

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ПОЛІСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

**Факультет інженерії та енергетики
Кафедра агроінженерії та технічного сервісу**

**Кваліфікаційна робота
на правах рукопису**

GERMANCHUK ROMAN ANATOLIYOVICH

УДК 629.35

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

**ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ПРИСТОСУВАННЯ
ДЛЯ ТРАНСПОРТУВАННЯ КОРЕНЕБУЛЬБОПЛОДІВ**

208 “Агроінженерія”

Подається на здобуття освітнього ступеня бакалавр
кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання
ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело
_____ Германчук Р.А.

Керівник роботи
Грабар І.Г.
д.т.н., професор

Житомир – 2023

АНОТАЦІЯ

Германчук Роман Анатолійович. Обґрунтування параметрів пристосування для транспортування коренебульбоплодів. – Кваліфікаційна робота на правах рукопису.

Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня бакалавр за спеціальністю 208 – Агроінженерія. – Поліський національний університет, Житомир, 2023.

В кваліфікаційній роботі розроблено математичну модель пристрою для транспортування та вивантаження коренебульбоплодів, що враховує фізичні властивості коренебульбоплодів, 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.

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

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

Ключові слова: транспортування, вивантаження, коренебульбоплоди, перегородка, параметри.

ANNOTATION

Roman Anatoliiovych Hermanchuk. Substantiation of the parameters of the device for transporting root and tuberous crop. – Qualification work on the rights of the manuscript.

Qualification work for obtaining a bachelor's degree in the specialty 208 – Agricultural Engineering. – Polissya National University, Zhytomyr, 2023.

In the qualification work, a mathematical model of a device for transporting and unloading root and tuberous fruits was developed, taking into account the physical properties of root and tuberous fruits, physical and geometric characteristics of the vehicle body and elastic partitions, as well as the parameters of the unloading process. The model allows to estimate the effect of equipping the vehicle body with a number of elastic partitions and determine their optimal parameters.

A computer program has been developed that allows, on the basis of computer experiments with the model, to study the efficiency of the device for transporting and unloading root and tuberous fruits.

The rational clearance between the elastic partitions and the bottom of the vehicle body is 2 cm, and the bending stiffness of the elastic tubes is 0.9 kN/m². At the same time, the unloading time is less than 11.5 s, the rolling distance of root and tuberous crops is less than 1.50 m, and the proportion of damaged root and tuberous crops is less than 4.0%.

Keywords: transport, unloading, root and tuberous crops, partition, parameters.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ СПОСОБІВ І ЗАСОБІВ ЗНИЖЕННЯ ПОШКОДЖЕНЬ БУЛЬБ КАРТОПЛІ ПРИ ТРАНСПОРТУВАННІ ТА ВИВАНТАЖЕННІ.....	7
РОЗДІЛ 2. ОБГРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ЕЛАСТИЧНИХ ПЕРЕГОРОДОК КУЗОВА ТРАНСПОРТНОГО ЗАСОБУ.....	13
РОЗДІЛ 3. МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ВИВАНТАЖЕННЯ КУЗОВА ТРАНСПОРТНОГО ЗАСОБУ З ЕЛАСТИЧНИМИ ПЕРЕГОРОДКАМИ.....	21
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	31
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	32

ВСТУП

Актуальність теми дослідження. Картопля займає одне з провідних місць у світовому виробництві сільськогосподарської продукції, і частка країни становить 15...17% картоплі, що виробляється [8]. Картоплю вирощують на великій площі. Зарубіжні країни виявляють значний інтерес до картоплі, тому в США зафіксовано зростання кількості переробленої картоплі в 3 рази з 1960 по 2019 роки [7]. 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.

Мета роботи – зниження пошкоджень під час розвантаження бульб картоплі вдосконаленням кузова транспортного засобу.

Для реалізації поставленої мети у роботі необхідно вирішити такі **завдання:**

- обґрунтувати параметри еластичних перегородок кузова транспортного засобу.
- обґрунтувати конструктивно-технологічну схему кузова транспортного засобу, обладнаного еластичними перегородками.

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

Предмет дослідження: теоретичні моделі та аналітичні залежності процесу вивантаження з кузова транспортного засобу.

Перелік публікацій за темою роботи:

1. Грабар І.Г., Германчук Р. А. Аналіз технічних засобів транспортування бульб картоплі. *Наукові читання–2023: матеріали науково-практичної*

конференції науково-педагогічних працівників, докторантів, аспірантів та молодих вчених факультету інженерії та енергетики. 19 квітня 2023 р. Житомир : Поліський національний університет, 2023. Т. 3. С. 36-39.

2. Грабар І.Г., Германчук Р. А. Конструктивно-технологічна схема кузова транспортного засобу з еластичними перегородками. *Збірник матеріалів IX Міжнародної науково-практичної конференції „Інноваційні технології в АПК”.* 7-8 червня 2023 року, м. Луцьк. С.

Практичне значення одержаних результатів. Практичний інтерес для підприємств АПК представляє конструктивно-технологічна схема кузова транспортного засобу, обладнаного еластичними перегородками.

Структура та обсяг роботи. Кваліфікаційна робота складається з вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел з 18 найменувань. Загальний обсяг роботи становить 50 сторінок комп'ютерного тексту, містить 23 рисунки.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ СПОСОБІВ І ЗАСОБІВ ЗНИЖЕННЯ ПОШКОДЖЕНЬ БУЛЬБ КАРТОПЛІ ПРИ ТРАНСПОРТУВАННІ ТА ВИВАНТАЖЕННІ

1.1. Аналіз існуючих технологій транспортування та вивантаження бульб картоплі

При виробництві сільськогосподарської продукції виконується значна кількість механізованої та людської праці [7, 12].

Транспортні роботи становлять важливу частину механізованих робіт, наприклад, витрати на транспортування вантажів становлять 25...40% від загальних витрат за виробництво продукції [4, 12]. Транспортування сільськогосподарських вантажів, в основному, здійснюється автомобілями, причому йде тенденція до збільшення частки автомобільних перевезень з поліпшенням якості внутрішньогосподарських доріг.

У Франції та Німеччині тракторні транспортні засоби забезпечують 75-80% перевезень сільськогосподарських вантажів. В Італії тракторні поїзди із причепами є основним сільськогосподарським транспортом. У перевезення сільськогосподарських вантажів переважно здійснюється автомобільним транспортом, хоча частка тракторів сягає 35%. На транспортні роботи припадає 10-12% загальних витрат на вирощування картоплі.

У країні понад 54% сільськогосподарських вантажів усередині господарства перевозяться автомобільними транспортними засобами дорогами, що перебувають у незадовільному стані. На внутрішньогосподарських перевезеннях часто використовуються вантажні автомобілі загального призначення. При перевезеннях виникають прискорення до 3,5g, що спричиняє пошкодження вантажів. При роботі кількох картоплезбиральних комбайнів на одному полі чи загоні скорочується час завантаження транспортного засобу та з'являється можливість використання транспортних засобів великої вантажопідйомності.

Незважаючи на збільшення ефективності перевезень сільськогосподарської продукції великогабаритним транспортом, виникає проблема недостатнього використання вантажопідйомності транспортних засобів через низьку об'ємну масу продукції.

