИВАНТАЖЕННІ

1.1 Огляд існуючих технологій збирання картоплі

Збирання картоплі є важливою операцією технології вирощування. Розрізняють кілька збиральних технологій: збирання картоплі копачем, роздільне, комбіноване і потокове [2].

Під час збирання картоплекопачем (рисунок 1.1), частково відокремлені від ґрунту та рослинних залишків бульби укладаються на поверхню прибраних грядок. Недоліками роботи копачів є підрізання бульбоносного пласта при підкопуванні, недостатня сепарація та втрати бульб присипаних ґрунтом, пошкодження бульб при підборі. Картоплекопачі використовують на малих ділянках та у важких ґрунтово-кліматичних умовах, а завдяки не високій ціні вони широко поширені в Україні.

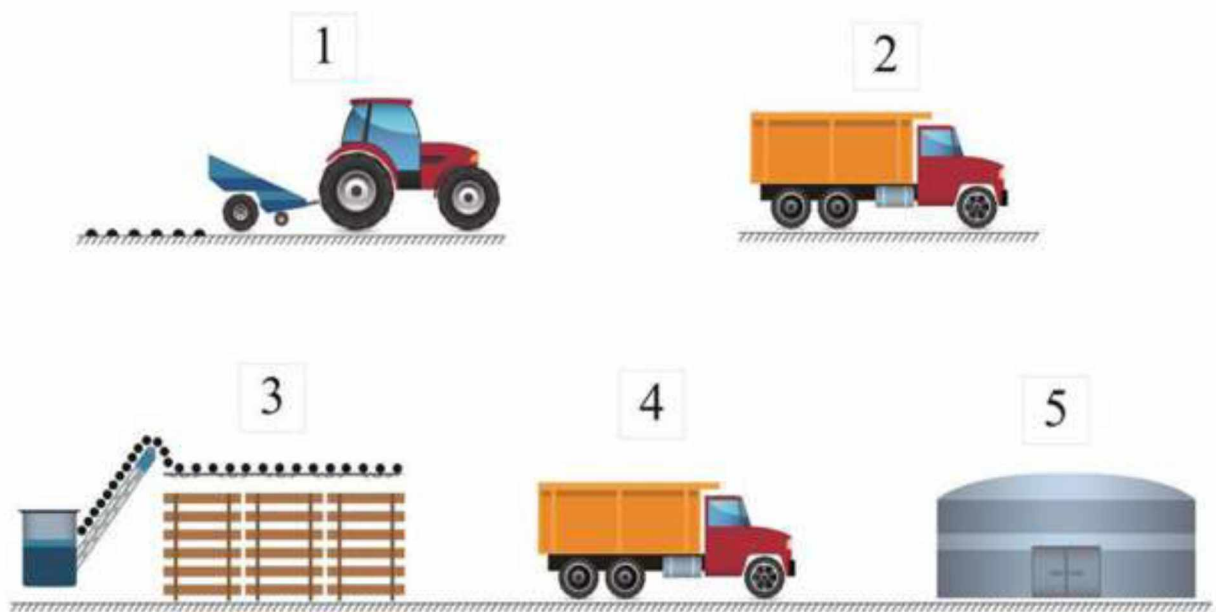


Рисунок 1.1 – Схема збирального процесу картоплі з використанням картоплекопача: 1 – картоплекопач; 2 – завантажений автомобіль; 3 – сортувальний пункт; 4 – завантажений автомобіль; 5 – сховище

Двофазний спосіб збирання (рисунок 1.2) передбачає утворення валка бульб за допомогою картоплекопача-валкоукладача з наступним підбором комбайном через деякий час. Цей спосіб може бути реалізований за тривалого періоду збирання в м'якому кліматі (Європейські країни).

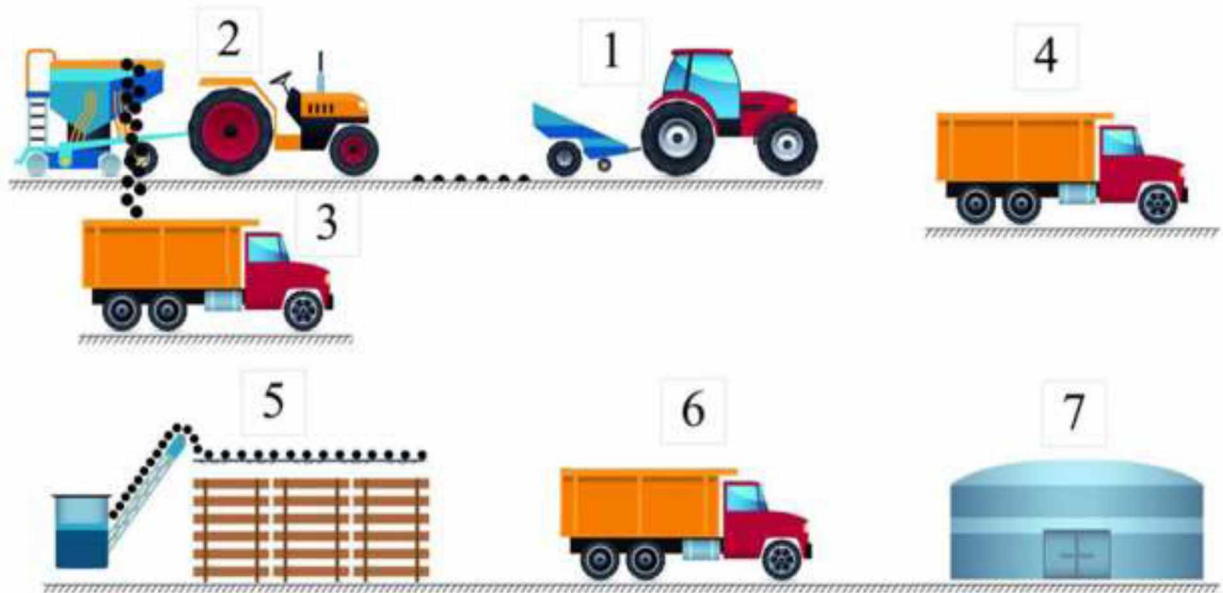


Рисунок 1.2 – Схема збирального процесу картоплі двофазним способом: 1 – картоплекопач; 2 – комбайн підбирач; 3 – супроводжуючий автомобіль; 4 – завантажений автомобіль; 5 – сортувальний пункт; 6 – завантажений автомобіль; 7 – сховище

Особливістю комбінованого способу (різновид двофазного способу) є прибирання комбайном чотирьох або шести рядків одночасно, які попередньо прибрані картоплекопачем-валкоукладачем і укладені в міжряддя сусідніх грядок. Прибирання валка комбайном дозволяє збільшити співвідношення бульб до ґрунту, що підвищує чистоту бульб у бункері та знижує їх пошкодження. Крім того, як і в роздільному способі, бульби у валку підсихають, зміцнюється їх шкірка, що знижує її обдирання. Особливо це важливо при комбайновому збиранні ранньої картоплі. Недоліком даних способів є збільшення періоду збирання та необхідність використання вузькоспеціалізованих машин здатних виконувати лише одну операцію.

Поточний спосіб (рисунок 1.3) передбачає комбайнове прибирання і є найменш трудо- та енерговитратним. Картоплезбиральні комбайни найбільш пристосовані для потокового способу збирання, але мають високу вартість. Особливістю картоплезбиральних комбайнів є наявність бункера, в якому після сепарації та очищення накопичуються бульби. Об'ємний бункер забезпечує роботу комбайна без простоїв в очікуванні транспортних засобів. Наявність бункера також дозволяє зменшити час спільного руху разом із комбайном транспортних засобів для накопичення бульб та знизити собівартість перевезення.

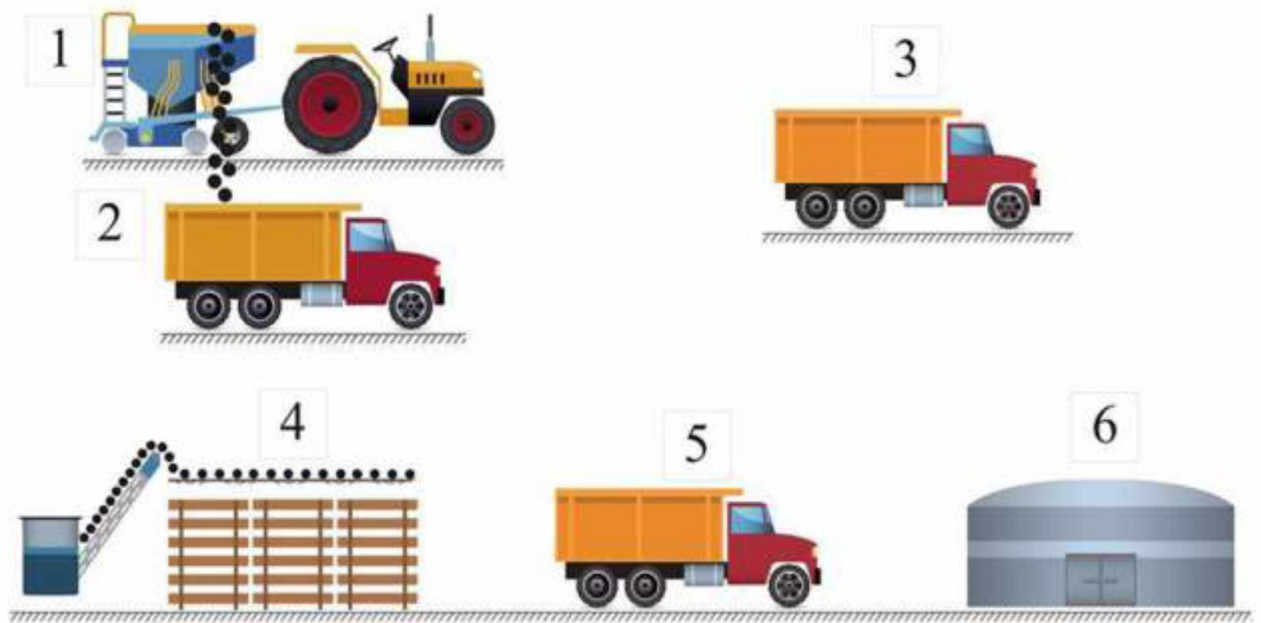


Рисунок 1.3 – Схема збирання картоплі прямим комбайнуванням (потокова технологія): 1 – картоплезбиральний комбайн; 2 – супроводжуючий автомобіль; 3 – завантажений автомобіль; 4 – сортувальний пункт; 5 – завантажений автомобіль; 6 – сховище

У західній Європі та США для потокового прибирання широко застосовують копачі-навантажувачі. Вони забезпечують високу продуктивність та знижують трудовитрати. В Україні використання копачів-

навантажувачів обмежується широким діапазоном ґрунтово-кліматичних умов, коротким періодом збирання, відсутністю спеціальних транспортних засобів для перевезення картоплі. Збирально-транспортні загопи забезпечують ритмічне збирання картоплезбиральними комбайнами або копачами-навантажувачами із достатньою кількістю транспортних засобів і обладнання для післязбиральної обробки врожаю. Поточний спосіб прибирання передбачає наявність спеціальних транспортних засобів з кузовом великої місткості, які використовуються нетривалий період. Це збільшує капіталовкладення. Тому найчастіше використовується універсальні транспортні засоби. Транспортні засоби застосовують не тільки в процесі збирання для перевезення картоплі з поля на сортувальний пункт, де відбувається його очищення від домішок та сортування, а й перевозять його з сортувального пункту до картоплесховища.

Перевезення картоплі є найважливішою операцією збирального процесу та визначає можливість використання потокового способу. Для перевезення картоплі застосовують самоскиди та тракторні причепи (таблиці 1.1, 1.2).

Таблиця 1.1 – Самоскидні транспортні засоби для транспортування картоплі

Марка	Вантажопідйомність, т	Конструктивні особливості
ГАЗ-САЗ-4509	4,0	Тристороннє розвантаження
КамАЗ-452803	10	Бічне двостороннє розвантаження
«Урал»-5557-40	7	Бічне двостороннє розвантаження
ЗИЛ-САЗ-1503	3	Заднє розвантаження
КамАЗ-55102	7,0	Бічне двостороннє розвантаження

ЗИЛ-ММЗ-4516	10	Бічне двостороннє розвантаження
--------------	----	---------------------------------

Таблиця 1.2 – Самоскидні тракторні причеи та напівпричеи

Марка	Вантажопідйомність, т	Конструктивні особливості
2ПТС-4	4,0	Тристороннє розвантаження
2ПТС-5	5,0	Тристороннє розвантаження
3ПТС-6	6,5	Тристороннє розвантаження

У польових умовах при перевезенні картоплі на невелику відстань до 5 км раціонально використовувати тракторні причеи. Недостатня кількість тракторів у збиральний період призводить до використання великовантажних самоскидів. З іншого боку, під час розвантаження великовантажних транспортних засобів виникають інерційні навантаження маси бульб, що призводять до їх пошкоджень, тому необхідно вдосконалення кузовів цього виду транспорту.

1.2 Аналіз існуючих технологій транспортування та вивантаження бульб картоплі

При виробництві сільськогосподарської продукції виконується значна кількість механізованої та людської праці [3].

Транспортні роботи становлять важливу частину механізованих робіт, наприклад, витрати на транспортування вантажів становлять 25-40% від загальних витрат на виробництво продукції [4]. Транспортування сільськогосподарських вантажів, в основному, здійснюється автомобілями. При цьому йде тенденція до збільшення частки автомобільних перевезень із поліпшенням якості внутрішньогосподарських доріг.

У Франції та Німеччині тракторні транспортні засоби забезпечують 75-80% перевезень сільськогосподарських вантажів. В Італії тракторні поїзди з причепами є основним сільськогосподарським транспортом [5]. Перевезення сільськогосподарських вантажів переважно здійснюється автомобільним транспортом, де частка тракторів сягає 35% [5].

На транспортні роботи припадає 10-12% загальних витрат на вирощування картоплі. В Україні понад 54% сільськогосподарських вантажів усередині господарства перевозяться автомобільними транспортними засобами дорогами, що знаходяться в незадовільному стані. На внутрішньогосподарських перевезеннях часто використовуються вантажні автомобілі загального призначення. При перевезеннях виникають прискорення до 3,5g, що спричиняє пошкодження вантажів [6].

При роботі кількох картоплезбиральних комбайнів на одному полі чи загоні скорочується час завантаження транспортного засобу та з'являється можливість використання транспортних засобів великої вантажопідйомності. Незважаючи на збільшення ефективності перевезень сільськогосподарської продукції великогабаритним транспортом, виникає проблема недостатнього використання вантажопідйомності транспортних засобів через низьку об'ємну масу продукції.

Для зниження пошкоджень вантажів встановлені вимоги до спеціалізованих кузовів. Автотранспорт сільськогосподарського призначення обладнують надставними бортами та механізмами їх відкривання та закривання. Тиск у шинах має бути регульованим, причому мінімальна межа повинна становити 1-1,5 Бар. Також встановлюється діапазон швидкостей 1-8 м/с (3,6-29 км/год) для руху у технологічному режимі [7].

У сільськогосподарському виробництві є дефіцит автомобілів сільськогосподарського призначення – автосамоскидів вантажопідйомністю 2-8 т. Сільськогосподарські підприємства заповнюють дефіцит автомобілів сільськогосподарського призначення за допомогою великовантажної техніки, яка відповідає агротехнічним вимогам.

Внутрішньогосподарські перевезення картоплі у збиральний період здійснюються на малих плечах 5...10 км, тому використання тракторних причепів також є раціональним. Однак, при підвищенні швидкості руху тракторних причепів виникає ефект виляння причепа з боку на бік [8], що погіршує умови праці механізатора та їх експлуатаційні властивості. При вилянні причепа трактористу доводиться здійснювати постійні підрулювання і знижувати швидкість руху, що зменшує продуктивність та маневреність транспортного засобу. Тому використання спеціально обладнаних для перевезення сільськогосподарської продукції автомобілів дозволяє підвищити ефективність і якість внутрішньогосподарських перевезень.

