

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ

Механіко-технологічний факультет

УДК 631.3:629.4.023.14

ПОГОДЖЕНО
Декан механіко-технологічного
факультету

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ
Завідувач кафедри
технічного сервісу та інженерного
менеджменту імені

М. П. Момотенка

Брагішко В. В.
(підпис) (ПІБ)

Роговський І.Л.
(підпис) (ПІБ)

«___» _____ 2022 р.

«___» _____ 2022 р.

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему Удосконалення експлуатаційних параметрів кузовів автомобілів
для транспортування коренеплодів

Спеціальність 274 «Автомобільний транспорт»

Освітня програма «Автомобільний транспорт»

Орієнтація освітньої програми освітньо-професійна

Гарант освітньої програми

доктор технічних наук, професор

Войтюк Валерій Дмитрович

Керівник магістерської кваліфікаційної роботи

доктор технічних наук, професор

Роговський Іван Леонідович

Виконала

Гері Світлана Євгенівна

КИЇВ 2022

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ

Механіко-технологічний факультет

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри технічного сервісу
та інженерного менеджменту
імені М. П. Момотенка, д.т.н., проф.
Роговський І. Л.
« » 2021 р.

**ЗАВДАННЯ
ДО ВИКОНАННЯ МАГІСТЕРСЬКОЇ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ
РОБОТИ СТУДЕНТКОЮ**

Гері Світлані Євгенівні

Спеціальність 274 «Автомобільний транспорт»

Освітня програма Автомобільний транспорт

Магістерська програма Автомобільний транспорт

Орієнтація освітньої програми освітньо-професійна

Тема магістерської роботи «Удосконалення експлуатаційних параметрів кузовів
автомобілів для транспортування коренеплодів»

затверджена наказом ректора НУБіП України від «21» грудня 2021 р. № 2217 «С»

Термін подання завершеної роботи на кафедру 25.10.2022

Вихідні дані до магістерської роботи науково-технічна література; результати
науково-дослідних робіт по літературних джерелах по вивченню технології
удосконалення експлуатаційних параметрів кузовів автомобілів для транспортування
коренеплодів

Перелік питань, що підлягають дослідженню:

1. Стан проблеми і постановка задач дослідження.
2. Теоретичні дослідження.
3. Експериментальні дослідження.
4. Реалізація удосконалення експлуатаційних параметрів кузовів автомобілів для транспортування коренеплодів
5. Оцінка економічної ефективності технічних рішень.

Перелік графічного матеріалу електронна презентація на 15 слайдах

Дата видачі завдання «15» листопада 2021 р.

Керівник магістерської кваліфікаційної роботи

доктор технічних наук, професор

Роговський Іван Леонідович

Завдання прийняла до виконання

Гері Світлана Євгенівна

НУБІП України

ВСТУП

5

РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ СПОСОБІВ І ЗАСОБІВ ДЛЯ ЗНИЖЕННЯ

ПОШКОДЖЕНЬ КОРЕНЕПЛОДІВ ПРИ ТРАНСПОРТУВАННІ ТА РОЗВАНТАЖЕННІ

1.1 Огляд існуючих технологій збирання коренеплодів з поля

7

1.2 Аналіз існуючих технологій транспортування та розвантаження

коренеплодів

11

1.3 Аналіз технічних засобів транспортування коренеплодів

13

1.4 Аналіз виконаних досліджень з розвантаження коренеплодів

18

РОЗДІЛ 2 ОБГРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ЕЛАСТИЧНИХ

ПЕРЕГОРОДОК КУЗОВА АВТОТРАНСПОРТНОГО ЗАСОБУ

22

2.1 Конструктивно-технологічна схема кузова транспортного засобу з еластичними перегородками

22

2.2 Причини вивчення кузова транспортного засобу з еластичними

перегородками

24

2.3 Програмна реалізація математичної моделі вивантаження коренеплодів з кузова транспортного засобу з еластичними

перегородками

29

2.4 Моделювання процесу вивантаження кузова транспортного засобу з еластичними перегородками

34

Висновки

44

РОЗДІЛ 3 ПРОГРАМА І МЕТОДИКА

46

3.1 Програма досліджень

46

3.2 Методика досліджень розмірно-масових характеристик коренеплодів

46

3.3 Методика досліджень кузова транспортного засобу з еластичними перегородками

47

РОЗДІЛ 4 РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ КУЗОВА ТРАНСПОРТНОГО ЗАСОБУ З ЕЛАСТИЧНИМИ ПЕРЕГОРОДКАМИ

51

4.1 Результати досліджень розмірно-масових характеристик коренеплодів

51

4.2 Результати досліджень контейнера з еластичними перегородками

53

4.3 Результати виробничих досліджень кузова транспортного засобу з еластичними перегородками

55

4.4 Результати хронометражу операції при транспортуванні та розвантаженні транспортних засобів

57

РОЗДІЛ 5 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНИЙ ЕФЕКТ ЗАСТОСУВАННЯ КУЗОВА АВТОТРАНСПОРТНОГО ЗАСОБУ З ЕЛАСТИЧНИМИ ПЕРЕГОРОДКАМИ

ДЛЯ ТРАНСПОРТУВАННЯ КОРЕНЕПЛОДІВ

61

5.1 Розрахунок економічного ефекту від зниження експлуатаційних витрат

61

5.2 Розрахунок економічного ефекту від зниження пошкоджень

коренеплодів

62

ВИСНОВКИ

66

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

68

ВСТУП

НУВБІП України

Картопля займає одне з провідних місць у світовому виробництві сільськогосподарської продукції, і частка України становить 15...17% картоплі, що виробляється [8]. Картоплю вирощують на площі 1,2 млн. га, враховуючи всі категорії вітчизняних господарств, валовий збір у 2022 році становив 33,6 млн. т [119].

НУВБІП України

Зарубіжні країни виявляють значний інтерес до картоплі, тому в США зафіксовано зростання кількості переробленої картоплі в 3 рази з 1960 по 2022 роки [47]. Картоплепродукти займають важливе місце у раціоні жителів Європи, Америки та Азії. У той же час пошкодження в процесі збирання, транспортування та післязбиральної обробки можуть досягати 50-60%, причому до 10-15% пошкоджень бульб виникають під час вантажно-розвантажувальних робіт, що знижує збереження картоплі. У зв'язку з цим зменшення пошкоджень картоплі під час розвантаження кузова транспортних засобів є важливим актуальним науково-технічним завданням.

НУВБІП України

Мета досліджень - зниження пошкоджень при розвантаженні коренеплодів шляхом удосконалення кузова автомобільного транспортного засобу (ТЗ).

НУВБІП України

Ступінь розробленості теми Великий внесок у дослідження процесів внутрішньогосподарських перевезень легкоушкоджуваної продукції в кузові ТЗ, вивчення питань мінімізації пошкоджень при її розвантаженні та навантаженні в

НУВБІП України

МС зробили вчені Н.В. Бишов, С.М. Боричів, Н.І. Верещагін, М.М. Єрохін, В.С. Заводнов, В.М. Зернов, А.Ю. Измайлов, Н.М. Колчин, К.А. Пшеченко, А.Г. Пономарьов, С.М. Петухов, А.І. Ряднов, І.А. Успенський, Х.А. Хачатрян, В.А. Евїєв, І.А. Юхін та інші.

НУВБІП України

Об'єкт досліджен – технологічний процес транспортування і розвантаження коренеплодів кузова автомобільного транспортного засобу.

НУВБІП України

Предмет досліджень - закономірності впливу конструкцій кузовів автомобільного транспортного засобу на пошкодження при розвантаженні коренеплодів.

Методика досліджень. Для теоретичного дослідження руху коренеклубнеплодів у кузові транспортного засобу, обладнаному еластичними перегородками, розроблено математичну модель вивантаження коренеклубнеплодів. В результаті моделювання з урахуванням умов виконання операцій встановлено значення параметрів запропонованого пристрою. При теоретичних дослідженнях використовувалися положення гідродинаміки, теоретичної механіки та математики. Для обґрунтування параметрів еластичних перегородок розроблено «Програму для моделювання пристрою для транспортування та вивантаження бульб картоплі» (свідоцтво на програму для ЕОМ №2020614320). Обробку результатів досліджень проведено методами математичної статистики.

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ СПОСОБІВ І ЗАСОБІВ ДЛЯ ЗНИЖЕННЯ ПОШКОДЖЕНЬ КОРЕНЕПЛОДІВ ПРИ ТРАНСПОРТУВАННЯ ТА РОЗВАНТАЖЕННЯ

1.1 Огляд існуючих технологій збирання коренеплодів з поля

Збирання картоплі є важливою операцією технології вирощування.

Розрізняють кілька збиральних технологій: збирання картоплі копачем, роздільне, комбіноване і потокове (рисунки 1.1, 1.2, 1.3). При збиранні картоплекопувачем бульби, частково відокремлені від ґрунту та рослинних залишків, укладаються на поверхню прибраних грядок. Недоліками роботи копачів є звантажування бульбоносного пласта при підкопуванні, недостатня сепарація та втрати бульб присипаних ґрунтом, пошкодження бульб при підборі.

Картоплекопатели застосовують на малих ділянках та у важких ґрунтово-кліматичних умовах, завдяки дешевизні вони широко поширені в Україні [34, 64].

Двофазний спосіб збирання передбачає утворення валка бульб за допомогою картоплекопувача-валкоукладача з наступним підбором комбайном через деякий час. Цей спосіб може бути реалізований за тривалого періоду збирання в м'якому кліматі (Європейські країни). Особливістю комбінованого способу (різновид двофазного способу) є прибирання комбайном чотирьох або шести рядків, одночасно, які попередньо прибрані картоплекопувачем-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 валка підсихають, зміцнюється їхня шкірка, що знижує обдирання шкірки, особливо при комбайновому збиранні ранньої картоплі. Недоліком цих способів

Особливістю комбінованого способу (різновид двофазного способу) є прибирання комбайном чотирьох або шести рядків одночасно, які попередньо прибрані картоплекопувачем-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 валка підсихають, зміцнюється їхня шкірка, що знижує обдирання шкірки, особливо при комбайновому збиранні ранньої картоплі. Недоліком цих способів Особливістю комбінованого способу

(різновид двофазного способу) є прибирання комбайном чотирьох або шести рядків одночасно, які попередньо прибрані картоплекопувачем-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 валка

підсихають, зміцнюється їхня шкірка, що знижує обдирання шкірки, особливо при комбайновому збиранні ранньої картоплі. Недоліком цих способів Крім того, як і в роздільному способі, бульби валка підсихають, зміцнюється їхня шкірка, що

знижує обдирання шкірки, особливо при комбайновому збиранні ранньої картоплі. Недоліком цих способів Крім того, як і в роздільному способі, бульби валка підсихають, зміцнюється їхня шкірка, що знижує обдирання шкірки, особливо при комбайновому збиранні ранньої картоплі. Недоліком цих способів є збільшення періоду прибирання та необхідність використання вузькоспеціалізованих машин здатних виконувати лише одну операцію.

Поточний спосіб передбачає комбайнове прибирання і є найменш праце- та енерговитратним.

Картоплезбиральні комбайни найбільш пристосовані для поточного 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 спільногоруху в місці байном транспортних засобів для накопичення бульб і знизити собівартість перевезення [9, 10, 12, 57].

У західній Європі та США для потокового прибирання широко застосовують кончі-навантажувачі. Вони забезпечують високу продуктивність та знижують трудовитрати.

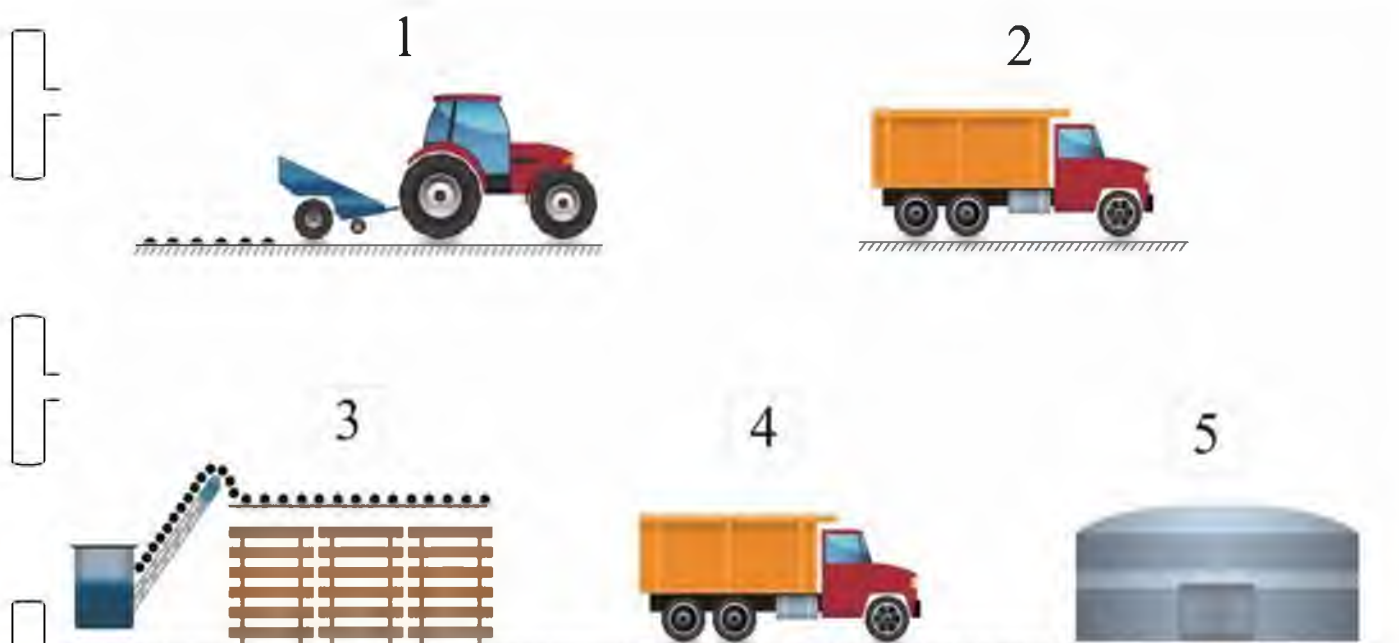


Рисунок 1.1 – Схема збирального процесу картоплі з використанням картоплекопувача: 1 – картоплекопувач; 2 – завантажений автомобіль; 3 – сортувальний пункт; 4 – завантажений автомобіль; 5 – сховище

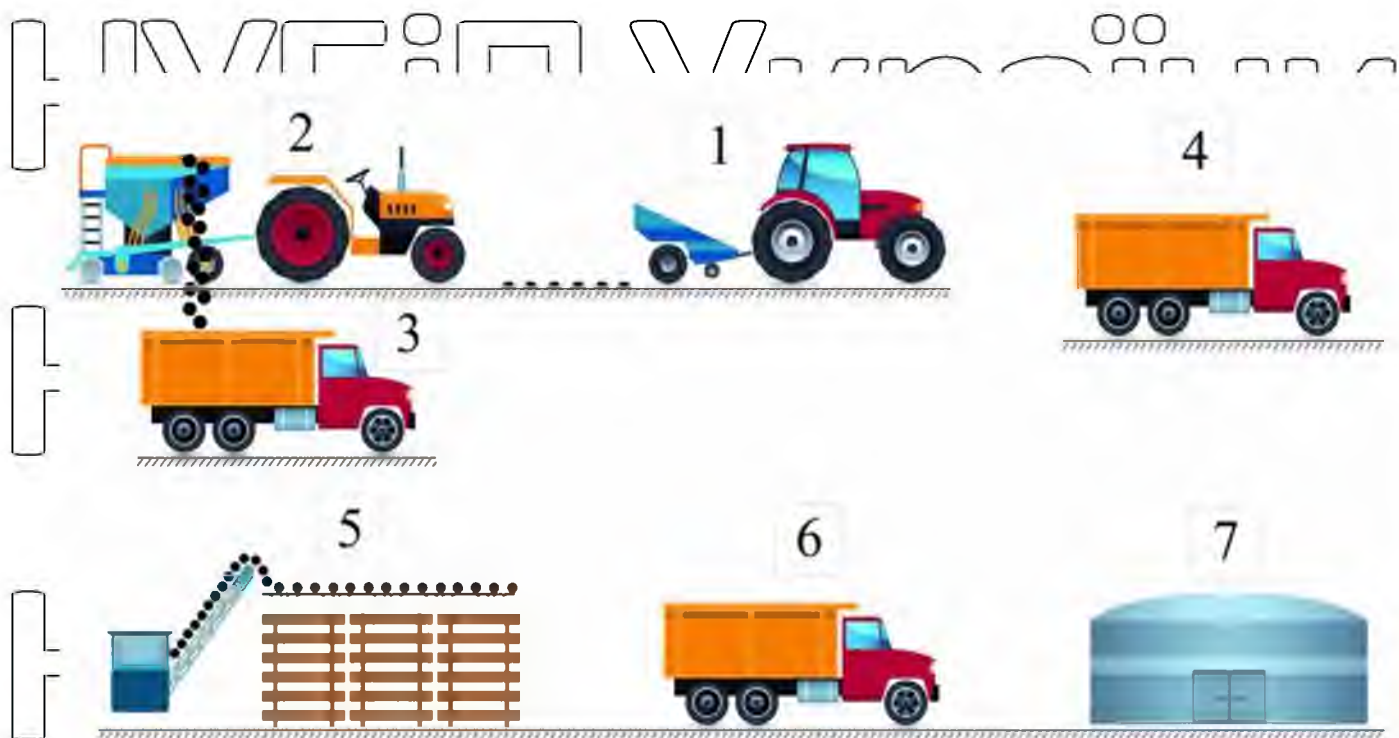


Рисунок 1.2 – Схема збирального процесу картоплі двофазним способом:

1 – картоплекопувач; 2 – комбайн підбирач; 3 – супроводжуючий автомобіль; 4 – завантажений автомобіль; 5 – сортувальний пункт; 6 – завантажений автомобіль; 7 – сховище.

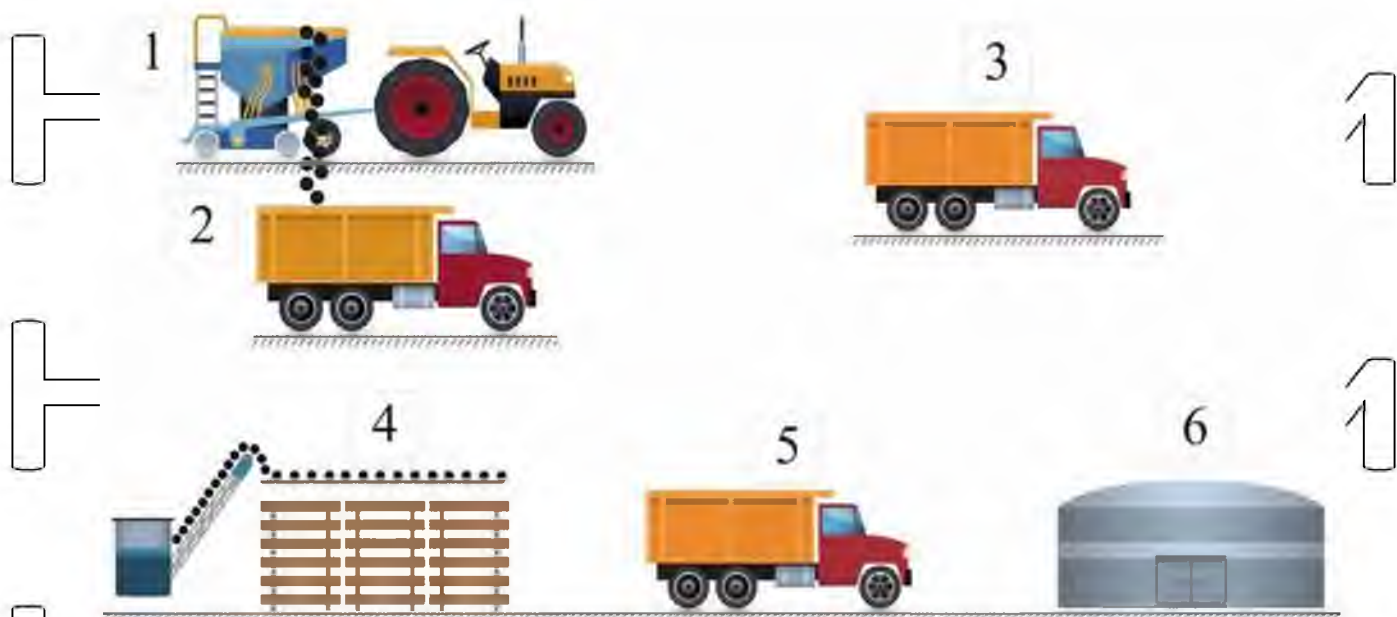


Рисунок 1.3 – Схема збирання картоплі прямим комбайнуванням (потськова технологія): 1 – картоплезбиральний комбайн; 2 – супроводжуючий автомобіль; 3 – завантажений автомобіль; 4 – сортувальний пункт; 5 – завантажений автомобіль; 6 – сховище.