Для зниження пошкоджень вантажів спеціалістами 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. У сільськогосподарському виробництві є дефіцит автомобілів сільськогосподарського призначення - автосамоскидів вантажопідйомністю 2...8т.

Сільгосппідприємства країни заповнюють дефіцит автомобілів сільськогосподарського призначення за рахунок великовантажної техніки, яка не відповідає агротехнічним вимогам. Внутрішньогосподарські перевезення картоплі у збиральний період здійснюються на малих плечах 5...10 км, тому використання тракторних причепів також є раціональним. Однак, при підвищенні швидкості руху тракторних причепів виникає «виляння причепа з боку на бік», що погіршує умови праці механізатора та їх експлуатаційні властивості. При вилянні причепа трактористу доводиться здійснювати постійні підрулювання та знижувати швидкість руху, що зменшує продуктивність та маневреність транспортного засобу. Тому застосування автомобілів, спеціально обладнаних для перевезення сільськогосподарської продукції, дозволяє підвищити ефективність і якість внутрішньогосподарських перевезень сільськогосподарської продукції [5].

1.2. Аналіз технічних засобів транспортування бульб картоплі

Сучасні технології збирання картоплі вимагають застосування високопродуктивних транспортних засобів, тому підприємства часто використовують універсальні самоскиди. Також перевагу отримують більш ефективні транспортні засоби підвищеної місткості.

Потоковий спосіб збирання картоплі передбачає застосування автомашин-самоскидів (рис. 1.1), автомашин із напівпричепами, тракторних самоскидних причепів (рис. 1.2), напівпричепів. Основними вимогами до транспортних засобів для картоплі під час збирання є збільшення продуктивності за рахунок збільшення місткості, зниження простоїв під час розвантаження та мінімізація пошкоджень бульб.



Рис. 1.1. Автотранспортні засоби-самосвали.



Рис. 1.2. Тракторний самоскидний причіп 2 ПТС 4.

Завантаження самоскидних транспортних засобів великої місткості супроводжується підняттям кузова, при цьому слід урахувувати висоту сховищ або навісів, а також ушкоджень бульб картоплі під час розвантаження.

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

У США для перевезення картоплі застосовують спеціальні транспортні засоби, обладнані конічними бункерами з рухомим дном (рис. 1.3) і з вивантажувальним транспортером (рис. 1.4).



Рис. 1.3. Транспортний засіб, обладнаний рухомим дном.



Рис. 1.4. Транспортний засіб, обладнаний вивантажувальним транспортером.

Причому дуже часто застосовують різного типу гасителі падіння, зокрема зокрема покривають дно прогумованим полотном (фірми Dalman, Lockwood) (рис. 1.5) або встановлюють спеціальні гасителі (рис. 1.6).



Рис. 1.5. Покриття прогумованим полотном захисного козирка, розташованого над вивантажувальним рухомим транспортером кузова транспортного засобу.



Рис. 1.6. Гасителі падіння бульб картоплі в кузові транспортного засобу.

В Україні для перевезення картоплі застосовують самоскиди ЗІЛ, ГАЗ, КамАЗ, МАЗ і тракторні причеми. Вивантаження картоплі здійснюють перекиданням кузова через задній борт через особливості приймальних бункерів картоплесортувальних пунктів, що спричиняє додаткові механічні ушкодження бульб, особливо в разі використання універсальних самоскидних транспортних засобів (рис. 1.7).



Рис. 1.7. Транспортні засоби, що використовуються під час перевезення картоплі з верхньою підвіскою заднього борту.

Висновки по розділу

В розділі представлено аналіз способів і засобів для зниження пошкоджень бульб картоплі при транспортуванні та вивантаженні.

РОЗДІЛ 2

ОБГРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ЕЛАСТИЧНИХ ПЕРЕГОРОДОК КУЗОВА ТРАНСПОРТНОГО ЗАСОБУ

2.1. Конструктивно-технологічна схема кузова транспортного засобу з еластичними перегородками

За результатами аналізу механізованих вантажно-розвантажувальних робіт, що застосовуються нині, з метою зниження пошкоджень бульб картоплі розроблено перегородки кузова транспортного засобу з еластичних трубок (рис. 2.1, 2.2).

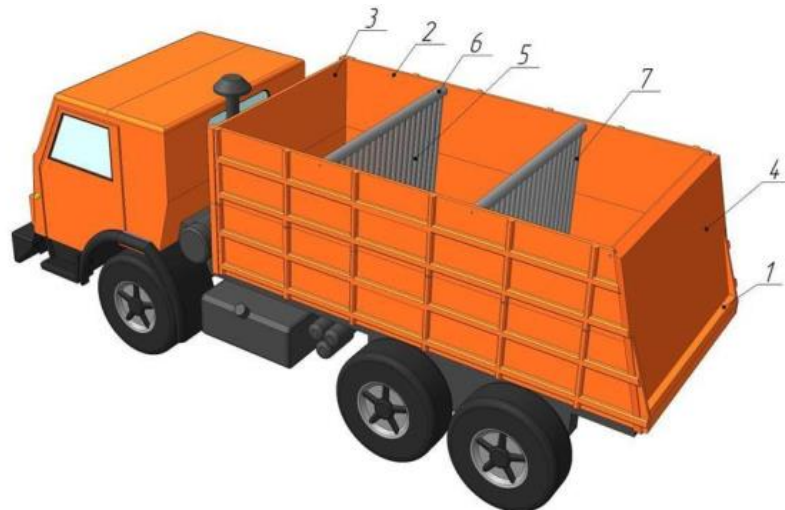


Рис. 2.1. Загальний вигляд пристосування: 1 – основа; 2 – торцеві стінки; 3 – боковина; 4 – відкидний борт; 5 – поперечна перегородка; 6 – вісь; 7 – порожниста труба.

Пристрій містить основу 1 (рис. 2.1, 2.2), пару торцевих стінок 2, боковину 3, відкидний борт 4, який у верхній своїй частині шарнірно з'єднаний з торцевими стінками 2, а в нижній частині має можливість фіксації з торцевими стінками за допомогою фіксаторів (на рис. не показано), закріплену на торцевих стінках 2 за віссю 6 поперечну перегородку 5, виконану з порожнистих трубок із пружного матеріалу 7, які мають можливість обертання навколо осі 6 поперечної

перегородки 5 і мають різну довжину, причому вона зменшується від центру поперечної перегородки до торцевих стінок 2 симетрично.

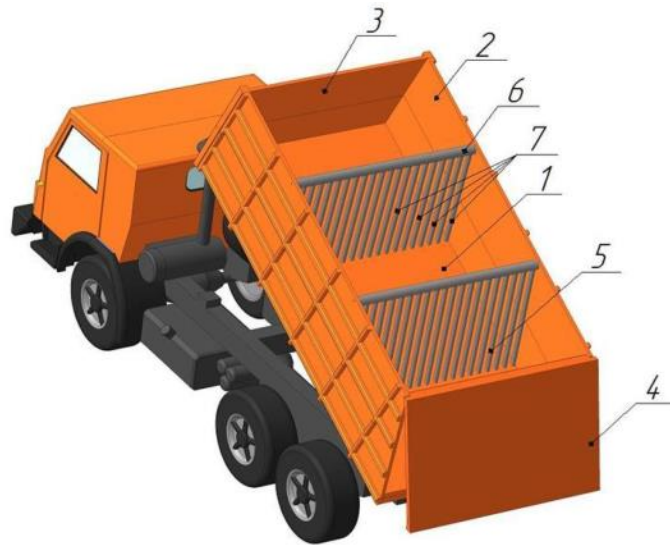


Рис. 2.2. Положення еластичної перегородки під час розвантаження: 1 – основа; 2 – торцеві стінки; 3 – боковина; 4 – відкидний борт; 5 – поперечна перегородка; 6 – вісь; 7 – порожниста труба.

