

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ПОЛІСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет інженерії та енергетики
Кафедра «Агроінженерії та сервісу технічних систем»

Кваліфікаційна робота
на правах рукопису

ЦИМБАЛЮК ВОЛОДИМИР ВОЛОДИМИРОВИЧ

УДК 632.4/.937: 635.21

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

**МОДЕЛЮВАННЯ ВПЛИВУ ТРАВМУВАННЯ БУЛЬБ В
ТЕХНОЛОГІЯХ ЗБИРАННЯ ТА ЗБЕРІГАННЯ КАРТОПЛІ**

208 “Агроінженерія”

Подається на здобуття освітнього ступеня магістр

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

Керівник роботи

Міненко С.В.

кандидат технічних наук, професор

Житомир – 2024

АНОТАЦІЯ

Цимбалюк В.В. Моделювання впливу травмування бульб в технологіях збирання та зберігання картоплі.

Кваліфікаційна робота на правах рукопису.

Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня магістра за спеціальністю 208 «Агроінженерія». – Поліський національний університет, Житомир, 2024.

Кваліфікаційна робота викладена на 62 сторінках комп'ютерного набору, вона містить 4 таблиці та 9 рисунків. Складається зі вступу, 3 розділів, висновків, рекомендацій виробництву. Список використаних джерел включає 75 найменування.

У цій роботі розглядається вплив травмування бульб на їхнє подальше зберігання та реалізацію. Досліджується, як травмування картоплі різними сепараційними агрегатами картоплезбиральних комбайнів може призвести до загнивання. У статті описуються наслідки травм, завданих сепараторами, а також процеси зберігання і самозакиснення ушкоджень.

Для досягнення високого врожаю картоплі важливо зменшити травмування бульб та дотримуватися певних умов зберігання. Після післязбиральної обробки бульби потрапляють у сховище, де протягом певного часу вони можуть зажити. Тривалість цього періоду варіюється в залежності від сорту картоплі та умов зберігання, і може становити від 2-3 тижнів до 3-4 місяців.

Ключові слова: картопля, структура врожаю, урожайність, травмування, збирання, зберігання, умови зберігання, сховище.

SUMMARY

Tsymbalyuk V.V. Modeling the impact of tuber injury in potato harvesting and storage technologies.

Qualification work in the form of a manuscript.

Qualification work for the award of a master's degree in specialty 208 "Agroengineering". - Polesie National University, Zhytomyr, 2024.

The qualification work is presented on 62 pages of a computer set, it contains 4 tables and 9 figures. It consists of an introduction, 3 sections, conclusions, recommendations for production. The list of sources used includes 75 items.

This work examines the impact of tuber injury on their further storage and sale. It is studied how injury to potatoes by various separation units of potato harvesters can lead to rotting. The article describes the consequences of injuries caused by separators, as well as the processes of storage and self-healing of injuries.

To achieve a high potato yield, it is important to reduce tuber injury and adhere to certain storage conditions. After post-harvest processing, the tubers are placed in storage, where they can heal for a certain period of time.

The duration of this period varies depending on the potato variety and storage conditions, and can range from 2-3 weeks to 3-4 months.

Keywords: potatoes, crop structure, yield, injury, harvesting, storage, storage conditions, storage

ЗМІСТ

ВСТУП	5
РОЗДІЛ 1. ОСНОВНІ СПОСОБИ ВИДАЛЕННЯ ДОМІШОК ПРИ ЗБИРАННІ ТА ЗБЕРІГАННІ ВРОЖАЮ КАРТОПЛІ	7
1.1. Значення та виробництво картоплі в Україні та на міжнародному рівні	7
1.2. Аналіз методів виділення домішок та конструкцій сепараторів	9
1.3. Огляд методів і пристроїв для сортування картоплі	14
1.4. Вплив вібрацій на інтенсифікацію технологічних процесів	19
РОЗДІЛ 2. ОСНОВНІ ПАРАМЕТРИ ТРАВМУВАННЯ БУЛЬБ КАРТОПЛІ	22
2.1. Причини потемніння м'якоті картоплі та можливі способи їх запобігання	22
2.2. Фактори, що сприяють травмуванню картоплі	24
2.3. Способи запобігання потемніння м'якоті картоплі	27
2.4. Захист та стимулювання насінневого матеріалу під час посадки картоплі	28
2.5. Об'єкти та методика проведення досліджень	30
РОЗДІЛ 3. ВПЛИВ МЕХАНІЧНИХ ПОШКОДЖЕНЬ БУЛЬБ КАРТОПЛІ ПІД ЧАС ЗБЕРІГАННЯ	33
3.1. Вплив механічних пошкоджень на бульби картоплі	33
3.2. Моделювання впливу травмування бульб	34
ВИСНОВКИ	42
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	45