Таблиця 1.1 – Самосвальні транспортні засоби для транспортування картоплі

Вантажопідйомність, т	Конструктивні особливості
4,0	Тристороннє розвантаження
10	Бічна двостороння розвантаження
7	Бічна двостороння розвантаження
3	Заднє розвантаження
5,5	Бічна двостороння розвантаження
7,0	Бічна двостороння розвантаження
10	Бічна двостороння розвантаження
5,5	тристороннє розвантаження
13,1	бічна розвантаження, двокузовний
5,0	тристороннє розвантаження
4,0	тристороннє розвантаження
5,3	тристороннє розвантаження
12,0	заднє розвантаження
14,0	заднє розвантаження, гідравлічний привід заднього борту
11,0	заднє розвантаження
11,0	
7,0	заднє розвантаження
6,7	тристороннє розвантаження
7,2	тристороннє розвантаження
6,5	бічне розвантаження

Перевезення картоплі є найважливішою операцією збирального процесу та визначає можливість застосування потокового способу. Для перевезення картоплі застосовують самоскиди та тракторні причепа (таблиця 1.1) [1, 7, 32].

У «застосування копателей-навантажувачів обмежується широким діапазоном ґрунтово-кліматичних умов, коротким періодом збирання, відсутністю спеціальних транспортних засобів для перевезення картоплі» [64].

Збирально-транспортні загопи забезпечують ритмічне збирання картоплі збиральними комбайнами або копателями-навантажувачами з

достатньою кількістю транспортних засобів та обладнання для післязбиральної обробки врожаю. Поточний спосіб збирання передбачає наявність спеціальних транспортних засобів з кузовом великої місткості, які використовуються нетривалий період часу, що збільшує капіталовкладення. Тому найчастіше використовується універсальні транспортні засоби.

Незважаючи на те, що в польових умовах при перевезенні картоплі на невелику відстань до 5 км раціонально застосування тракторних причепів, недостатня кількість тракторів у збиральний період призводить до використання великовантажних самоскидів. З іншого боку, при розвантаженні

великовантажних транспортних засобів виникають інерційні навантаження маси бубль, що призводять до пошкоджень, тому необхідно вдосконалення кузовів цього виду транспорту.

1.2 Аналіз існуючих технологій транспортування та розвантаження

коренеплодів

При виробництві сільськогосподарської продукції виконується значна кількість механізованої та людської праці. Транспортні роботи становлять

важливу частину механізованих робіт, наприклад, витрати на транспортування

вантажів становлять 25-40% від загальних витрат на виробництво продукції [4,

12]. Транспортування сільськогосподарських вантажів, в основному

здійнюється автомобілями, причому йде тенденція до збільшення частки

автомобільних перевезень з поліпшенням якості внутрішньогосподарських доріг [15].

У Франції та Німеччині тракторні транспортні засоби забезпечують 75-80% перевезень сільськогосподарських вантажів. В Італії тракторні поїзди з причепами є основним сільськогосподарським транспортом [14]. У перевезення сільськогосподарських вантажів переважно здійснюється автомобільним транспортом, хоча частка тракторів сягає 35% [16].

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 [4, 11]. На внутрішньогосподарських перевезеннях часто використовуються вантажні автомобілі загального призначення. При перевезеннях виникають прискорення до 3,5g, що спричиняє пошкодження вантажів [3].

При роботі кількох картоплюзбиральних 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 [9, 11].

Для зниження пошкоджень вантажів спеціалістами та інших науково-дослідних інститутів розроблено вимоги щодо використання сільськогосподарського транспорту. Насамперед, встановлені вимоги до спеціалізованих кузовів. Автотранспорт сільськогосподарського призначення обладнають 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 [60].

У сільськогосподарському виробництві є дефіцит автомобілів

сільськогосподарського призначення – автосамоскидів вантажопідіймністю 2-8т.

Сільгоспідприємства заповнюють дефіцит автомобілів сільськогосподарського призначення з допомогою великовантажної техніки, яка відповідає агротехнічним вимогам [9, 15].

Внутрішньогосподарські перевезення картоплі у збиральний період здійснюються на малих плечах 5...10 км, тому використання тракторних причепів також є раціональним [11, 18]. Однак, при підвищенні швидкості руху тракторних причепів виникає «вильання причепа з боку на бік» [43, 44, 45, 47, 48, 52], що погіршує умови праці механізатора та його експлуатаційні властивості [15, 55].

При вильанні причепа трактористу доводиться здійснювати постійні підрулювання і знижувати швидкість руху, що зменшує продуктивність та маневреність транспортного засобу [17]. Тому застосування автомобілів, спеціально обладнаних для перевезення сільськогосподарської продукції, дозволяє підвищити ефективність і якість внутрішньогосподарських перевезень сільськогосподарської продукції [51].

1.3 Аналіз технічних засобів транспортування коренеплодів

Сучасні технології збирання картоплі вимагають застосування високопродуктивних транспортних засобів, тому підприємства найчастіше використовують універсальні самоскиди [7, 8, 10, 15]. Також перевагу отримують ефективніші транспортні засоби підвищеної місткості [28, 32].

Поточний спосіб збирання картоплі передбачає застосування автомашин-самоскидів (рис. 1.5), автомашин з напівпричепами, тракторних самоскидних причепів (рис. 1.6), 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 [14, 24, 25].



Рисунок 1.5. Автомашини-самоскиди



Рисунок 1.6. Тракторний самоскидний причіп ПТС 4.



Рисунок 1.7. Транспортний засіб, обладнаний рухомим дном



Рисунок 1.8. Транспортний засіб, обладнаний вивантажним транспортером

Розвантаження самоскидних транспортних засобів великої місткості супроводжується підняттям кузова, при цьому слід враховувати висоту сховищ або навісів, а також пошкодження бульб картоплі при розвантаженні [2, 3, 17, 18, 39].

Для підвищення прохідності та зниження тиску на ґрунт знижують тиск у шинах машин та причепів. З цієї метою у ходових системах транспортних засобів використовують широкопрофільні шини [33, 42, 46, 51].

У США для перевезення картоплі застосовують спеціальні транспортні засоби, обладнані конічними бункерами з рухомим дном (рис. 1.7) та звивантажним транспортером (рис. 1.8).

Причому дуже часто застосовують різного типу гасники падіння, зокрема, покривають дно прогумованим полотном (фірми Dalman, Lockwood) (рис. 1.9) або встановлюють спеціальні гасники (рис. 1.10).



Рисунок 1.9. Покриття прогумованим полотном захисного козирка, розташованого над рухомим звивантажним транспортером кузова транспортного засобу



Рисунок 1.10. Гасителі падіння бульб картоплі у кузові транспортного засобу



Рисунок 1.11. Транспортні засоби, що використовуються при перевезенні картоплі з верхньою підвіскою заднього борту

В Україні її для перевезення картоплі застосовують самоскиди і тракторні причеви. Вивантаження картоплі здійснюють перекиданням кузова через задній борт через особливості приймальних бункерів картоплесортувальних пунктів, що викликає додаткові механічні пошкодження бульб, особливо при використанні універсальних самоскидних транспортних [65] (рис. 1.11).

1.4 Аналіз виконаних досліджень з розвантаження коренеплодів

Ушкодження картоплі насамперед залежить фізико-механічних властивостей клубней [16, 24]. Фізико-механічні властивості бульб картоплі вивчали В. П. Васеничов [59], Н. І. Верещагін [20, 21], А. І. Бжезовська, О. А. Каспарова, З. Аудзівичене, В. Іонелюнас, П. Ф. Демірчев, В. С. Заводнов [35, 36, 37, 38, 39, 40], М. М. Єрохін, А. В. Заводнів [35, 36, 37, 38, 39, 40], Н. Н. Колчин [66, 81, 107, 108], М. Ю. Костенко [64], Р. М. Махароблідзе [67], М. А. Мосін, Я. М. Сійм [99] та інші.

Ушкодження бульб також можуть бути обумовлені великою кількістю ґрунтових грудок, що містяться в картопляній купі під час збирання [38]. Під час транспортування та розвантаження ушкоджується близько 4% бульб картоплі [13, 18]. 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 – це вивчення руху потоків бульб при транспортуванні та вивантаженні.

Дослідження 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. [8, 9, 10, 11, 54, 58, 104, 127] 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 їхнього впливу на ушкоджуваність. Р. К. Курбанов пропонує

використовувати знімні кузови для перевезення сільськогосподарської продукції, що відповідають технологічним вимогам певної сільськогосподарської культури [48]. Певною мірою це дозволяє знизити втрати продукції, підвищити продуктивність транспортних робіт, але веде до подорожчання транспортних засобів, крім того, вантажно-розвантажувальні операції займають значно більше час, ніж універсальних транспортних засобів.

Л.С.Єкімова, М.Ю.Костенко, І.А.Успенський [64] розглядали динаміку руху та кінетичну енергію окремих бульб. Отримані вирази дозволяють оцінити ушкоджувальність бульб з урахуванням їх фізико-механічних та розмірномасових властивостей. Дані моделі не враховують взаємодію бульб один з одним у процесі руху, що не повною мірою відображає динаміку ушкоджувальності.

Дослідженням руху гравітаційних потоків займалися Александров А.І., Білокуров С.В., Борщов В.Я., Долгунін В.М., Калач А.В., Кузьменко Р.В., Остриков О.М., Посметьев В. Ст, Соловійов А.С., Фролова Л.М. [50, 108]. Борщов В.Я., Долгунін В.М. досліджували гравітаційні течії 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 [8, 12, 30].

Загальну енергію E зіткнення двох частинок можна обчислити за формулою:

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

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

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

Александров А.І. використовував для дослідження потоків диференціальні рівняння, що описують рух компонентів потоку:

$$m a = k_1 v + k_2 x + k_3$$

де m - маса компонента

x, y, z - функція переміщення компонента (координати x, y або z від часу);

t - час;

k_1, k_2, k_3 - величини, які залежать від x , але залежні від інших функцій

системи диференціальних рівнянь;

a – прискорення (відповідна декартова компонента a_x, a_y чи a_z);

v – швидкість (відповідна декартова компонента v_x, v_y чи v_z).

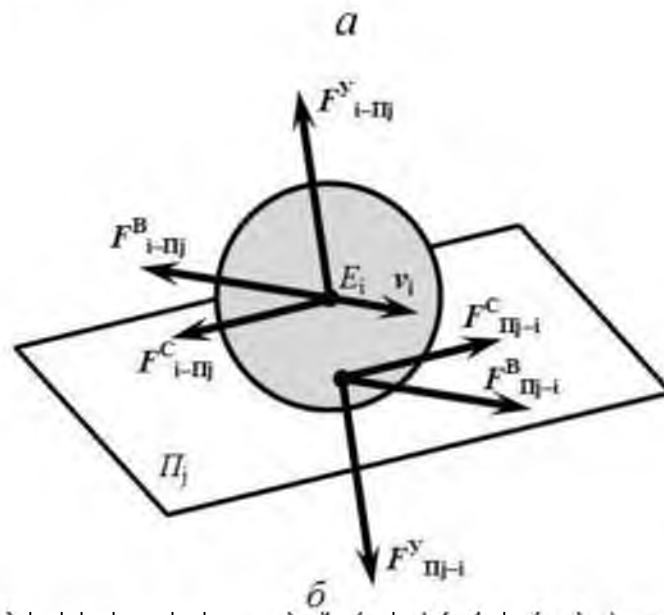
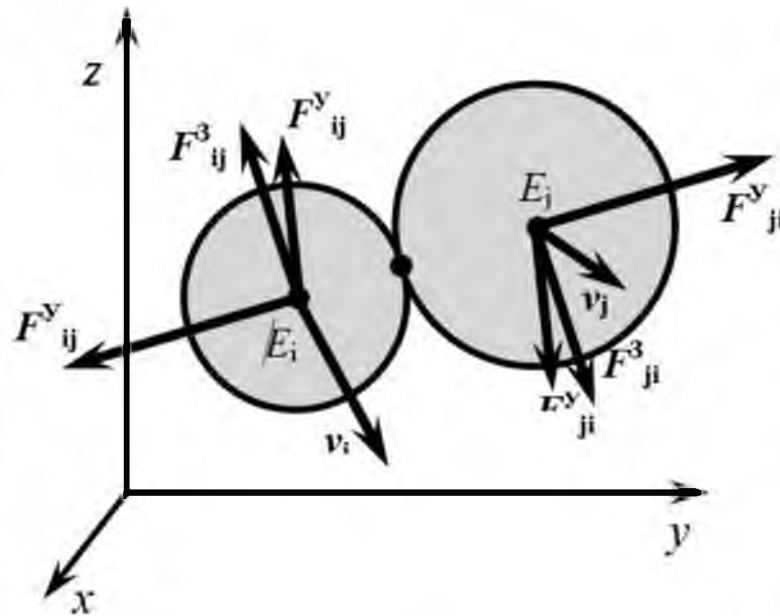


Рисунок 1.12 – Сили, які виникають при контакті двох елементів (а) і між елементами і поверхнею (б)

Для моделювання руху потоку Александров А.І., Остріков А.М., Посметьев В.В., Соловійов А.С., Фролова Л.М. використовували метод динаміки частинок [50]. Відповідне середовище є складовою з безлічі куль. При контакті цих куль

між собою та стінками виникають пружні сили, а також сили сухого та в'язкого тертя (рисунк 1.12).

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» [50, 108].

Сила пружності виступає як сила нормальній реакції між елементами, що призводить до відштовхування елементів, якщо вони вступають у контакт – якщо відстань між елементами r_{ij} буде меншою $(d_i + d_j)/2$. Відстань r_{ij} між центрами елементів розраховується через координати центрів за теоремою Піфагора» [50]:

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

"Рішенням даної системи диференціальних рівнянь другого порядку є функції $x_i(t)$, $y_i(t)$, $z_i(t)$, що визначають траєкторії руху коренеклубнеплодів і дозволяють оцінити ефективність процесу вивантаження" [50]. 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.

РОЗДІЛ 2 ОБГРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ЕЛАСТИЧНИХ
ПЕРЕГОРОДОК КУЗОВА АВТОТРАНСПОРТНОГО ЗАСОБУ

НУБІП України

2.1 Конструктивно-технологічна схема кузова транспортного засобу з еластичними перегородками

НУБІП України

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

2.1, 2.2).

НУБІП України

Н

Н

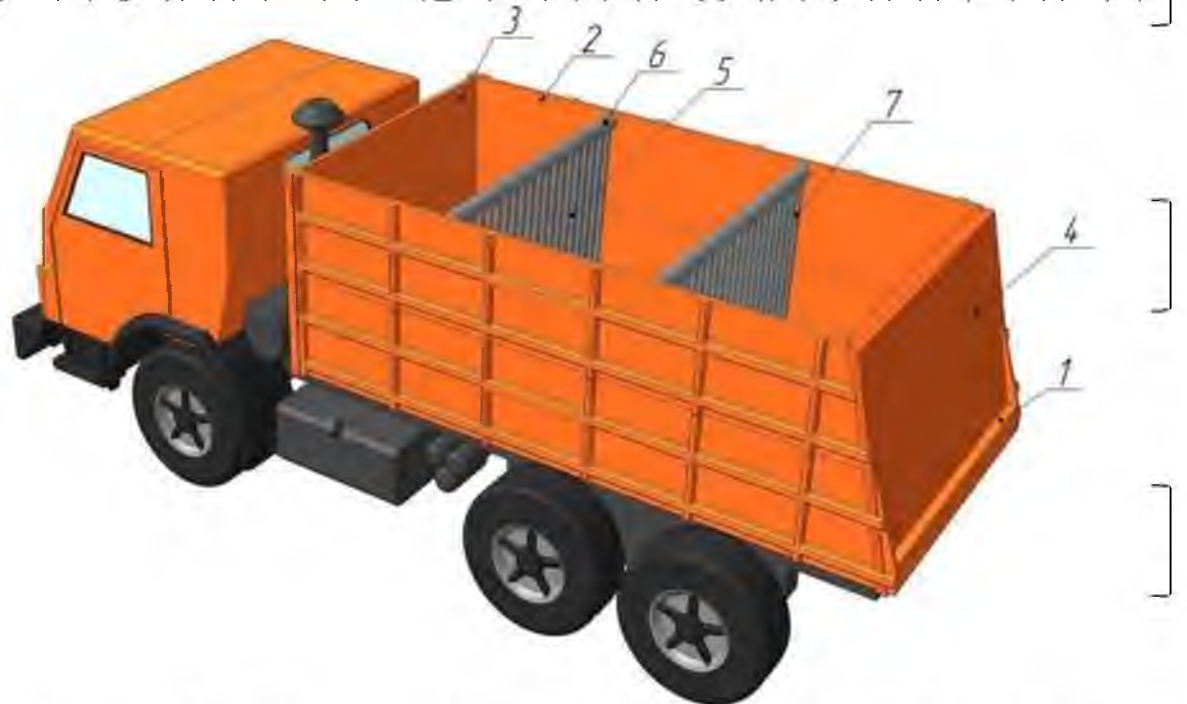


Рисунок 2.1 – Загальний вигляд пристрою: 1 – озов; 2 – торцеві стінки; 3 – боковини; 4 – відкидний борт; 5 – поперечна перемичка; 6 – вісь; 7 – пустотіла трубка.

НУБІП України

Пристрій містить основу 1 (рис. 2.1, 2.2), 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 рис. не показані), закріплену на торцевих стінках осі 2 2 поперечно

НУБІП України

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.



Рисунок 2.2 – Положення еластичної перегородки під час розвантаження:

1 – стов; 2 – торцеві стінки; 3 – боковини; 4 – відкидний борт; 5 – поперечна перегородка; 6 – вісь; 7 – порожниста трубка.

Пристрій для транспортування коренеклубнеплодів працює наступним чином. У початковий момент вивантаження оператор відкриває фіксатори відкидного борту 4 пристрою для транспортування коренеклубнеплодів. На початку вивантажуються коренеклубнеплоди, розташовані біля відкидного борту.

Потім у міру перекидання пристрою для транспортування коренеклубнеплодів частина вороха коренеклубнеплодів утримує поперечну перегородку 5 від зміщення, виключаючи лавиноподібний скол вороху коренеклубнеплодів. Завдяки меншому тертю в середній частині пристрою для транспортування

коренеклубнеплодів порожнисті трубки 7 поперечної перегородки 5, обертаючись навколо осі 6, змінюють кут нахилу.

Це сприяє частковому вивантаженню вороха коренеклубнеплодів, розташованих за поперечною перегородкою 5. Поступово звільняючи трубки 7 поперечної перегородки 5 купу коренеклубнеплодів дозовано вивантажується від середини до торцевих стінок 2 пристрою для транспортування коренеклубнеплодів. Величину кута перекидання змінюють поступово, орієнтуючись на швидкість вивантаження до повного очищення основи 1.

Боковина 2 пристрою для транспортування коренеклубнеплодів разом з віссю 6 створює додаткову жорсткість при розвантаженні. Для регулювання швидкості вивантаження порожнисті трубки 7, виконані з пружного матеріалу мають різну довжину, причому зазор між трубкою і основою залежить від опору руху коренеклубнеплодів по ширині пристрою для транспортування коренеклубнеплодів.

2.2 Причини вивчення кузова транспортного засобу з еластичними перегородками

Для теоретичного дослідження пристрою для транспортування та вивантаження коренеклубнеплодів розроблено його імітаційну модель [98]. На основі зміни параметрів та рядів еластичних трубок, встановлювали характер впливу параметра та були обрані оптимальні значення [68].

Процес вивантаження коренеклубнеплодів з контейнера (кузова) з рядами еластичних трубок є надзвичайно складним, тому необхідно враховувати розміри, форму та реологічні властивості коренеклубнеплодів та еластичних трубок [5, 50, 103, 123]. Окрему складність представляє розрахунок взаємодії коренеклубнеплодів з бортами, дном та відкидною стінкою контейнера.

Система коренеклубнеплодів представляється, як сукупність великої кількості (порядку 103-105) окремих куль [50]. Кожна куля є окремим коренеклубнеплодом. Розміри елементів можуть бути як однаковими для спрощення

дослідження, так і різними, що відповідають реальному розподілу розмірів у масі коренеклубнеплодів [50]. Аналогічним чином, моделі здаються еластичні трубки, як сукупність лінійно розгашованих кулястих елементів, що взаємодіють між собою таким чином, щоб відтворити властивості еластичної трубки. У запропонованій моделі прийнято такі припущення:

- коренеклубнеплоди є кулями;
- куля-елемент з постійною щільністю;
- елементи рухаються згідно із законами механіки;
- взаємодія між елементами та поверхнями контейнера носить пружно-в'язкий характер» [23, 25].

Елементи коренеклубнеплодів та еластичних трубок механічно взаємодіють як між собою, так і з робочими поверхнями контейнера [10] (рис. 2.3).