Пристрій для транспортування коренебульбоплодів працює таким чином. У початковий момент вивантаження оператор відкриває фіксатори відкидного борту 4 пристрою для транспортування коренебульбоплодів. На початку вивантажуються коренебульбоплоди, розташовані біля відкидного борту. Потім у міру перекидання пристрою для транспортування коренебульбоплодів частина купи коренебульбоплодів утримує поперечну перегородку 5 від зміщення, унеможливаючи лавиноподібне сходження купи коренебульбоплодів. Завдяки меншому тертю в середній частині пристрою для транспортування коренебульбоплодів порожнисті трубки 7 поперечної перегородки 5, обертаючись навколо осі 6, змінюють кут нахилу.

Це сприяє частковому вивантаженню купи коренебульбоплодів, розташованих за поперечною перегородкою 5. Поступово звільняючи трубки 7 поперечної перегородки 5, купа коренебульбоплодів дозовано вивантажується від середини до торцевих стінок 2 пристрою для транспортування коренебульбоплодів. Величину кута перекидання змінюють поступово,

орієнтуючись на швидкість вивантаження до повного очищення основи 1. Боковина 2 пристрою для транспортування коренебульбоплодів разом із віссю 6 створює додаткову жорсткість під час вивантаження. Для регулювання швидкості вивантаження порожнисті трубки 7, виконані з пружного матеріалу, мають різну довжину, причому проміжок між трубкою та основою залежить від опору руху коренебульбоплодів по ширині пристрою для транспортування коренебульбоплодів.

2.2. Програмна реалізація математичної моделі вивантаження бульб картоплі з кузова транспортного засобу з еластичними перегородками

Для проведення комп'ютерного моделювання розроблено «Програму для моделювання пристрою для транспортування та вивантаження коренебульбоплодів» мовою Object Pascal у середовищі програмування Borland Delphi 7.

Програма зареєстрована в Укрпатенті (ЕОМ 2020614320). Програма призначена для моделювання методом динаміки частинок руху системи коренебульбоплодів при транспортуванні з вібрацією в кузові та при вивантаженні з кузова автомобіля, обладнаного еластичними перегородками.

Перед початком комп'ютерного експерименту програма дозволяє задати геометричні характеристики кузова, а також параметри коренебульбоплодів у вікнах інтерфейсної форми (рис. 2.3).

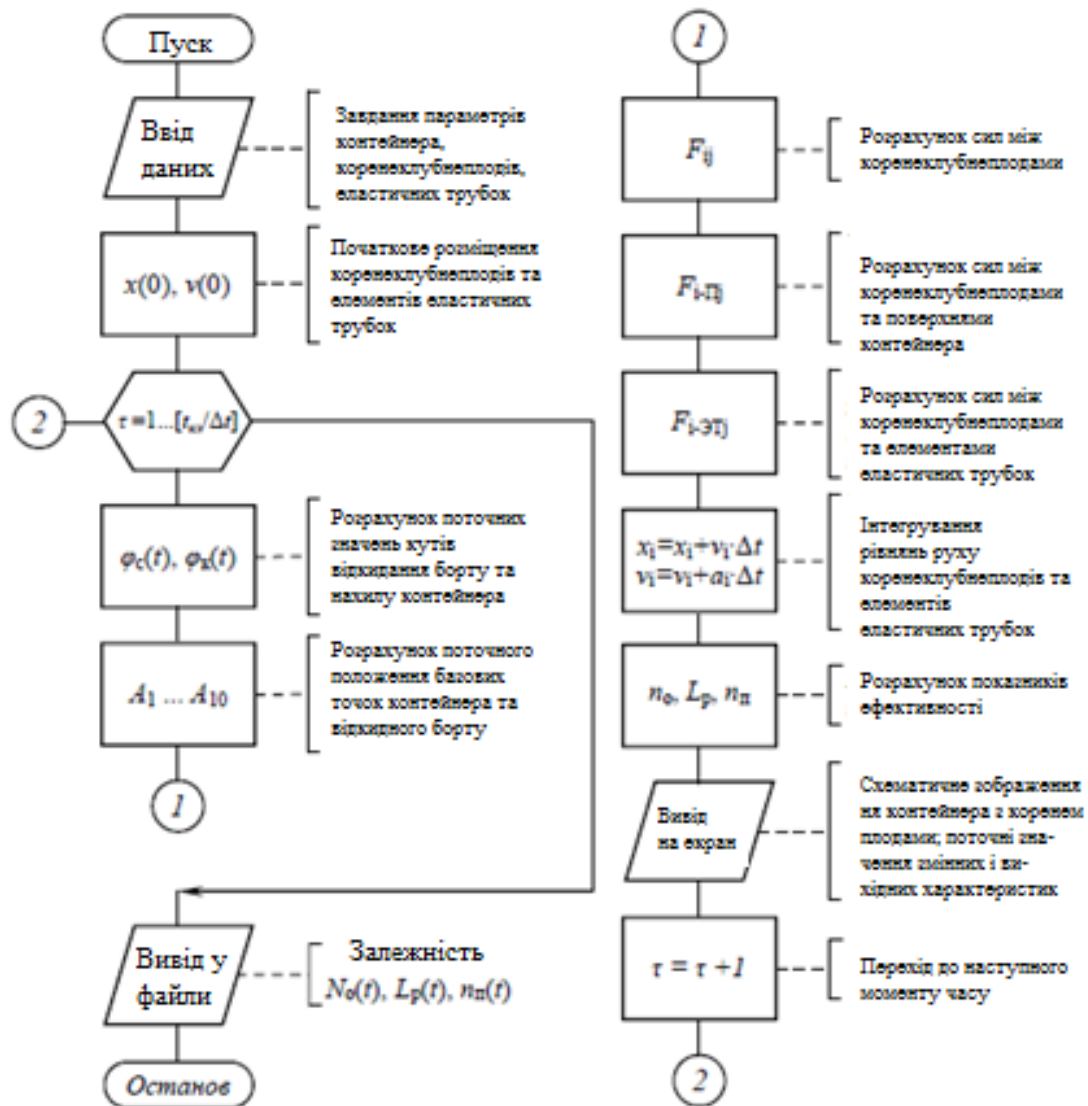


Рис. 2.3. Схема алгоритму моделювання вивантаження картоплі з кузова транспортного засобу, обладнаного еластичними перегородками. Програма застосовна для різних видів і сортів коренебульбоплодів.