ВСТУП

Актуальність теми. Стратегічна галузь економіки України — виробництво кормових культур. Завдяки високій врожайності картоплі інтерес до її вирощування зростає. Для досягнення значної ефективності вирощування також потрібна краща агротехніка. Організація живлення на протязі всього періоду вегетації є важливою. Отже, головним завданням у сучасному світі є не тільки знайти найкращі організаційно-технологічні методи для ефективного використання наявного природно-ресурсного потенціалу, але й його збереження та розробка стратегії сталого розвитку аграрного виробництва, яка базується на більш повному та екологічно безпечному використанні природного потенціалу та ресурсів промислового походження.

Зважаючи на це, сучасні тенденції розвитку галузі рослинництва в Україні вимагають використання сучасних методів збирання, оскільки саме збирання є найважливішим фактором, який впливає на подальше зберігання продукції рослинництва. Підкопування є одним із інноваційних методів збирання, який дає можливість менше пошкоджувати бульби картоплі протягом певного періоду завдяки біологічним характеристикам, а також частково усувати зовнішні стреси.

Одним із найбільш ефективних способів вплинути на якість зібраного матеріалу та врожайність є вчасне збирання. Це також відіграє важливу роль у забезпеченні високих врожаїв. Це дозволяє більше бульб зібрати, не пошкоджуючи їх пошкодженням чи холодом.

Мета і завдання дослідження.

Мета дослідження полягала у моделюванні впливу травмування бульб у технологіях збирання та зберігання картоплі

Завдання дослідження полягає показати як травмуються бульби картоплі під час збирання, транспортування та закладці на зберігання

Об'єкт дослідження – визначення впливу травмування бульб картоплі при збиранні на подальше їх тривале зберігання.

Предмет дослідження – процеси, які проходять в бульбі картоплі, після травмування, процеси зарубцювання та подальше зменшення ознак травмування для покращення подальшого зберігання.

Методи дослідження: 1) лабораторний метод – для проведення визначення якісних та кількісних характеристик травмованих бульб картоплі; 2) математично-статистичний – для розрахунку оцінки достовірності одержаних результатів досліджень.

РОЗДІЛ I

ОСНОВНІ СПОСОБИ ВИДАЛЕННЯ ДОМШОК ПРИ ЗБИРАННІ ТА ЗБЕРІГАННІ ВРОЖАЮ КАРТОПЛІ

1.1 Значення та виробництво картоплі в Україні та на міжнародному рівні

Картопля є однією з найважливіших продовольчих культур у світі, поступаючись лише пшениці, рису та кукурудзі. Більш ніж мільярд людей по всьому світу споживає картоплю, зокрема півмільярда осіб у країнах, що розвиваються. Щорічно в світі виробляється близько 310 мільйонів тонн картоплі, найбільшим виробником якої є Китай, що забезпечує майже 60 мільйонів тонн від загального обсягу світового виробництва.

Кожна технологічна система для збирання врожаю та післяжнивної обробки потребує використання машин, які створюють навантаження на рослинний матеріал, забезпечуючи відповідну кількість і якість продукції. З одного боку, для нормального функціонування машин необхідний механічний вплив, але з іншого боку, це може призводити до небажаних наслідків, таких як втрати. Підвищення продуктивності машин часто супроводжується більш агресивним впливом на матеріал, що зазвичай викликає більшу шкоду посівам. Раціональне використання машин для збирання та післяжнивної обробки може бути досягнуто шляхом відповідного вибору і налаштування робочих параметрів, а також вибору оптимального часу для виконання технологічних процесів.