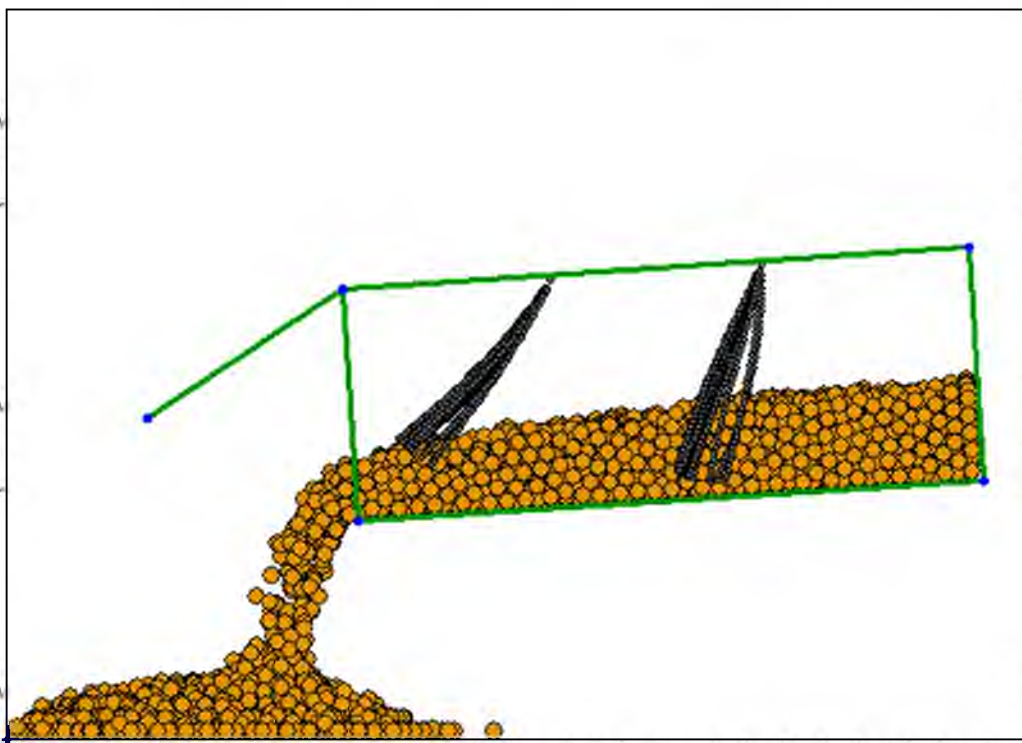


Рисунок 2.3 – Схема моделювання вивантаження коренеклубнеплодів, з кузова з еластичними трубками

Приймаємо, що маса коренеклубнеплодів складається з безлічі елементів кулястої форми з діаметром 0,04...0,15 м. 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 1.12) [24]. Рух елементів у процесі вивантаження або транспортування відбувається за законами класичної динаміки [10, 14, 42], що дозволяє оцінити ушкоджувальність і розкочування коренеклубнеплодів [18].

Опис еластичних трубок. В основному варіанті моделі еластичні трубки розташовані в два ряди по 33 трубки (рисунок 2.3). Ряди розташовані на відстанях $1/3$ та $2/3$ від довжини контейнера L_k . Кожна еластична трубка складається з 38 кулястих елементів діаметром $0,04$ м (рисунок 2.4 а). Початкове розташування центрів елементів еластичних трубок x_{ijk} , y_{ijk} , z_{ijk} визначається наступними формулами:

$$\begin{cases} x_{ijk} = x_{ц} + 0,5L_k + 1/3kL_k \\ y_{ijk} = y_{ц} - 0,5B_k + 1/3kB_k \\ z_{ijk} = z_{ц} + 0,5H_k - 1/3kd_k \end{cases}$$

де i – номер елемента в еластичній трубці; j – номер еластичної трубки у ряді трубок; k – номер ряду еластичних трубок; $x_{ц}$, $y_{ц}$, $z_{ц}$ – координати геометричного центру дна контейнера; L_k , B_k , H_k – довжина, ширина, висота контейнера; d_k – 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 чи тяжіння залежно від застосування елементів один одного або розтягнення від положення рівноваги; Пружні сили пропорційні величині застосування (рисунок 2.4, б). Для випадку розтягування величина застосування приймається негативною. Описані пружні сили між центрами елементів забезпечують сталість довжини труби еластичної, але не сталість її форми. Для реалістичного згасання коливань в пружній системі між сусідніми елементами додані лінійно-в'язкі сили: сили тертя, пропорційні відносній швидкості руху центрів елементів, що сусідять.

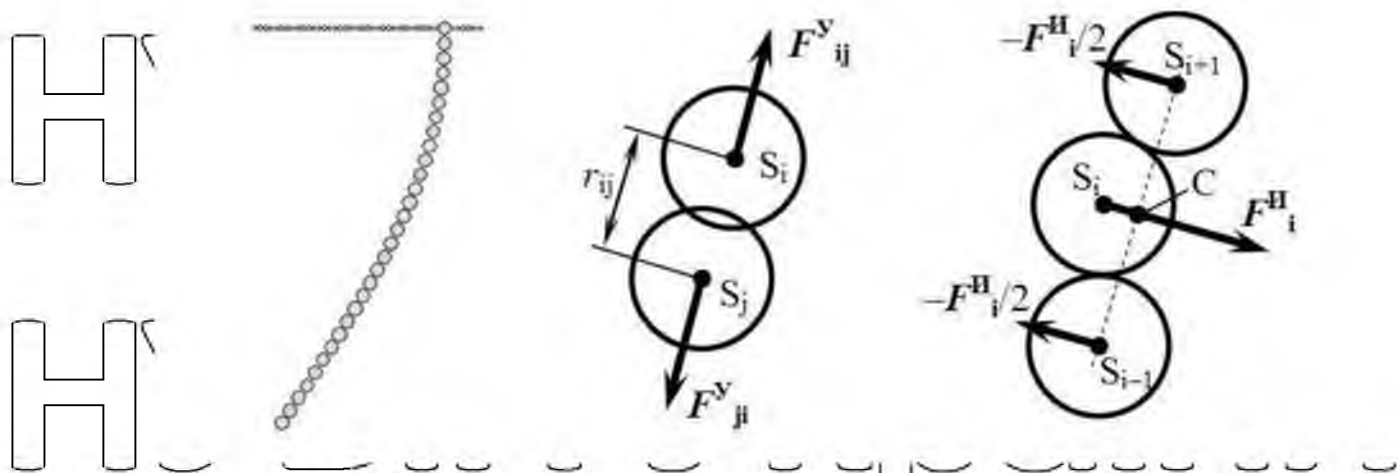


Рисунок 2.4 – Подання гнучкої еластичної трубки в моделі

Для того щоб еластична трубка зберігала форму близьку до прямолінійної, додані пружні сили (рисунок 2.4, в). Пружні сили розраховуються в трійках елементів: при зміщенні другого елемента щодо прямої, проведеної між центрами першого і третього елементів, з'являється пружна сила, що прагне повернути другий елемент до прямої та пропорційна величині, зміщення від осі. Коефіцієнт пропорційності є жорсткістю на вигин і задає стійкість еластичної трубки до вигину.

Аналітичний опис сил у еластичних трубках практично аналогічно формулі

(1.3) й у економії місця представлено лише у тексті програми.

Подання пристрою для транспортування та розвантаження бумов картоплі в моделі.

Робочі поверхні контейнера представлені моделі п'ятьма прямокутниками:

основа, дві торцеві стінки, боковина стінка, відкидний борт (рисунок 2.5). Для уніфікації моделі кожен прямокутник вважається що складається з двох трикутників. Це зроблено як спрощення застосування методів аналітичної геометрії, так можливості при подальшому доопрацюванні моделі відтворювати поверхню довільної форми як контейнера, і інших об'єктів [27, 65].

Контейнер задається десятьма базовими точками A1...A10 (рисунок 2.5).

Базові точки утворюють 10 елементарних трикутних поверхонь: T1(A1A2A4), T2(A2A3A4), T3(A1A2A6), T4(A1A5A6), T5(A3A4A7), T6(A4A8A7), T7(A2A3A7), T8(A5A8A9), T10(A8A9A10).

Кутове положення площини відкидного борту $A_5A_8A_{10}A_9$ щодо вихідного положення $A_1A_5A_8A_4$ визначається кутом φ_c . Нахил всього контейнера щодо вихідного положення задається кутом φ_D .

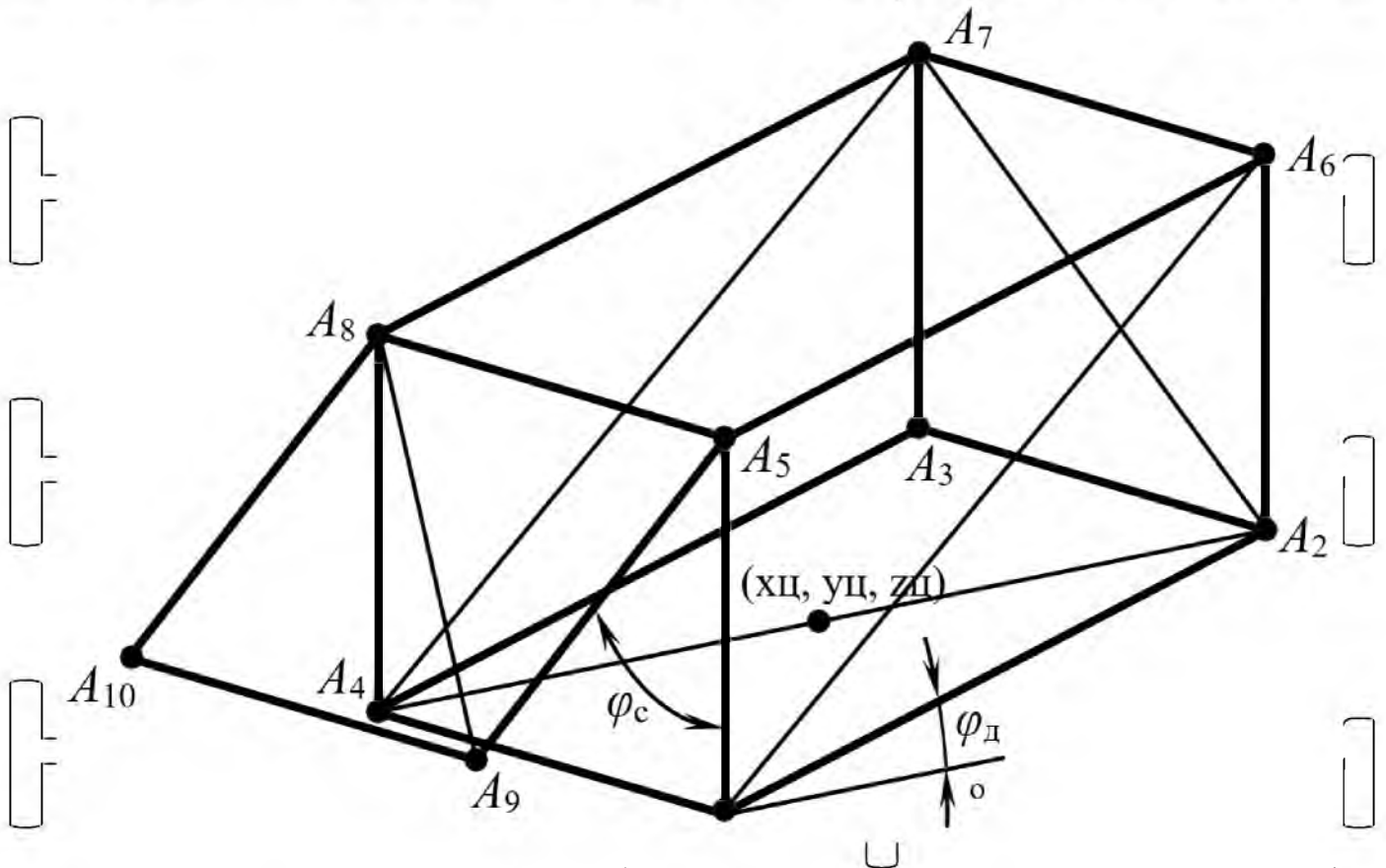


Рисунок 2.5 – Подання робочих поверхонь контейнера як сукупності елементарних трикутних поверхонь, ребер та кутових точок

На початку комп'ютерного експерименту контейнер орієнтований горизонтально ($\varphi_k = 0$), відкидний борт закритий ($\varphi_c = 0$). Вихідні координати базових точок $A_1 \dots A_{10}$ контейнера задавали так.

$$\begin{aligned} x_{A1} &= x_{ц0} - L_k/2; y_{A1} = y_{ц0} - B_k/2; z_{A1} = z_{ц0}; x_{A2} = x_{ц0} + L_k/2; y_{A2} = y_{ц0} - B_k/2; z_{A2} = z_{ц0}; \\ x_{A3} &= x_{ц0} + L_k/2; y_{A3} = y_{ц0} + B_k/2; z_{A3} = z_{ц0}; x_{A4} = x_{ц0} - L_k/2; y_{A4} = y_{ц0} + B_k/2; z_{A4} = z_{ц0}; \end{aligned}$$

$$x_{A5} = x_{ц0} - L_k/2; y_{A5} = y_{ц0} - B_k/2; z_{A5} = z_{ц0} + H_k;$$

$$\begin{aligned} x_{A6} &= x_{ц0} + L_k/2; y_{A6} = y_{ц0} - B_k/2; z_{A6} = z_{ц0} + H_k; x_{A7} = x_{ц0} + L_k/2; y_{A7} = y_{ц0} + B_k/2; z_{A7} = z_{ц0} + H_k; \\ x_{A8} &= x_{ц0} - L_k/2; y_{A8} = y_{ц0} + B_k/2; z_{A8} = z_{ц0} + H_k; x_{A9} = x_{A1}; y_{A9} = y_{A1}; z_{A9} = z_{A1}; \end{aligned}$$

$$x_{A10} = x_{A4}; y_{A10} = y_{A4}; z_{A10} = z_{A4}.$$

де x_{C0} , y_{C0} , z_{C0} – положення центру основи контейнера в початковий момент часу.

У процесі комп'ютерного експерименту з розвантаження спочатку відкидається борт (рівномірно збільшується кут φ_0), потім нахилиється сам контейнер (рівномірно збільшується кут φ_k).

Зміна кутів φ_0 і φ_k призводить до необхідності перерахунку кожному кроці інтегрування за часом координат базових точок $A_2, A_3, A_5 \dots A_{10}$, у своїй точки A_1 і A_4 залишаються нерухомими протягом усього часу комп'ютерного експерименту.

2.3 Програмна реалізація математичної моделі вивантаження коренеплодів з кузова транспортного засобу з еластичними перегородками

Для проведення комп'ютерного моделювання розроблено «Програма для моделювання пристрою для транспортування та вивантаження коренеклубнеплодів» мовою Object Pascal у середовищі програмування Borland Delphi 7. Програма зареєстрована свідоцтво на програму для БОМ 20206143200.

Програма призначена для моделювання методом динаміки частинок руху системи коренеклубнеплодів при транспортуванні з вібрацією в кузові та при вивантаженні з кузова автомобіля, обладнаного еластичними перегородками [19].

Перед початком комп'ютерного експерименту програма дозволяє задати геометричні характеристики кузова, а також параметри коренеклубнеплодів у вікнах інтерфейсної форми (рисунок 2.7).

У процесі роботи програма регулярно виводить на екран три проекції кузова транспортного засобу, значення залишку коренеклубнеплодів у кузові та відстані розкочування коренеклубнеплодів (рисунок 2.7). Програма застосовна для різних видів і сортів коренеклубнеплодів.

Основні технічні характеристики програми:

кількість коренеклубнеплодів від 1000 до 100000;

діаметр коренеклубнеплодів від 0,04 до 0,2 м.

тривалість комп'ютерного експерименту з розвантаження контейнера близько десяти хвилин (для тактової частоти процесора 3 ГГц).

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

Особливості проведення комп'ютерного експерименту

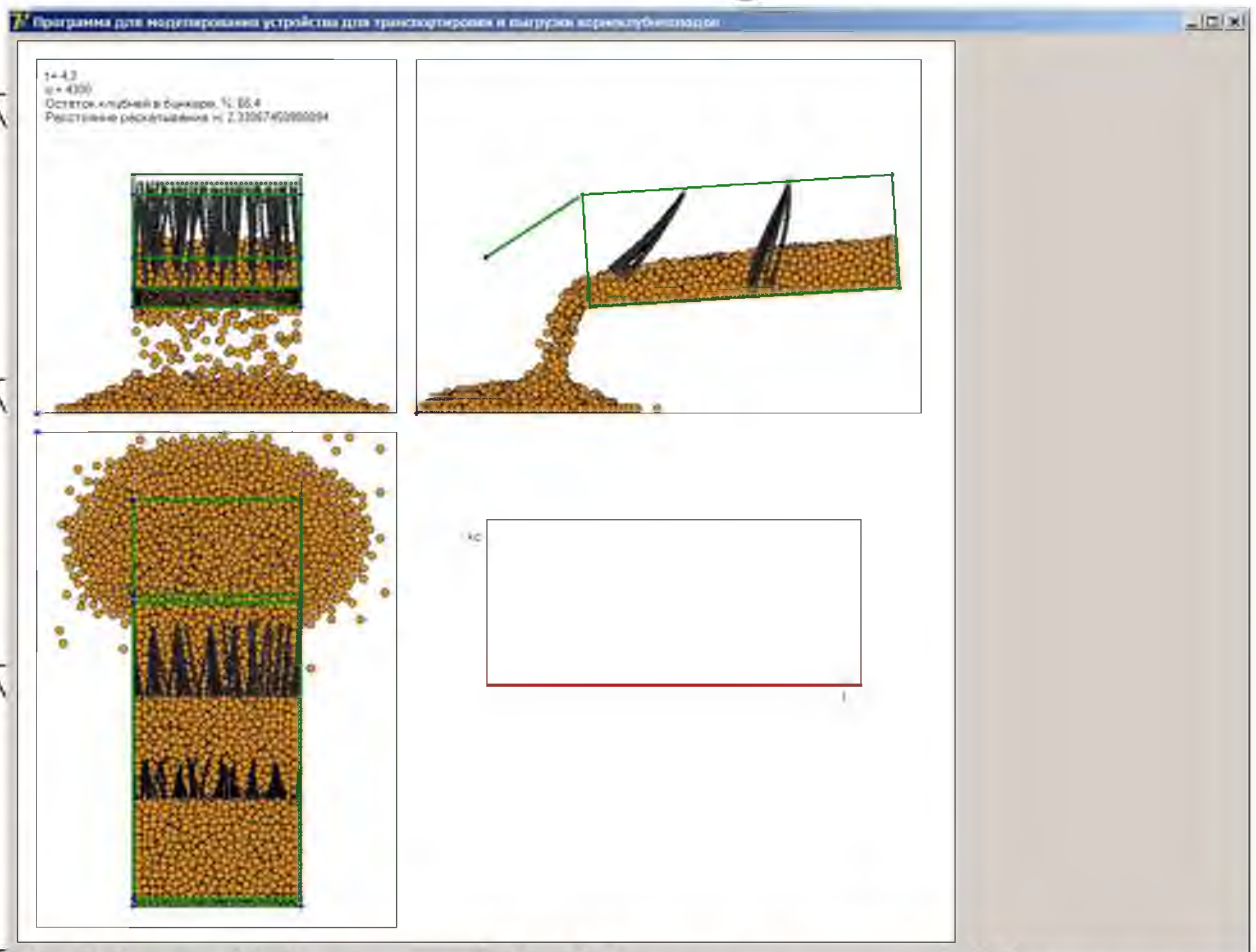


Рисунок 2.7 – Інтерфейсна форма виведення результатів комп'ютерного експерименту: трьох проекцій кузова транспортного засобу, числових значень показників залишку коренеклубнеплодів у кузові та відстані розкочування

Подальше теоретичне дослідження засноване на багаторазовому проведенні комп'ютерних експериментів з розвантаження коренеклубнеплодів з проєктованого пристрою.

На початку комп'ютерного експерименту необхідно було розмістити коренеклубнеплоди в кузові транспортного засобу аналогічно до реального розміщення. Для цього в момент модельного часу $t = 0$ із задану кількість коренеклубнеплодів розподілялося рівномірно за обсягом контейнера (рисунк 2.8, а). Протягом 0,7 с коренеклубнеплоди осідали під дією сил тяжіння і формували випадкову щільну упаковку в нижній частині кузова транспортного засобу (рис. 2.8 б).