1.3 Аналіз технічних засобів транспортування бульб картоплі

Сучасні технології збирання картоплі вимагають використання високопродуктивних транспортних засобів. У зв'язку з цим підприємства часто використовують універсальні самоскиди. Також перевагу отримують більш ефективні транспортні засоби підвищеної місткості.

Поточний спосіб збирання картоплі передбачає використання автомашин-самоскидів (рисунок 1.4), автомашин з напівпричепами, тракторних самоскидних причепів (рисунок 1.5), напівпричепів. Основними вимогами до транспортних засобів для картоплі при збиранні є збільшення продуктивності за рахунок збільшення місткості, зниження простоїв при розвантаженні та мінімізація пошкоджень бульб.



Рисунок 1.4 – Агрегати-самоскиди



Рисунок 1.5 – Тракторний самоскидний причіп 2 ПТС 4

Розвантаження самоскидних транспортних засобів великої місткості супроводжується підняттям кузова, при цьому необхідно враховувати висоту сховищ або навісів, а також пошкоджень бульб картоплі при розвантаженні.

Для підвищення прохідності та зниження тиску на ґрунт знижують тиск у шинах машин та причепів. З цією метою у ходових системах транспортних засобів використовують широкопрофільні шини [9].

У США для перевезення картоплі використовують спеціальні транспортні засоби, що обладнані конічними бункерами із рухомим дном (рисунок 1.6) та з вивантажним транспортером (рисунок 1.7).



Рисунок 1.6 – Транспортний засіб, що обладнаний рухомим дном



Рисунок 1.7 – Транспортний засіб, що обладнаний вивантажним транспортером

На практиці дуже часто застосовують різного типу гасителі падіння, зокрема, покривають дно гумовим полотном (фірми Dalman, Lockwood) (рисунок 1.8) або встановлюють спеціальні гасники (рисунок 1.9).



Рисунок 1.8 – Покриття із прогумованого полотна захисного козирка



Рисунок 1.9 – Гасителі падіння бульб картоплі у кузові транспортного засобу

В Україні для перевезення картоплі використовують самоскиди ЗИЛ, ГАЗ, КамАЗ, МАЗ і тракторні причеми. Враховуючи особливості приймальних бункерів картоплесортувальних пунктів, вивантаження картоплі здійснюють перекиданням кузова через задній борт, що викликає додаткові механічні пошкодження бульб. Особливо при використанні універсальних самоскидних транспортних [10] (рисунок 1.10).

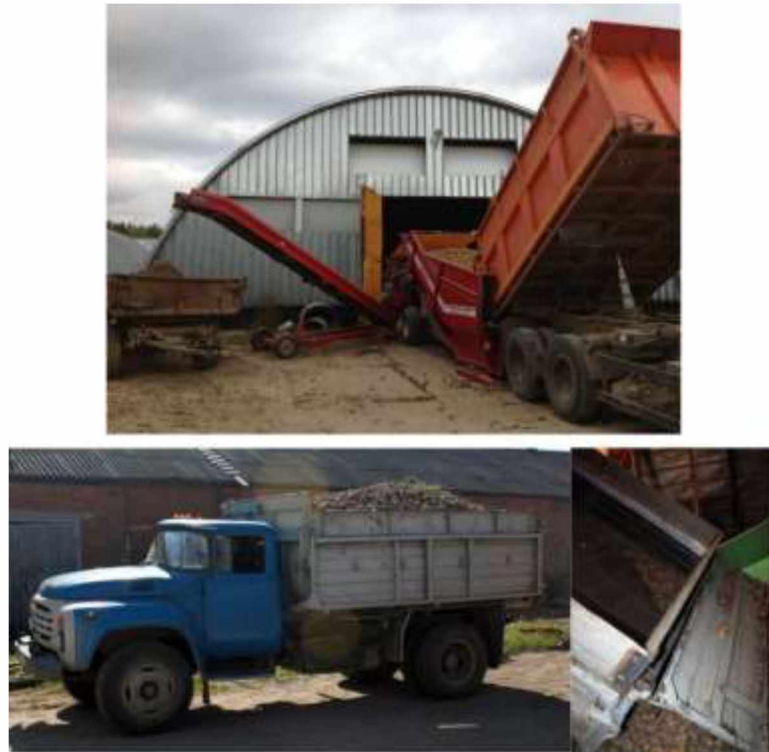


Рисунок 1.10 – Транспортні засоби, що використовуються для перевезення картоплі

1.4 Аналіз виконаних досліджень по вивантаженню бульб картоплі

Пошкодження картоплі насамперед залежить від фізико-механічних властивостей бульб. Фізико-механічні властивості бульб картоплі вивчали В. П. Васенич, Н. І. Верещагін [11], А. І. Бжезовська, О.А. Каспарова, З. Аудзівічене, В. Іонелюнас, П.Ф. Демірчев, В.С. Заводнов, М.М. Єрохін, А.В. Заводнов, Н. Н. Колчин [12], М.Ю. Костенко, Р. М. Махароблідзе, М.А. Мосін, Я.М. Сійм та інші.

Пошкодження бульб також можуть бути обумовлені великою кількістю ґрунтових грудок, що містяться в картопляній купі під час збирання [13]. Під час транспортування та розвантаження ушкоджується близько 4% бульб картоплі. Існує два підходи до моделювання пошкоджень картоплі: перший розглядає зміну динаміки та кінетичної енергії кузова або окремих бульб у процесі струшування кузова або при розвантаженні; другий – вивчення руху потоків бульб під час транспортування та розвантаження.

Дослідженнями зміни кінетичної енергії окремих бульб займалися Н.В.Анікін, С.М. Боричів, Н.В. Бишов, Л.С. Єкімова, М.Ю. Костенко, Р.К. Курбанов, І.А.Успенський, В.М. Чекмарьов, І.А. Юхін та інші.

Анікіним Н.В., Успенським І.А., Чекмарьов В.М. та Юхіним І.А. [14] запропоновано системи диференціальних рівнянь на основі методу Лагранжа для оцінки динамічних характеристик кузова транспортних засобів. Подібні моделі не враховують властивості картопляного вороху, що ускладнює оцінку їх впливу на пошкодження.

Р.К. Курбанов пропонує використовувати знімні кузови для перевезення сільськогосподарської продукції, що відповідають технологічним вимогам певної сільськогосподарської культури. Певною мірою це дозволяє знизити втрати продукції, підвищити продуктивність транспортних робіт, але веде до подорожчання транспортних засобів. Крім того, вантажно-розвантажувальні операції займають значно більший час ніж при використанні універсальних транспортних засобів.

Л.С. Єкімова, М.Ю. Костенко, І.А. Успенський [15] розглядали динаміку руху та кінетичну енергію окремих бульб. Отримані вирази дозволяють оцінити пошкодження бульб з урахуванням їх фізико-механічних та розмірно-масових властивостей. Дані моделі не враховують взаємодію бульб один з одним у процесі руху, що не повною мірою відображає динаміку пошкодження.

Дослідженням руху гравітаційних потоків займалися Александров А.І., Білокуров С.В., Борщов В.Я., Долгунін В.М., Калач А.В., Кузьменко Р.В., Острик А.М., Посметьев В. Ст, Соловйов А.С., Фролова Л.М. [16]. Борщов В.Я., Долгунін В.М. досліджували гравітаційні потоки за допомогою оцінки кінетичної енергії зіткнення мас, що здійснюють дифузію у поперечному напрямку потоку. Енергія взаємних переміщень частинок, обумовлених поперечним масопереносом визначається частотою зіткнень частинок.

Загальну енергію E зіткнення двох частинок можна обчислити за формулою

$$E = \frac{1}{2} \bar{m} (\bar{V}_{A-}^2 + \bar{V}_{B-}^2 - \bar{V}_{A+}^2 - \bar{V}_{B+}^2) \quad (1.1)$$

де \bar{m} – середня маса частинок;

$\bar{V}_{A-}, \bar{V}_{B-}$ – швидкість частинок А і В до удару;

$\bar{V}_{A+}, \bar{V}_{B+}$ – швидкість частинок А і В після удару.

Для моделювання руху потоку Александров А.І., Остріков А.М., Посметьев В.В., Соловйов А.С., Фролова Л.М. використовували метод динаміки частинок. Відповідне середовище є складовою з безліччю кульок. При контакті цих кульок між собою та стінками виникають пружні сили, а також сили сухого та в'язкого тертя (рисунок 1.11).

Моделювання проводиться у тривимірному декартовому просторі (x, y, z). Стан кожного елемента E_i визначається шістьма змінними: координатами його центру (x_i, y_i, z_i) і компонентами швидкості (v_{xi}, v_{yi}, v_{zi}). Рівняння руху елементів складено з урахуванням другого закону Ньютона.

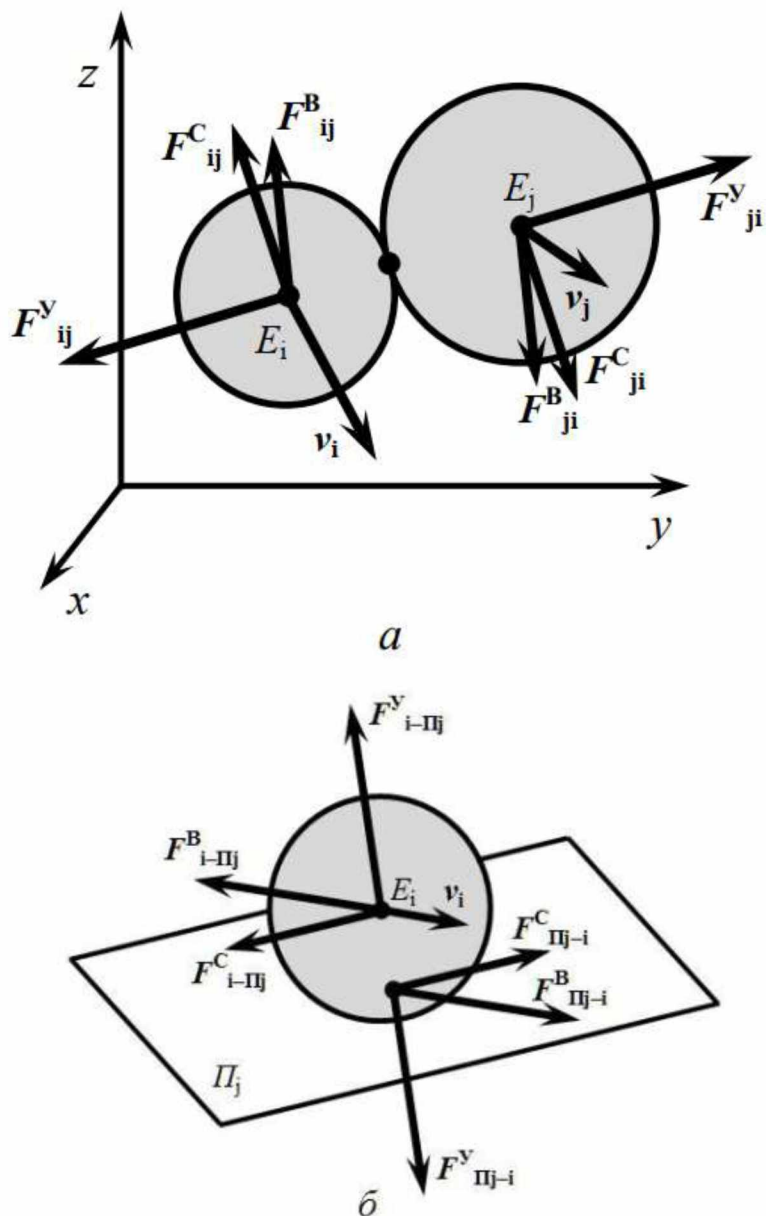


Рисунок 1.11 – Сили, що виникають при контакті двох елементів (а) та між елементами та поверхнею (б): F^Y – сила пружності; F^C та F^B – сили тертя

Відстань r_{ij} між центрами елементів розраховується через координати центрів за теоремою Піфагора:

$$r_{ij} = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2 + (z_i - z_j)^2}. \quad (1.2)$$

Подібна модель допускає введення, наприклад, еластичних трубок, перегородок та поверхонь різної форми та розташування. Тому використовуємо її при моделюванні процесу вивантаження з кузова чи контейнера з метою оцінки руху компонентів картопляного вороха.

Висновки

1. Аналіз досліджень процесів внутрішньогосподарських перевезень коренеплодів та яблук показав, що у кузові транспортних засобів ушкодження виникають через нерівномірність процесу розвантаження кузова.

2. Для зменшення пошкоджень продукції під час перевезення необхідно створити пристрій, що сприяє більш порційному та рівномірному вивантажуванню бульб картоплі із кузова транспортного засобу, а також зниженню їх швидкості.

РОЗДІЛ 2

МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1 Конструктивно-технологічна схема кузова транспортного засобу з еластичними перегородками

За результатами аналізу механізованих вантажно-розвантажувальних робіт, що застосовуються в даний час, з метою зниження пошкоджень бульб картоплі розроблені перегородки кузова транспортного засобу з еластичних трубок (рисунок 2.1).

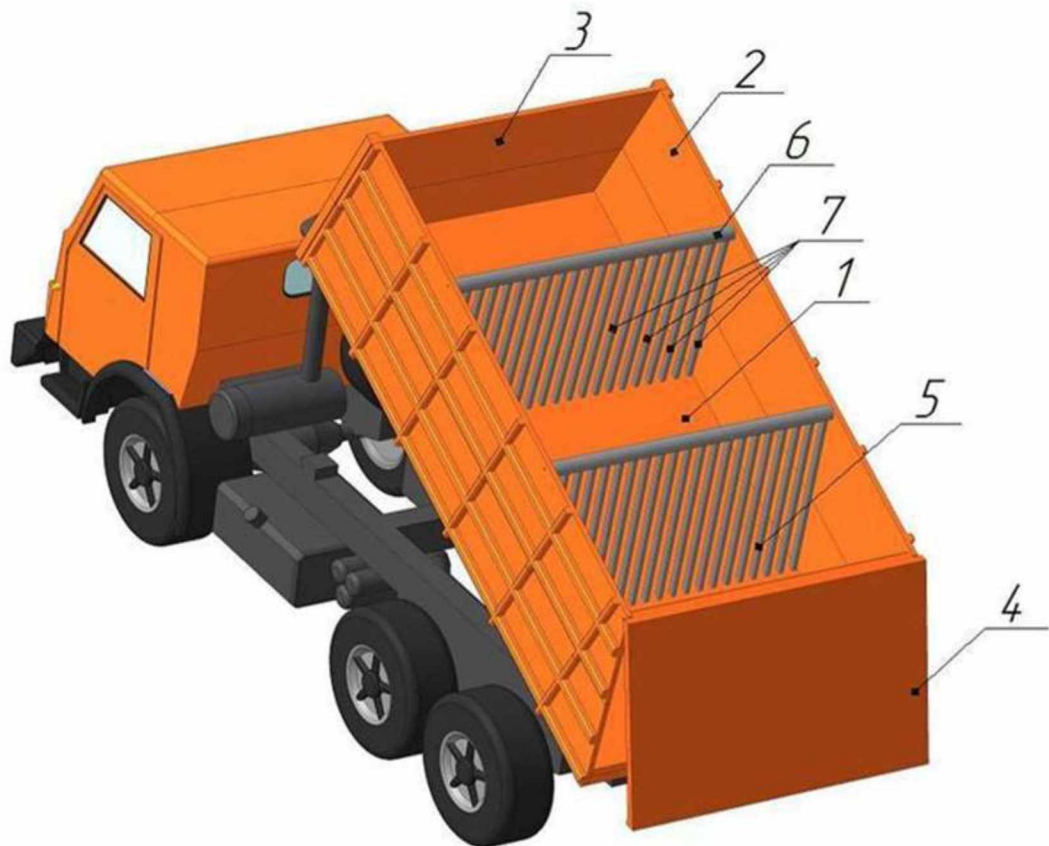


Рисунок 2.1 – Загальний вигляд пристрою

1 – основа; 2 – торцеві стінки; 3 – боковина; 4 – відкидний борт; 5 – поперечна перегородка; 6 – вісь; 7 – порожниста трубка

Пристрій містить основу 1, пару торцевих стінок 2, боковину 3, відкидний борт 4 у верхній частині шарнірно з'єднаний з торцевими стінками 2, а в нижній частині має можливість фіксації з торцевими стінками за допомогою фіксаторів (на рисунку не показані), закріплену на торцевих стінках 2 осі 6 поперечну перегородку 5, виконану з порожнистих трубок з пружного матеріалу 7, що володіють можливістю обертання навколо осі 6 поперечної перегородки 5 і мають різну довжину, причому вона зменшується від центру поперечної перегородки до торцевих стінок 2 симетрично.