«Основні технічні характеристики програми:

- кількість коренебульбоплодів від 1000 до 100000;
- діаметр коренебульбоплодів від 0,04 до 0,2 м;
- тривалість комп'ютерного експерименту з розвантаження контейнера близько 10 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 коренебульбоплодів. Особливості проведення комп'ютерного експерименту

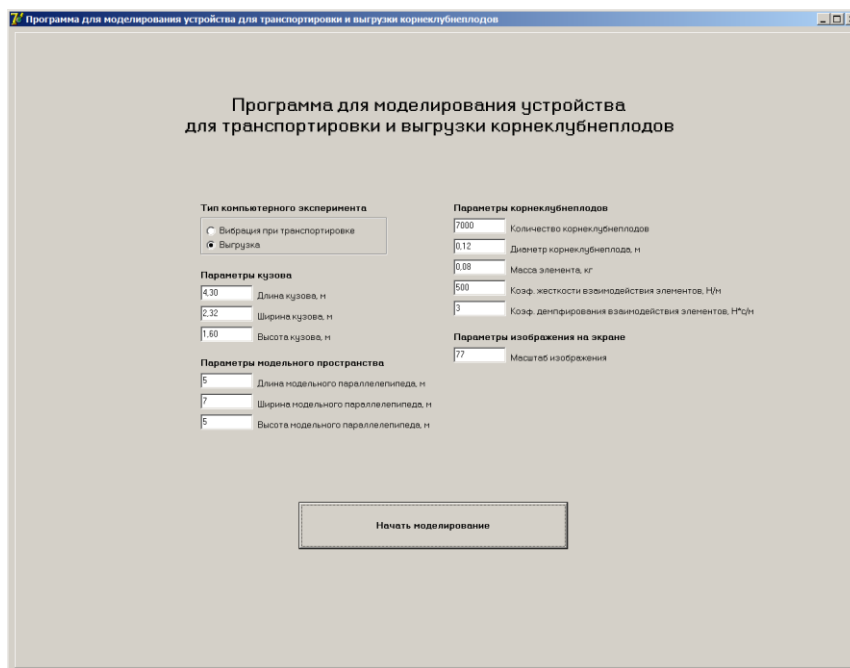


Рис. 2.4. Интерфейсна форма введення параметрів комп'ютерного експерименту

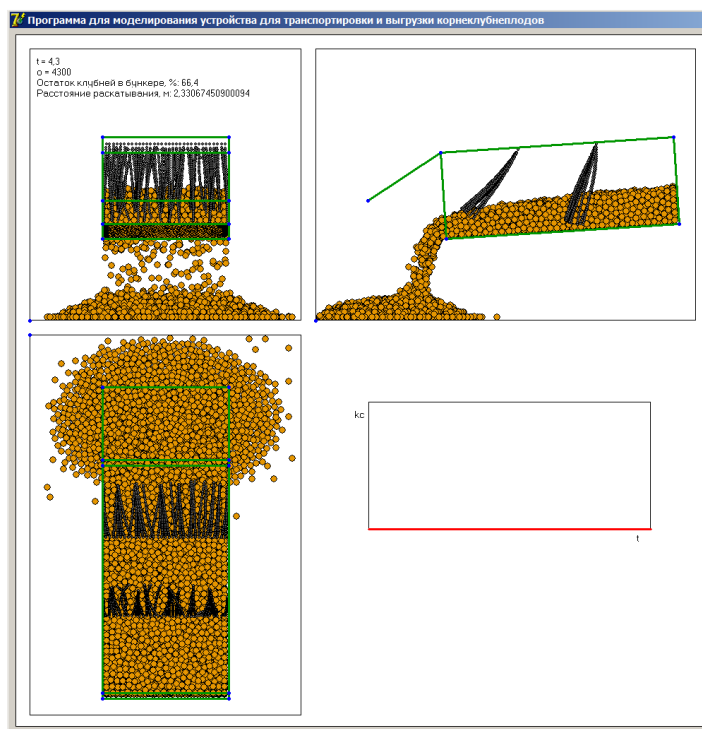


Рис. 2.5. Интерфейсна форма виведення результатів комп'ютерного експерименту: трьох проекцій кузова транспортного засобу, числових значень показників залишку коренебульбоплодів у кузові та відстані розкочування

Подальше теоретичне дослідження засноване на багаторазовому проведенні комп'ютерних експериментів з розвантаження коренебульбоплодів з пропонованого 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 коренебульбоплодів розподілялося рівномірно за обсягом контейнера (рисунк 2.6, а). Протягом 0,7 с коренеклубнеплоди осідали під дією сил тяжіння і формували випадкову щільну упаковку в нижній частині кузова транспортного засобу (рис. 2.6 б).

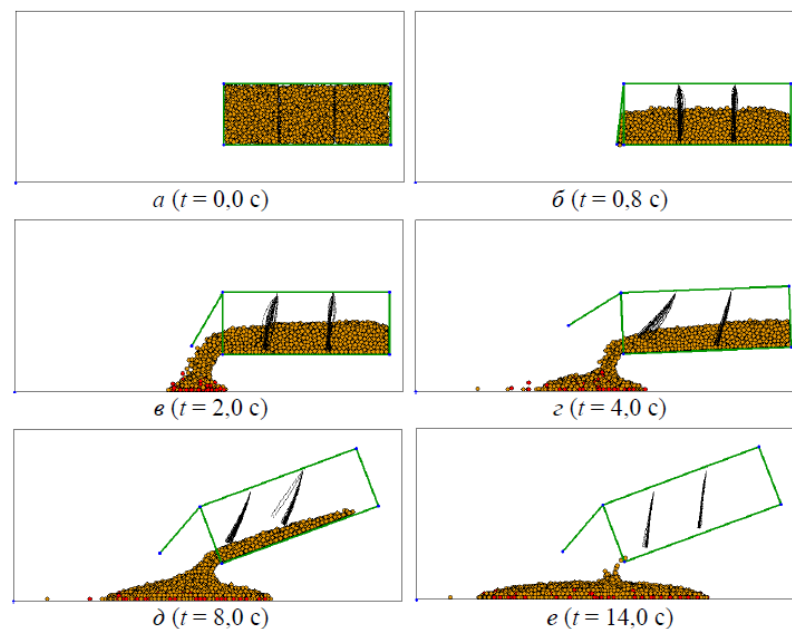


Рис. 2.6. Зміна стану системи коренебульбоплодів у комп'ютерному експерименті з вивантаження коренебульбоплодів із кузова транспортного засобу

У проміжок часу 0,7...3,5 з відкидним бортом повертався навколо осі з постійною кутовою швидкістю (рис. 2.6, в). Коренеклубнеплоди, що знаходяться між відкидним бортом і першим рядом еластичних трубок, починали висипатися із кузова транспортного засобу.

У момент часу 3,0 с починався нахил всього кузова транспортного засобу, який продовжувався з постійною кутовою швидкістю до моменту 8,0 с (рис. 2.6).

Після звільнення від коренебульбоплодів першої третини кузова транспортного засобу еластичні трубки першого ряду піднімалися і пропускали масу коренебульбоплодів, розташованих між першим і другим рядами еластичних трубок.