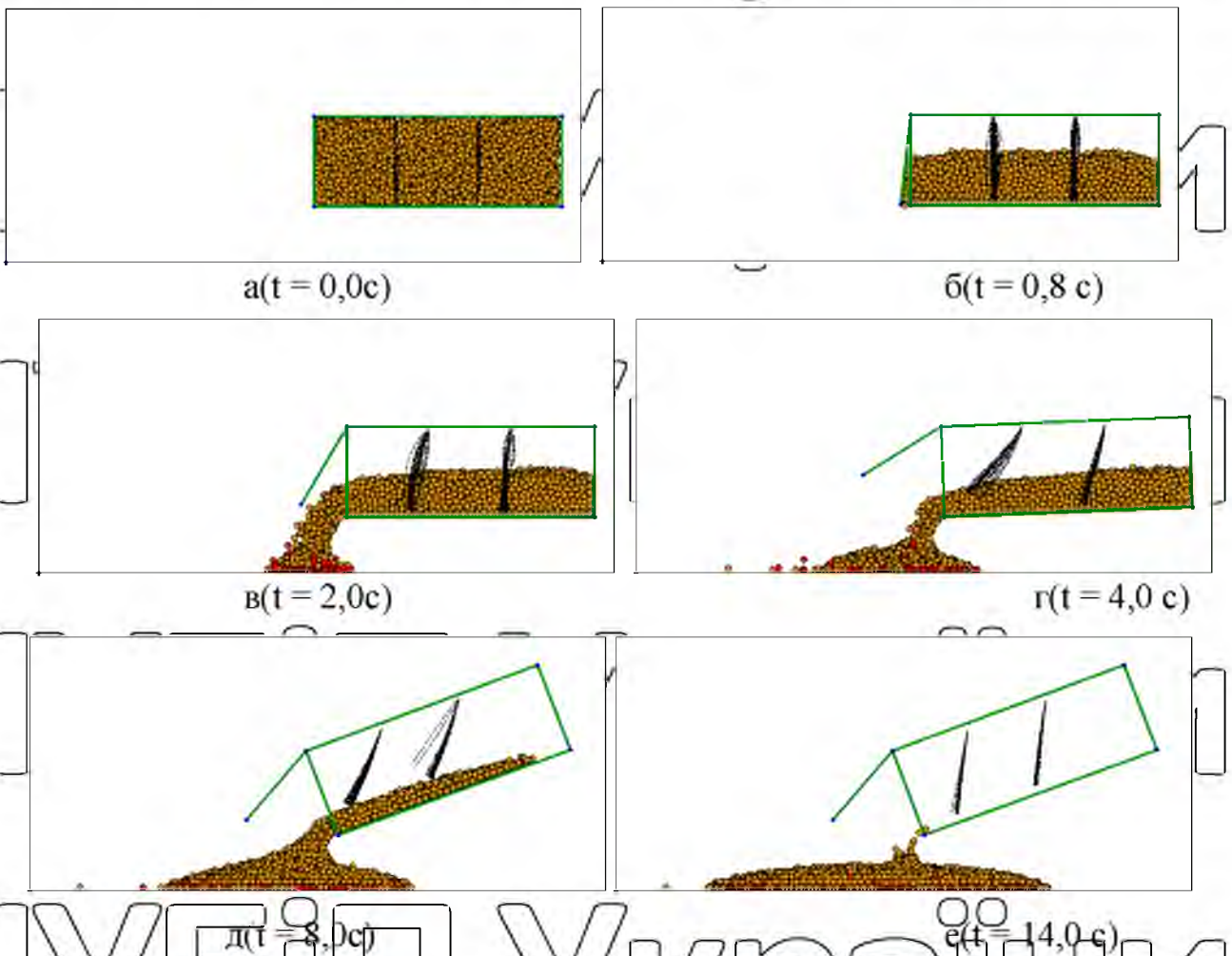


Рисунок 2.8 – зміна стану системи коренеклубнеплодів у комп'ютерному експерименті з вивантаження коренеклубнеплодів із кузова транспортного засобу

У проміжок часу 0,7...3,5 з відкидним бортом повертався навколо осі з постійною кутовою швидкістю (рисунк 2.8, в). Коренеклубнеплоди, що знаходяться між відкидним бортом і першим рядом еластичних трубок, починали

висипатися з кузова транспортного засобу.

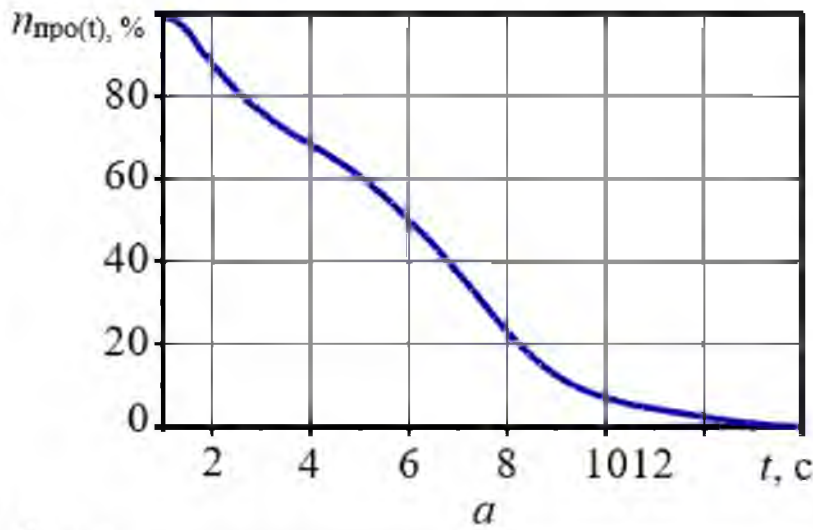
У момент часу 3,0 с починався нахил всього кузова транспортного засобу, який продовжувався з постійною кутевою швидкістю до моменту 8,0 с (рисунк 2.8). Після звільнення від коренеклубнеплодів першої третини кузова транспортного засобу еластичні трубки першого ряду піднімалися і пропускали масу коренеклубнеплодів, розташованих між першим і другим рядами еластичних трубок. Після звільнення другої третини кузова транспортного засобу піднімалися еластичні трубки другого ряду і починалося вивантаження третини коренеклубнеплодів, що залишилася. Необхідно відзначити, що розроблений пристрій з двома еластичними перегородками забезпечує практично постійну швидкість розвантаження, про що свідчить практично лінійний характер графіка малюнку 2.9а в інтервалі 2,0 ... 9,0 с.

Після зупинки нахилу кузова транспортного засобу шар коренеклубнеплодів, що залишився, продовжував висипатися ще протягом близько 6 с і до моменту часу $t = 14$ с кузов транспортного засобу повністю звільнявся (рисунк 2.9 е).

Середня відстань розкочування L_p швидко збільшувалася з 0 до 0,8 м після відкидання борту (в інтервалі 0,0...2,5 с) (рис. 2.10 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 ушкодження коренеклубнеплодів. У базовому варіанті моделі спостерігалася ушкоджуваність переважно перших коренеклубнеплодів при падінні з найбільшої висоти після відкидання борту. Про це свідчить різке зростання залежності частки пошкоджених коренеклубнеплодів від часу (рисунк 2.10, в) та розташування виділених червоним кольором куль, що означають пошкоджені коренеклубнеплоди, переважно в нижньому шарі вивантажених коренеклубнеплодів (рисунк 2.9, ... е). У ході подальшого вивантаження коренеклубнеплоди надають з меншої висоти, тому надалі кількість пошкоджень збільшується слабо (рисунк 2.10, в). Розроблений пристрій забезпечує досить

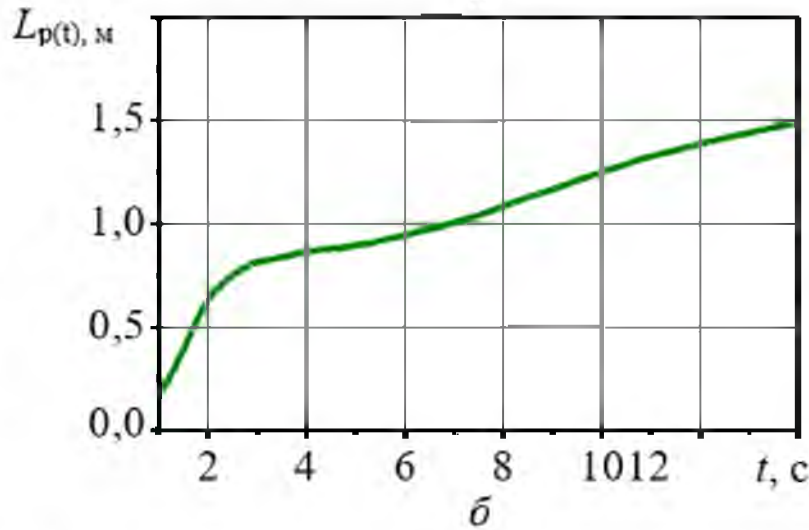
малу частку 4,6% пошкоджених у процесі вивантаження коренеплодів.

НУ



НИ

НУ

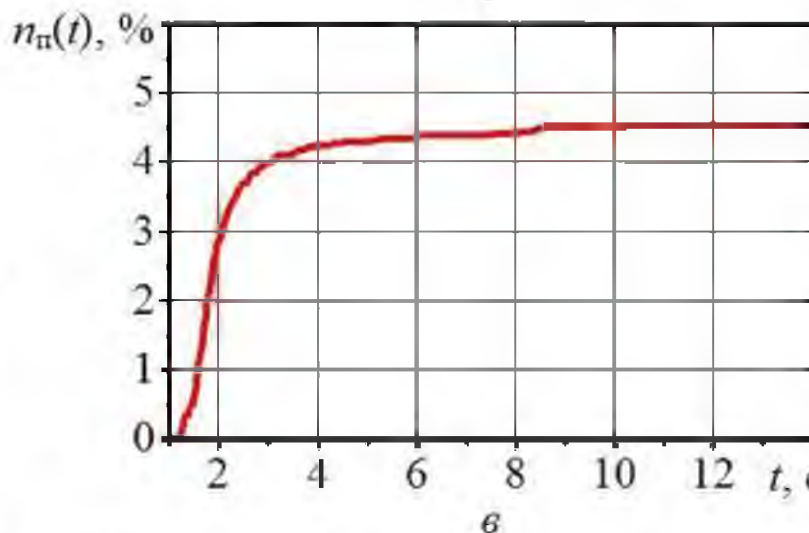


НИ

НУ

НУ

НУ



НИ

НИ

НИ

НИ

НУ

Рисунок 2.10 – Залежно від часу (а) – частка коренеплодів, які залишилися в кузові транспортного засобу; (б) – середня відстань розкошування, (в) – частка пошкоджених коренеплодів.

НУ

УКРАЇНИ

УКРАЇНИ

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 пропонований пристрій дозволило знизити середню відстань розкочування з 1,60 до 1,52 м, знизити частку пошкоджених коренеклубнеплодів з 6,3 до 4,6%, при незначному збільшенні часу вивантаження з 9,7 до 11,0 с. Таким чином, пропонований пристрій дозволяє підвищити купчастість розвантаження і знизити пошкодження коренеклубнеплодів.

2.4. Моделювання процесу вивантаження кузова транспортного засобу з еластичними перегородками

Розроблена модель дозволяє врахувати велику кількість параметрів коренеклубнеплодів, кузова транспортного засобу, еластичних трубок, параметрів процесу вивантаження, а також розрахувати основні показники ефективності вивантаження коренеклубнеплодів. Взаємозв'язок між вхідними параметрами моделі та показниками ефективності схематично зображено на малюнку 2.11 [133].

Зміни, що стосуються розробленої моделі, можна поділити на три групи: дві групи вхідних змінних та одну групу показників ефективності

До першої групи вхідних змінних відносяться конструктивні та технологічні параметри пристрою:

φ_m - максимальний кут нахилу кузова транспортного засобу;

t_n - час нахилу кузова транспортного засобу із постійною кутовою швидкістю на максимальний кут φ_m ;

σ_a - коефіцієнт жорсткості еластичних трубок на вигин;

n_{pt} - кількість еластичних перегородок у кузові транспортного засобу.

Друга група змінних визначає властивості системи:

коренеклубнеплодів:

h_z - висота завантаження кузова транспортного засобу;

до - діаметр коренеклубнеплодів (у варіанті моделі з коренеклубнеплодами одного і того ж діаметру);

кв - коефіцієнт в'язкого тертя між коренеклубнеплодами, що дозволяє не явно задавати рівні забруднення і липкості коренеклубнеплодів.

До показників ефективності пристрою для транспортування та вивантаження коренеклубнеплодів відносяться:

тв - час повного вивантаження коренеклубнеплодів;

Lp - середня відстань розкочування коренеклубнеплодів;

пп - частка пошкоджених коренеклубнеплодів.

Подальше теоретичне дослідження полягає у варіюванні параметрів моделі та вивченні відгуку показників ефективності пристрою для транспортування та вивантаження коренеклубнеплодів.

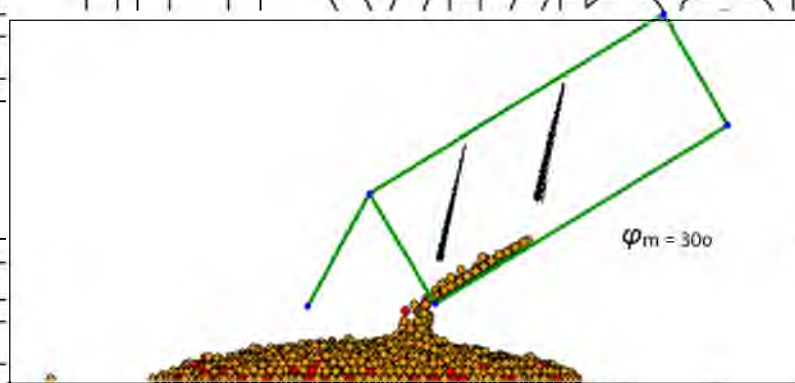
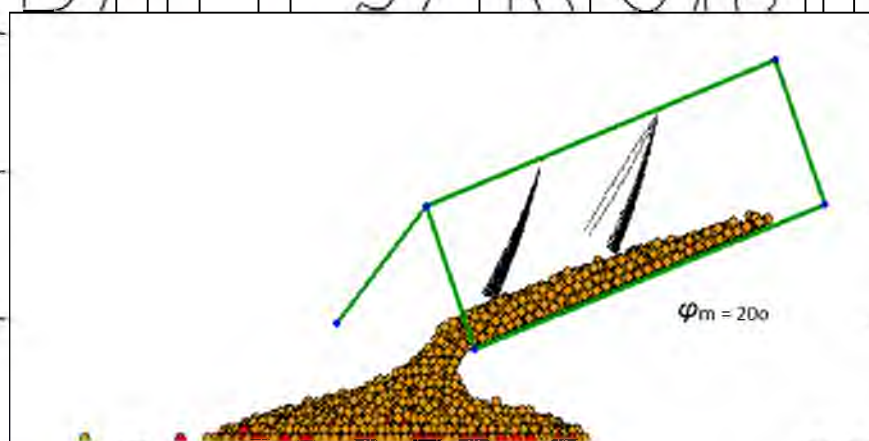
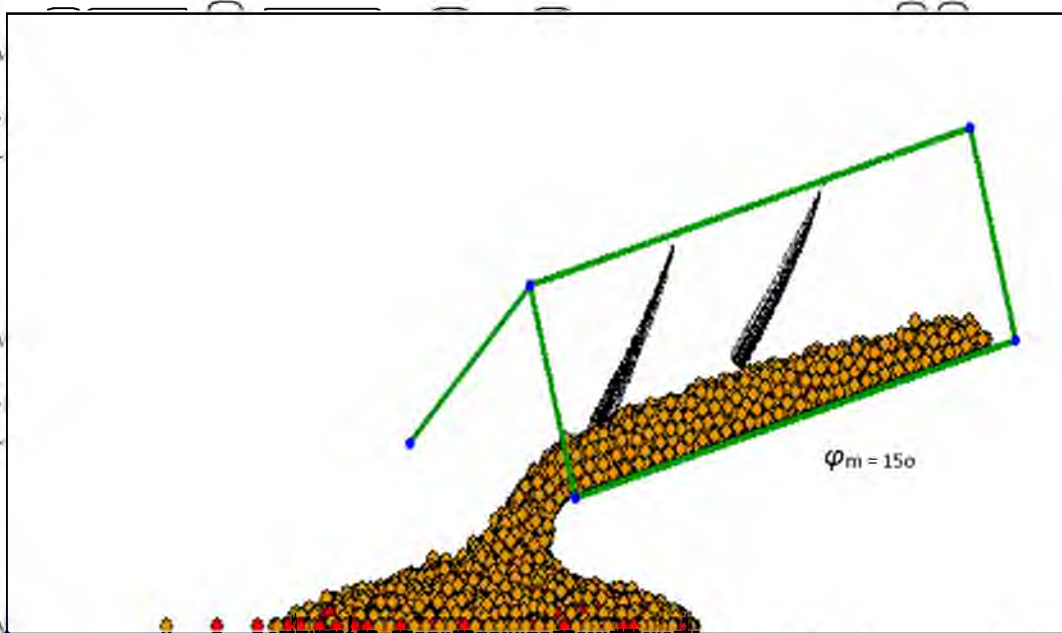
Вплив максимального кута нахилу кузова транспортного засобу

Зі збільшенням граничного кута нахилу кузова транспортного засобу фт істотно збільшується інтенсивність вивантаження, що сприятливо впливає швидкість вивантаження, але несприятливо впливає на ушкоджуваність коренеклубнеплодів та їх розкочування. Для дослідження впливу кута на ефективність процесу

вивантаження провели п'ять комп'ютерних експериментів зі зміною від 15 до 35° з кроком 5° (малюнки 2.12, 2.13). Для порівняння комп'ютерні експерименти провели як для кузова транспортного засобу, оснащеного двома еластичними перегородками (суцільні лінії на графіках малюнка 2.13 і далі), так стандартного кузова транспортного засобу без еластичних перегородок (штрихові лінії на малюнку 2.13 і далі).

Визначення параметрів еластичних трубок. Еластичні трубки характеризуються двома основними параметрами: довжиною Lt та коефіцієнтом жорсткості на вигин сі. Досліджуємо спільний вплив параметрів еластичних трубок

Lt та сі на показники ефективності та виконаємо двофакторну оптимізацію параметрів Lt.



в

Рисунок 2.12 – Стан системи коренеклубнеплодів у момент досягнення максимального кута від нахилу кузова транспортного засобу (при постійній кутовій швидкості нахилу кузова транспортного засобу 4 градуси в секунду): а – 15° , б – 20° , в – 30°

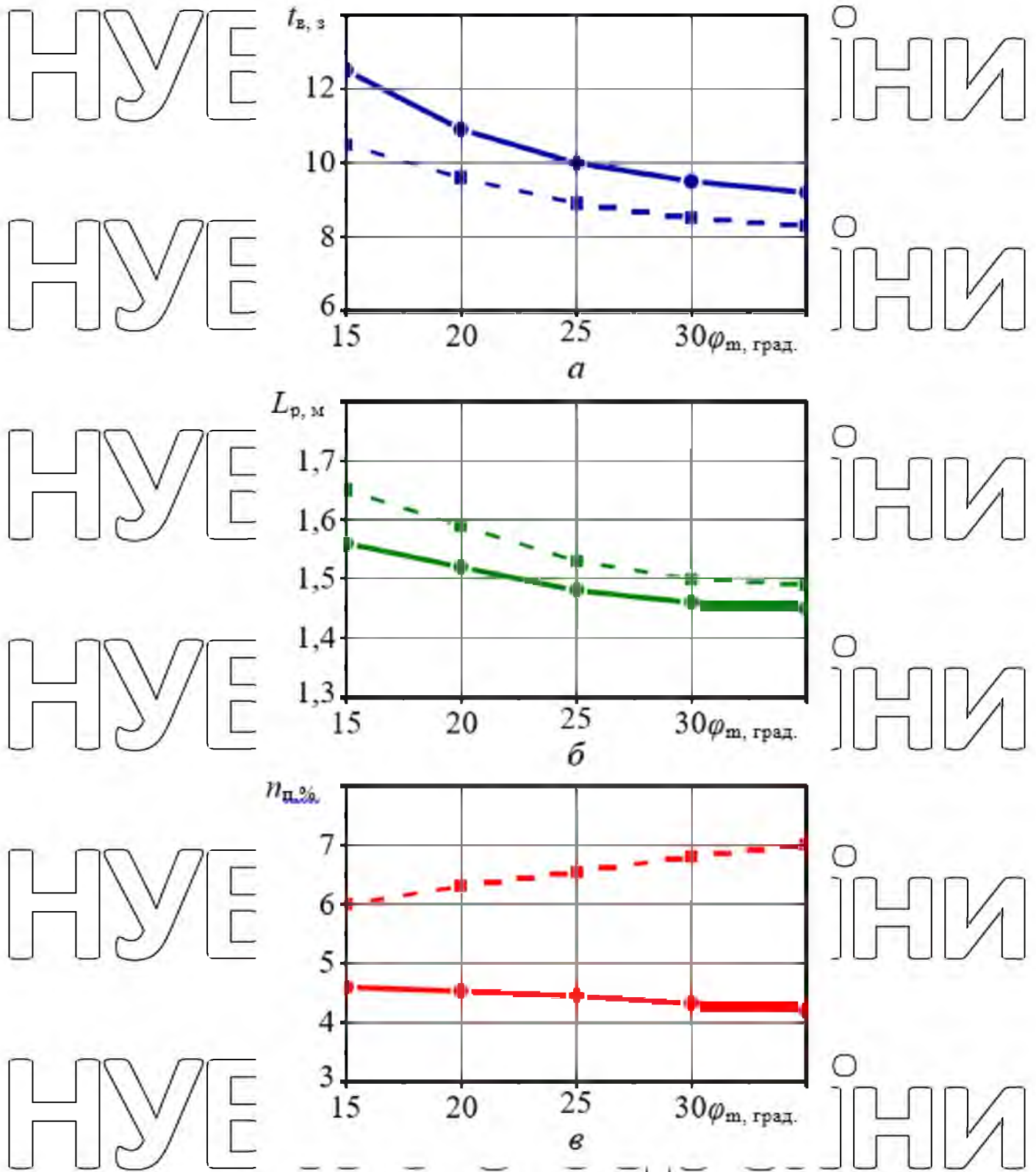


Рисунок 2.13 – Вплив максимального кута нахилу кузова транспортного засобу

ϕ_m (при постійній кутовій швидкості нахилу кузова транспортного засобу 4 градуси за секунду) на час вивантаження $t_{в}$ (а), середня відстань розкочування L_p (б) та частку пошкоджених коренеклубнеплодів $n_{п.}$ (в). Суцільна та штрихова лінії – відповідно оснащений та не оснащений еластичними перегородками.