Пристрій для транспортування коренеплодів працює наступним чином. У початковий момент вивантаження оператор відкриває фіксатори відкидного борту 4 пристрою для транспортування коренеплодів. На початку вивантажуються коренеплоди, розташовані біля відкидного борту. Потім у міру перекидання пристрою для транспортування коренеплодів частина вороху коренеплодів утримує поперечну перегородку 5 від зміщення, виключаючи лавиноподібний сход вороху коренеплодів. Завдяки меншому тертю в середній частині пристрою для транспортування коренеплодів порожнисті трубки 7 поперечної перегородки 5, обертаючись навколо осі 6, змінюють кут нахилу.

Це сприяє частковому вивантаженню вороха коренеплодів, розташованих за поперечною перегородкою 5. Поступово звільняючи трубки 7 поперечної перегородки 5 картопля дозовано вивантажується від середини до торцевих стінок 2 пристрою для транспортування коренеплодів. Величину кута перекидання змінюють поступово, орієнтуючись на швидкість вивантаження до повного очищення основи 1. Боковина 2 пристрою для транспортування коренеплодів разом з віссю 6 створює додаткову жорсткість при вивантаженні. Для регулювання швидкості вивантаження порожнисті трубки 7, виконані з пружного матеріалу мають різну довжину, причому зазор між трубкою і основою залежить від опору руху коренеплодів по ширині пристрою для транспортування коренеплодів.

2.2 Теоретичні передумови дослідження кузова транспортного засобу з еластичними перегородками

Для теоретичного дослідження пристрою для транспортування та вивантаження коренеплодів розроблено його імітаційну модель. На основі зміни параметрів та рядів еластичних трубок, встановлювали характер впливу параметра та були обрані оптимальні значення.

Процес вивантаження коренеплодів з контейнера (кузова) з рядами еластичних трубок є надзвичайно складним, тому необхідно враховувати розміри, форму та реологічні властивості коренеплодів та еластичних трубок [17]. Окрему складність представляє розрахунок взаємодії коренеплодів з бортами, дном та відкидною стінкою контейнера.

Система коренеплодів представляється, як сукупність великої кількості (порядку 103-105) окремих куль [18]. Кожна куля є окремим коренеплодом. Розміри елементів можуть бути як однаковими для спрощення дослідження, так і різними, що відповідають реальному розподілу розмірів у масі коренеплодів. Аналогічним чином задано моделі еластичних трубок: як сукупність лінійно розташованих кулястих елементів, що взаємодіють між собою таким чином, щоб відтворити властивості еластичної трубки. У запропонованій моделі прийнято наступні припущення:

- коренеплоди є кулями;
- куля-елемент із постійною щільністю;
- елементи рухаються згідно із законами механіки;
- взаємодія між елементами та поверхнями контейнера носить пружно-в'язкий характер.

Елементи коренеплодів та еластичних трубок механічно взаємодіють як між собою, так і з робочими поверхнями контейнера (рисунок 2.2).

Приймаємо, що маса коренеплодів складається із безлічі елементів кулястої форми з діаметром 4...15 см. Взаємодія елементів між собою, з гнучкими еластичними трубками та з поверхнями контейнера

супроводжується виникненням пружних сил, а також сил сухого та в'язкого тертя (рисунок 1.11). Рух елементів у процесі вивантаження або транспортування відбувається за законами класичної динаміки [50, 134, 142], що дозволяє оцінити пошкоджуваність і розкочування коренеплодів.

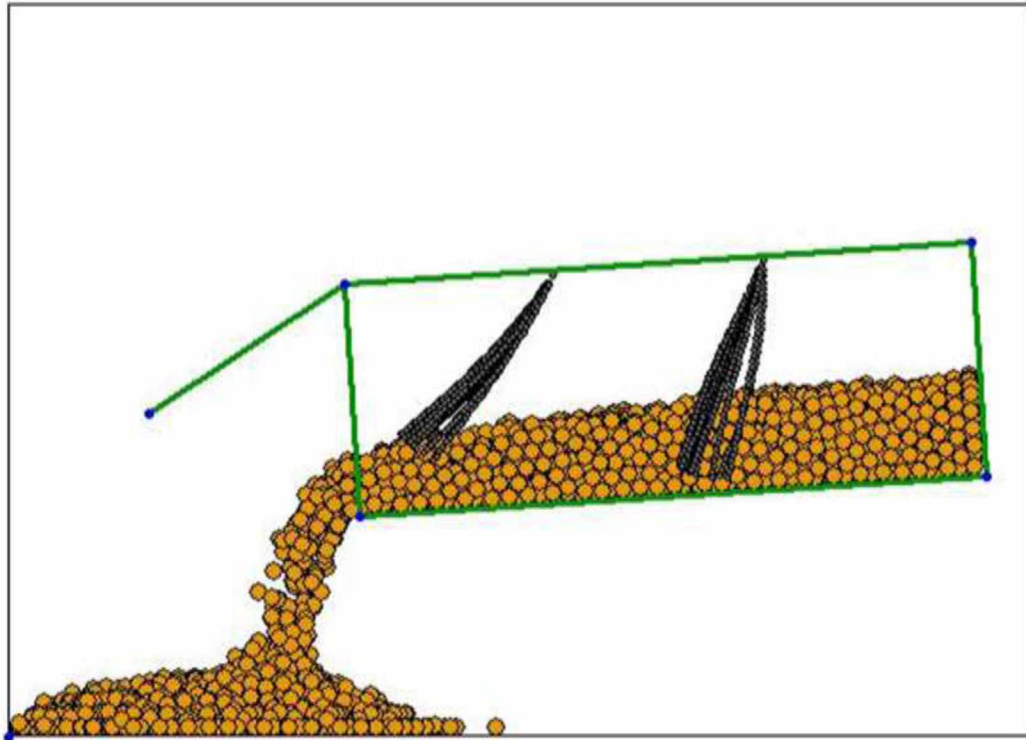


Рисунок 2.2 – Схема моделювання вивантаження коренеплодів з кузова із еластичними трубками

В основному варіанті моделі еластичні трубки розташовані в два ряди по 33 трубки (рисунок 2.2). Ряди розташовані на відстанях $1/3$ та $2/3$ від довжини контейнера L_k . Кожна еластична трубка складається з 38 кулястих елементів діаметром 4 см (рисунок 2.4 а). Початкове розташування центрів елементів еластичних трубок x_{ijk} , y_{ijk} , z_{ijk} задається такими формулами.

$$\begin{cases} x_{ijk} = x_{\text{ц}} - \frac{1}{2}L_k + \frac{k}{3}L_k; \\ y_{ijk} = y_{\text{ц}} - \frac{1}{2}B_k + \frac{j}{3}B_k; \\ z_{ijk} = z_{\text{ц}} + H_k - i \cdot d_{\text{ет}}; \end{cases} \quad (2.1)$$

де i – номер елемента в еластичній трубці;

j – номер еластичної трубки у ряді трубок;

k – номер ряду еластичних трубок;

x_c, y_c, z_c – координати геометричного центру дна контейнера;

L_k, B_k, H_k – довжина, ширина, висота контейнера;

d_{em} – діаметр кулястого елемента еластичної трубки.

Елементи еластичних трубок взаємодіють між собою двома типами пружних сил (міжцентровими та згинальними) та лінійно-в'язкими силами. У парі сусідніх елементів діють пружні сили відштовхування або тяжіння залежно від дії елементів один на одного або розтягнення від положення рівноваги; сили пружності пропорційні величині дії (рисунок 2.3, б). Для випадку розтягування величина дії приймається негативною. Описані пружні сили між центрами елементів забезпечують сталість довжини еластичної трубки, але не її сталість форми. Для реалістичного згасання коливань в пружній системі між сусідніми елементами додані лінійно-в'язкі сили.

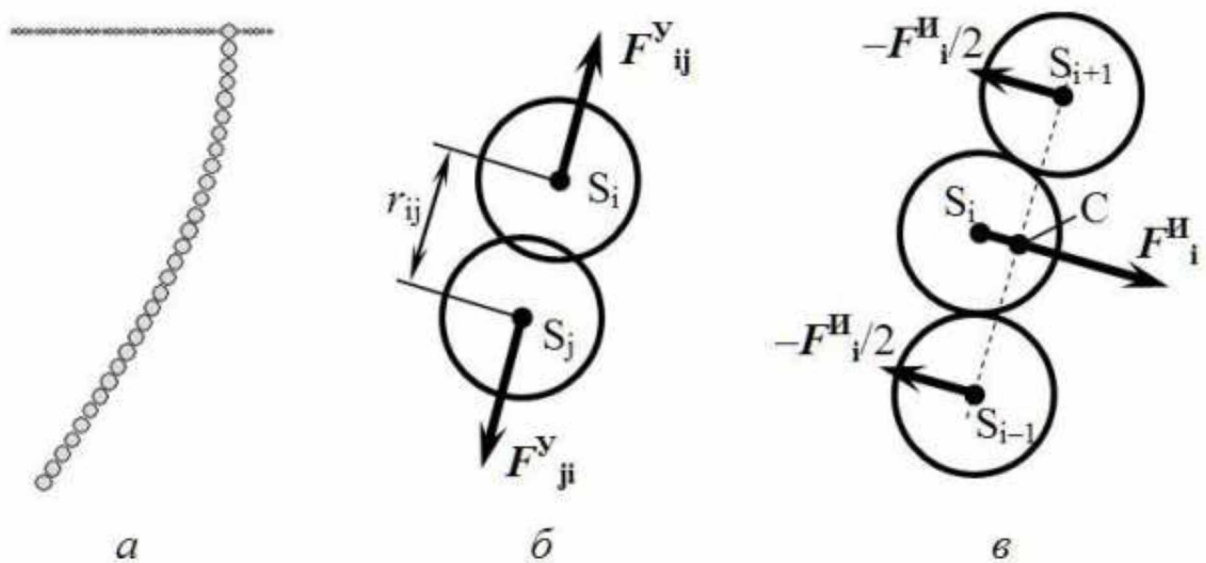


Рисунок 2.3 – Подання гнучкої еластичної трубки в моделі: а – у виді сукупності шаровидних елементів; б – сил відштовхування при стисканні елементів; в – дія сил при згині еластичної трубки

Для того щоб еластична трубка зберігала форму, близьку до прямолінійної, додано сили пружності (рисунок 2.3, в). Сили пружності

розраховуються в трійних елементах: при зміщенні другого елемента щодо прямої, проведеної між центрами першого та третього елементів, з'являється пружна сила, що прагне повернути другий елемент на пряму та пропорційна величині зміщення від осі. Коефіцієнт пропорційності є жорсткістю на згин і задає стійкість еластичної трубки до згину.

Подання пристрою для транспортування та розвантаження бульб картоплі в моделі.

Робочі поверхні контейнера представлені в моделі п'ятьма прямокутниками: основа, дві торцеві стінки, боковина стінка, відкидний борт (рисунок 2.4). Для уніфікації моделі кожен прямокутник вважається що складається з двох трикутників. Це зроблено як спрощення застосування методів аналітичної геометрії, так можливості для подальшої доопрацюванні моделі відтворювати поверхню довільної форми як контейнера, і інших об'єктів.

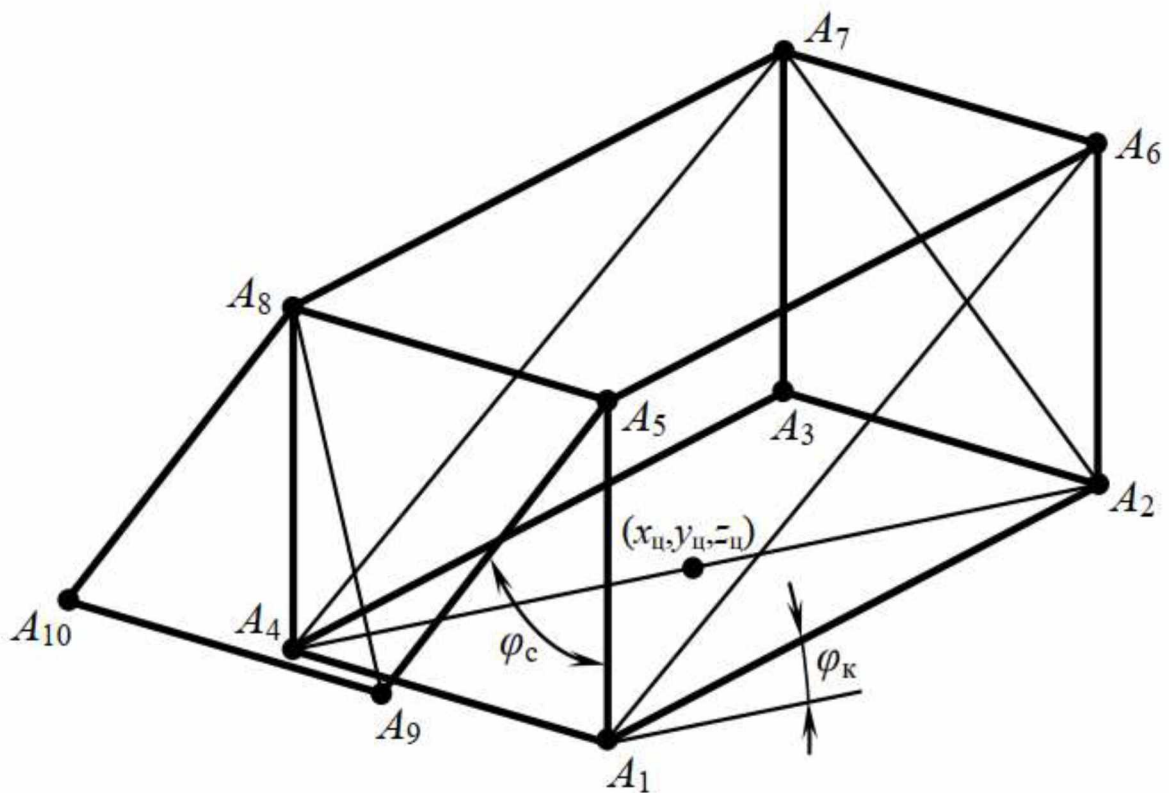


Рисунок 2.4 – Подання робочих поверхонь контейнера як сукупності елементарних трикутних поверхонь, ребер та кутових точок

Контейнер задається десятима базовими точками $A_1 \dots A_{10}$ (рисунок 2.4).

Кутове положення поверхні відкидного борту $A_5A_8A_{10}A_9$ відносно вихідного положення $A_1A_5A_8A_4$ задається кутом φ_c . Нахил всього контейнера відносно вихідного положення задається кутом φ_k .

На початку комп'ютерного експерименту контейнер орієнтований горизонтально ($\varphi_k = 0$), відкидний борт закритий ($\varphi_c = 0$).

У процесі комп'ютерного експерименту з розвантаження спочатку відкидається борт (рівномірно збільшується кут φ_c), потім нахиляється сам контейнер (рівномірно збільшується кут φ_k). Аналітично зміна кутів описується так:

$$\varphi_c = \begin{cases} 0, t < t_1; \\ \varphi_{cm} \frac{t-t_1}{t_2-t_1}, t_1 \leq t \leq t_2; \\ \varphi_{cm}, t > t_2; \end{cases} \quad (2.2)$$

$$\varphi_k = \begin{cases} 0, t < t_3; \\ \varphi_{km} \frac{t-t_3}{t_4-t_3}, t_3 \leq t \leq t_4; \\ \varphi_{km}, t > t_4; \end{cases} \quad (2.3)$$

де t_1 і t_2 – моменти часу початку та закінчення відкидання борту;
 t_3 і t_4 – моменти часу початку та закінчення нахилу контейнера;
 φ_{cm} та φ_{km} – максимальні кути відкидання борту та нахилу контейнера.