Після звільнення другої третини кузова транспортного засобу піднімалися еластичні трубки другого ряду і починалося вивантаження третини коренебульбоплодів, що залишилася. Необхідно відзначити, що розроблений пристрій з двома еластичними перегородками забезпечує практично постійну швидкість розвантаження, про що свідчить практично лінійний характер графіка рис. 2.9а в інтервалі 2,0 ... 9,0 с. Після зупинки нахилу кузова транспортного засобу шар коренебульбоплодів, що залишився, продовжував висипатися ще протягом близько 6 с і до моменту часу $t = 14$ с кузов транспортного засобу повністю звільнявся (рисунок 2.6 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. 2.7 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 пошкоджуваності коренебульбоплодів.

У базовому варіанті моделі спостерігалася ушкоджуваність переважно перших коренебульбоплодів при падінні з найбільшої висоти після відкидання борту. Про це свідчить різке зростання залежності частки пошкоджених коренебульбоплодів від часу (рисунок 2.7, в) та розташування виділених червоним кольором куль, що означають пошкоджені коренеклубнеплоди, переважно в нижньому шарі вивантажених коренебульбоплодів (рис.2.6, в ... е). У ході подальшого вивантаження коренеклубнеплоди падають з меншої висоти, тому надалі кількість пошкоджень збільшується слабо (рис. 2.7, в). Розроблений пристрій забезпечує досить малу частку 4,6% пошкоджених у процесі вивантаження коренебульбоплодів.

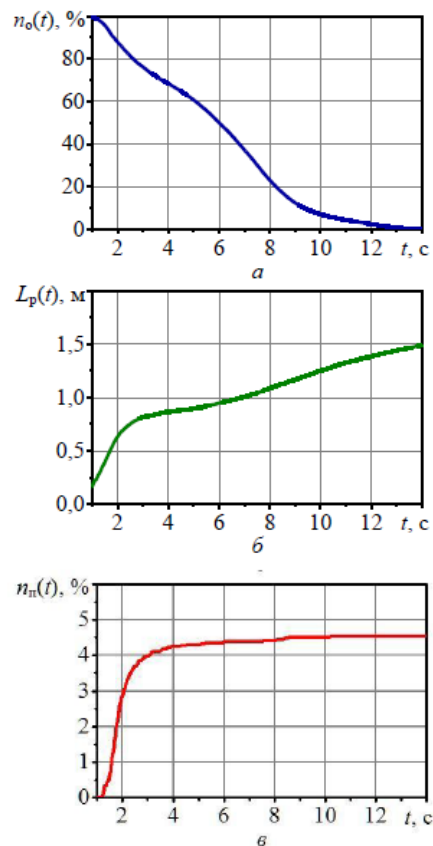


Рис. 2.7. Залежність від часу: а – частки коренебульбоплодів, які залишились в кузові транспортного засобу, б – середня відстань розкатування, в – частки пошкоджених коренебульбоплодів

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 коренебульбоплодів з 6,3 до 4,6%, при незначному збільшенні часу вивантаження з 9,7 до 11,0 с.

Висновки по розділу

Таким чином, пропонований пристрій дозволяє підвищити купчастість розвантаження і знизити пошкодження коренебульбоплодів.

РОЗДІЛ 3

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ВИВАНТАЖЕННЯ КУЗОВА ТРАНСПОРТНОГО ЗАСОБУ З ЕЛАСТИЧНИМИ ПЕРЕГОРОДКАМИ

Розроблена модель дозволяє врахувати велику кількість параметрів коренебульбоплодів, кузова транспортного засобу, еластичних трубок, параметрів процесу вивантаження, а також розрахувати основні показники ефективності вивантаження коренебульбоплодів. Взаємозв'язок між вхідними параметрами моделі та показниками ефективності схематично зображено на рис 3.1.

Змінні, 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:

m – максимальний кут нахилу кузова транспортного засобу;

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

φ_m ; c_i – коефіцієнт жорсткості еластичних трубок на вигин; прт – кількість еластичних перегородок у кузові транспортного засобу.

Друга група змінних задає властивості системи коренебульбоплодів:

h_z - висота завантаження кузова транспортного засобу;

d_k – діаметр коренебульбоплодів (у варіанті моделі з коренебульбоплодами одного і того ж діаметру);

k_e – коефіцієнт в'язкого тертя між коренебульбоплодами, що дозволяє не явним чином задавати рівні забруднення та липкості коренебульбоплодів.



Рис. 3.1. Основні вхідні та вихідні параметри моделі пристрою для транспортування та вивантаження коренебульбоплодів

До показників ефективності пристрою для транспортування та вивантаження коренебульбоплодів відносяться:

t_v - час повного вивантаження коренебульбоплодів;

L_p - середня відстань розкочування коренебульбоплодів;

n_n - частка пошкоджених коренебульбоплодів.

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

Вплив максимального кута нахилу кузова транспортного засобу φ_m із збільшенням граничного кута нахилу кузова транспортного засобу φ_m істотно збільшується інтенсивність вивантаження, що сприятливо впливає на швидкість вивантаження, але несприятливо впливає на ушкодження коренебульбоплодів та їх розкочування. Для дослідження впливу кута φ_m на ефективність процесу вивантаження провели п'ять комп'ютерних експериментів із зміною φ_m від 15° до 35° з кроком 5° (Рис. 3.1, 3.2). Для порівняння, комп'ютерні експерименти провели як для кузова транспортного засобу, оснащеного двома еластичними перегородками (суцільні лінії на графіках рис. 3.2 і далі), так і для стандартного кузова транспортного засобу без еластичних перегородок (штрихові лінії рис. 3.2 і далі).

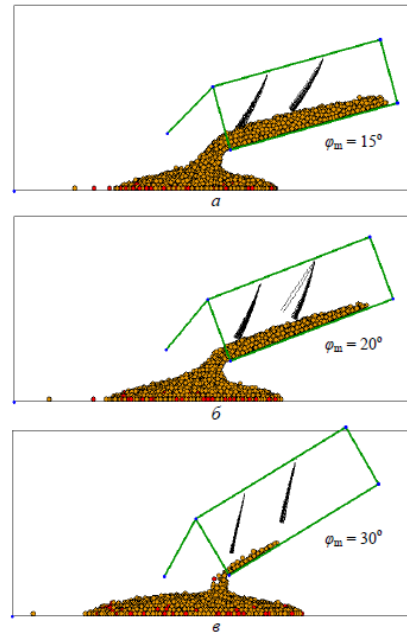


Рис 3.2. Стан системи коренебульбоплодів у момент досягнення максимального кута φ_m нахилу кузова транспортного засобу (при постійній кутовій швидкості нахилу кузова транспортного засобу 4 градуси за секунду): а – 15° , б – 20° , в – 30°

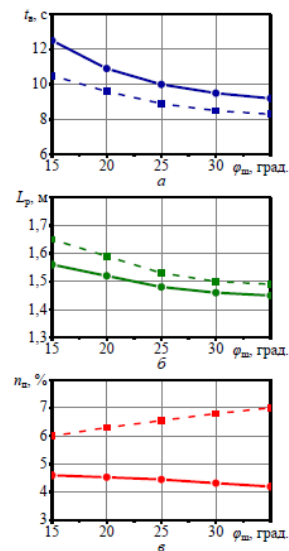


Рис. 3.3. Вплив максимального кута нахилу кузова транспортного засобу φ_m (при постійній кутовій швидкості нахилу кузова транспортного засобу 4 градуси в секунду) на час вивантаження $t_{\text{в}}$ (а), середня відстань розкочування L_p (б) та частку пошкоджених коренебульбоплодів $n_{\text{п}}$ (в). Суцільна та штрихова лінії – відповідно оснащений та не оснащений еластичними перегородками.