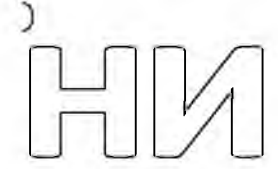
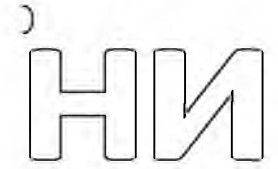
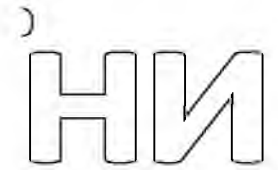
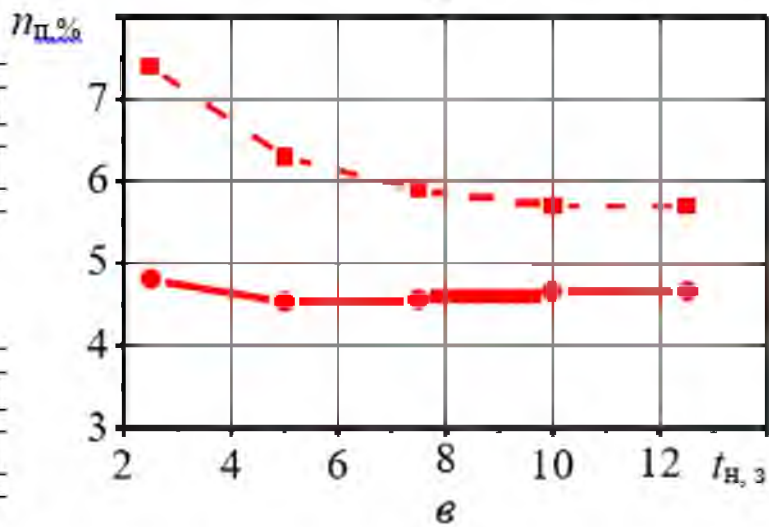
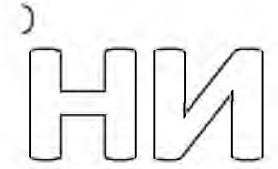
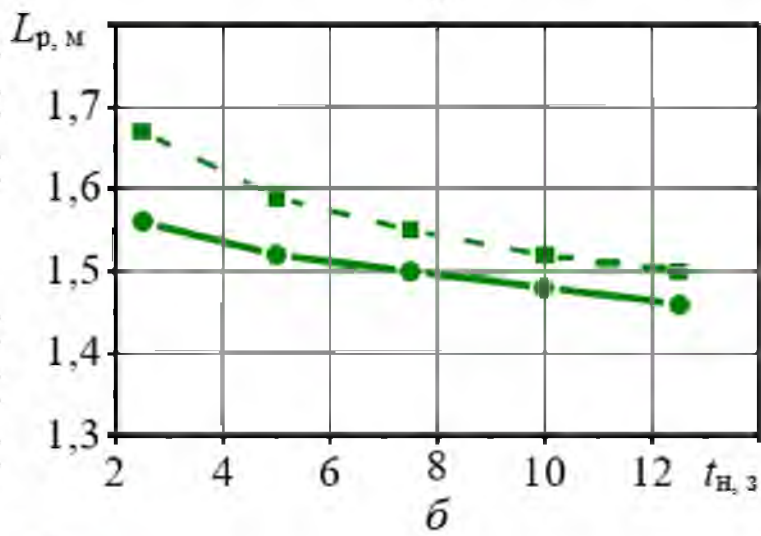
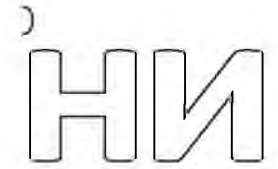
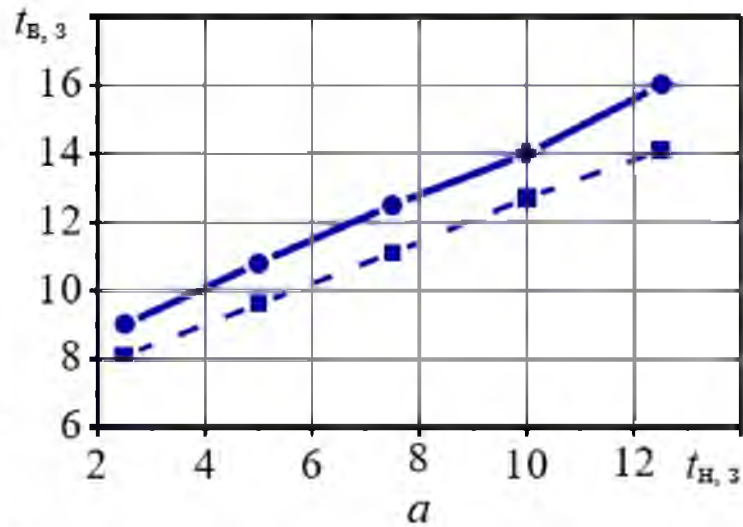
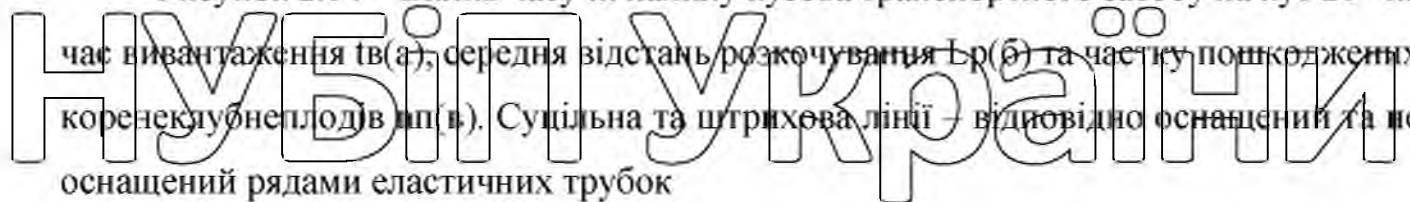


Рисунок 2.14 – Вплив часу t_n нахилу кузова транспортного засобу на кут 20° на

час вивантаження $t_{в(a)}$, середня відстань розкочування $L_p(\theta)$ та частку пошкоджених коренеклубнеплодів $n_{п(в)}$. Суцільна та штрихова лінії – відповідно оснащений та не оснащений рядами еластичних трубок



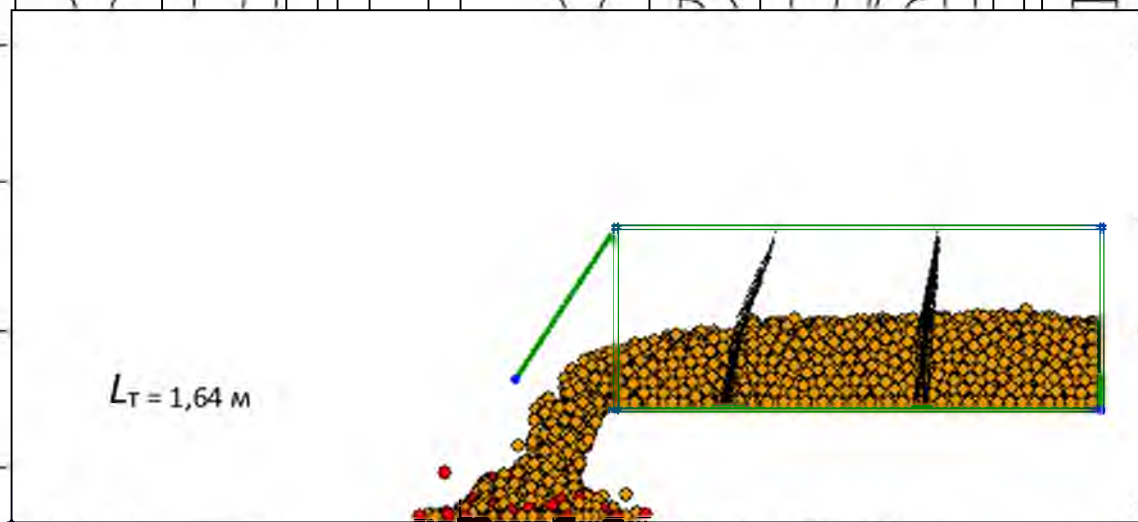
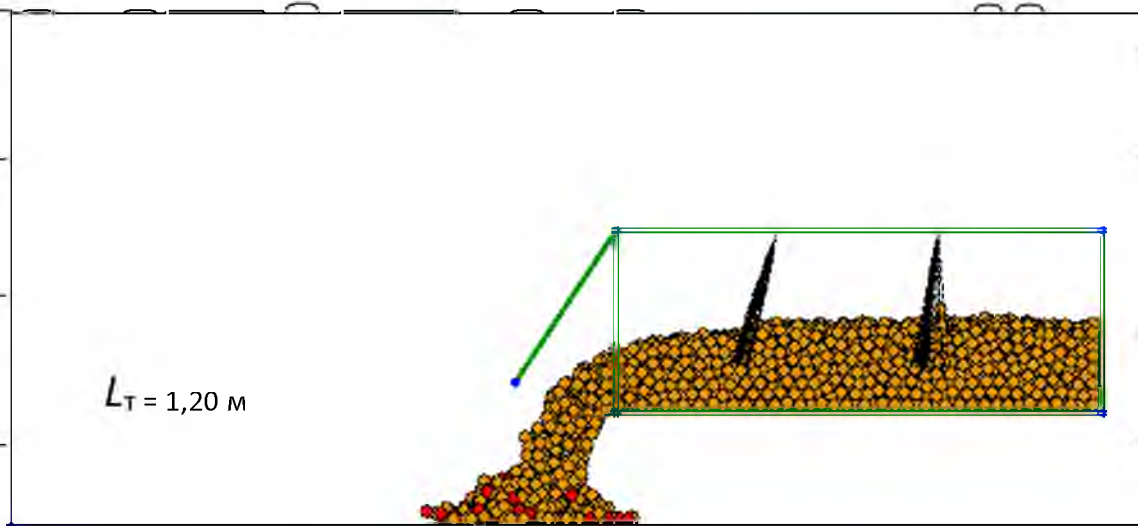


Рисунок 2.15 - Процес вивантаження коренеклубнеплодів при різних довжинах еластичних трубок L_T : а - 1,20 м, б - 1,64 м

Для вирішення двофакторної задачі оптимізації провели дев'ять комп'ютерних експериментів, в яких задавали довжину трубки L_T рівної 1,40, 1,52, 1,64 м (висота кузова транспортного засобу становить 1,60 м) при одночасному зміні коефіцієнта жорсткості трубки на вигин рівнях 0,6, 1,0, 1,4 kH/m^2 .

Коефіцієнт жорсткості на вигин має фізичний сенс сили, яку необхідно докласти, щоб забезпечити стрілу прогину в 1 м трубки, що опирається на два упори з відстанню між упорами 1 м. Зокрема коефіцієнт $1,0 \text{ kH/m}^2$ означає, що при додатку

сиди 10 Н (від маси умовного вантажу приблизно 1 кг) стріла прогину трубки становитиме 1 см, якщо еластична трубка спирається на упори з відстанню між ними 1 м.

На малюнку 2.15 показано стан системи двох різних довжин L_T еластичних трубок в останній момент часу 2,2 з початку комп'ютерного експерименту. Як можна судити за даними проєкціям, при занадто низькій довжині еластичних трубок вони захоплюються верхніми шарами коренеклубнеплодів, і надають слабкий вплив на вивантаження, що гальмує (рисунок 2.15, а). При занадто великій довжині еластичних трубок, вони мають хороший вплив на уповільнення вивантаження, проте можуть травмувати коренеклубнеплоди біля дна кузова транспортного засобу за рахунок значних сил на них (рисунок 2.15, б).

На основі набору даних, отриманого в результаті проведення дев'яти комп'ютерних оптимізаційних експериментів, отримані аналітичні формули для функцій $tw(L_T, c_i)$, $L_p(L_T, c_i)$ і $np(L_T, c_i)$. Для узагальнення та згладжування результатів кожену функцію апроксимували поліномами другого порядку у вигляді:

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

де K -критерій оптимізації (tw , L_p або np); $k_1 \dots k_6$ – параметри полінома.

Отримані формули можуть бути використані для швидкої оцінки (без виконання реальних або комп'ютерних експериментів) показників ефективності пристрою в залежності від параметрів еластичних трубок.

Для подальшого аналізу функції $tw(L_T, c_i)$, $L_p(L_T, c_i)$ та $np(L_T, c_i)$ представлені у вигляді графіків (рисунок 2.16) та картограм (рисунок 2.17).

Графіки дозволяють візуально проаналізувати характер поверхонь відгуку: залежності $tw(L_T, c_i)$, $L_p(L_T, c_i)$ близькі до лінійних, тоді як залежність $np(L_T, c_i)$ істотно нелінійна і має увігнутий характер. Картограми призначені для кількісного аналізу та виводом на графіки зверху, із зображенням поверхні відгуку лініями рівня.

Приклад використання картограм показаний малюнку 2.17, а. Якщо довжина еластичної трубки становить 1,45 м (точка А) і коефіцієнт жорсткості на вигин становить 1,0 кН/м² (точка В), то відповідна точка факторного простору С потрапляє приблизно посередині між лініями рівня $tw = 10,0$ с та $tw = 10,5$ с. Тобто час

вивантаження складе близько 10,25с. На картограмах затемнені області сприятливого (мінімального) значення показників. Порогові значення для поділу на сприятливу та несприятливу області вибрано $t_v = 11,5$ с (рисунк 2.17, а), $L_p = 1,50$ м (рисунк 2.17, б) та $пп = 4$ % (рисунк 2.17, в). Вибір зроблений, виходячи з умов, що сприятлива область займатиме значну частку факторного простору, включати найменші значення критерію, і кордон області буде лінією рівня на картограмі.

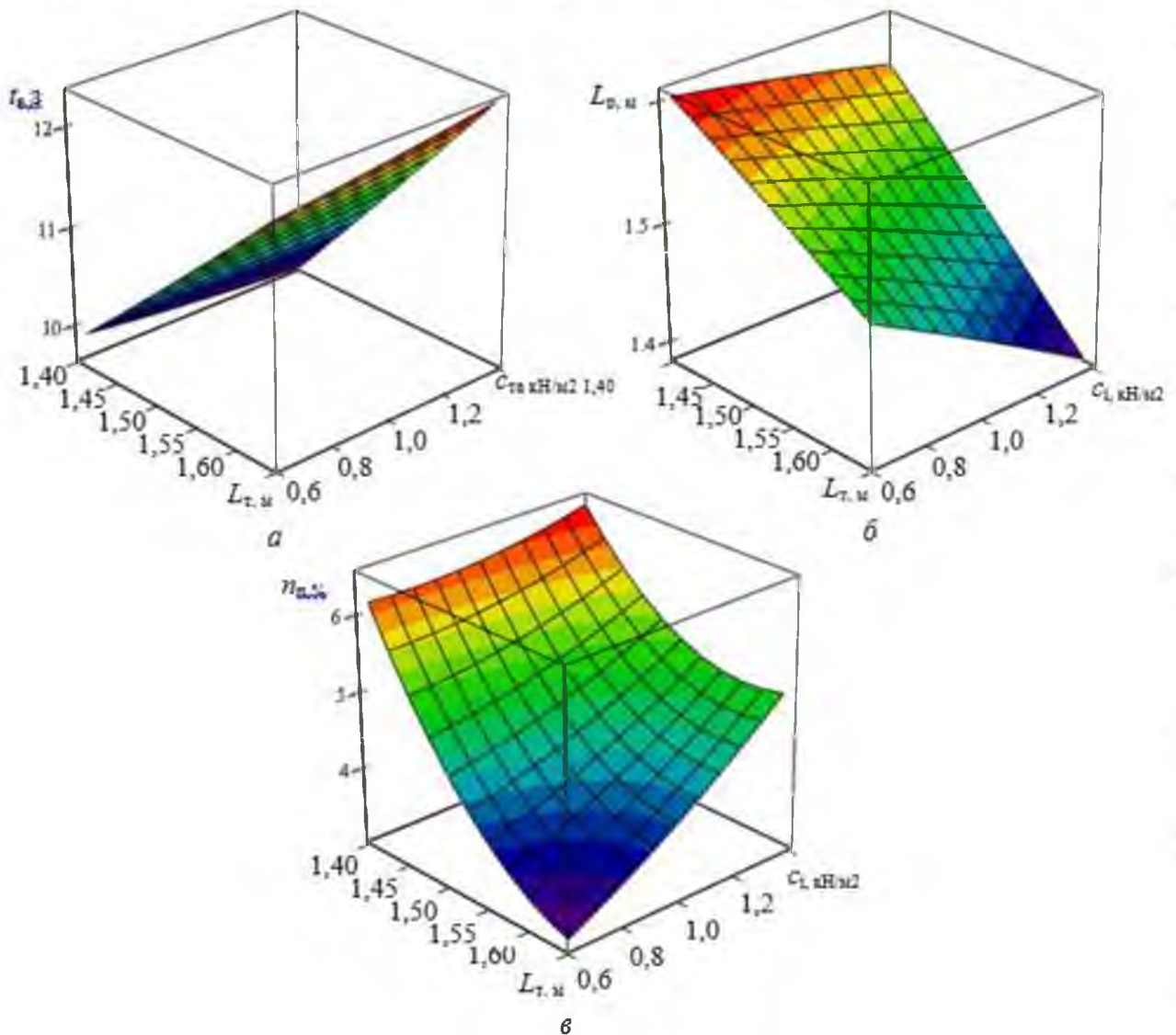


Рисунок 2.16 – Графіки впливу довжини L_t та коефіцієнта жорсткості на вигин сі еластичних трубок на час вивантаження t_v (а), відстань розкочування L_p (б) та частку пошкоджених коренеклубнеплодів $пп$ (в)

Перетин сприятливих областей (рисунк 2.17, г) являє собою оптимальну

область, в якій одночасно враховуються вимоги низьких значень часу вивантаження, відстані розкочування та частоти пошкоджених коренеклубенькодів [10].