Зміна кутів φ_c та φ_k призводить до необхідності перерахунку на кожному кроці інтегрування за часом координат базових точок $A_2, A_3, A_5 \dots A_{10}$, при цьому точки A_1 та A_4 залишаються нерухомими протягом усього часу комп'ютерного моделювання.

Для нахилу точок $A_2, A_3, A_5 \dots A_{10}$ контейнера щодо осі A_1A_4 здійснюється наступне перетворення повороту:

$$\left\{ \begin{array}{l} r = \sqrt{(x_i - x_{A1})^2 + (z_i - z_{A1})^2}; \\ \varphi = \begin{cases} \arctg \frac{z_i - z_{A1}}{x_i - x_{A1}}, x_i - x_{A1} \geq 0; \\ \arctg \frac{z_i - z_{A1}}{x_i - x_{A1}} + 180^\circ, x_i - x_{A1} < 0; \end{cases} \\ x_i = x_{A1} + r \cos(\varphi + \varphi_k); \\ y_i = y_i; \\ z_i = z_{A1} + r \sin(\varphi + \varphi_k); \end{array} \right. \quad (2.4)$$

де r та φ – полярні координати базових точок у системі координат, що пов'язана із віссю нахилу контейнера A_1A_4 ;

x_i, y_i, z_i – координати базової точки i ($i = A_2, A_3, A_5 \dots A_{10}$).

Поворот відкидного борту (розміщення точок A_9 та A_{10}) виконується здійсненням повороту відносно осі A_5A_8 :

$$\left\{ \begin{array}{l} r = \sqrt{(x_i - x_{A5})^2 + (z_i - z_{A5})^2}; \\ \varphi = \begin{cases} \arctg \frac{z_i - z_{A5}}{x_i - x_{A5}}, x_i - x_{A5} \geq 0; \\ \arctg \frac{z_i - z_{A5}}{x_i - x_{A5}} + 180^\circ, x_i - x_{A5} < 0; \end{cases} \\ x_i = x_{A5} + r \cos(\varphi - \varphi_c + \varphi_k); \\ y_i = y_i; \\ z_i = z_{A5} + r \sin(\varphi - \varphi_c + \varphi_k); \end{array} \right. \quad (2.5)$$

де r та φ – полярні координати базових точок у системі координат, що пов'язана із віссю нахилу контейнера A_5A_8 ;

x_i, y_i, z_i – координати базової точки i ($i = A_9$ або A_{10}).

Розрахунок показників ефективності

Розроблена модель дозволяє визначити основні показники, що характеризують продуктивність та якість процесу вивантаження. З безлічі можливих показників ефективності обрано три, що найбільш інформативно і всебічно характеризують процес вивантаження: час вивантаження, середня відстань розкочування коренеплодів і частка пошкоджених коренеплодів.

Час вивантаження t_e розраховується як час, що минув з t_1 початку відкидання борту до моменту часу t_n , в який останній коренеплід залишає контейнер. Визначення моменту часу t_n проводиться за функцією залежності кількості коренеплідів, що залишилися в контейнері від часу $N_0(t)$:

$$N_0(t) = \sum_{i=1}^{N_E} \begin{cases} 1, & z_i(t) \geq z_{A1}; \\ 0, & z_i(t) < z_{A1}; \end{cases} \quad (2.6)$$

$$t_B = t_{\Pi} - t_1 = t \Big|_{N_0(t) = 0} - t_1. \quad (2.7)$$

Середня відстань розкочування L_p визначається як зміщення центра тяжіння системи коренеплідів відносно ребра вивантаження A_1A_4 :

$$L_p = x_{A1} - \frac{1}{N_E} \sum_{i=1}^{N_E} x_i(t_{\Pi}). \quad (2.8)$$

Для розрахунку відсотку пошкоджених коренеплідів n_n в процесі комп'ютерного експерименту із розвантаження для кожного коренеплід записується функція тиску від часу $P_i(t)$. За оцінку тиску прийнята сума сил, що діють на коренеплід з боку інших коренеплідів, поверхонь контейнера та елементів еластичних трубок, поділена на площу поверхні кулястого елемента.

$$P_i = \frac{\sum_{j=1}^{N_E} |\vec{F}_{ij}| + \sum_{j=1}^{N_{\Pi}} |\vec{F}_{i-\Pi j}| + \sum_{j=1}^{N_{ET}} |\vec{F}_{i-ET j}|}{\pi d_i / 2}. \quad (2.9)$$

Коренеплід вважається пошкодженим, якщо в якийсь момент часу t функція $P_i(t)$ перевищить граничне значення тиску P_n . Тоді відсоток пошкоджених коренеплідів визначається за формулою:

$$n_{\Pi} = \frac{\sum_{i=1}^{N_E} \begin{cases} 1, \max P_i(t) \geq P_{\Pi}; \\ 0, \max P_i(t) < P_{\Pi}; \end{cases}}{N_E}. \quad (2.10)$$

Розроблена модель за своєю суттю є не аналітичною, а алгоритмічною: оскільки показники ефективності неможливо розрахувати за формулами явно, вони розраховуються за допомогою ітераційного алгоритму.

Таким чином, розроблена математична модель пристрою для транспортування та вивантаження коренеплодів, що враховує фізичні властивості коренеплодів, фізичні та геометричні характеристики контейнера та еластичних трубок, а також параметрів процесу вивантаження. Модель дозволяє оцінити ефект від обладнання контейнера рядами еластичних трубок та визначити їх оптимальні параметри.

2.3 Програмна реалізація математичної моделі розвантаження бульб картоплі з кузова транспортного засобу із еластичними перегородками

Проведення комп'ютерного моделювання пристрою для транспортування та вивантаження коренеплодів» проводили у середовищі Ansys.

Програма призначена для моделювання методом динаміки частинок руху системи коренеплодів при транспортуванні з вібрацією в кузові та при вивантаженні з кузова автомобіля обладнаного еластичними перегородками.

Перед початком комп'ютерного експерименту програма дозволяє задати геометричні характеристики кузова, а також параметри коренеплодів.

Початкові технічні характеристики:

- кількість коренеплодів від 1000 до 100000;
- діаметр коренеплодів від 4 до 20 см.

Таким чином, комп'ютерна програма дозволяє на основі комп'ютерних експериментів з моделлю вивчати ефективність пристрою для транспортування та вивантаження коренеплодів.

Особливості проведення комп'ютерного експерименту.

Подальше теоретичне дослідження базується на багаторазовому проведенні комп'ютерних експериментів із розвантаження коренеплодів із пропонованого пристрою.

На початку комп'ютерного експерименту необхідно було розмістити коренеплоди в кузові транспортного засобу аналогічно до реального розміщення. Для цього в момент часу $t = 0$ задана кількість коренеплодів розподілялася рівномірно по об'єму контейнера (рисунок 2.5, а). Протягом 0,7 с коренеплоди осідали під дією сил тяжіння і формували випадкову щільну структуру в нижній частині кузова транспортного засобу (рисунок 2.5 б).

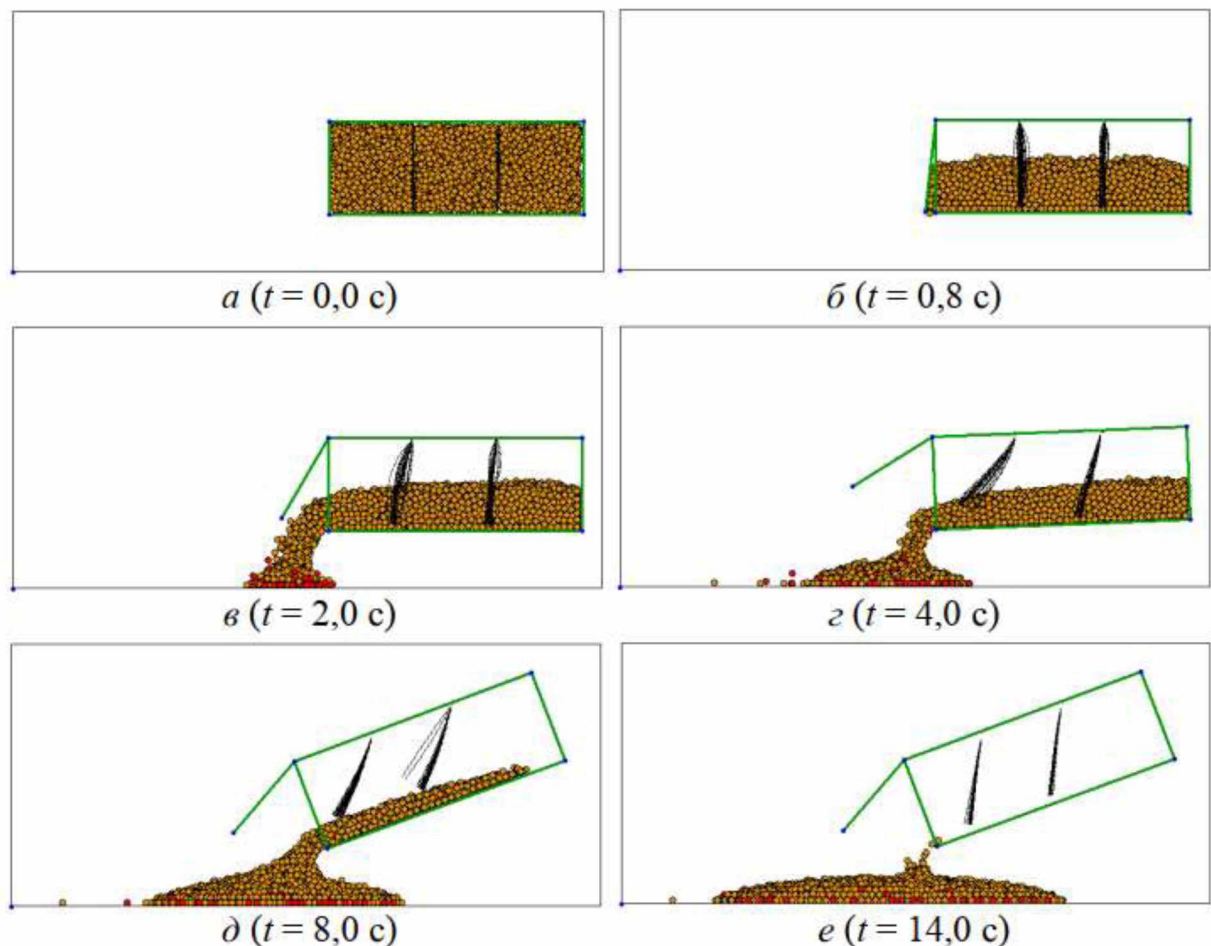


Рисунок 2.5 – Зміна стану системи коренеплодів у комп'ютерному експерименті із вивантаження коренеплодів із кузова транспортного засобу

Проміжок часу 0,7...3,5 с відкидний борт повертався навколо осі з постійною кутовою швидкістю (рисунок 2.5, в). Коренеклубнеплоди, що знаходилися між відкидним бортом і першим рядом еластичних трубок, починали висипатися із кузова транспортного засобу.

У момент часу 3,0 с починався нахил всього кузова транспортного засобу, який продовжувався з постійною кутовою швидкістю до моменту 8,0 с (рисунок 2.5). Після звільнення від коренеплодів першої третини кузова транспортного засобу еластичні трубки першого ряду піднімалися і пропускали масу коренеплодів, розташованих між першим і другим рядами еластичних трубок. Після звільнення другої третини кузова транспортного засобу піднімалися еластичні трубки другого ряду і починалося вивантаження останньої третини коренеплодів. Необхідно відзначити, що розроблений пристрій з двома еластичними перегородками забезпечує практично постійну швидкість розвантаження, про що свідчить практично лінійний характер графіка рисунка 2.5 а в інтервалі 2,0 ... 9,0 с.

Після зупинки нахилу кузова транспортного засобу шар коренеплодів, що залишився, продовжував висипатися ще протягом близько 6 с і до моменту часу $t = 14$ с кузов транспортного засобу повністю звільнявся (рисунок 2.5 е).

Середня відстань розкочування L_p швидко збільшувалося з 0 до 0,8 м після відкидання борту (в інтервалі 0,0 ... 2,5 с) (рисунок 2.6 б). Після цього відстань розкочування збільшувалася повільно і практично лінійно протягом часу, що залишився, вивантаження і до моменту звільнення кузова транспортного засобу не перевищувало 1,5 м.

У різних варіантах моделі можна було досліджувати різні аспекти пошкодження коренеплодів. У базовому варіанті моделі спостерігалося пошкодження, переважно, перших коренеплодів при падінні з найбільшої висоти після відкидання борту. Про це свідчить різке зростання залежності частки пошкоджених коренеплодів від часу (рисунок 2.6, в) і розташування виділених червоним кольором куль, що означають пошкоджені коренеплоди,

переважно в нижньому шарі вивантажених коренеплодів (рисунок 2.5). У ході подальшого вивантаження коренеплоди падають з меншої висоти, тому надалі кількість пошкоджень збільшується слабо (рисунок 2.6, в).

Розроблений пристрій забезпечує досить малу частку 4,6% пошкоджених у процесі вивантаження коренеплодів.

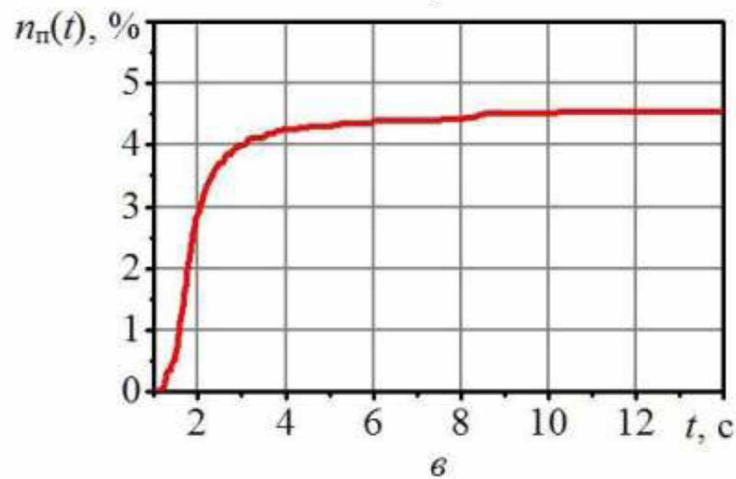
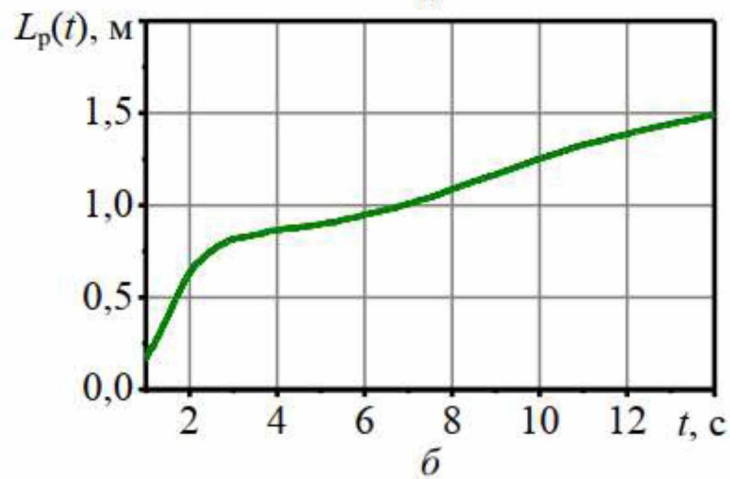
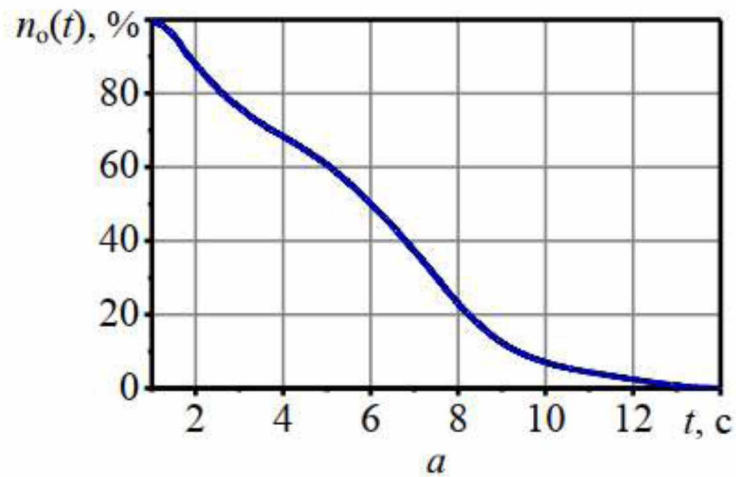


Рисунок 2.6 – Залежності від часу: а – відсоток коренеплодів, що залишились у кузові ТЗ; б – середня відстань розкочування; в – відсоток пошкоджених коренеплодів

Аналогічний комп'ютерний експеримент було проведено для вивантаження зі стандартного кузова транспортного засобу без встановлених еластичних перегородок тих самих габаритних розмірів з тими самими кінетичними параметрами процесу вивантаження. Порівняння показало, що запропонований пристрій дозволив знизити середню відстань розкочування з 1,60 до 1,52 м, знизити частку пошкоджених коренеплодів з 6,3 до 4,6%, при незначному збільшенні часу вивантаження з 9,7 до 11,0 с. Таким чином, запропонований пристрій дозволяє підвищити купчастість розвантаження і знизити пошкодження коренеплодів.