Визначення параметрів еластичних трубок

Еластичні трубки характеризуються двома основними параметрами: довжиною L_m та коефіцієнтом жорсткості на вигин c_i . Досліджуємо спільний вплив параметрів еластичних трубок L_m та c_i на показники ефективності і виконаємо двофакторну оптимізацію параметрів L_m та c_i .

Аналітично це завдання оптимізації можна записати так:

$$\begin{cases} t_g(L_m, c_u) \rightarrow \min; \\ L_p(L_m, c_u) \rightarrow \min; \Rightarrow L_m^{opt}, c_u^{opt}. \\ n_n(L_m, c_u) \rightarrow \min; \end{cases} \quad (3.1)$$

Вплив швидкості нахилу контейнера

Вирішення задачі оптимізації полягає в пошуку такої галузі зміни факторів L_m і c_i , в якій одночасно будуть мінімальними, час вивантаження t_v , відстань розкочування L_p і частка пошкоджених коренебульбоплодів n_n .

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

Коефіцієнт жорсткості на вигин має фізичний сенс сили, яку необхідно докласти, щоб забезпечити стрілу прогину в 1 м трубки, що спирається на два упори з відстанню між упорами 1 м. Зокрема коефіцієнт 1,0 кН/м² означає, що при додатку сили 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.

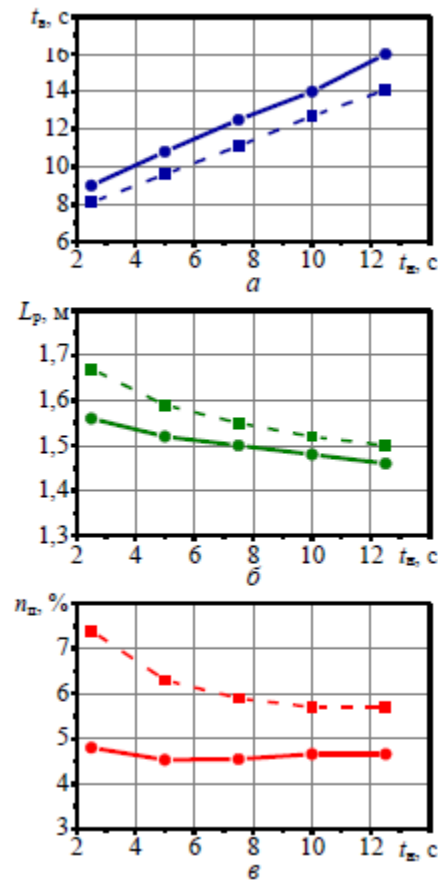


Рис. 3.4. Вплив часу t_n нахилу кузова транспортного засобу на кут 20° на час вивантаження $t_v(a)$, середня відстань розкочування $L_p(b)$ та частку пошкоджених коренебульбоплодів $n_n(v)$.

Суцільна та штрихова лінії – відповідно оснащений та не оснащений рядами еластичних трубок. На рис. 3.4 показано стан системи для двох різних довжин L_t еластичних трубок у момент часу 2,2 с від початку комп'ютерного експерименту. Як можна судити за даними проєкціям, при занадто низькій довжині еластичних трубок вони захоплюються верхніми шарами коренебульбоплодів, і надають слабкий гальмівний вплив на вивантаження (Рисунок 3.4, 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 3.4, б).

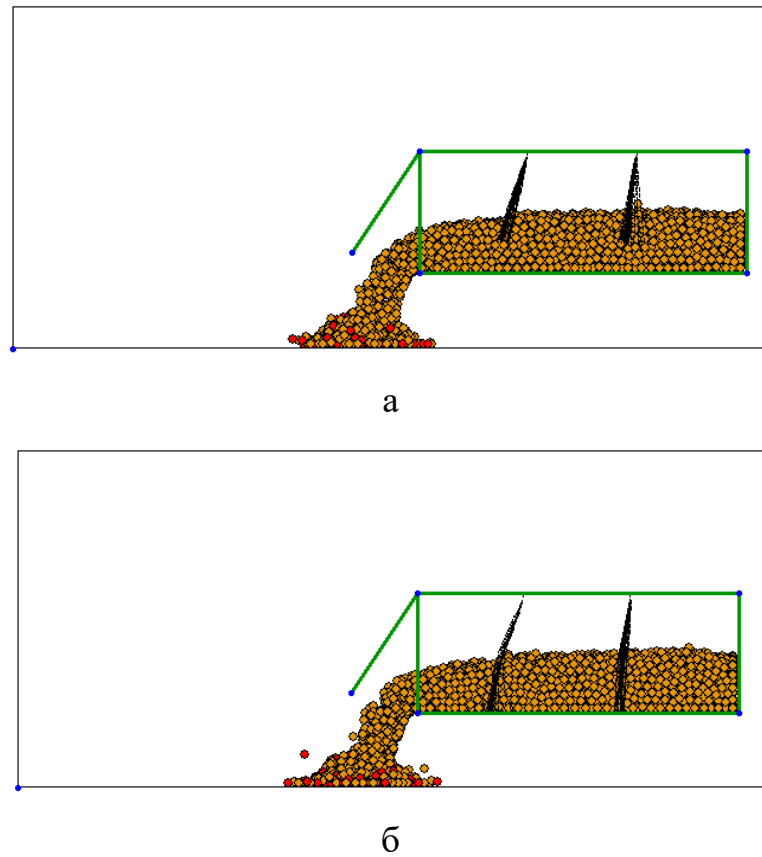


Рис. 3.5. Процес вивантаження коренебульбоплодів при різній довжині еластичних трубок L_m : $a - 1,20$ м, $б - 1,64$ м

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

$$K(L_T, c_n) = k_1 L_T^2 + k_2 c_n^2 + k_3 L_T \cdot c_n + k_4 L_T + k_5 c_n + k_6, \quad (3.2)$$

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

$k_1 \dots k_6$ – параметри полінома.

Параметри поліномів визначені методом найменших квадратів, в рамках якого мінімізувалась сума квадратів відхилень аналітичної залежності від результатів комп'ютерного експерименту:

$$\sum_{i=1}^{N_{KЭ}} \left(K_{аналит.}(L_m^i, c_u^i) - K_{KЭ}^i(L_m^i, c_u^i) \right)^2 \rightarrow \min, \quad (3.3)$$

де i та N_{KE} – порядковий номер та загальна кількість комп'ютерних експериментів; $K_{аналит.}$ – Шукана аналітична (поліноміальна) залежність критерію K від факторів h і s ; K_i K_E – значення критерію K , визначені в i комп'ютерному експерименті з параметрами h_i і s_i .