Комбайни збирають бульби картоплі лише для переробки. До тих пір збирання продуктів для споживання відбувається вручну. Це не означає, що в результаті використання цієї технології фрукти не контактують з механічними елементами безпосередньо. Під час збирання використовуються різні типи пристроїв, які полегшують ручне збирання та збільшують вихід. Це включає елеватори та конвеєри. Використання автономних роботів для збору бульб значно зменшило навантаження, яке призводить до пошкодження бульб. Удосконалення

цих робіт, безсумнівно, зменшить шкоду, завдану бульбам, особливо якщо вони збираються для споживання.

У процесі збирання, транспортування та зберігання бульби картоплі піддаються ударним пошкодженням, яке включає розчісування чорної плями всередині бульби, що призводить до зниження якості та збільшення втрат. Під час обробки картоплі картопля рухається в різних напрямках і вдаряється об стрижні транспортера, бічні стінки або одна картопля об іншу. Це призводить до внутрішніх синців і зовнішніх пошкоджень. Напроту необхідно підтримувати на певному рівні, щоб зменшити механічні пошкодження під час роботи. Таким чином, резонансну частоту, модуль пружності та коефіцієнт загасання повинні бути виміряні. Це допоможе розробити інструменти для обробки та транспортування картоплі під час транспортування, що зменшить пошкодження внутрішніх і зовнішніх частин картоплі.

Основною причиною втрат картоплі після збору врожаю є механічні пошкодження [30], особливо в нерозвинених країнах, і необхідні значні дослідження в цій галузі. Післязбиральна система зазнає механічних пошкоджень у основному двома способами: силами удару та зусиллями стискання. Збирання, сортування, обробка та транспортування — це всі процеси, які мають найбільший вплив [21].

Основною причиною втрати картоплі є ударне механічне пошкодження, також відоме як забиття. Це може статися через вібрацію або раптове падіння бульб з певної висоти. Протягом багатьох років було проведено багато досліджень, спрямованих на оцінку механічних властивостей і схильності картоплі до пошкодження. Картопля має два показники чутливості до ударів: поріг удару та стійкість до удару. Коли бульби труться одна об одну, пакувальні контейнери, частини технологічного обладнання та дерево утворюють синці на картоплі [14].

Посиніння бульб є одним із головних чинників, що обмежують можливості механізації та автоматизації процесів збирання, сортування та транспортування картоплі. Темні плями на поверхні бульб виникають через сильні механічні

пошкодження, які вони зазнають при контакті з іншими об'єктами. Ступінь синців зазвичай оцінюється за об'ємом уражених ділянок, що безпосередньо пов'язано з якістю продуктів [14]. Синці є частиною загальної шкали механічних пошкоджень картоплі, що призводять до значних втрат врожаю, які можуть досягати десятків відсотків [64].

1.2. Аналіз способів виділення домішок та конструкції сепараторів.

Післязбиральна та передпосадкова обробка картоплі включає сепарацію ґрунтових і рослинних домішок, відокремлення дрібних і некондиційних бульб, а також сортування. Ці процеси мають велике технологічне значення для створення оптимальних умов зберігання картоплі як при природній, так і при активній вентиляції, а також для зменшення втрат під час зберігання, покращення якості сортування та підготовки товару.

Домішки, такі як вільний ґрунт і рослинні залишки, видаляються за допомогою спеціальних механізмів різних конструкцій. Ефективність сепарації значною мірою залежить від типу, вологості та фізико-механічних властивостей домішок, які надходять разом із картоплею. Наразі існує кілька основних технологій для відділення домішок, які характеризуються ступенем ушкодження бульб, продуктивністю пристроїв та ефективністю виділення конкретних домішок.

Процес сепарації базується на відмінностях у фізико-механічних властивостях компонентів картопляного вороху. Відомі класифікації ознак поділу, за якими проводиться сепарація. Сепаруючі пристрої повинні відповідати агротехнічним вимогам.

Відокремлювачі можна поділити на дві групи:

1. Автоматичні електронні універсальні пристрої.
2. Механічні пристрої.

Пристрої першої групи контролюють кожен об'єкт у воросі за такими критеріями, як колір, блиск, флуоресценція, електричні та акустичні властивості. Автоматичні відокремлювачі можуть забезпечити повне відділення бульб від

домішок, включаючи каміння, і демонструють стабільний розподіл домішок на рівні 95–98% у лабораторних умовах. Проте їх застосування в господарствах обмежене через складність, високу вартість і вимоги до попередньої обробки картоплі та кваліфікації персоналу.