Розроблена модель дозволяє врахувати велику кількість параметрів коренеклубнеплодів, кузова транспортного засобу, еластичних трубок, параметрів процесу вивантаження, а також розрахувати основні показники ефективності вивантаження коренеклубнеплодів.

Із збільшенням граничного кута нахилу кузова транспортного засобу φ_m суттєво збільшується інтенсивність вивантаження, що сприятливо впливає на швидкість вивантаження, але несприятливо впливає на пошкоджуваність коренеклубнеплодів та їх розкочування. Для дослідження впливу кута φ_m на ефективність процесу вивантаження провели п'ять комп'ютерних експериментів із зміною φ_m від 15° до 35° з кроком 5° (рисунок 2.7 та 2.8). Для порівняння комп'ютерні експерименти провели як для кузова транспортного засобу обладнаного двома еластичними перегородками, так і стандартного кузова транспортного засобу без еластичних перегородок.

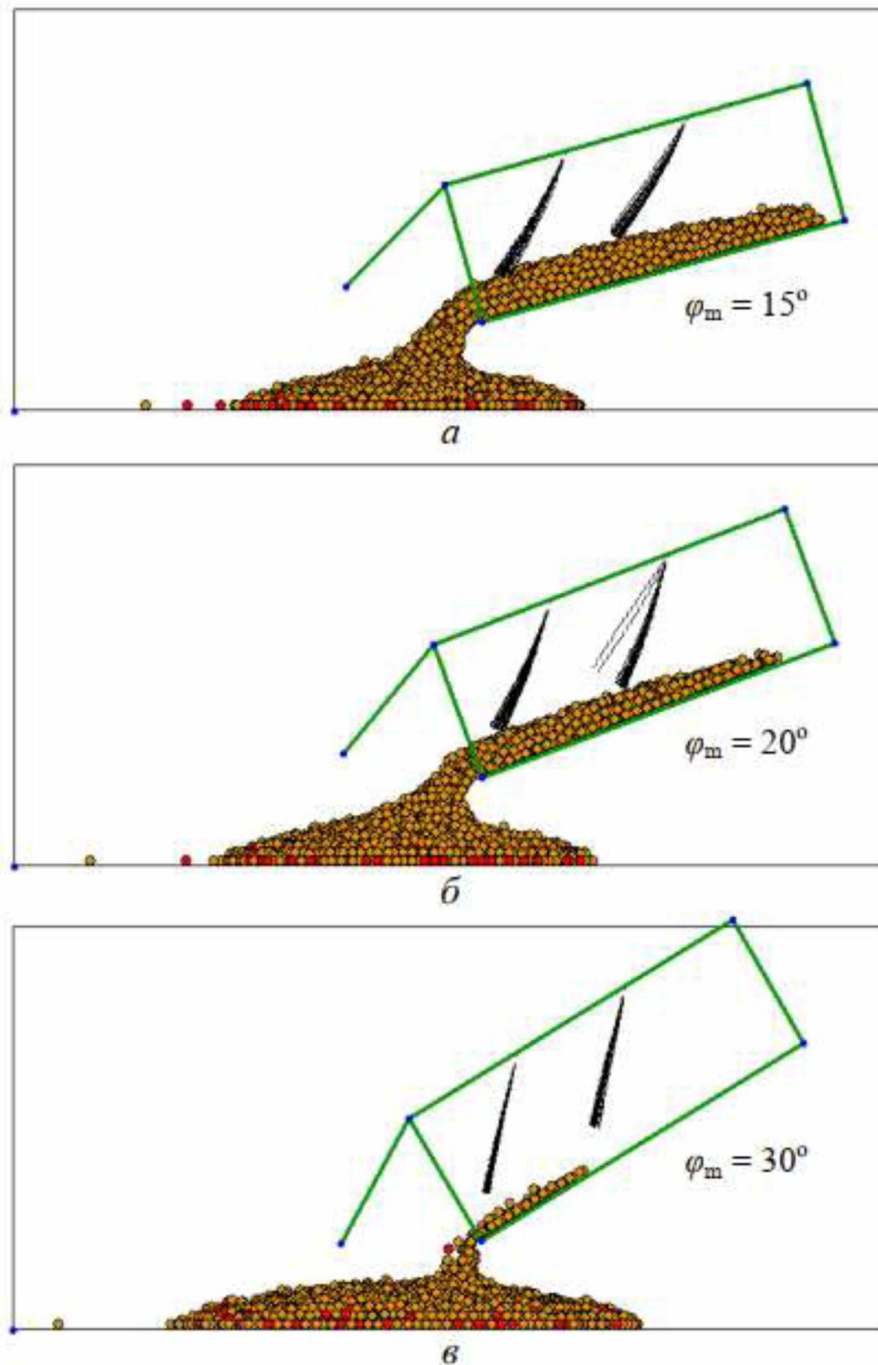


Рисунок 2.7 – Стан системи коренеплодів у момент досягнення максимального кута φ_m нахилу кузова транспортного засобу (при постійній кутовій швидкості нахилу кузова транспортного засобу 4° за секунду): а – 15° , б – 20° , в – 30°

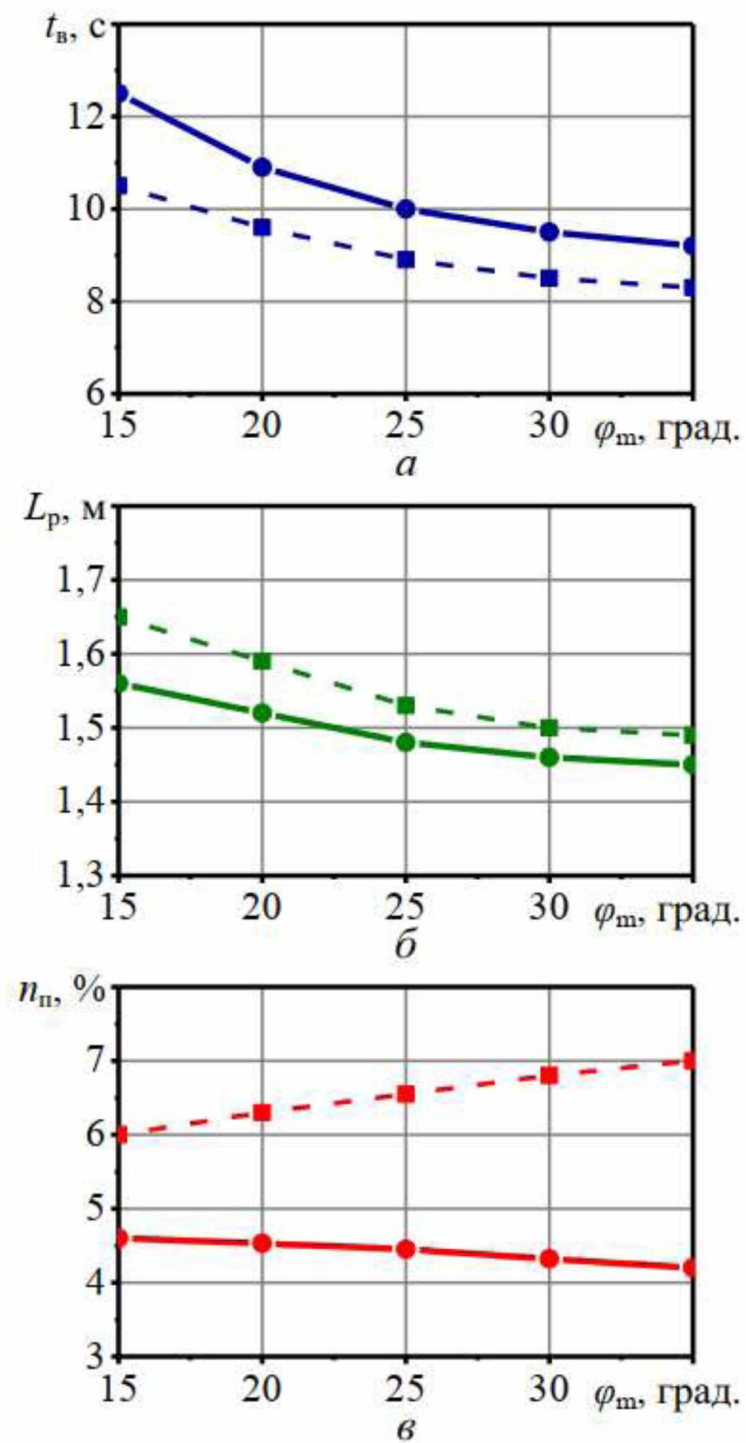


Рисунок 2.8 – Вплив максимального кута нахилу кузова транспортного засобу φ_m (при постійній кутовій швидкості нахилу кузова транспортного засобу 4° за секунду) на час вивантаження t_v (а), середня відстань розкочування L_p (б) і частку пошкоджених коренеплодів n_n (в). Суцільна та штрихова лінії – відповідно обладнаний та не обладнаний еластичними перегородками.

Визначення параметрів еластичних трубок.

Еластичні трубки характеризуються двома основними параметрами: довжиною L_m та коефіцієнтом жорсткості на вигин c_i . Досліджуємо загальний вплив параметрів еластичних трубок L_m та c_i на показники ефективності та виконаємо двофакторну оптимізацію параметрів L_m та c_i . Аналітично це завдання оптимізації можна записати так:

$$\begin{cases} t_B(L_T, c_i) \rightarrow \min; \\ L_p(L_T, c_i) \rightarrow \min; \Rightarrow L_T^{\text{опт}}, c_i^{\text{опт}}. \\ n_{\text{п}}(L_T, c_i) \rightarrow \min; \end{cases} \quad (2.11)$$

Вплив швидкості нахилу контейнера.

Розв'язання задачі оптимізації полягає у пошуку такої області зміни факторів L_m та c_i , в якій одночасно будуть мінімальними час вивантаження t_B , відстань розкочування L_p і частка пошкоджених коренекплодів $n_{\text{п}}$.

Для вирішення двофакторної задачі оптимізації провели дев'ять комп'ютерних експериментів, у яких задавали довжину трубки L_m рівною 1,40, 1,52, 1,64 м (висота кузова транспортного засобу становить 1,60 м) при одночасній зміні коефіцієнта жорсткості трубки на вигин c_i на рівнях 0,6, 1,0, 1,4 кН/м².

Коефіцієнт жорсткості на згин має фізичний зміст – силу, яку необхідно прикласти, щоб забезпечити прогин в 1 см трубки, що опирається на два упора із відстанню між упорами 1 м. Зокрема коефіцієнт 1,0 кН/м² означає, що при прикладанні сили 10 Н (від маси умовного вантажу приблизно 1 кг) прогин трубки становитиме 1 см, якщо еластична трубка опирається на упори із відстанню між ними 1 м.

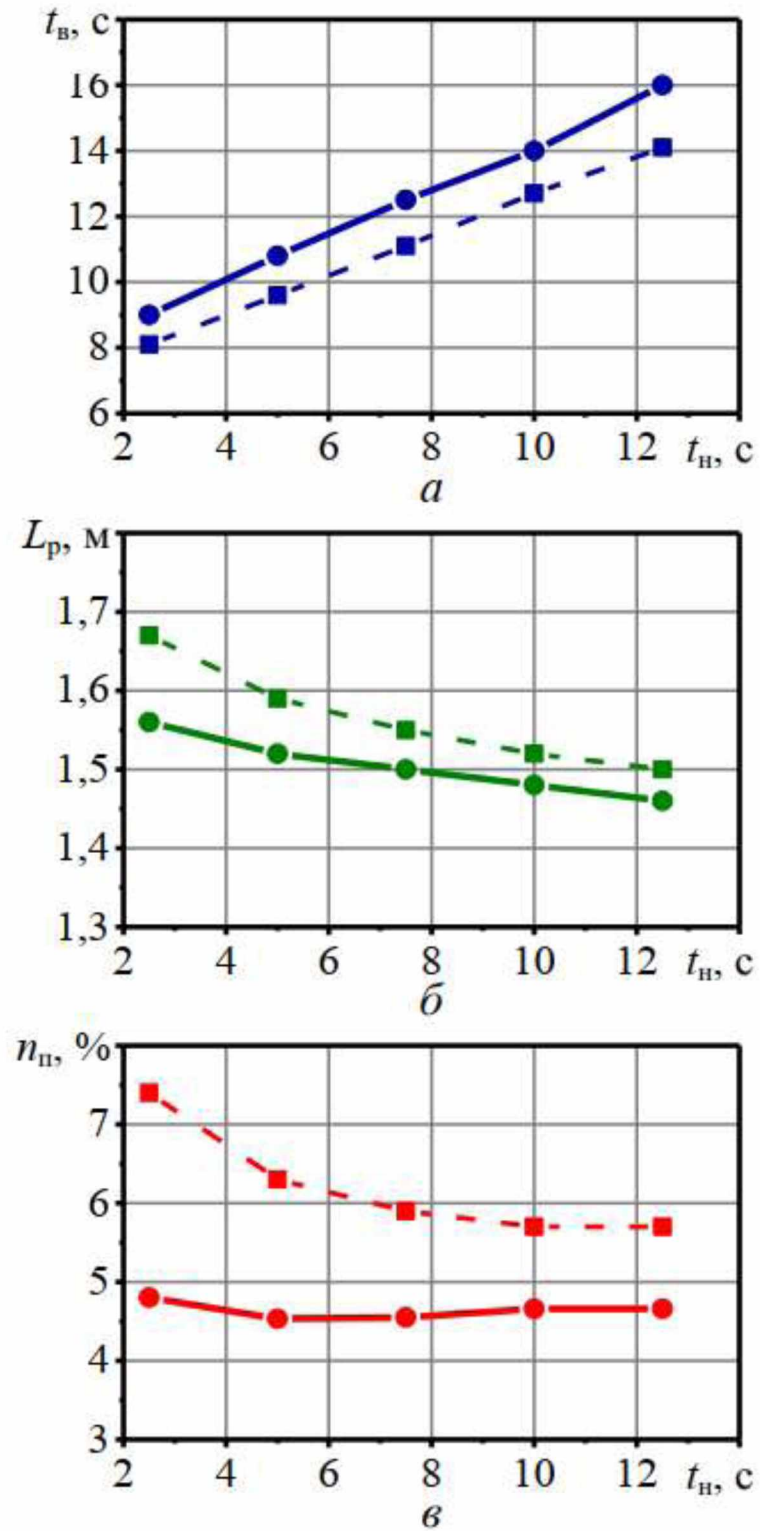


Рисунок 2.9 – Вплив часу t_n нахилу кузова транспортного засобу на кут 20° на час розвантаження t_b (а), середню відстань розкочування L_p (б) і частку пошкоджених коренеплодів n_n (в). Суцільна та штрихова лінії – відповідно обладнаний та не обладнаний рядами еластичних трубок

На рисунку 2.10 показано стан системи для двох різних довжин L_m еластичних трубок в момент часу 2,2 с з початку комп'ютерного експерименту. Як можна бачити за даними проекціям, при занадто низькій довжині еластичних трубок вони захоплюються верхніми шарами коренеплодів, і надають слабкий вплив на вивантаження (рисунок 2.10, а). При занадто великій довжині еластичних трубок, вони мають достатній вплив на уповільнення вивантаження, але можуть травмувати коренеплоди біля дна кузова транспортного засобу за рахунок дії на них значних сил (рисунок 2.10, б).