НУБІП УКРАЇНИ

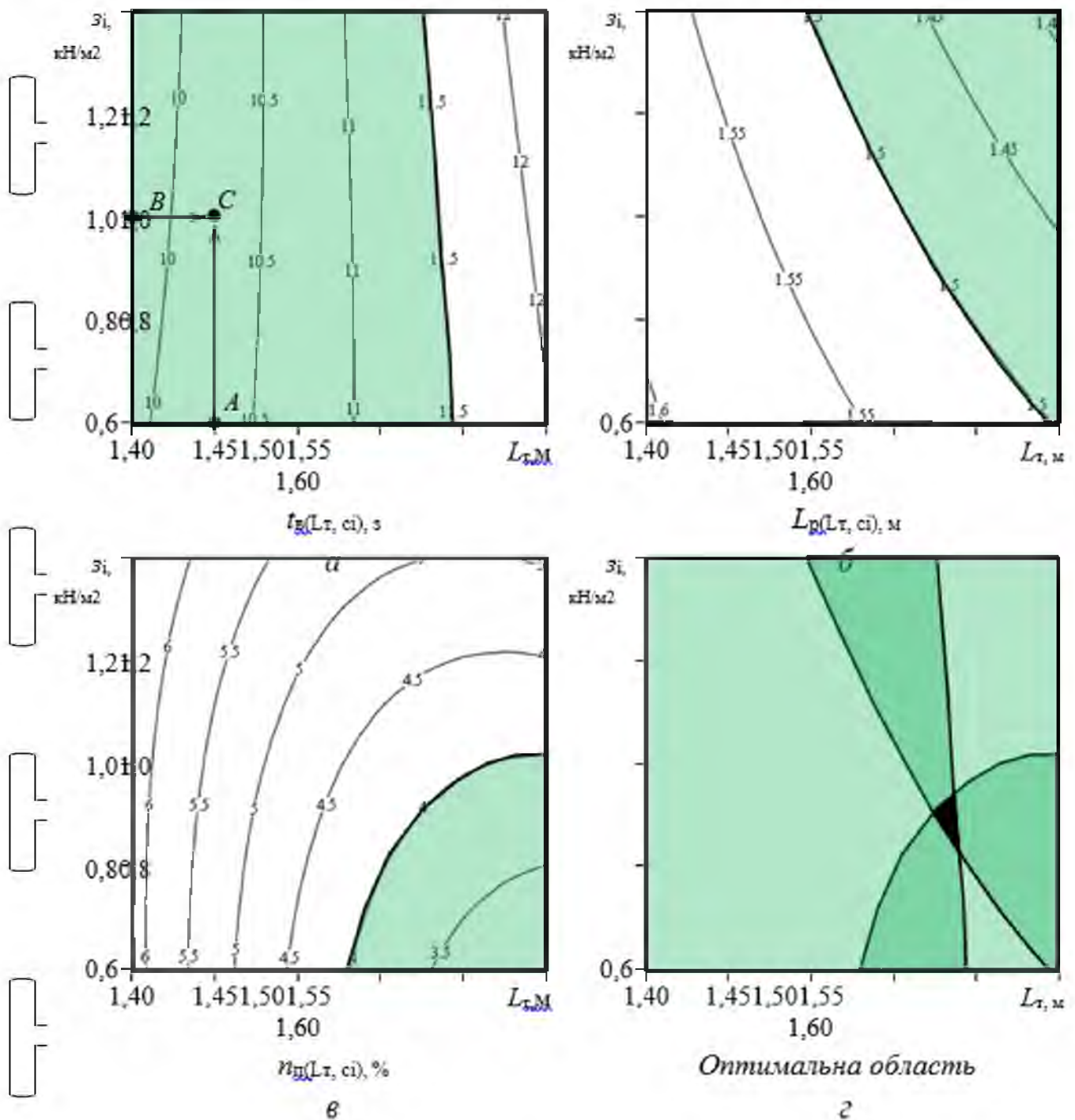


Рисунок 2.17 – Картограми оптимізації параметрів еластичних трубок (Затемнені сприятливі області факторного простору. Чорним виділено загальну оптимальну область)

НУБІП УКРАЇНИ

За розташуванням оптимальної області в факторному просторі (рисунк 2.17, г) можна зробити наступний висновок. Оптимальна довжина еластичної трубки становить 1,58 м (при висоті кузова транспортного засобу 1,60 м, тобто просвіт між трубкою та дном кузова транспортного засобу має становити 2 см), оптимальний коефіцієнт жорсткості трубки на вигин становить 0,9 кН/м². При цьому час вивантаження складе менше 11,5 с, відстань розкочування коренеклубнеплодів складе менше 1,50 м, частка пошкоджених коренеклубнеплодів складе менше 4,0%. Для оптимальних параметрів проведено окремий комп'ютерний експеримент, який підтвердив, що показники ефективності пристрою не перевищують зазначених значень.

Вплив кількості еластичних перегородок

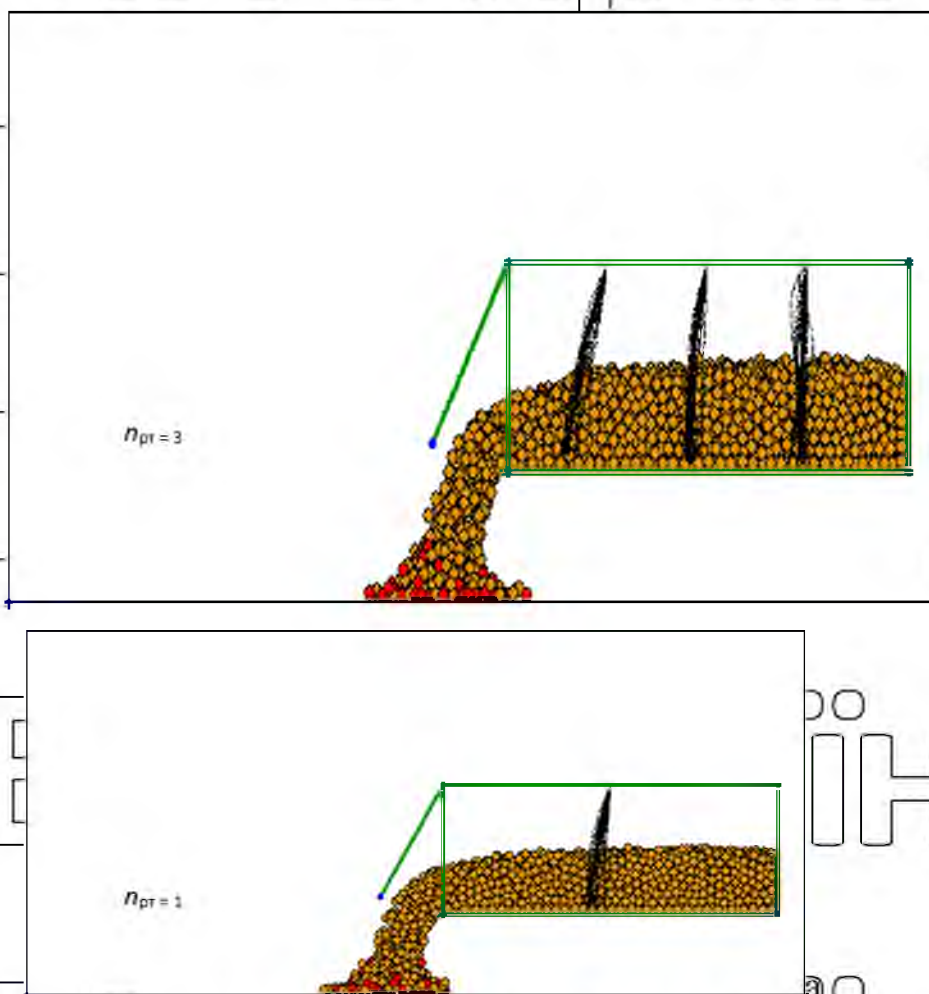
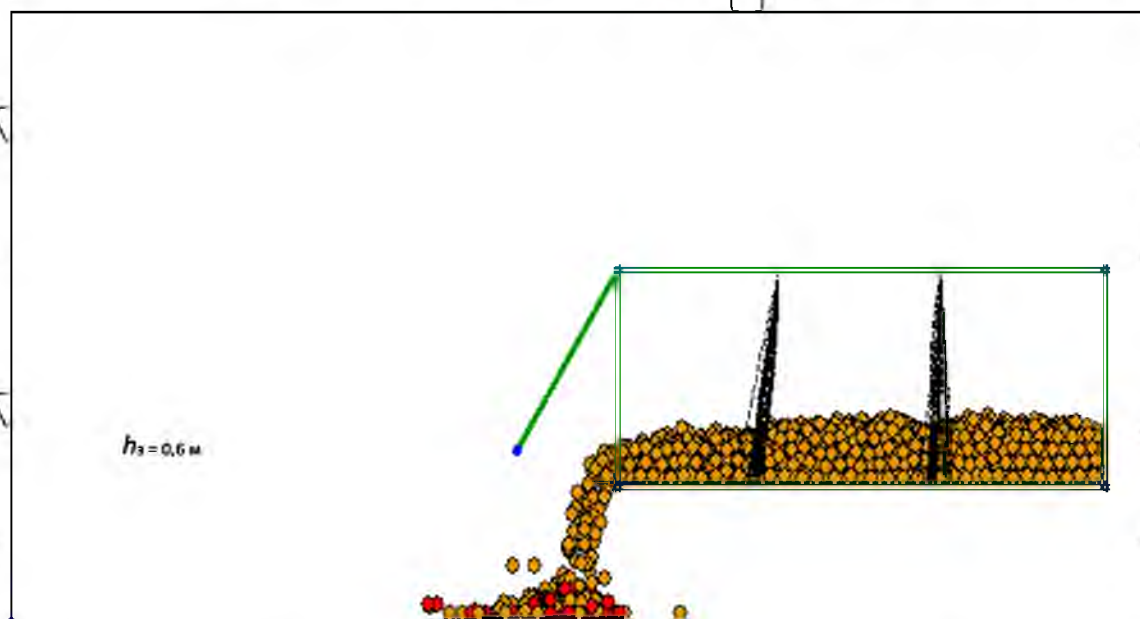
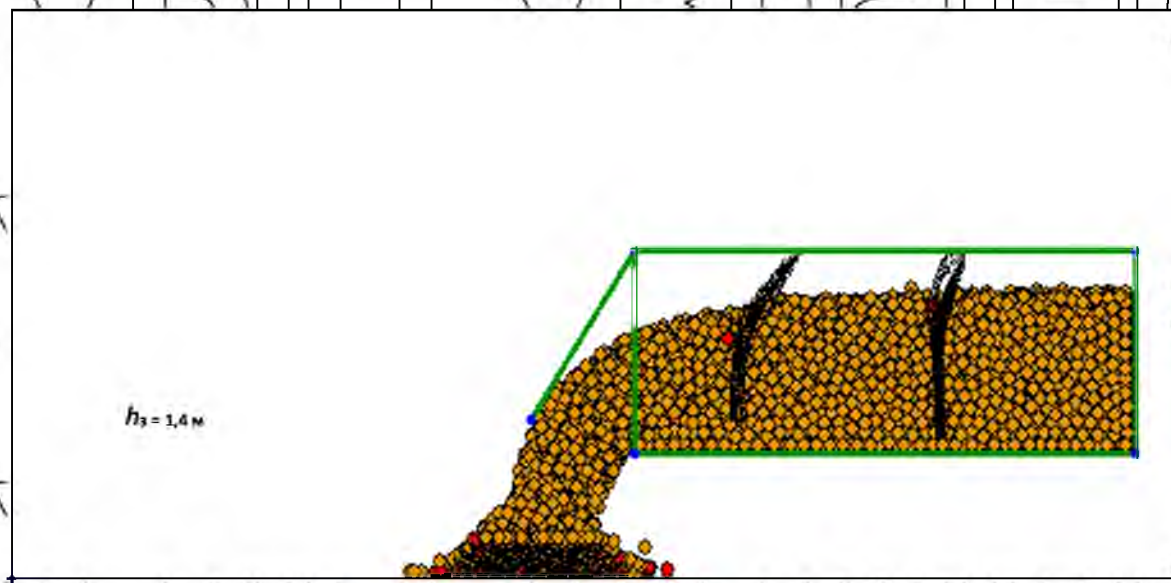


Рисунок 2.18. Процес вивантаження коренеклубнеплодів при різній кількості еластичних перегородок а - 1 ряд, б - 3 ряди

Вплив висоти завантаження кузова транспортного засобу.



б

Рисунок 2.19 - Процес вивантаження коренеклубнеплодів при різних початковій висоті завантаження кузова транспортного засобу: а - 0,6 м, б - 1,4 м

Висновки

1. Розроблено математичну модель пристрою для транспортування та вивантаження коренеклубнеплодів, 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 оснащення кузова транспортного засобу рядами еластичних перегородок та визначити їх оптимальні параметри.

2. Розроблено комп'ютерну програму, що дозволяє на основі комп'ютерних експериментів з моделлю вивчати ефективність пристрою для транспортування та вивантаження коренеклубнеплодів.

3. 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 1,50 м, частка пошкоджених коренеклубнеплодів складе менше 4,0%.

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

РОЗДІЛ 3 ПРОГРАМА І МЕТОДИКА

НУБІП України

3.1 Програма досліджень

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

Експериментальні дослідження розмірно-масових характеристик бульб картоплі.

Лабораторні дослідження вивантаження бульб картоплі з кузова транспортного засобу обладнаного еластичними перегородками.

Експериментальні дослідження довжини і зазору між еластичними трубками характер вивантаження.

3.2 Методика досліджень розмірно-масових характеристик коренешків

Основними параметрами розмірно-вагових характеристик бульб є, довжина, ширина, ширина та маса. Заміри параметрів проводилися на приладі «Клубень», що показано на рисунку 3.1.



Рисунок 3.1. Прилад "Клубень" ПРГ-40Г. 1 – клубень, 2 – вимірювальний щуп; 3 – вимірювальний блок; 4 – блок керування; 5 – блок живлення.

При вимірах картоплі, наприклад довжини, бульба вертикально поміщалася на майданчик і вимірювальний шуп опускався на бульбу. У цей час параметр довжини висвітлювався на індикаторі та заносився в пам'ять блок керування. Отримана інформація заносилася до таблиці.

3.3 Методика досліджень кузова транспортного засобу з еластичними перегородками

Взаємодії 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 [6].

Зі 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 зіткненні бульб відрізняється від нормалі за рахунок сили тертя. Очевидно, що умови контакту бульб, що виникають сили тертя істотно впливають на механічні пошкодження, і формування сдвигової напруги [2].

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 сход.

Поступове вивантаження звільняє трубки 6 поперечної перегородки 5, і купу бульб вивантажується досовано.



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

Найбільшу швидкість скошування мають бульби наєпи, що знаходяться зверху, так як не обмежені зв'язками в русі. Швидкість при вивантаженні верхніх бульб додатково знижується за рахунок тертя про порожнисті пружні трубки перегородки. Для уточнення теоретичних викладок було проведено експеримент із розвантаження бульб з контейнера без перегородки та обладнаного поперечною перегородкою [117]. Як фактор варіювання вибрано кут нахилу контейнера до горизонту (кут підйому кузова). В ході експерименту вивчалися розкоти бульб від

контейнера, що характеризує швидкість бульб при скочуванні по насипу, і
залишок бульб в кузові, що характеризує швидкість вивантаження бульб
(відсутність лавиноподібних потоків).



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

Для досліджень використовували насінневу картоплю сорту Лотона, з найбільшим розміром 35 мм, для масштабного моделювання руху бульб у контейнері. Кут перекидання контейнера змінювали за допомогою гвинтової стяжки і через кожні 5 градусів знімали показання. Повторність була триразовою.

Розподіл картопляного вороху в контейнері, обладнаному перегородкою, та розкочування бульб після вивантаження представлені на рисунках 3.3 та 3.4.

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.

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

РОЗДІЛ 4 РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ КУЗОВА ТРАНСПОРТНОГО
ЗАСОБУ З ЕЛАСТИЧНИМИ ПЕРЕТОРОДКАМИ

НУБІП України

4.1 Результати досліджень розмірно масових характеристик коренеплодів

НУБІП України

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

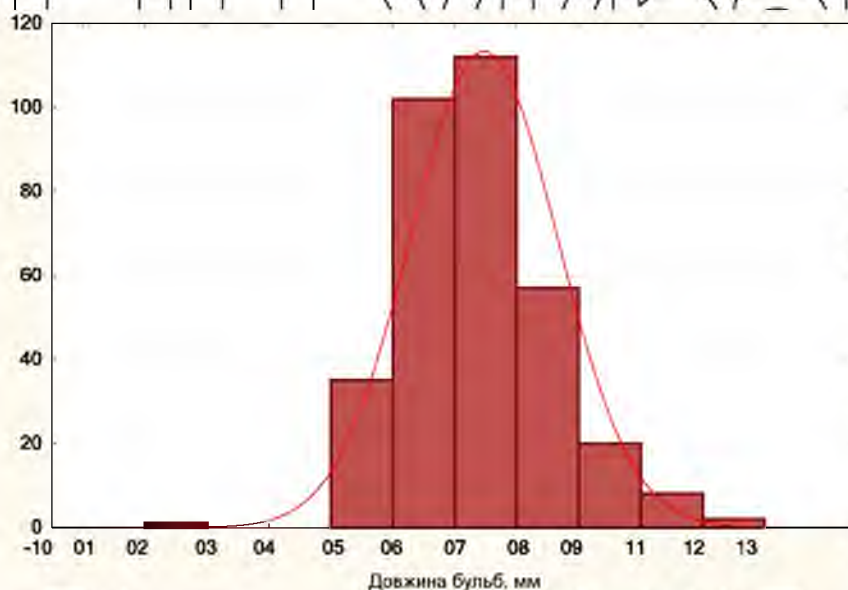
Таблиця 4.1 Розмірно-вагова характеристика бульб картоплі різних сортів

Показники	Довжина, мм	Ширина, мм	Товщина, мм	Маса, г
Середнє	60,7	52,1	43,5	92,2
Найменше	29,8	27,5	21,3	12,0
Найбільше	120,5	77,4	65,2	252,0

НУБІП України

Аналіз результатів показав, що вибірка бульб картоплі розподілена за нормальним законом і графіки розподілу за довжиною, товщиною та шириною представлені на рисунку 4.1 та 4.2.

НУБІП України



НУБІП України

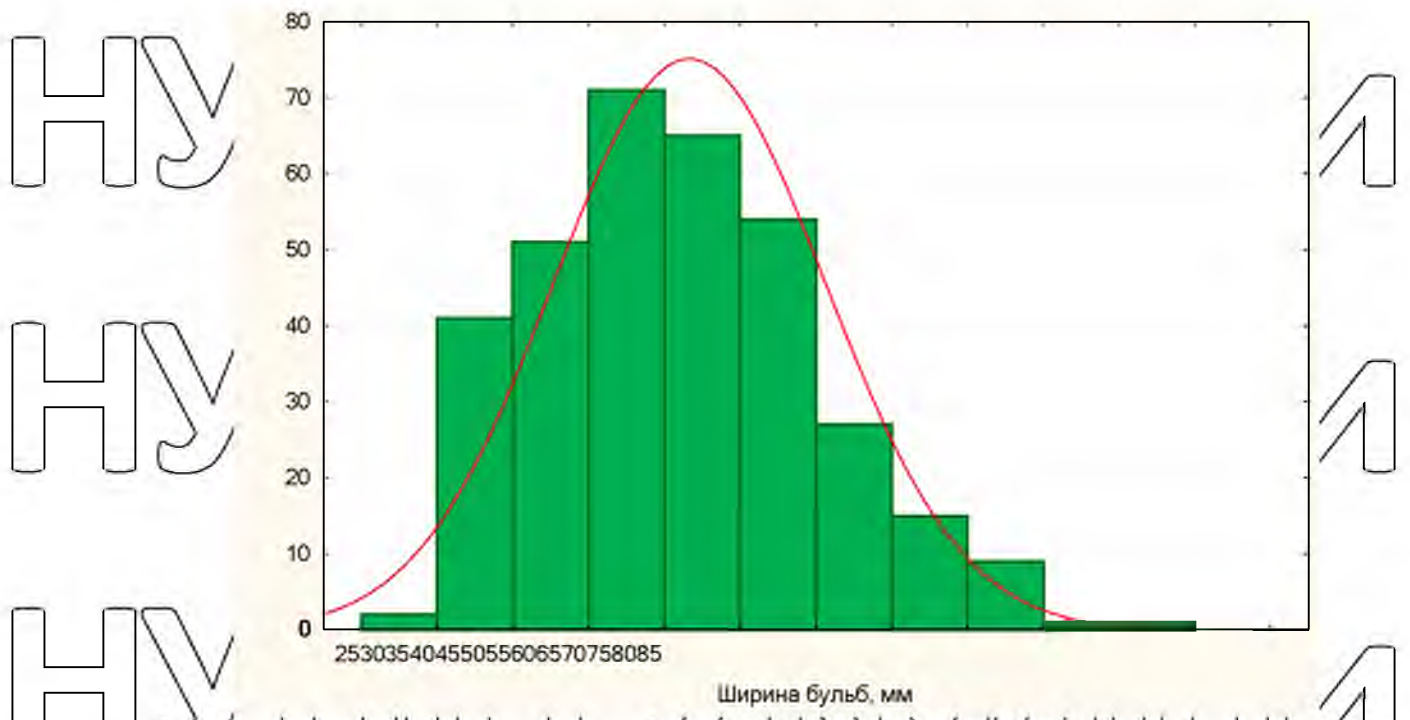
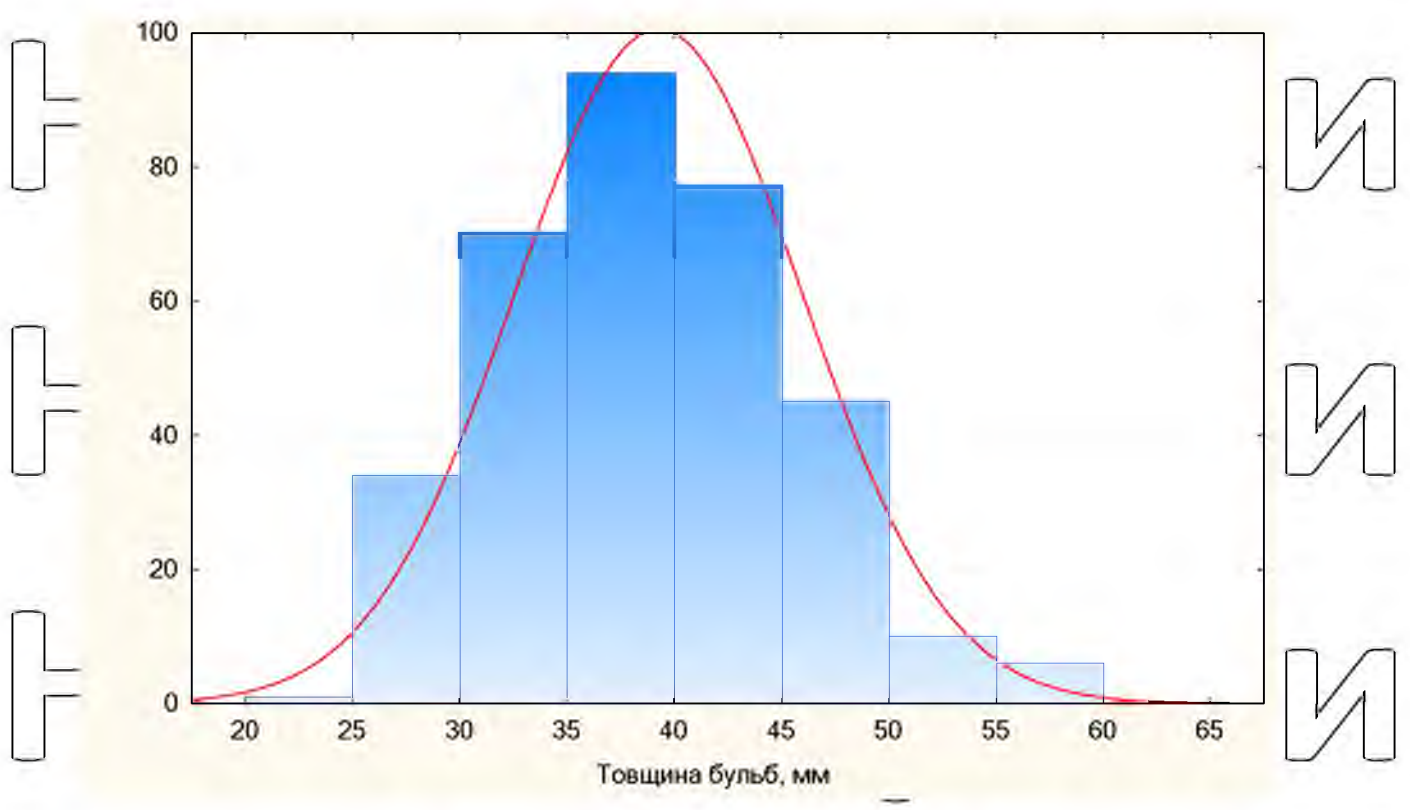