Механічні відокремлювачі здатні обробляти ворох без попередньої підготовки, що дозволяє створювати високопродуктивні сепаратори. Чутливість пристроїв до фізико-механічних властивостей бульб і домішок впливає на якість сепарації, тому вивчення можливостей поділу ґрунтується на дослідженні цих властивостей.

Відділення бульб від домішок у механічних сепараторах базується на таких фізико-механічних характеристиках, як форма, тертя, швидкість відновлення, маса, щільність, розмір і міцність. Найбільше значення для механічних сепараторів мають коефіцієнти тертя котіння та ковзання, а також розмір.

До відокремлювачів, що функціонують за ознаками тертя, належать поздовжні та поперечні пальчасті гірки або їх комбінації. Ці пристрої прості в конструкції, обробляють ворох без попередньої підготовки, практично не пошкоджуючи бульби, і здатні виділити 50–80% бульб та 50–90% ґрунту. Гірки з пальчастою поверхнею ефективно видаляють рослинні залишки та дрібні ґрунтові домішки.

Проте такі відокремлювачі мають обмежену продуктивність через необхідність подавати бульби в один шар і залежать від вологості матеріалу. При високій вологості (до 40%) поверхня гірки може залипати, що знижує ефективність сепарації.

Пристрої просіювального типу, такі як конвеєрні, гуркітні, вальцові, пайлерні, пружинні, роторно-пальцеві та кулачкові, також використовуються для виділення домішок за розміром.

Відокремлювачі, які працюють за принципом поділу на основі коефіцієнтів тертя ковзання та котіння, використовують поздовжні та поперечні пальчасті гірки або їх комбінації. Такі відокремлювачі мають просту конструкцію, здатні обробляти ворох без попередньої підготовки, майже не пошкоджуючи бульби, та

відокремлюють 50-80% бульб і 50-90% ґрунту. Гірки з пальчастою поверхнею ефективно відділяють рослинні рештки і дрібні ґрунтові домішки: ґрунт провалюється між пальцями, тоді як рослинні рештки залишаються на їх кінцях, що покращує процес відділення.

Серед недоліків таких відокремлювачів варто зазначити обмежену продуктивність, пов'язану з необхідністю подавати бульби в один шар, а також залежність від вологості оброблюваного матеріалу. При наявності великої кількості вологого ґрунту (до 40%) поверхня гірки може залипати, що призводить до зменшення якості сепарації, оскільки рослинні домішки рухаються разом із бульбами.

Для виділення домішок за розміром використовуються просіювальні пристрої: конвеєрні, гуркітні, вальцові, пайлерні, пружинні (спіральні), роторно-пальцеві та кулачкові. Їх основне призначення залежить від вологості ґрунту та включає виділення дрібних ґрунтових і рослинних домішок, часткове руйнування грудок і очищення бульб від налиплого ґрунту.

Форма робочих органів ротаційних сепараторів суттєво впливає на інтенсивність їх взаємодії з бульбами, здатність до транспортування та якість обробки вороху, а також на доцільність їх використання в конкретних ґрунтово-кліматичних і господарських умовах. Ротаційні сепаратори можуть мати різні робочі органи: дискові, пружинні, роторно-пальцеві, пайлерні та кулачкові.

Серед найпоширеніших ротаційних сепаруючих пристроїв можна виділити сепаратори картоплесортувальних пунктів КСП - 15 В, КСП – 15 Б і КСП - 25, які оснащені дисковими робочими органами. Основні параметри таких сепараторів включають діаметр дисків (D), зазор між ними (C), частоту обертання (n), довжину (L) і ширину (B) сепаратора. Значну роль у переміщенні бульб по дисках відіграють величини зазору (C) та діаметра дисків (D), які визначаються на основі взаємодії одиночних тіл і пар тіл з дисками.

Дисковий сепаратор складається з набору валів, на яких встановлені диски. Якість його роботи значною мірою залежить від типу ґрунтових домішок і їх вологості. Цей сепаратор в основному призначений для виділення дрібних ґрунтових домішок, які підлягають просіюванню. В експлуатації в господарських умовах виявлено, що при наявності рослинних решток та бадилля вони можуть намотуватися на вали. Коли вологість ґрунтових домішок досягає 28%, вони налипають на диски, що суттєво погіршує сепарацію. Дискові сепаратори працюють у інтенсивному режимі з частотою обертання до $12,6 \text{ с}^{-1}$, що допомагає частково запобігти налипанню ґрунту та забезпечує стабільне переміщення бульб. Однак цей режим значно підвищує швидкість зіткнення між бульбами та робочими органами, в результаті чого пошкодженість картоплі може досягати 30% за масою.