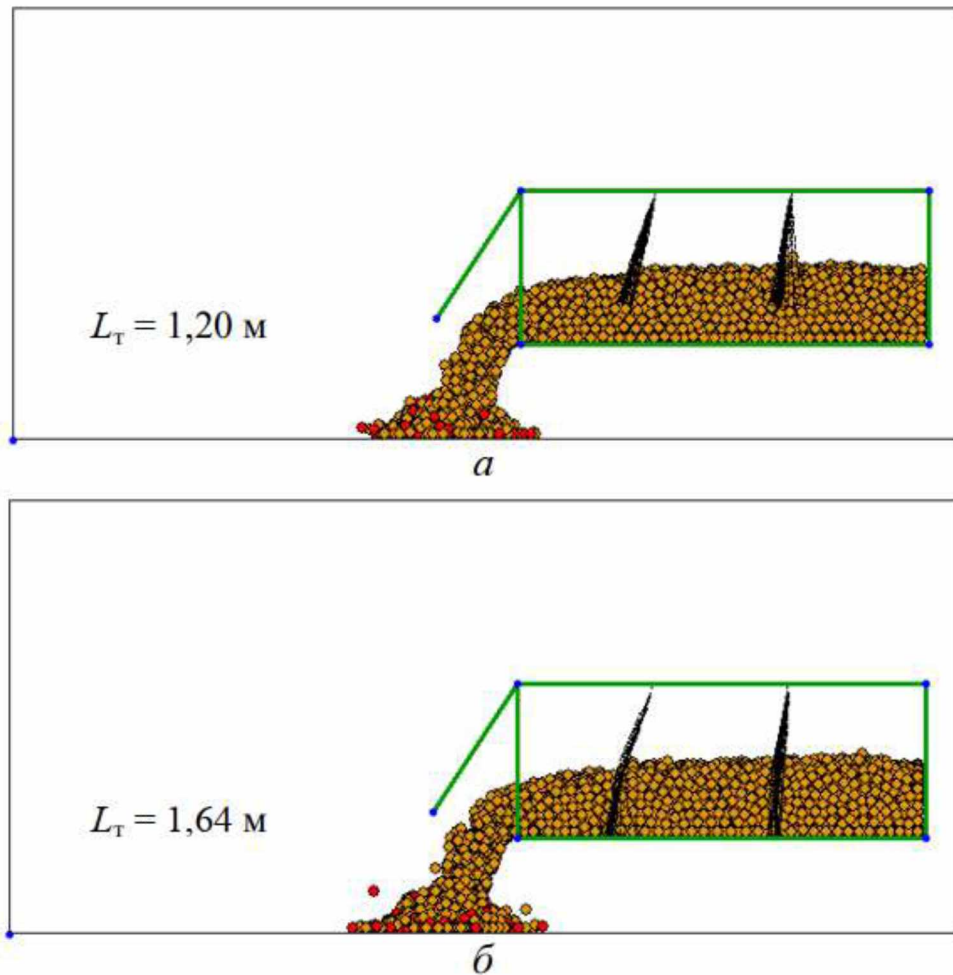


Рисунок 2.10 – Процес вивантаження коренеплодів при різній довжині еластичних трубок L_m : а – 1,20 м, б – 1,64 м

На основі набору даних, отриманого в результаті проведення дев'яти комп'ютерних оптимізаційних експериментів, отримані аналітичні формули

для функцій $t_e(L_m, c_i)$, $L_p(L_m, c_i)$ та $n_n(L_m, c_i)$. Для узагальнення та згладжування результатів кожену функцію апроксимували поліномами другого порядку у вигляді:

$$K(L_T, c_i) = k_1 L_T^2 + k_2 c_i^2 + k_3 L_T c_i + k_4 L_T + k_5 c_i + k_6, \quad (2.12)$$

де K – критерій оптимізації (t_e , L_p або n_n);

$k_1 \dots k_6$ – параметри полінома.

У результаті апроксимації отримано наступні аналітичні формули для показників ефективності пристрою:

$$\begin{aligned} t_B(L_T, c_i) = & 1,157L_T^2 + 0,104c_i^2 + 2,604L_T c_i + \\ & + 3,183L_T - 4,125c_i + 3,439; \end{aligned} \quad (2.13)$$

$$\begin{aligned} L_p(L_T, c_i) = & -0,116L_T^2 - 0,010c_i^2 - 0,365L_T c_i + \\ & + 0,147L_T + 0,487c_i + 1,642; \end{aligned} \quad (2.14)$$

$$\begin{aligned} n_n(L_T, c_i) = & 35,88L_T^2 + 0,729c_i^2 + 8,333L_T c_i - \\ & - 126,7L_T - 12,75c_i + 113,6; \end{aligned} \quad (2.15)$$

Отримані формули можуть бути використані для швидкої оцінки показників ефективності пристрою в залежності від параметрів еластичних трубок.

Для подальшого аналізу функції $t_e(L_m, c_i)$, $L_p(L_m, c_i)$ та $n_n(L_m, c_i)$ представлені у вигляді поверхонь відгуку (рисунок 2.11).

За розташуванням оптимальної області в факторному просторі (рисунок 2.11) можна зробити наступний висновок. Оптимальна довжина еластичної трубки становить 1,58 м (при висоті кузова транспортного засобу 1,60 м, тобто провіт між трубкою та дном кузова транспортного засобу повинен становити 2 см), оптимальний коефіцієнт жорсткості трубки на згин

становить $0,9 \text{ кН/м}^2$. При цьому час вивантаження складе менше $11,5 \text{ с}$, відстань розкочування коренеклубнеплодів складе менше $1,50 \text{ м}$, частка пошкоджених коренеплодів складе менше $4,0\%$.

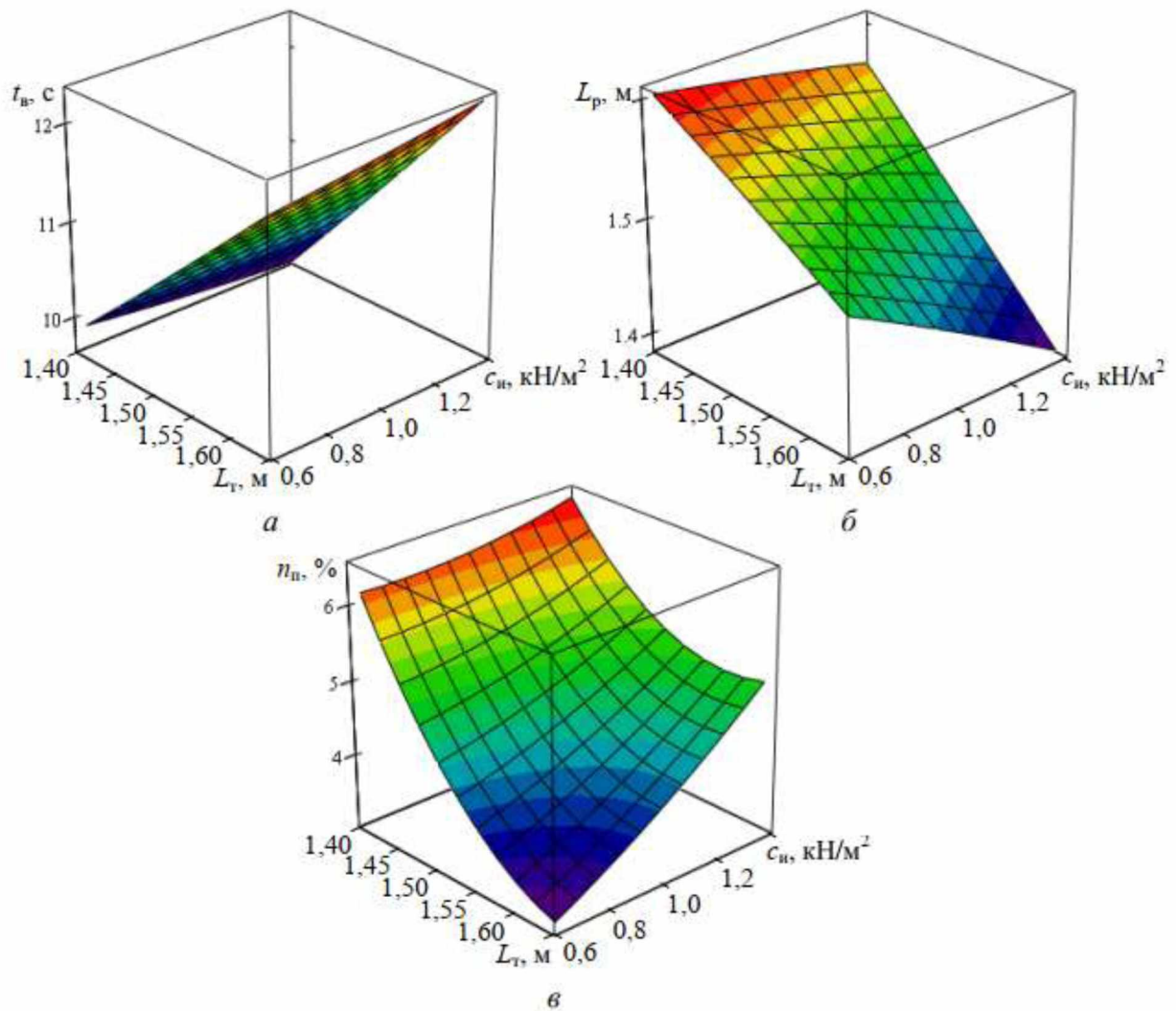


Рисунок 2.11 – Поверхні відгуку довжини L_m та коефіцієнта жорсткості на згин c_i еластичних трубок на час вивантаження t_v (а), відстань розкочування L_p (б) і відсоток пошкоджених коренеплодів n_n

Висновки

1. Розроблено математичну модель пристрою для транспортування і вивантаження коренеплодів, що враховує фізичні властивості коренеклубнеплодів, фізичні та геометричні характеристики кузова транспортного засобу та еластичних перегородок, а також параметрів процесу вивантаження. Модель дозволяє оцінити ефект від обладнання кузова транспортного засобу рядами еластичних перегородок та визначити їх оптимальні параметри.

2. Раціональний просвіт між еластичними перегородками та дном кузова транспортного засобу становить 2 см, а коефіцієнт жорсткості еластичних трубок на вигин становить 0,9 кН/м². При цьому час вивантаження складе менше 11,5 с, відстань розкочування коренеклубнеплодів складе менше 1,5 м, частка пошкоджених коренеклубнеплодів складе менше 4,0%.

РОЗДІЛ 3

РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1 Програма лабораторних досліджень

З метою уточнення параметрів еластичних перегородок кузова транспортного засобу проводили експериментальні дослідження, програма яких включала:

1. Експериментальні дослідження розмірно-масових характеристик бульб картоплі
2. Лабораторні дослідження вивантаження бульб картоплі з кузова транспортного засобу обладнаного еластичними перегородками
3. Експериментальні дослідження довжини та зазору між еластичними трубками на характер вивантаження.

3.2 Методика лабораторних досліджень

Основними параметрами розмірно-вагових характеристик бульб є, довжина, ширина, ширина та маса.

Заміри параметрів проводилися на приладі, що показано рисунку 3.1.

Під час вимірювання картоплі, наприклад довжини, бульбу вертикально розміщали на майданчик і вимірювальний щуп опускали на бульбу. У цей час параметр довжини висвітлювався на індикаторі та заносився в пам'ять блока керування.



Рисунок 3.1 – Прилад ПРГ-401: 1 – картопля, 2 – вимірювальний щуп, 3 – вимірювальний блок, 4 – блок керування, 5 – блок живлення

Взаємодія бульб при вивантаженні генерують напруги в насипу картоплі за рахунок передачі ударних імпульсів та масопереносу у поперечному напрямку до поверхні зсуву. Для нееластичних сферичних частинок при швидкому гравітаційному перебігу напруги пропорційні квадрату відносної швидкості – швидкості зсуву, величини і ударних імпульсів. В результаті руху бульби взаємодіють один з одним, і виникають хаотичні переміщення бульб у рухомому потоці з відносною швидкістю того ж порядку, що і швидкість зсуву.

Із збільшенням кута підйому кузова зростає швидкість зсуву, причому спостерігається вистрибування окремих бульб, що дещо зменшує питому вагу насипу картоплі. Так як бульби картоплі мають шорстку поверхню, то напрям контактних сил при зіткненнях бульб відрізняється від нормалі за рахунок сили тертя. Очевидно, що умови контакту бульб, що виникають сили тертя істотно впливають на механічні пошкодження, і формування здвигової напруги.

На рисунку 3.2 представлено загальний вигляд контейнера (кузова транспортного засобу), обладнаного поперечною перегородкою.

Контейнер містить основу 1, торцеві стінки 2, боковину 3, відкидний борт 4, який шарнірно з'єднаний зі стінками 2, фіксатор 8, закріплений на відкидному борту поперечну перегородку 5, з порожнистих трубок 6 обертаються навколо осі 7.

При відкритті відкидного борту 4 вивантажуються бульби, розташовані безпосередньо біля борту 4. При перекиданні контейнера (кузова) поперечна перегородка 5 утримує частину купи бульб, виключаючи їх лавиноподібний схід. Поступове вивантаження звільняє трубки 6 поперечної перегородки 5, і купу бульб вивантажується дозовано.

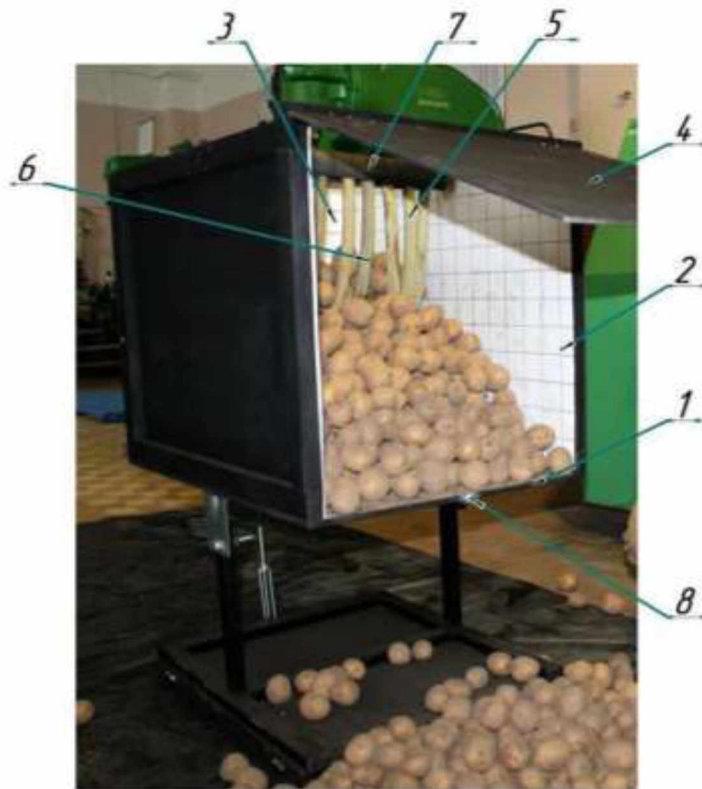


Рисунок 3.2 – Загальний вид контейнера (кузова транспортного засобу) обладнаного еластичною перегородкою: 1 – основа, 2 – торцеві стінки, 3 – боковина, 4 – відкидний борт, 5 – поперечна перегородка, 6 – пустотіла трубка, 7 – вісь, 8 – фіксатор

Найбільшу швидкість скочування мають бульби, що знаходяться зверху насипу. Швидкість при вивантаженні верхніх бульб додатково знижується за рахунок тертя об порожнисті пружні трубки перегородки. Для

уточнення теоретичних викладок було проведено експеримент із розвантаження бульб із контейнера без перегородки та обладнаного поперечною перегородкою. Як фактор варіювання вибрано кут нахилу контейнера до горизонту (кут підйому кузова). В ході експерименту вивчалися розкочування бульб від контейнера, що характеризує швидкість бульб при скочуванні по насипу, і залишок бульб в кузові, що характеризує швидкість вивантаження бульб (відсутність лавиноподібних потоків).