Рисунок 4.1 – Гістограми розподілу довжини та ширини бульб картоплі



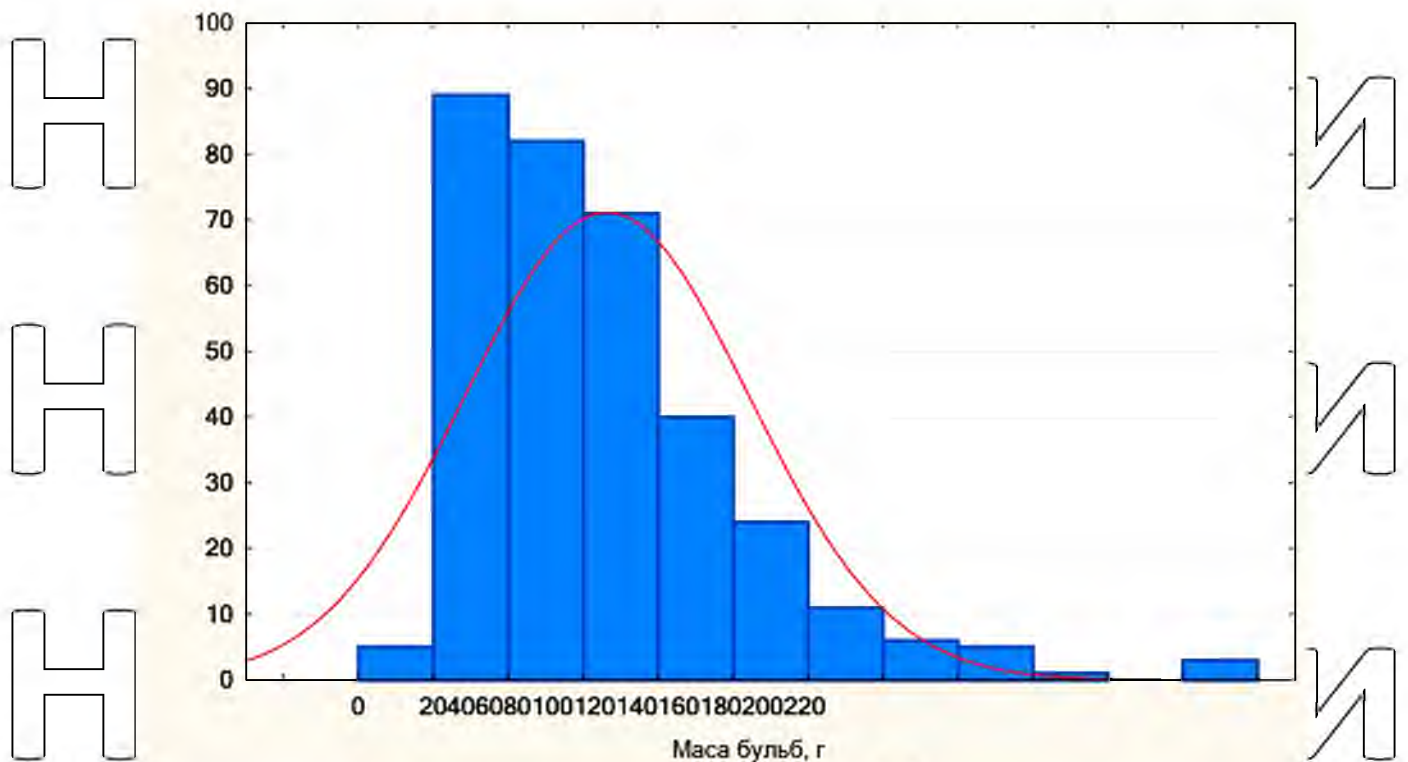


Рисунок 4.2 – Гістограми розподілу товщини та маси бульб картоплі

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

4.2 Результати досліджень контейнера з еластичними перегородками

Лабораторні дослідження контейнера з еластичними перегородками проводились у лабораторії кафедри технології металів та ремонту машин. В результаті виконання лабораторних досліджень встановлені взаємозв'язки кількості бульб, що залишилися в контейнері після нахилу, залежно 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 у контейнері, крива залишку в контейнері з перегородкою має більш пологий кут. Рівномірне вивантаження контейнера зменшує можливість утворення лавиноподібних потоків, що в кінцевому підсумку буде знижувати кінетичну енергію бульб картоплі, що скочуються, і зменшувати їх механічні пошкодження.

Найбільша кількість зменшення бульб з 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.

Дослідження гуркоту бульб після вивантаження в залежності від кута перекидання проводилися на кафедрі технології металів та ремонту машин. В результаті виконання лабораторних досліджень встановлені взаємозв'язки кількості та відстань розкочування бульб залежно від кута перекидання.

Аналіз відстані розкочування бульб після вивантаження (рисунк 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. Дослідження пошкоджень бульб слід проводити у виробничих умовах, оскільки масштабний фактор може суттєво впливати на механічні пошкодження.

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 всього 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.

4.3 Результати виробничих досліджень кузова транспортного засобу з еластичними перегородками

Господарські випробування проводились у ФГ «ЕкоЛайн» Коростенського району району Житомирської області в період збирання картоплі з 2021 року.

Загальний обсяг картоплі, перевезеної одним експериментальним автомобілем у 2021 р., склав 315 тонн. Поперечні еластичні перегородки встановлювалися на кузові транспортних засобів, зокрема на автомобілях МАЗ 5516 (рис. 4.5).



Рисунок 4.5. Загальний вигляд кузова автомобіля МАЗ 5516, обладнаного поперечними еластичними перегородками

Це зумовлено тим, що незважаючи на високу продуктивність транспортних робіт, даний автомобіль при транспортуванні та вивантаженні травмує бульби картоплі, що перевозяться. Оскільки об'єм кузова автомобіля МАЗ 5516 становить $12,5 \text{ м}^3$, то при вивантаженні спостерігається одночасний сход бульб картоплі, що спричиняє надлишковий тиск на нижні шари бульб, які вивантажувалися в першу чергу.

В результаті порівняльних польових випробувань серійного кузова вантажного автомобіля МАЗ 5516 та експериментального кузова вантажного автомобіля МАЗ 5516 із встановленими поперечними перегородками встановлено, що застосування розроблених еластичних поперечних перегородок дозволяє знизити пошкодження бульб картоплі з 5,3% до 2,9%. При розвантаженні бульб картоплі з кузова транспортного засобу, обладнаного поперечними еластичними перегородками, розвантаження відбувається поступово (спочатку вивантажується картопля в безпосередній близькості від відкидного борту). Потім відбувається вивантаження картоплі, що знаходиться в середній частині, а потім у дальній частині кузова (рис. 4.6-4.7).

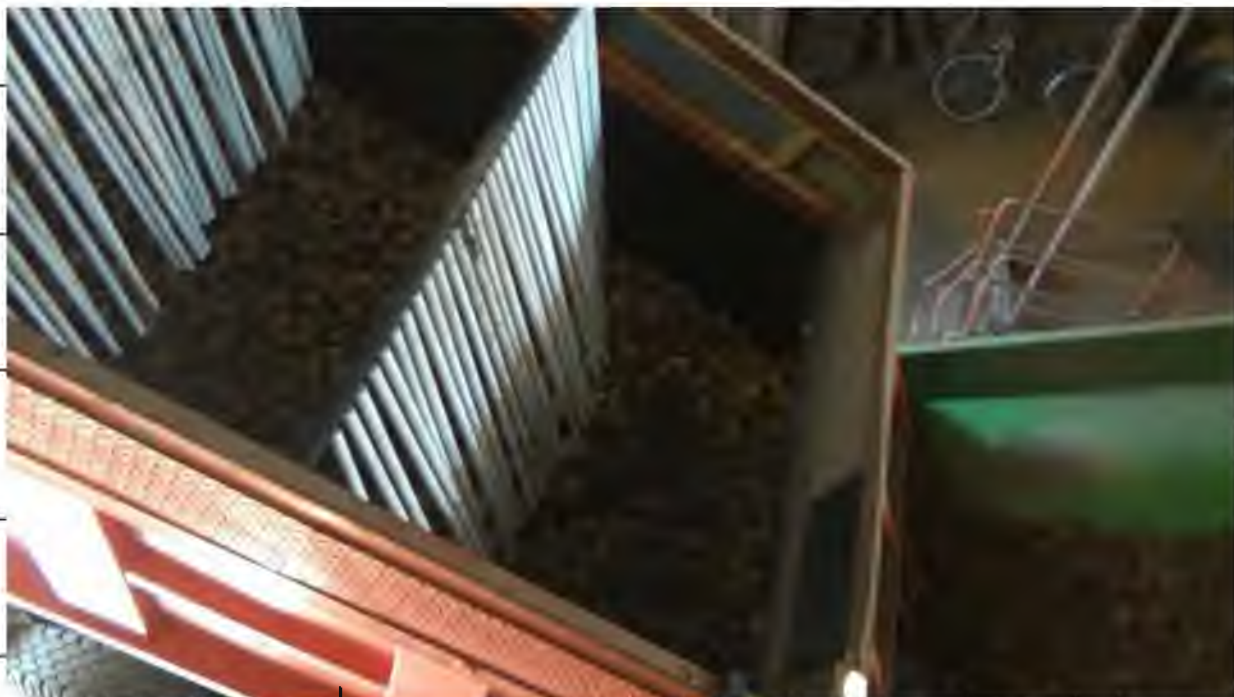


Рисунок 4.6. Закінчення вивантаження клубней картоплі з кузова автомобіля, обладнаного поперечними еластичними перегородками

НУБІ



аїни

НУБІ

аїни

НУБІ

аїни

Рисунок 4.7. Початки вивантаження клубней картоплі з кузова автомобіля, обладнаного поперечними еластичними перегородками

На основі проведеного аналізу результатів дослідження встановлено, що пошкодження бульб картоплі при вивантаженні із серійного вантажного автомобіля МАЗ 5516 та експериментального вантажного автомобіля МАЗ 5516 із встановленими поперечними еластичними перегородками склали відповідно: 5,3% та 2,9%

4.4 Результати хронометражу операції при транспортуванні та розвантаженні транспортних засобів

На основі отриманих даних було визначено потребу в транспортних засобах при роботі спільно з комбайнами та копачем-навантажувачем. Як очевидно з даних табл. 4.2 для забезпечення безперебійної роботи копача-навантажувача необхідно більше транспортних одиниць порівняно з бункерним комбайном.

При врожайності картоплі 20,4 т/га та продуктивності, показаної в табл. 4.2, картоплезбиральний комбайн прибирає 10 тонн картоплі на годину. Отже, його

бункер-накопичувач місткістю 5 тонн наповнюється за 30 хвилин. При груповій роботі машина з кузовом місткістю 10 тонн спочатку забирає 5 тонн від одного комбайна і 5 тонн від іншого (рис. 4.8). Таким чином, при тривалості робочого циклу менше однієї години для роботи з двома картоплезбиральними комбайнами необхідно два транспортні засоби.



Рисунок 4.8. Завантаження автомобіля МАЗ 5516, обладнаного поперечними еластичними перегородками

При роботі картоплезбирального комбайна, бульби картоплі накопичуються в бункері і після вивантажуються приймачем вбраний картопля. «Тому час під завантаженням транспортного засобу, що працює з комбайном цього типу, значно збільшується і має випадковий характер. Для виключення простоїв копача - навантажувача через відсутність транспортних засобів, у полі повинна чергувати інша автомашинна, перебуваючи в очікуванні щонайменше 25-30 хвилин. Тому загальна кількість транспортних засобів обслуговування одного копача-навантажувача збільшується до двох (табл. 4.2). Дослідження показали, що з двох розглянутих типів збиральних машин значна перевага за комбайном з бункером. Для його обслуговування потрібно взяти менше транспортних засобів, менше

ушідьнюється грунт коцесами автомобілів і менша витрата пального приблизно на 15-20%. оскільки вони стсять і чекають, коли у комбайна наповниться бункер, замість паралельного руху з копачем навантажувачем на відстані від 1,0 до 1,5 км. При нижчій урожайності, наприклад, 10-15 т/га, спільний пробіг буде значно більшим.

При цьому повний цикл обороту транспортних засобів теж має імовірнісний характер (рис. 4.9).

Таблиця 4.2. Імовірність тривалості обороту транспортних засобів (місткістю 10 т) під час руху з копачем-навантажувачем, хв

Тривалість циклу (від — до, хв)	Сумісний шлях з копачем-навантажувачем, км	Ймовірність
81-85	1,0	0,33
91-95	1,1	0,33
96-100	1,3	0,17
101-105	1,5	0,17

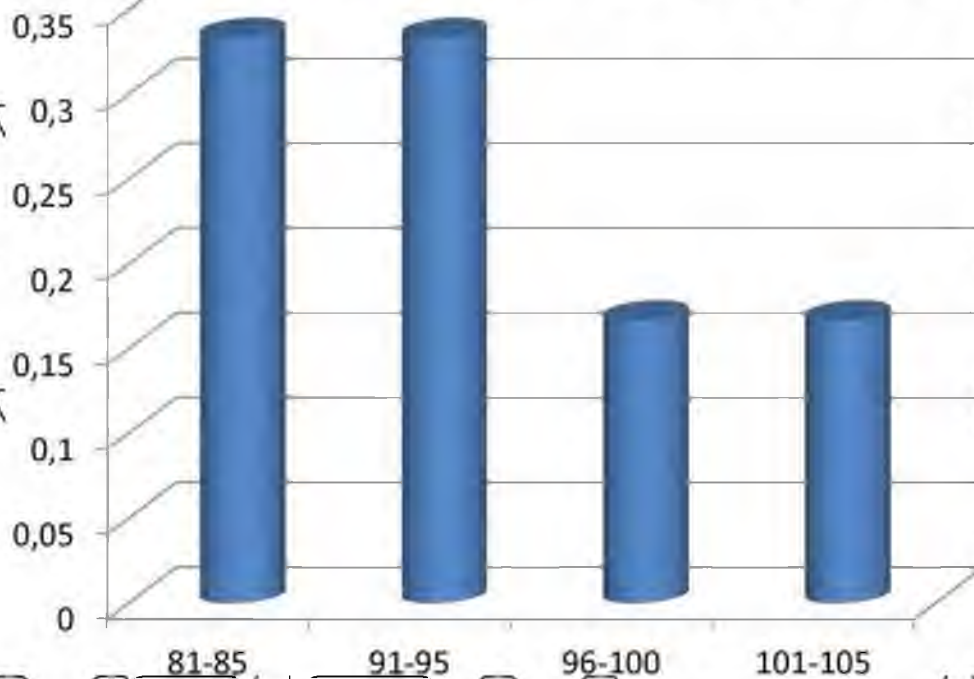


Рисунок 4.9. Статистичне розподілення тривалості циклу обороту транспортних засобів при роботі з картоплеозиральним комбайном. Вантажопідйомність транспорту 10т, врожайність 20,4 т/га

Урожайність 20,4 т/га, швидкість руху вантажного автомобіля МАЗ 25,4 км/год,
відстань від поля до сховища 13-17 км.

НУБІП України

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 з кузова транспортного засобу відбувається при куті перекидання від 5° - 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 0,71м до 1,05м, а за відсутності еластичної перегородки становить від 1,05м до 1,64м.

3. В результаті порівняльних польових випробувань серійного кузова вантажного автомобіля МАЗ 5516 та експериментального кузова вантажного автомобіля МАЗ 5516 із встановленими поперечними перегородками встановлено, що застосування розроблених еластичних поперечних перегородок дозволяє знизити пошкодження з 5,3% до 2,9% бульб картоплі.

4. Дослідження показників транспортного процесу з використанням хронометражу дозволили встановити, що збільшення часу розвантаження транспортного засобу обладнаного еластичними перегородками знижує продуктивність вивантаження бульб картоплі в 1,6 рази, що в загальному циклі технологічного процесу транспортування (завантаження, транспортування, зважування та вивантаження картоплі завантаження, очікування завантаження) становить менше 1%.

НУБІП України

РОЗДІЛ 5 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНИЙ ЕФЕКТ ЗАСТОСУВАННЯ КУЗОВА АВТОТРАНСПОРТНОГО ЗАСОБУ З ЕЛАСТИЧНИМИ ПЕРЕГОРОДКАМИ ДЛЯ ТРАНСПОРТУВАННЯ КОРЕНЕПЛОДІВ

5.1 Розрахунок економічного ефекту від зниження експлуатаційних витрат

Розрахунок техніко-економічного ефекту застосування транспортних засобів з кузовом, обладнаним поперечними еластичними перегородками, проводився за стандартною методикою, вихідні дані взяті за 2022 р. та представлені нижче (табл. 5.1).

Таблиця 5.1. Вихідні дані для техніко-економічного розрахунку ефекту застосування транспортного засобу з кузовом, обладнаним поперечними еластичними перегородками для перевезення та вивантаження картоплі

Показник	Одиниця вимірювання	Базовий автомобіль МАЗ 5516	Новий варіант МАЗ 5516
Річне завантаження транспортно засобу	год	136	136
Середня технічна швидкість	км/год	25,2	25,2
Кількість персоналу, що обслуговує транспортний засіб	чол.	1	1
Ємність платформи з основними бортами	м ³	15	15
Номінальна вантажопідйомність	т	12,75	12,75
Час на завантаження і розвантаження транспортного засобу	год	0,58	0,70

Економічний ефект від застосування транспортних засобів з кузовом, обладнаним поперечними еластичними перегородками, визначали, зіставляючи наведені витрати базового та нового варіантів (в розрахунку на один транспортний засіб). Як базовий варіант взято вантажний автомобіль МАЗ 5516, а новий варіант включав у свою конструкцію встановлені в кузов ТС поперечні еластичні перегородки.

При експлуатації транспортного засобу з еластичними перегородками економічний ефект складався з таких складових:

$$\text{СУМ} = \text{ЕЕКС} + \text{ЕПОВР}$$

де ЕЕКС - економічний ефект від зниження експлуатаційних витрат, грн; ЕПОВР - економічний ефект внаслідок зниження величини пошкоджень картоплі, грн.

Таким чином, визначивши витрати на експлуатацію для обох варіантів і грошовий виграш в результаті підвищення частки виходу товарної продукції, визначимо загальну економічну ефективність використання транспортного засобу з еластичними перегородками для перевезення продукції.

5.2 Розрахунок економічного ефекту від зниження пошкоджень коренеплодів

Економічний ефект внаслідок зниження експлуатаційних витрат дорівнюватиме

$$\text{ЕЕКС} = 31 - 32 * Q_{\text{заг}}$$

де ЕЕКС - економічний ефект в результаті зниження експлуатаційних витрат при використанні транспортного засобу з поперечними еластичними перегородками, грн; 31 та 32 - наведені витрати на одиниця вантажу, перевезеного серійними транспортним засобом поперечними еластичними перегородками відповідно, грн/т; $Q_{\text{заг}}$ - річний обсяг перевезень продукції, т.і.