До сепараторів з пружинними робочими органами належать пристрої, що використовуються в обладнанні для післязбиральної обробки картоплі та коренеплодів, вироблені зарубіжними компаніями, такими як Miedema, Grimme та інші. Ці сепаратори мають схожу конструкцію з незначними відмінностями, наприклад, у матеріалах робочих органів та способах очищення. Як приклад, розглянемо пружинний сепаратор голландської компанії Miedema BV, чия робоча поверхня складається з блоку спіральних металевих пружин, які розташовані послідовно один за одним і обертаються в одному напрямку. (Рис. 1.1).

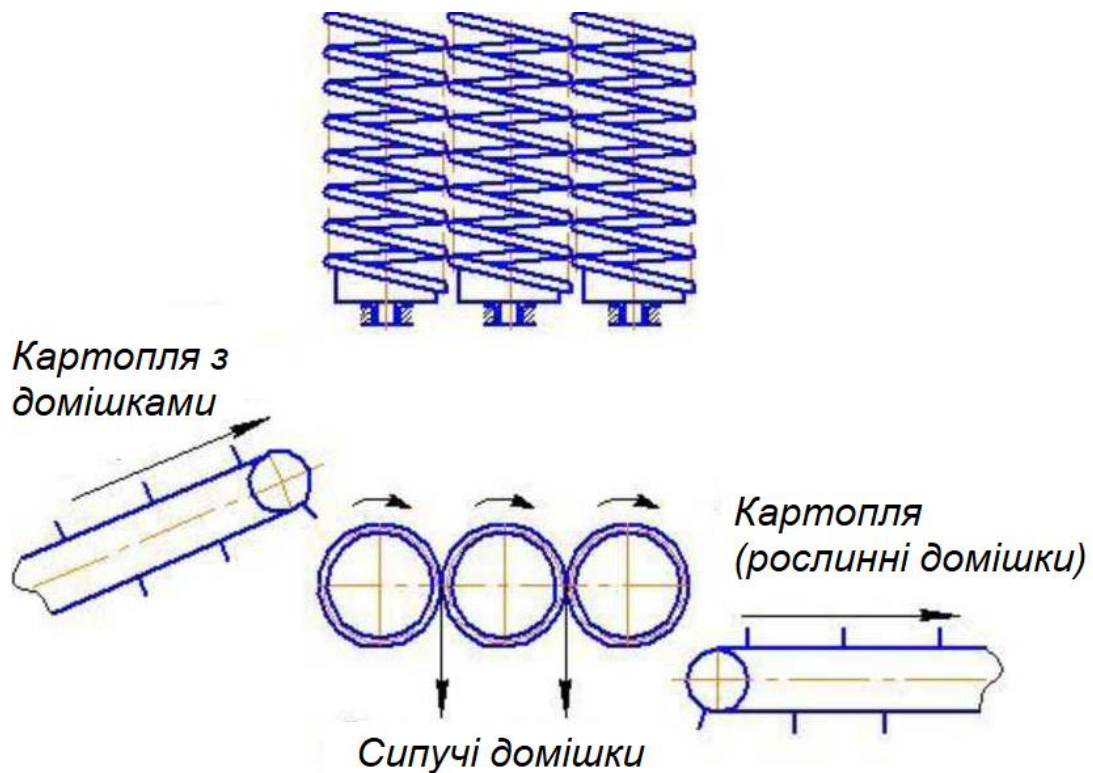


Рис. 1.1 Схема пружинного сепаратора

На ефективність роботи пружинного сепаратора значно впливають кілька ключових факторів: частота обертання валів з пружинами, відстань між сусідніми пружинами, природна вібрація пружини, а також кількість і вологість домішок у картопляному воросі та спосіб подачі цього вороху. При обробці вороху з підвищеною вологістю (до 30%) і значним вмістом ґрунтових і рослинних домішок (до 40%) ґрунт може налипати на пружини, а рослинні залишки намотуватися на них. Це може призвести до надлому пружин у місці їх кріплення до валу в крайньому положенні, що, в свою чергу, збільшує відстань між сусідніми пружинами. У результаті, в ділянках сепарації бульби можуть бути затиснуті та видавлені, що призводить до збільшення їх ушкоджень. Якість відділення домішок погіршується, і разом із картоплею під час завантаження у насип виходить значна кількість ґрунту, утворюючи ґрунтові стовпи. (Рис 1.2).