Для досліджень використовували насіннєву картоплю з найбільшим розміром 35 мм для масштабного моделювання руху бульб у контейнері. Кут перекидання контейнера змінювали за допомогою гвинтової стяжки і через кожні 5° знімали показники. Повторність була триразовою. Розподіл картопляного вороху в контейнері із обладнаною перегородкою та розкочування бульб після вивантаження представлені на рисунках 3.3 і 3.4.



Рисунок 3.3 – Загальний вид контейнера з картоплею обладнаного еластичною перегородкою під час розвантаження



Рисунок 3.4 – Загальний вид контейнера, обладнаного еластичною перегородкою при дослідженні гуркоту бульб картоплі

Теоретичні дослідження показали, що найбільший вплив на кінетичну енергію картоплі, що скочується, надаватиме шлях, пройдений бульбою по насипу, чим більше шлях, тим більше енергія. Також значну роль надаватиме кінцева швидкість бульби, яка опосередковано виражається часом розгону бульби t . Таким чином, зниження кінетичної енергії бульби можливе зменшенням ділянки розгону шляхом встановлення додаткових перешкод у кузові, наприклад поперечної перегородки.

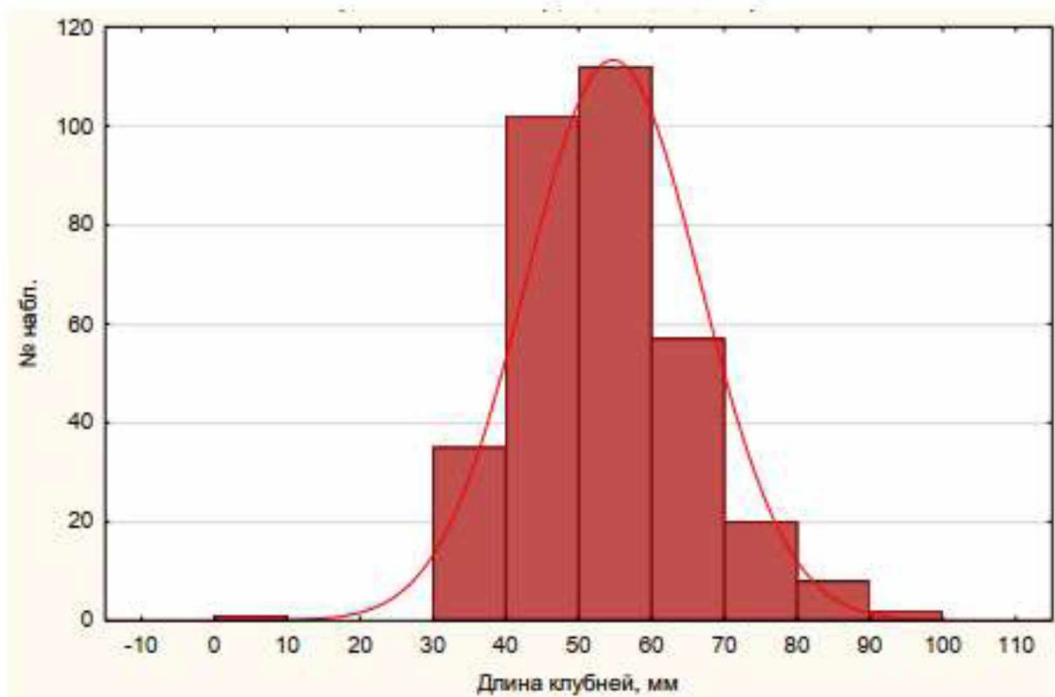
3.3 Результати лабораторних досліджень

За результатами досліджень було отримано середньоарифметичні значення довжини, ширини, товщини та маси бульб різних сортів, які зведені до таблиці 4.1.

Таблиця 3.1 – Розмірно-вагова характеристика бульб картоплі

Показник	Довжина, мм	Ширина, мм	Товщина, мм	Маса, г
Середній	60,7	52,1	43,5	92,2
Найменший	29,8	27,5	21,3	12
Найбільший	120,5	77,4	65,2	252

Аналіз результатів показав, що вибірка бульб картоплі розподілена за нормальним законом. Графіки розподілу за довжиною, товщиною та шириною представлені на рисунках 3.5 та 3.6.



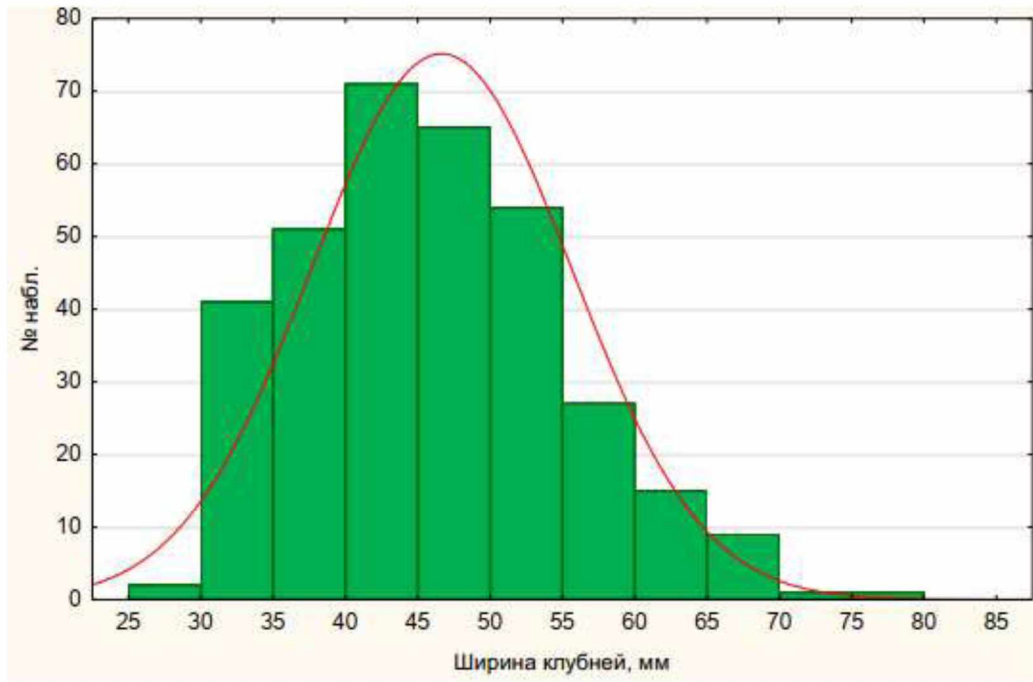
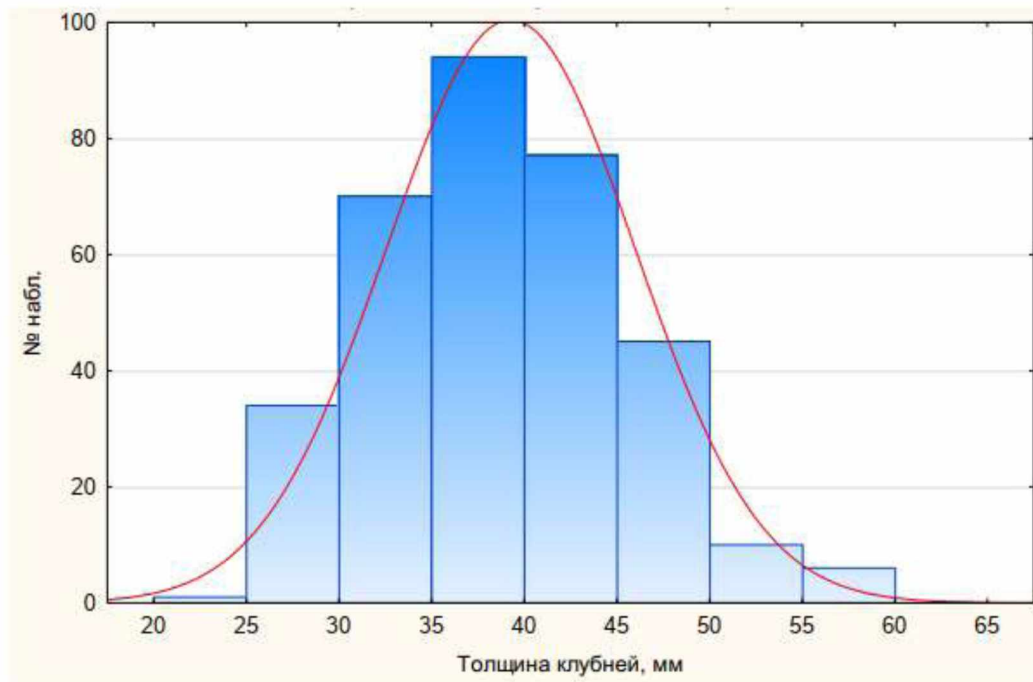


Рисунок 3.5 – Гістограми розподілу довжини та ширини бульб картоплі



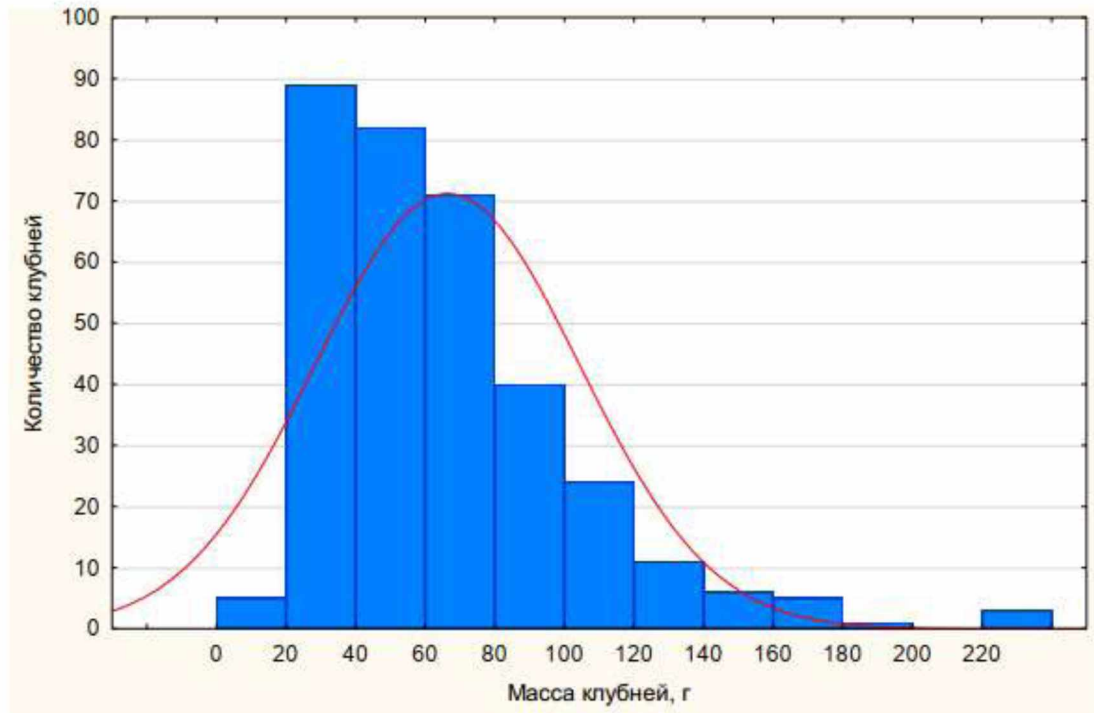


Рисунок 3.6 – Гістограми розподілу товщини та маси бульб картоплі

Залежно від співвідношення параметрів бульби картоплі мають різну форму. Встановлено, що середній геометричний розмір бульб картоплі складає 46,2 мм.

Лабораторні дослідження контейнера з еластичними перегородками проводились у лабораторіях кафедри технології та засоби механізації аграрного виробництва.

У результаті виконання лабораторних досліджень встановлені взаємозв'язки кількості бульб, що залишилися в контейнері після нахилу, залежно від кута перекидання. Результати графічно представлені рисунку 3.7.

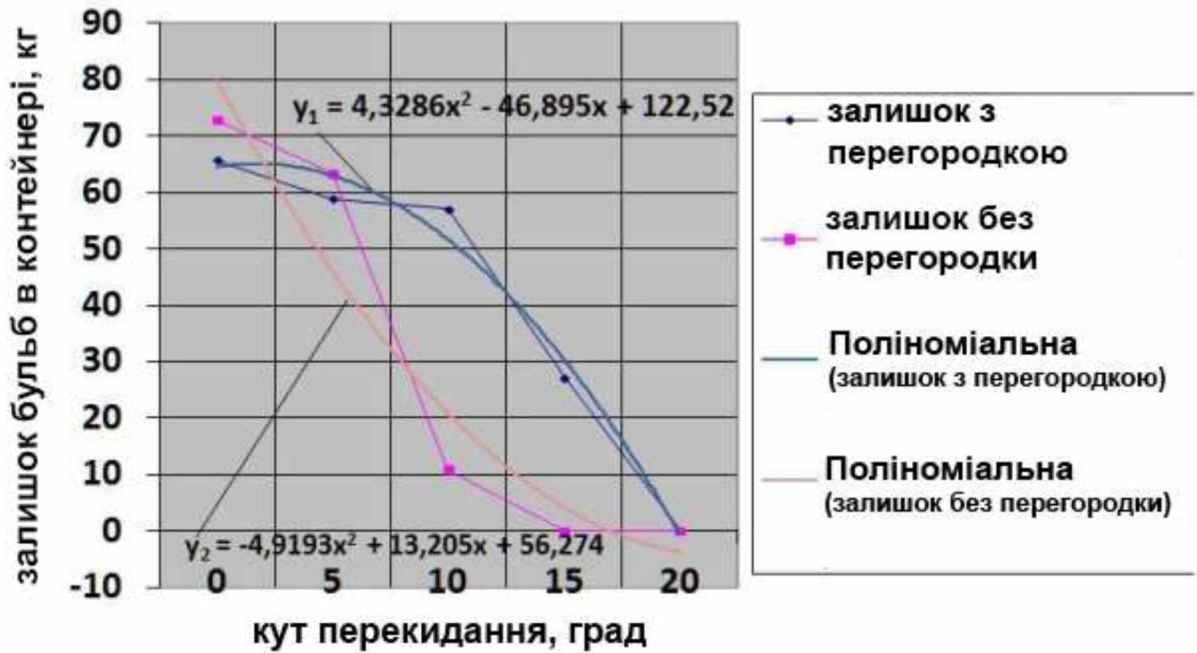


Рисунок 3.7 – Графік вивантаження бульб з контейнера в залежності від кута перекидання

Аналіз вивантаження з контейнера показав, що встановлення поперечної перегородки в контейнері дозволяє здійснювати рівномірне вивантаження протягом всього циклу перекидання – це видно на графіку залишків бульб в контейнері (рисунок 3.7), крива залишку в контейнері з перегородкою має більш пологий кут. Рівномірне вивантаження контейнера знижує можливість утворення лавиноподібних потоків, що в кінцевому підсумку буде знижувати кінетичну енергію бульб і зменшувати їх механічні пошкодження.

Найшвидше зменшення бульб із контейнера відбувається при куті перекидання від 5° до 10° за відсутності еластичної перегородки.

За наявності еластичної перегородки вивантаження бульб здійснюється із затримкою при кутах від 10° до 20° , причому вивантаження бульб картоплі відбувається рівномірно в інтервалі в 2 рази більшому, ніж без еластичної перегородки.

В результаті виконання лабораторних досліджень встановлені взаємозв'язки кількості та відстань розкочування бульб залежно від кута перекидання. Результати графічно представлені рисунку 3.8.