В результаті апроксимації, виконаної в програмі MathCAD 14 (Додаток Б), отримані наступні аналітичні формули для показників ефективності пристрою:

$$t_b(L_T, c_{и}) = 1,157L_T^2 + 0,104 c_{и}^2 + 2,604L_T \cdot c_{и} + 3,183L_T - 4,125c_{и} + 3,439; \quad (3.4)$$

$$L_p(L_T, c_{и}) = -0,116L_T^2 - 0,010 c_{и}^2 - 0,365L_T \cdot c_{и} + 0,147L_T + 0,487c_{и} + 1,642; \quad (3.5)$$

$$n_p(L_T, c_{и}) = 35,88L_T^2 + 0,729 c_{и}^2 + 8,333L_T \cdot c_{и} - 126,7L_T - 12,75c_{и} + 113,6, \quad (3.6)$$

де L_m вимірюється в метрах, c_i – у кілоньютонах на квадратний метр (кН/м^2), t_b – у секундах, L_p – у метрах; n_p – у відсотках.

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 $t_b(L_m, c_i)$, $L_p(L_m, c_i)$ та $n_p(L_m, c_i)$ представлені у вигляді графіків (рисунок 3.5) та картограм (рисунок 3.6).

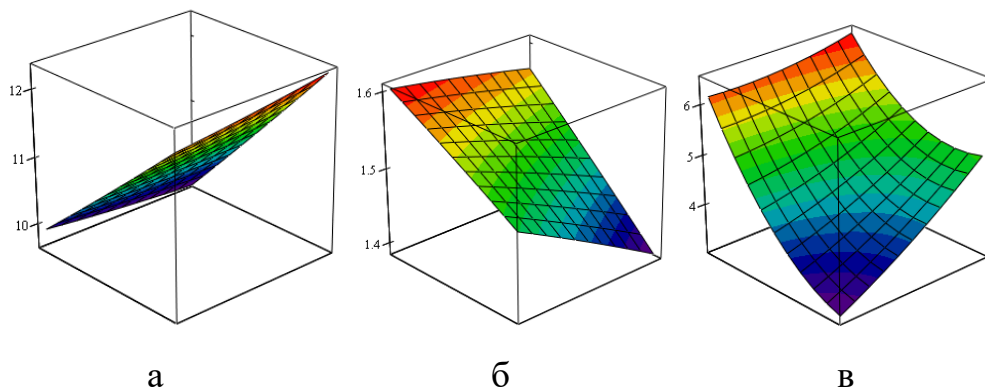


Рис. 3.6. Графіки впливу довжини L_m та коефіцієнта жорсткості на вигин сі еластичних трубок на час вивантаження t_b (а), відстань розкочування L_p (б) та частку пошкоджених коренебульбоплодів n_p (в).

Графіки дають змогу візуально проаналізувати характер поверхонь відгуку: залежності $t_b(L_m, c_i)$, $L_p(L_m, c_i)$ близькі до лінійних, тоді як залежність $n_p(L_m, c_i)$ істотно нелінійна і носить увігнутий характер. Картограми призначені для

кількісного аналізу і є видом на графіки зверху, із зображенням поверхні відгуку лініями рівня.

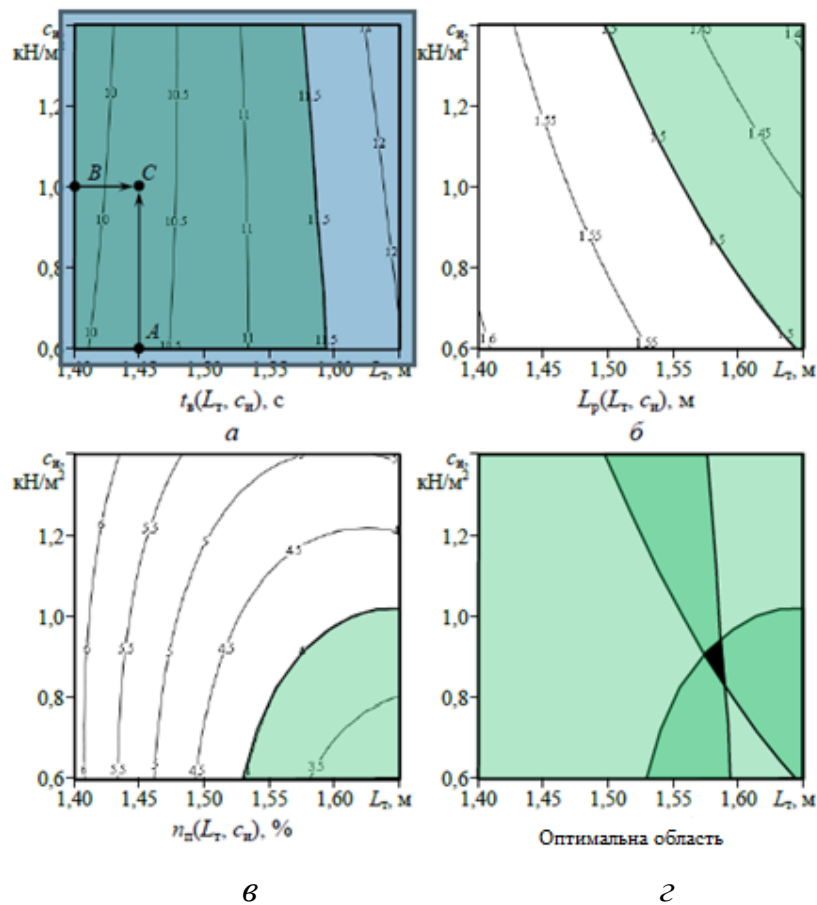


Рис. 3.7. Картограми оптимізації параметрів еластичних трубок (Затемнені сприятливі області факторного простору. Чорним виділено загальну оптимальну область)

Приклад використання картограм показаний рим. 2.7, 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 $t_\delta = 10,0$ с та $t_\delta = 10,5$ 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 $t_\delta = 11,5$ с (рисунок 3.7, а), $L_p = 1.50$ м (рисунок 3.7, б) та $n_n = 4$ % (рисунок 3.7, в). Вибір проведений, виходячи з умов, що сприятлива область займатиме значну частку факторного простору,

включатиме найменші значення критерію, і межа області буде лінією рівня на картограмі.

Перетин сприятливих областей (рисунок 3.7, г) являє собою оптимальну область, в якій одночасно враховуються вимоги низьких значень часу вивантаження, відстані розкочування та частки пошкоджених коренебульбоплодів. За розташуванням оптимальної області в факторному просторі (рисунок 3.7, 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 $0,9 \text{ кН/м}^2$. При цьому час вивантаження складе менше 11,5 с, відстань розкочування коренебульбоплодів складе менше 1,50 м, частка пошкоджених коренебульбоплодів складе менше 4,0%. Для оптимальних параметрів проведено окремий комп'ютерний експеримент, який підтвердив, що показники ефективності пристрою не перевищують зазначених значень.