Рис. 1.2 Результати роботи пружинного сепаратора

Робоча частота обертання пружин, згідно з даними [42, 75], коливається в межах $4,8...19,7 \text{ с}^{-1}$, що відповідає інтенсивному режиму. Це призводить до збільшення швидкості зіткнень між бульбами і робочими елементами, що підвищує ризик їх пошкодження.

1.3. Огляд методів і пристроїв для сортування картоплі.

Кагати картоплі, які надходять на сортуючий пристрій, складаються з бульб різних фракцій. Метою сортування є розділення бульб за розмірно-масовими характеристиками відповідно до вимог до оброблюваної продукції.

При завантаженні на зберігання восени повне сортування на фракції зазвичай не виконується, щоб зменшити пошкодження свіжозібраних бульб. Наприклад, при закладці продовольчої картоплі на зберігання восени з усієї маси

виділяються домішки та дрібні нетоварні бульби масою до 25 г. Така обробка забезпечує оптимальну шпаруватість насипу та хорошу вентиляцію під час зберігання. Під час зберігання або після сортування бульб на фракції [49, 70].

Процес сортування картоплі за допомогою різних механічних пристроїв характеризується такими основними показниками: точність поділу бульб на фракції, питома продуктивність та ступінь пошкодження оброблюваного матеріалу [10, 27].

Ефективність сортування картоплі значною мірою залежить від розмірно-масових характеристик бульб, умов роботи та особливостей конструкції робочих органів і сортуючих пристроїв [4]. У відомих вітчизняних та зарубіжних сортуючих системах бульби поділяються на фракції за розміром на робочих органах з різними формами отворів, які калібрують.

Отже, чим швидше бульби отримують спрямоване орієнтування та проходять через калібрувальні отвори або переходять на наступну ділянку, тим вища продуктивність сортуючої поверхні. Тому використання в сортуючих пристроях механізмів для спрямованого орієнтування бульб, а також розробка робочих органів, що сприяють цьому, може підвищити продуктивність і є перспективним напрямом розвитку конструкцій сортуючих пристроїв.

Для зменшення контактних пошкоджень бульб під час їх взаємодії з робочими органами та між собою потрібно зменшити кількість механізмів і перепадів між ними, збільшити радіус кривизни робочих органів, застосовувати захисні покриття з полімерних матеріалів та гуми спеціальних марок, а також розробляти нові форми робочих органів. У цьому контексті поєднання сепаруючих і сортуючих робочих поверхонь в одному пристрої дозволяє уникнути додаткових механізмів і забезпечує прямий перехід бульб з однієї ділянки на іншу, що є перспективним напрямком. Розглянемо основні робочі органи та пристрої, які використовуються для сортування картоплі з цих позицій. Сортування бульб за товщиною реалізується в конструкції сортуючого пристрою з ремінною робочою поверхнею, оснащеною калібруючими отворами щілинної довгастої форми.