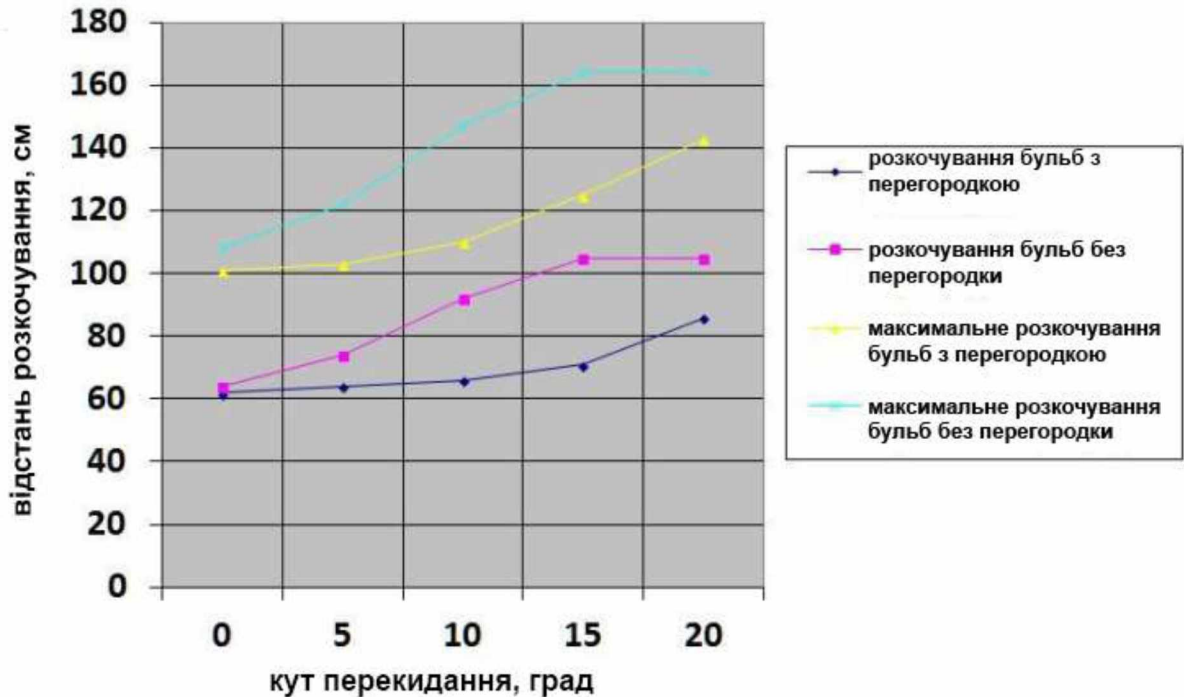


Рисунок 3.8 – Графіки відстаней розкочування бульб після вивантаження залежно від кута перекидання

Аналіз відстані розкочування бульб після вивантаження (рисунки 4.4) показує, що встановлення поперечної еластичної перегородки в кузові транспортного засобу дозволяє зменшити розкот бульб. Найбільша відстань розкочування бульб картоплі з кузова транспортного засобу відбувається при кутах перекидання понад 15° . За наявності еластичної перегородки відстань розкочування бульб картоплі з кузова транспортного засобу становить від 0,71 до 1,05 м, а за відсутності еластичної перегородки становить від 1,05 до 1,64 м, що в 1,56 рази більше.

Це можна пояснити обмеженням ділянки розгону бульб по насипу та тертям про трубки поперечної перегородки. У результаті зменшується кінетична енергія бульб, що знижує можливість пошкодження бульб.

Аналізуючи результати досліджень видно, що найбільший вплив на кінетичну енергію системи надаватиме шлях, пройдений бульбою по насипу, чим більше шлях, тим більша енергія. Також значну роль надаватиме кінцева швидкість бульби, яка опосередковано виражається часом розгону бульби t . Таким чином, зниження кінетичної енергії бульби можливе зменшення ділянки розгону установкою додаткових перешкод у кузові транспортного засобу, наприклад, еластичної перегородки.

Експериментальні дослідження вивантаження з кузова транспортного засобу показали, що встановлення еластичної перегородки в кузові транспортного засобу дозволяє здійснювати рівномірне вивантаження протягом усього циклу перекидання, причому в 2 рази збільшується інтервал кутів вивантаження бульб картоплі з кузова транспортного засобу. Аналіз відстані розкочування бульб після вивантаження показує, що встановлення еластичної перегородки в кузові транспортного засобу дозволяє в 1,56 рази зменшити відстань розкочування бульб. Таким чином, встановлення додаткових еластичних перегородок сприяє зниженню кінетичної енергії картоплі при розвантаженні та знижує механічні пошкодження бульб.

Висновки

1. Аналіз вивантаження бульб картоплі з кузова транспортного засобу показав, що встановлення поперечної еластичної перегородки дозволяє здійснювати рівномірне вивантаження протягом усього циклу перекидання. Найбільша кількість зменшення бульб із кузова транспортного засобу відбувається при куті перекидання від 5° до 10° за відсутності еластичної перегородки. За наявності еластичної перегородки вивантаження бульб здійснюється з затримкою при кутах від 10° до 20° , причому вивантаження бульб картоплі відбувається рівномірно в інтервалі кутів перекидання в 2 рази більшому, ніж без еластичної перегородки.

2. Найбільша відстань розкочування бульб картоплі з кузова транспортного засобу відбувається при кутах перекидання понад 15°. За наявності еластичної перегородки відстань розкочування бульб картоплі з кузова транспортного засобу становить від 0,71 до 1,05 м, а за відсутності еластичної перегородки становить від 1,05 до 1,64м.

РОЗДІЛ 4

РЕКОМЕНАЦІЇ ЩОДО ПРАКТИЧНОЇ РЕАЛІЗАЦІЇ ДОСЛІДЖЕНЬ

4.1 Охорона праці

Загально норми у реалізації законного права робітників на охорону їх здоров'я та життя під час виконання трудових обов'язків, на якісні, здорові і безпечні умови роботи визначено законом України «Про охорону праці», який був прийнятий наказом Верховної Ради № 2695-XII від 14.10.92 року [19]. За сприяння відповідних органів державної влади він регулює відносини між працівником і роботодавцем у питаннях гігієни праці, безпеки та виробничого середовища, а також встановлює загальний порядок організації охорони праці в Україні.

Перед початком робіт з ремонту та технічного обслуговування автомобілів робітник повинен переодягнути робочу форму одягу. Хлястики рукавів повинні бути застебнуті, на голову одягнений головний убір. Для уникнення травмування при падінні інструменту або деталей на ноги потрібно одягнути черевики. Одяг повинен зберігатися у спеціальній шафі. Виходити у робочому одязі у громадські місця та житлові приміщення забороняється.

Перед початком роботи під автомобілем, що встановлений на пост технічного обслуговування, на видному місці необхідно винести табличку з написом «Двигун не пускати – працюють люди». Під колеса встановити

упори, а автомобіль встановити на нижчу передачу. Необхідно перевірити чи немає витоку мастила, палива, електроліту та охолоджуючої рідини.

При будь-яких роботах із технічного обслуговування та ремонту автомобілів-самоскидів з піднятим кузовом необхідно ставити упори, що оберігають кузов від самовільного опускання. Працювати не виконавши цієї вимоги, категорично забороняється.

Під час роботи не класти інструмент та деталі на раму, підніжки та інші частини автомобіля, звідки вони можуть впасти на працюючого. Перебуваючи під автомобілем, не палити і не користуватися відкритим вогнем.

Шиномонтажні роботи необхідно виконувати тільки у встановлених місцях, суворо дотримуватись правил техніки безпеки. Накачувати змонтовану шину повітрям необхідно обов'язково в огорожі, що оберігає від забиття при зриві замкового кільця.

Гальмівну систему перевіряти на спеціально відведеному майданчику.

При роботі з бензином та охолоджувальною рідиною необхідно пам'ятати, що бензин – це вогненебезпечна речовина. Особливо обережно потрібно поводитись із тарою, оскільки при зіткненні із відкритим вогнем, пари бензину, що є в тарі, спалахують і викликають вибух. Тетраетил свинець, що міститься у бензині, є сильною отрутою. У разі потрапляння етилованого бензину на шкіру необхідно промити це місце спочатку керосином, а потім теплою водою з милом.

Пролиті на підлогу паливо, масло та інші паливо-мастильні матеріали необхідно засипати піском або тирсою після чого його видалити.

Робоче місце слюсаря з ремонту автомобілів має бути достатньо освітлене. Але освітлення має бути розташоване таким чином, щоб не засліплювати робітника.

4.2 Екологічна експертиза

Забруднення повітря та ґрунтів відбувається в результаті емісії парів бензину з горловини бензобаків при їх заправці, а також у процесі експлуатації автотранспортних засобів.

Для успішного вирішення проблеми охорони повітря та ґрунтів від забруднення необхідно вивчити методичну та законодавчу бази екологічного нормування стану довкілля. Відповідно до Закону «Про охорону навколишнього природного середовища» (№ 1268-ХІІ від 26.06.91, ВВР, 1991, № 41, ст.547) [20], «якість довкілля – стан навколишнього середовища, що характеризується фізичними, хімічними, біологічними та іншими показниками та їх сукупністю».

Експериментально встановлено, що одна крапля бензину діаметром 1 мм при температурі 20 °С повністю випаровується за 3 с, а діаметром 0,01 мм — за 0,2 с. Тому зменшення випарів вуглеводнів є найефективнішим способом боротьби з фотохімічними забрудненнями атмосфери.

Легке отруєння парами бензину може настати через 5-10 хв. перебування людини у атмосфері з концентрацією парів бензину не більше від 900 до 3612 мг/м³. При цьому з'являються головний біль, запаморочення, серцебиття, слабкість, психічне збудження, безпричинна млявість, тремтіння витягнутих рук, м'язові судоми.

При нетривалому вдиханні повітря з концентрацією парів бензину від 1000 до 5000 мг/м³ вже за кілька хвилин з'являються біль голови і неприємні відчуття у горлі.

При дії на шкіру бензин та дизельне паливо знежирюють її і можуть спричинити шкірні захворювання — дерматити та екземи. Бензинові фракції не накопичуються в організмі, але отруйні речовини, що розчинені в ньому (наприклад, тетраетил свинець в етильованому бензині) залишаються в організмі.

Вплив канцерогенних речовин залежить як від дози, так і від тривалості їх дії. Новоутворення виникають не відразу після початку впливу, а через великий термін. Для людини цей термін може складати 15-20 років.

Результати досліджень впливу парів бензину на рослини показали, що на них посилюється стресове навантаження, зростає швидкість відмирання хвої, змінюється кислотність клітинного соку, знижується імунітет культурних рослин.

Швидкість випаровування вуглеводнів дизельного палива в кілька разів нижче швидкості випаровування бензинів. Отже забруднення навколишнього середовища дизельним паливом в основному обумовлено його витоками. При цьому відбувається забруднення ґрунтів, підземних вод та водойм.

Забруднення ґрунту дизельним паливом призводить до значних фізико-хімічних змін, що виражаються у зміні мікроелементного складу ґрунту, його водно-повітряного та окисно-відновного режимів. Надлишок органічних вуглецевих речовин, що надходять у ґрунт, порушує нормальне співвідношення вуглецю та азоту, а також призводить до дефіциту кисню, азоту та фосфору. Внаслідок погіршення агрохімічних властивостей ґрунту затримується зростання зернових, бобових культур та ін.

Забруднення підземних вод дизельним паливом не лише погіршує якість води, а й робить її непридатною для питних та інших цілей.

4.3 Техніко-економічне обґрунтування досліджень

Розрахунок техніко-економічного ефекту використання транспортних засобів із кузовом, що обладнані поперечними еластичними перегородками, проводився за стандартною методикою.

Вартість витрат на виготовлення пристосування залежать від місця виконання робіт. Роботи по виготовленню конструкції виконуються в ремонтній майстерні, тому витрати на виготовлення пристосування підраховуємо за формулою:

$$C_{вк} = C_{пд} + C_{зп} + C_{зв} + C_{кд}, \quad (4.1)$$

де $C_{пд}$ – вартість виготовлення оригінальних деталей, грн;

$C_{зп}$ – повна заробітна плата (з урахуванням виробничих працівників, зайнятих на збиранні продукції), грн;

$C_{зв}$ – загальні накладні витрати на виготовлення конструкції, грн;

$C_{кд}$ – вартість виготовлення корпусних деталей, грн;

Економічний ефект від зниження величини пошкоджень продукції при її перевезенні визначається за виразом:

$$E = \sum Z_a - \sum Z_b, \quad (4.2)$$

де $\sum Z_a$ – витрати від пошкодження продукції при перевезенні серійним транспортним засобом, грн;

$\sum Z_b$ – від пошкодження продукції при перевезенні транспортним засобом з еластичними перегородками, грн.

$$\sum Z = Q \cdot P_{кл} \cdot Ц_p, \quad (4.3)$$

де Q – загальна кількість перевезеного врожаю одним ТЗ, т;

$P_{кл}$ – відсоток пошкоджень продукції, %;

$Ц_p$ – цінова різниця продовольчої та пошкодженої картоплі, грн.

Прийнявши величину пошкоджень картоплі 4,73% для серійного транспортного засобу та 3,81% для транспортного засобу з еластичними перегородками, а також цінову різницю продовольчої і пошкодженої картоплі $Ц_p = 1500$ грн/т отримаємо визначення витрат від ушкодження продукції.

Результати проведеного розрахунку економічного ефекту від зниження пошкоджень картоплі та застосування методики моделювання транспортних потоків заносимо до таблиці 4.1.

Він показав, що використання нової технології аналізу дозволить значно знизити витрати на закупку мінеральних добрив порівняно із традиційною технологією.

Таблиця 4.1 – Показники ефективності пристосування для зниження пошкоджень картоплі

Показник	Нова технологія
Витрати на виготовлення пристосування, грн	3900
Втрати від ушкодження продукції, грн	12050,90
Економічний ефект на 1 т перевезень, грн	150,2
Термін окупності, роки	0,38

Загальні висновки

1. Аналіз досліджень процесів внутрішньогосподарських перевезень коренеплодів та яблук показав, що у кузові транспортних засобів ушкодження виникають через нерівномірність процесу розвантаження кузова.

2. Для зменшення пошкоджень продукції під час перевезення необхідно створити пристрій, що сприяє більш порційному та рівномірному вивантажуванню бульб картоплі із кузова транспортного засобу, а також зниженню їх швидкості.

3. Розроблено математичну модель пристрою для транспортування і вивантаження коренеплодів, що враховує фізичні властивості коренеклубнеплодів, фізичні та геометричні характеристики кузова транспортного засобу та еластичних перегородок, а також параметрів процесу вивантаження. Модель дозволяє оцінити ефект від обладнання кузова транспортного засобу рядами еластичних перегородок та визначити їх оптимальні параметри.

4. Раціональний просвіт між еластичними перегородками та дном кузова транспортного засобу становить 2 см, а коефіцієнт жорсткості еластичних трубок на вигин становить 0,9 кН/м². При цьому час вивантаження складе менше 11,5 с, відстань розкочування

коренеклубнеплодів складе менше 1,5 м, частка пошкоджених коренеклубнеплодів складе менше 4,0%.

5. Аналіз вивантаження бульб картоплі з кузова транспортного засобу показав, що встановлення поперечної еластичної перегородки дозволяє здійснювати рівномірне вивантаження протягом усього циклу перекидання. Найбільша кількість зменшення бульб із кузова транспортного засобу відбувається при куті перекидання від 5° до 10° за відсутності еластичної перегородки. За наявності еластичної перегородки вивантаження бульб здійснюється з затримкою при кутах від 10° до 20° , причому вивантаження бульб картоплі відбувається рівномірно в інтервалі кутів перекидання в 2 рази більшому, ніж без еластичної перегородки.

6. Найбільша відстань розкочування бульб картоплі з кузова транспортного засобу відбувається при кутах перекидання понад 15° . За наявності еластичної перегородки відстань розкочування бульб картоплі з кузова транспортного засобу становить від 0,71 до 1,05 м, а за відсутності еластичної перегородки становить від 1,05 до 1,64 м.