Таблиця 3.1 – Вплив кількості рядів еластичних трубок n_{pt} на час вивантаження t_v , середня відстань розкочування L_p та частку пошкоджених коренебульбоплодів n_n

n_{pt}	$t_v, \text{с}$	$L_p, \text{м}$	$n_n, \%$
без рядів еластичних трубок	9,7	1,60	6,3
1 ряд	10,4	1,56	5,4
2 ряди	11,0	1,52	4,6
3 ряди	11,4	1,47	3,8

Вплив кількості еластичних перегородок

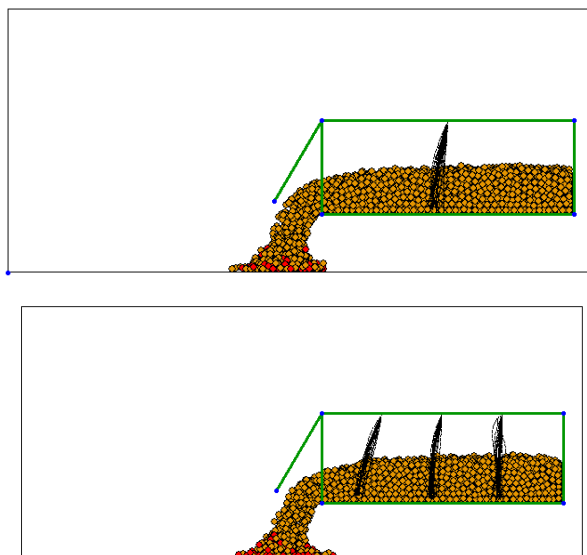


Рис. 3.8. Процес вивантаження коренебульбоплодів при різній кількості еластичних перегородок: а – 1 ряд, б – 3 ряди

Вплив висоти завантаження кузова транспортного засобу.

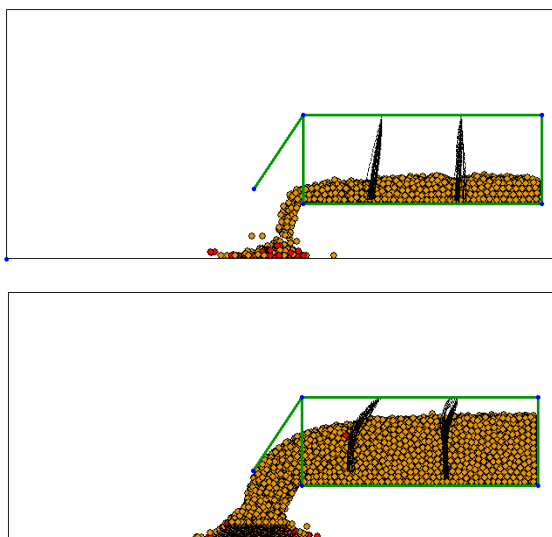


Рис. 3.9. Процес вивантаження коренебульбоплодів при різній початковій висоті завантаження кузова транспортного засобу h_z : а - 0,6 м, б - 1,4 м.

Висновки по розділу

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

ВИСНОВКИ

Розроблено математичну модель пристрою для транспортування та вивантаження коренебульбоплодів, що враховує фізичні властивості коренебульбоплодів, 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.

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

Раціональний просвіт між еластичними перегородками та дном кузова транспортного засобу становить 2 см, а коефіцієнт жорсткості еластичних трубок на вигин становить $0,9 \text{ кН/м}^2$. При цьому час вивантаження складе менше 11,5 с, відстань розкочування коренебульбоплодів складе менше 1,50м, частка пошкоджених коренебульбоплодів складе менше 4,0%.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Налобіна О.О., Шимко А.В. Аналіз розвитку галузі картоплярства та огляд картоплезбиральної техніки. Сільськогосподарські машини : зб.наук.ст. Луцьк: ЛНТУ, 2015. Вип. №31. С.106-113.
2. Шимко А.В. Удосконалення підкопуючих робочих органів корнеклубнезбиральних машин. Вісник національного університету водного господарства та природокористування : зб.наук.праць Рівне: НУВГП, 2015 Вип. №2(70). С.165-171.
3. Шимко А.В. Дослідження коефіцієнтів тертя кочення та ковзання бульб картоплі. Сільськогосподарські машини : зб.наук.ст. Луцьк: ЛНТУ, 2016. Вип. №34. С.124-129 .
4. Налобіна О.О., Шимко А.В. Дослідження взаємодії модернізованого підкопуючого робочого органа картоплезбиральної машини з бульбою. Вісник Житомирського національного агроекологічного університету : науково-теоретичний зб. Житомир: ЖНАУ, 2017. Вип. №1(58).Т.1. С.279-283 .
5. Гевко Р.Б. Підвищення техніко-економічних показників машин для збирання картоплі. Український журнал прикладної економіки. 2016. Том 1. № 1. С. 39-49.
6. Д.Г. Войтюк. Сільськогосподарські та меліоративні машини. Київ : «Вища освіта», 2004. 544 с.
7. Д.В. Александров. Картофелеуборочные машины. М.: ВИСХОМ, 1936. 118 с.
8. Басин В. С. О значении точности высева. Исследование и изыскание новых рабочих органов сельскохозяйственных машин. Москва. ВИСХОМ и УкрНИИСХОМ. 1973. Вып. 10. С. 15–18.
9. Бать М. И., Джанелидзе Г. Ю., Кельзон А. С. Теоретическая механика в примерах и задачах. Москва. Наука, 1975. Т. 2. 606 с.

10. Пасаман Б.Ф., Пасаман А.Б. Роторний копач для картоплі та коренеплодів : патент на винахід №44456 Україна : № 2001032015; заяв. 27.03.01; опубл. 15.02.02. Бюл. №2. 4 с.

11. Корнюшин В.М., Насонов В.А. Підкопувально-сепаруючий пристрій коренебульбозбиральної машини : патент на корисну модель Україна : №u200608594; заявл. 31.07.06; опубл. 15.01.07. Бюл. №1. 3 с.

12. Костенко М.Ю. Теоретические вопросы применения элеваторов с комбинированными прутками в картофелеуборочных машинах: монография. Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева. Рязань, 2010. 53 с.

13. Козаченко О.В. Ресурсозбереження в сільськогосподарських агрегатах при виконанні технологічних операцій у рослинництві [Текст] : дис. д-ра техн. наук: 05.05.11 / Козаченко Олесій Васильович. Харківський національний технічний ун-т сільського господарства ім. Петра Василенка. Х., 2006. 316 с.

14. Блезюк О.В. Обґрунтування методу підвищення працездатності та параметрів дисків викопуючого пристрою коренезбиральної машини; автореф. дис. на присв. учен. степ. кан. техн. наук 05.05.11 Машини і засоби механізації сільськогосподарського виробництва / О.В. Блезюк. Харків, 2007. 12с.

15. Комп'ютерне моделювання систем та процесів. Методи обчислень. За заг. ред. Р. Н. Кветного. Вінниця. ВНТУ, 2012. Ч. 1. 193 с.

16. Хайліс Г.А. Основи проектування і дослідження сільськогосподарських машин. К.: НМК ВО, 1992. 319 с.

17. Грабар І.Г., **Германчук Р. А.** Аналіз технічних засобів транспортування бульб картоплі. *Наукові читання–2023: матеріали науково-практичної конференції науково-педагогічних працівників, докторантів, аспірантів та молодих вчених факультету інженерії та енергетики.* 19 квітня 2023 р. Житомир : Поліський національний університет, 2023. Т. 3. С. 36-39.

18. Грабар І.Г., Германчук Р. А. Конструктивно-технологічна схема кузова транспортного засобу з еластичними перегородками. *Збірник матеріалів IX Міжнародної науково-практичної конференції „Інноваційні технології в АПК”*. 7-8 червня 2023 року, м. Луцьк. С.