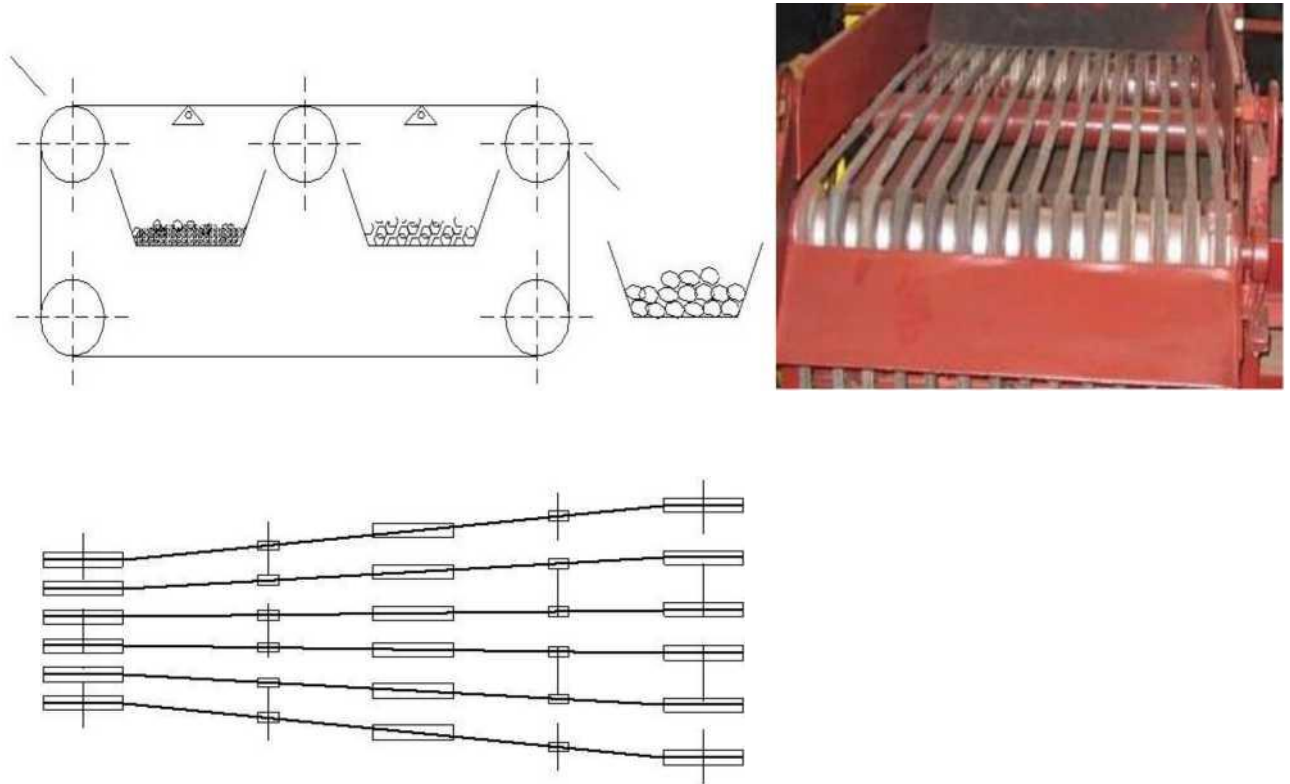


Рис. 1.3 Ремінний сортуючий пристрій

Круглі ремені сортувального пристрою формують віялоподібну поверхню з поступово збільшуваним розміром щілинного зазору. Для забезпечення поділу картоплі та інших коренеплодів на кілька фракцій передбачена безступінчаста зміна калібруючого зазору між ременями круглої форми. Це дозволяє універсально використовувати пристрій для сортування бульб і коренеплодів різних форм і розмірів.

Ремінна поверхня є високоефективною та практично не пошкоджує оброблюваний матеріал, оскільки швидкість переміщення сортованої маси й робочої поверхні є однаковою, а вплив останньої на бульби знижений. Конструкція ремінної поверхні також забезпечує безперешкодний перехід бульб з однієї зони сортування в іншу. Експериментальні дослідження показали, що точність поділу картоплі на ремінному сортуванні значною мірою залежить від стабільності розміру щілинних отворів. Під час роботи пристрою, коли бульби взаємодіють з сортувальною поверхнею, може відбуватися зміна калібруючої щілини між ременями, що негативно впливає на точність сортування. Одночасне

переміщення бульб і ременів виключає можливість додаткового очищення бульб від ґрунту.

Продуктивність ремінної поверхні тісно пов'язана з точністю сортування. Щоб досягти високої точності, бульби повинні розташовуватися на ременях в один шар, оскільки це мінімізує їхнє відносне переміщення, що забезпечується переважно струшувачами. Однак це обмежує можливості підвищення продуктивності сортувальної поверхні. Для сортування бульб за шириною використовують роликові робочі органи (Рис. 1.4), які формують калібруючі отвори,