Наведені витрати є сумою експлуатаційних витрат і нормативного прибутку:

$$3 = \text{ЗЕКС} + \text{НП}$$

де: ЗЕКС - експлуатаційні витрати, грн/т;

НП – нормативний прибуток від капітальних вкладень, грн/т.

Витрати на утримання та експлуатацію (експлуатаційні витрати) є комплексною статтею витрат у собівартості продукції рослинництва.

Статті експлуатаційних витрат залежно від виду та обсягу виконуваних за рік робіт, тобто річного завантаження, поділяються на постійні та змінні. До постійних витрат, що не залежать від зміни річного завантаження, відносяться амортизаційні відрахування та витрати на утримання.

До змінних витрат, що залежать прямо пропорційно від річного завантаження, відносяться витрати на технічне обслуговування та ремонт, паливо-мастильні матеріали та оплату праці механізаторів.

Результати розрахунку експлуатаційних витрат представлені у таблиці 5.2.

Таблиця 5.2. Калькуляція експлуатаційних витрат.

Показник	Одиниця вимірювання	Базовий автомобіль MA3 5516	Новий варіант MA3 5516
Амортизаційні відрахування	грн/т	712,5	612,7
Технічне обслуговування і ремонт	грн/т	642,4	552,5
Паливно-мастильні матеріали	грн/т	419,5	360,7
Оплата праці	грн/т	43,7	37,6
Разом експлуатаційні затрати	грн/т	1818,1	1563,5

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

$$E_{\text{ПОВР}} = \text{IB} - \text{IM}, (5.13)$$

де ІС - витрати від пошкодження продукції при перевезенні серійним транспортним засобом, грн; ІМ - витрати від пошкодження продукції при перевезенні транспортним засобом з еластичними перегородками, грн;

Витрати від пошкодження продукції під час перевезення визначаємо виразом:

$$I = Q * ПКЛ * ЦР$$

де: Q - кількість перевезеного врожаю за час збирання одним автомобілем, т; ПКЛ - Величина пошкоджень продукції, %; ЦР - цінова різниця продовольчої та пошкодженої картоплі, грн/т.

Прийнявши величину пошкоджень картоплі 4,73% для серійного транспортного засобу і 3,81% для транспортного засобу з еластичними перегородками (таблиці 5.1), а також цінову різницю продовольчої та пошкодженої картоплі ЦР = 4300 грн/т отримаємо наступні вирази для визначення витрат від пошкодження продукції:

для базового варіанту: $IВ = 173288,28$ грн.

для нового варіанту: $IВ = 139583,16$ грн.

Економічний ефект від зниження величини пошкоджень продукції при перевезенні дорівнюватиме:

$ЕПОВР = 33705,12$ грн

Загальний економічний ефект від транспортного засобу з еластичними перегородками дорівнюватиме:

$ЕСУМ = 355\,079,5$ грн.

або у перерахунку на 1 тону перевезеної картоплі 416,7 грн/т.

Крім того, застосування ТЗ з кузовом, обладнаним поперечними еластичними перегородками, дозволяє збільшити продуктивність перевезень у середньому на 10,1 – 10,5 %.

Провівши розрахунок економічного ефекту від зниження пошкоджень картоплі і застосувавши методику моделювання транспортних потоків, що використовується, можемо зробити висновок, що пошкодження при використанні експериментального кузова вантажного автомобіля МАЗ 5516 з встановленими поперечними еластичними перегородками в порівнянні з вантажним автомобілем МАЗ 5516 з серійним кузовом.

Таким чином, використання транспортних засобів з кузовом, обладнаними поперечними еластичними перегородками для перевезення та вивантаження картоплі в умовах сільськогосподарського виробництва, є економічно ефективним, що довели наведені вище розрахунки.

Аналіз використання транспортного засобу, обладнаного еластичними перегородками, показав, що економічний ефект отримано за рахунок зниження пошкоджень. Встановлено, що межа економічної ефективності за ціною (верхня межа ціни - 370 тис. грн.) Нового варіанту в порівнянні з базовим для транспортних засобів з еластичними перегородками становить 450,7 тис. грн, це перевищує фактичну цифру 371,1 тис. гривень на 21,45%.

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

ВИСНОВОК

НУБІП України

1. Аналіз робіт з дослідження процесів внутрішньогосподарських перевезень картоплі в кузові транспортних засобів показав, що одним із факторів, що значною мірою впливають на рівень пошкоджень продукції, що перевозиться, є швидкість розвантаження кузова. Для зменшення швидкості розвантаження і пошкоджень продукції, що перевозиться в кузові транспортного засобу необхідно встановлювати поперечні перегородки, з пружного матеріалу.

НУБІП України

2. Теоретично встановлено, що раціональний просвіт між еластичною трубкою та дном кузова транспортного засобу становить 2 см, а коефіцієнт жорсткості трубки на вигин дорівнює 0,9 кН/м³. При цьому час вивантаження становитиме менше 11,5 с, відстань розкочування бульб картоплі становитиме менше 1,50 м, частка пошкоджених бульб картоплі становитиме менше 4,0 %.

НУБІП України

3. Аналіз вивантаження бульб картоплі з кузова транспортного засобу показав, що встановлення поперечної перегородки дозволяє здійснювати рівномірне вивантаження протягом усього циклу перекидання. Найбільше бульб з кузова транспортного засобу розвантажується 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°, при цьому вивантаження бульб картоплі відбувається з меншою швидкістю, ніж у серійній машині.

НУБІП України

4. За наявності еластичної перегородки відстань розкочування бульб картоплі з кузова транспортного засобу становить від 0,71 м до 1,05 м, а за відсутності еластичної перегородки становить від 1,05 м до 1,64 м.

НУБІП України

5. В результаті порівняльних польових досліджень серійного кузова вантажного автомобіля МАЗ 5516 та експериментального кузова вантажного автомобіля МАЗ 5516 з еластичними поперечними перегородками встановлено, що їхнє застосування дозволяє знизити пошкодження з 5,3% до 2,9% бульб картоплі.

НУБІП України

НУБІП України

6. Дослідження показників транспортного процесу з використанням хронометражу дозволили встановити, що збільшення часу розвантаження транспортного засобу, обладнаного еластичними перегородками знижує продуктивність вивантаження бульб картоплі в 1,6 раза, що в загальному циклі технологічного процесу ВП (завантаження, транспортування, зважування та вивантаження) місце завантаження, очікування завантаження) становить менше 1%.

7. Для зниження пошкоджень бульб картоплі в процесі вивантаження з кузова транспортного засобу рекомендується використовувати поперечні перегородки, виконані у вигляді порожнистих трубок з пружного матеріалу, що мають можливість обертання навколо осі поперечної еластичної перегородки. Рациональний просвіт між еластичною трубкою та дном кузова транспортного засобу становить 2 см, а коефіцієнт жорсткості трубки на вигин становить $0,9 \text{ кН/м}^2$.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

НУБІП УКРАЇНИ

1. https://auto.24tv.ua/yak_pravylno_perevozyty_kartopliu_i_ovochi_v_avtomobili_porady_n15145

2. https://pidru4niki.com/10810806/logistika/dostavka_kartopli_bez_tari

3. <http://repo.snau.edu.ua/bitstream/123456789/5939/1/%D0%AF%D1%80%D0%BE%D1%88%D0%B5%D0%BD%D0%BA%D0%BE%20%D0%9F%D0%9C.%20%D0%9F%D1%80%D0%BE%20%D1%82%D1%80%D0%B0%D0%BD%D1%81%D0%BF%D0%BE%D1%80%D1%82%D1%83%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D0%BD%D1%8F%20%D0%BA%D0%B0%D1%80%D1%82%D0%BE%D0%BF%D0%BB%D1%96.pdf>

.pdf

4. Котелянець В.І. Транспортний фактор в АПК / В.І. Котелянець. – К.: ІАЕ, 1999. – 28 с.

5. Норми продуктивності та витрат палива на перевезення вантажів автомобільним транспортом в агропромисловому комплексі / за ред. В.В. Вітвіцького. – К.: Укр. ІДІ «Агропромпродуктивність», 2020. – 208 с.

6. Перебийнос В.І. Транспортно-логістичні системи підприємств: формування та функціонування. монографія. – Полтава: РВЦ ПУСКУ, 2016. – 207 с.

7. Пугачов М.І. Транспортне обслуговування сільського господарства. К.: ІАЕ УАН, 2017. – 174 с.

8. Фришев С. Г. Загальний курс транспорту. навч. посібник. Ніжин: Вид-во «Аспект-поліграф», 2007. – 162 с.

9. <https://jak.bono.odessa.ua/articles/transportuvannya-kartopli-avtotransportom-po.php>

10. https://evgivanov.github.io/exp1_html_book/book/part3/tema3-10.html

11. https://referaty.pp.ua/abstracts/ua/econom-teoriya/econom-teoriya_6056_16.php Основні напрямки реформування АПК України

12. http://ru.osvita.ua/vnz/reports/econom_theory/22284/ АПК України: напрямки розвитку та шляхи подолання кризи. Реферат

13. <https://www.pdaa.edu.ua/sites/default/files/nppdaa/2011/02/338.pdf> Чинники та проблеми ведення інтенсивного виробництва в аграрних підприємствах

14. https://pidruchniki.com/1081080636236/ekonomika/mehanizatsiya_pokazniki_vikoristannya_tehniki Механізація та показники використання техніки

15. https://dic.academic.ru/dic.nsf/enc_biography/38689/%D0%93%D0%BE%D1%80%D1%8F%D1%87%D0%BA%D0%B8%D0%BD Горячкин, Василий

Прохорович

16. <http://econjournal.vsau.org/files/pdfa/394.pdf> Обґрунтування типу тракторів

17. <http://texnika.megapetroleum.ru/pricepnoe-ustrojstvo-tractorov-t-40-t-40a/> Прицепное устройство тракторов Т-40, Т-40А

18. <http://avto-motor.com.ua/karakteristiki-tractorov/> Тягове характеристики тракторів расчет и испытание

19. https://life-prog.ru/ukr/1_2281_osoblivosti-rozrahunku-sobivartosti-transportnoi-produktsii.html Особливості розрахунку собівартості транспортної продукції

20. <http://zhmenka.com/roslinnictvo/ponyattya-i-zmist-tehnologii-viroshhuvannya-silskogospodarskix-kultur/> Поняття і зміст технології вирощування сільськогосподарських культур

21. <http://agro-business.com.ua/agro/ahronomiia-sohodni/item/395-niuanisy-v-tehnologii-no-till.htm> Економія в технології no-till

22. <http://ua.textreferat.com/referat-3452-2.html> Ґрунтозахисні енерго-, ресурсо- і вологозберігаючі технології вирощування культур

23. https://referaty.pp.ua/abstracts/ua/rps/rps_26393_12.php Ґрунтозахисна контурно-меліоративна система землеробства

24. <http://credobooks.com/planuvannya-ta-organizaciya-virobnictva-produktsii-%D1%97-roslinnictva> Планування та організація виробництва продукції рослинництва

25. <https://agrolife.info/metodyka-rozrobk> Методика розробки технологічних карт

26. <http://www.zerno.org.ua/articles/technology/242-%D1%82%D0%B5%D1%85%D0%BD%D0%BE%D0%BB%D0%BE%D0%B3%D1%9>

6%D1%8F-

%D0%B2%D0%B8%D1%80%DC%BE%D1%89%D1%83%D0%B2%D0%B0%D0%BD

%D0%BD%D1%8F-%D0%BE%D0%B7%D0%B8%D0%B0%D0%BE%D1%97-

%D0%BF%D1%88%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D1%86%D1%96-

%D0%BF%D0%BE-no-till-%D0%B2-%D1%84%D0%B3-

%D0%B1%D0%B5%D1%81%D0%BA%D1%96%D0%B4%D0%B8 Технологія

вирощування озимої пшениці по No-Till в ФГ "Бескиди"

27. <https://agrotimes.ua/article/tehnika-dlya-sivbi-zernovih/> Техніка для сівби зернових

28. <http://oplib.ru/random/view/1020039> Пристрої до зернозбиральних комбайнів для збирання неколосових культур

29. <https://agrosience.com.ua/plant/53-yesnyanyi-ta-peredposivnyi-obrobok-gruntu-pid-cukrovih-buryaki> Весняний та передпосівний обробіток ґрунту під цукрові буряки

30. http://agrona.net/news/news_47907.html Сучасні технології і техніка для збирання цукрових буряків

31. <http://agro-business.com.ua/agro/ahronomiia-sohodni/item/153-osoblyvosti-tekhnologii-vyroshchuvannia-kartopli.html> Особливості технології вирощування картоплі

32. Гевко Р. Б. Підвищення техніко-економічних показників машин для збирання картоплі. Український журнал прикладної економіки. 2016. Том 1. № 1. С. 39-49.

33. XXXII Міжнародна агропромислова виставка "АГРО-2020" [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.agroexpo.org.ua>

34. Grimme. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.grimme.de>.

35. Босняк М. Г. Вантажні автомобільні перевезення / Босняк М.Г. – К.: Видавничий Дім «Слово», 2020. – 408 с.

36. Фришев С.Р., Докуніхін В.З., Козулиця С.І. Транспортний процес в АПК: Насібник для самостійної роботи студентів. К.: Національна академія керівних кадрів культури і мистецтв, 2010. 460 с.

37. <https://agsolco.com/ru/tehnika-dlya-posadki-kartofelya/>
38. <https://dlf.ua/ua/zberigannya-ta-perevezennya-agroproduktiyi-v-ukrayini/>
39. <https://denzadnem.com.ua/blogy/korysni-porady/80546>

40. <https://egritech.org/wp-content/uploads/2020/03/%D0%9F%D0%A1-%D0%90%D0%A1-1422-%D0%9C-14.06.2017.pdf>

41. <https://westudents.com.ua/glavy/34619-83-dostavka-kartopl-bez-tari.html>

42. <https://agrotimes.ua/article/umovi-ta-sposobi-zberigannya-kartopli/>

43. Byshov N V, Borychev S N, Kashirin D E, Kokorev G D, Kostenko M Y,

Rembalovich G K, Simdyankin A A, Uspensky I A, Shemyakin A V, Yukhin I A, Danilov

I K, Ryadnov A I and Kosul'nikov R A 2018 Theoretical studies of the damage process of

easily damaged products in transport vehicle body during the on-farm transportation ARPN

J. of Engin. and Applied Scien. 10 3502-3508

44. James P. Yanta and Tong C B. 2013 Commercial postharvest handling of

potatoes (*solanum tuberosum*) Reg. of the Univ. of Minnesota

45. Jobling, J. 2020. Temperature management is essential for maintaining produce quality. *Good Fruit and Vegetables*. 10: 30-31.

46. Stroud, G., Peters, J. and Cunnington, A. 2020. Effects of condensation on

development of storage diseases. British Potato Council, online access 23rd March 2019 at

www.potato.org.uk

47. [https://www.lsu.edu/agriculture/plant/extension/hcpl-](https://www.lsu.edu/agriculture/plant/extension/hcpl-publications/2_Pub_3442_Transportation_of_Fresh_Produce_Best_Practices_to_Ensure_On-Farm_Food_Safety.pdf)

[publications/2_Pub_3442_Transportation_of_Fresh_Produce_Best_Practices_to_Ensure_On-](https://www.lsu.edu/agriculture/plant/extension/hcpl-publications/2_Pub_3442_Transportation_of_Fresh_Produce_Best_Practices_to_Ensure_On-Farm_Food_Safety.pdf)

[FarmFoodSafety.pdf](https://www.lsu.edu/agriculture/plant/extension/hcpl-publications/2_Pub_3442_Transportation_of_Fresh_Produce_Best_Practices_to_Ensure_On-Farm_Food_Safety.pdf)

48. Hashemi S. M. Strength of Super-Structure UN-ECE R66 Rollover Approval

of Coaches based on Thin-Walled Framework Structures. *Vehicle Structures & Systems*.

2019. № 1(4). P. 78-84.

49. He Y., McPhee J. A design methodology for mechatronic vehicles:

Application of multidisciplinary optimization, multibody dynamics and genetic algorithms.

Vehicle System Dynamics. 2019. Vol. 43. Issue 10. P. 697-733.

doi:10.1080/00423110500151077.

50. Saplinova V., Novikov I., Glagolev S. Design and specifications of racing car

chassis as passive safety feature. *Transportation Research Procedia*. 2020. Vol. 50. P. 591-607. doi:10.1016/j.trpro.2020.10.071

51. Rogovskii I. L., Titova L. L., Voinash S. A., Sokolova M. A., Tarandin G. S., Polyanskaya O. A. Modeling the weight of criteria for determining the technical level of agricultural machines. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2021. Vol. 677. P. 022100. doi:10.1088/1755-1315/677/2/022100.

52. Nazarenko I., Dedov O., Bernyk L., Rogovskii I., Bondarenko A., Zapryvoda A., Titova L. Study of stability of modes and parameters of motion of vibrating machines for technological purpose. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2020. Vol. 6 (7-108). P. 71-79. doi:10.15587/1729-4061.2020.217747.

53. Kresan T., Pylypaka S., Ruzhylo Z., Rogovskii I., Trokhaniak O. External rolling of a polygon on a closed curvilinear profile. *Acta Polytechnica*. 2020. Vol. 60. No 4. P. 313-317. doi:10.14311/AP.2020.60.0313.

54. Hrynkiv A., Rogovskii I., Aulin V., Lysenko S., Titova L., Zagurskiy O., Kdolosok I. Development of a system for determining the informativeness of the diagnosing parameters of the cylinder-piston group of the diesel engines in operation. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2020. Vol. 3 (5(105)). P. 19-29. doi:10.15587/1729-4061.2020.206073.

55. Voinalovych O., Hnatiuk O., Rogovskii I., Pokutniuk O. Probability of traumatic situations in mechanized processes in agriculture using mathematical apparatus of Markov chain method. *Engineering for Rural Development*. 2019. Vol. 18. P. 563-269. doi:10.22616/ERDev2019.18. N245.

56. Safiullin R., Marusin A., Safiullin R., Ablyazov T. Methodical approaches for creation of intelligent management information systems by means of energy resources of technical facilities. *E3S Web of Conferences*. 2019. Vol. 140. P. 10008. doi:10.1051/e3sconf/201914010008.

57. Aulin V., Hrynkiv A., Lysenko S., Rohovskii I., Chernovol M., Lyashuk O., Zamota T. Studying truck transmission oils using the method of thermal-oxidative stability during vehicle operation. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2019. Vol. 1 (1/6(97)). P. 6-12. doi:10.15587/1729-4061.2019.156150.

58. Brylev I., Evtiukov S., Evtiukov S. Problems of calculating the speed of two-wheeled motor vehicles in an accident. *Transportation Research Procedia*. 2018. Vol. 36. P. 84-89. doi:10.1016/j.trpro.2018.12.047.

59. Evtiukov S., Karelina M., Terentyev A. A method for multi-criteria evaluation of the complex safety characteristic of a road vehicle. *Transportation Research Procedia*. 2018. Vol. 36. P. 149-156. doi:10.1016/j.trpro.2018.12.057.

60. Marusin A., Marusin A., Danilov I. A method for assessing the influence of automated traffic enforcement system parameters on traffic safety. *Transportation Research Procedia*. 2018. Vol. 36. P. 500-506. doi:10.1016/j.trpro.2018.12.136.

61. Soo S., Abdel S., Khodyakov A., Marusin A., Danilov I., Khlopkov S., Andriyushenko I. The ways of effectiveness increase of liquid fuel with organic addition appliance in transportation. *Advances in Transportation Sciences*. 2020. Vol. 170. P. 833-838.

62. Роговський І. Л. Методичні засади визначення пасивної безпеки кузовних конструкцій/ колісних транспортних засобів. *Вісник Львівського національного аграрного університету (агроінженерні дослідження)*. Львів, 2021. Вип. 25. С. 189-198. <https://doi.org/10.31734/agroengineering2021.25.189>.

63. Rogovskii I. L. Models of formation of engineering management alternatives in methods of increasing grain production in agricultural enterprises. *Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research*. Kyiv, Ukraine, 2021. Vol. 12. No 1. P. 137-146. <http://dx.doi.org/10.31548/machenergy2021.01.137>.

64. Zagurskiy O., Ohienko M., Pokusa T., Zagurska S., Pokusa F., Titova L., Rogovskii I. Study of efficiency of transport processes of supply chains management under uncertainty. Monograph. Opole: The Academy of Management and Administration in Opole, 2020. 162 p.

65. Zagurskiy O., Rogach S., Titova L., Rogovskii I., Pokusa T. «Green» supply chain as a path to sustainable development. Mechanisms of stimulation of socio-economic development of regions in conditions of transformation. Monograph. Opole: The Academy of Management and Administration in Opole, 2019. P. 199-213.