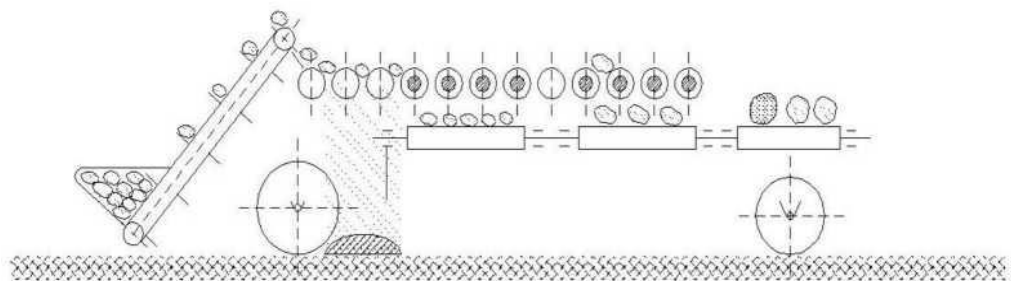
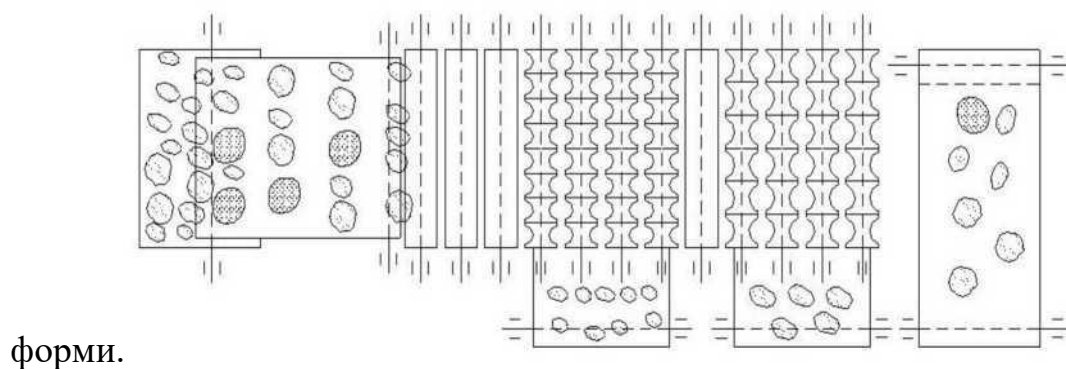


Рис. 1.4 Принцип роботи сепаруючого пристрою з роликовою поверхнею

У цьому обладнанні реалізовано принцип поєднання сепараційних і сортуючих поверхонь. Використовувані в комбінованих поверхнях дискові, пружинні та інші робочі елементи забезпечують ефективне розподілення вороху, відокремлення домішок і рівномірну подачу бульб на сортуючу поверхню без потреби у додаткових механізмах. Регулювання калібруючих отворів роликових сортуючих систем здійснюється шляхом зміни відстані між сусідніми

роликівими валами. Для сортировки за Р-розміром використовуються сітчасті робочі елементи, які складаються з безкінечного сітчастого полотна зі квадратними отворами фіксованого розміру (Рис. 1.5).

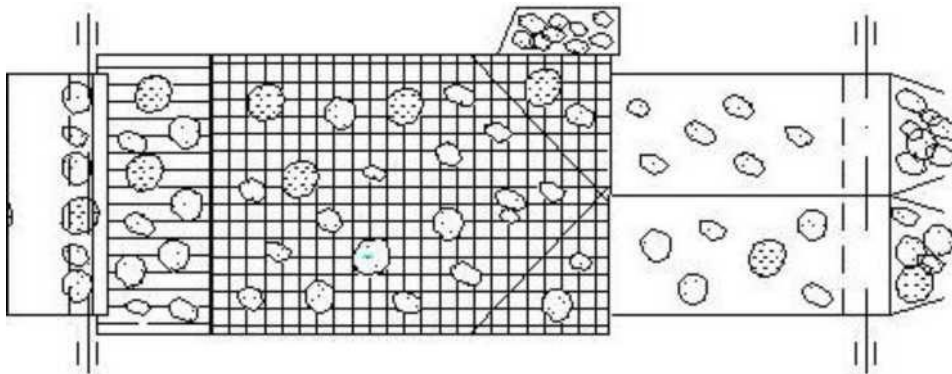


Рис. 1.5 Принцип роботи сітчастого сортувального пристрою

Інший спосіб надання бульб спрямованого орієнтування реалізований у конструкції сортуючої поверхні з ременями, де поділ відбувається за ознакою товщини. Для цього ремінна поверхня додатково оснащена орієнтуючими дисками, які розташовані між ременями. Це забезпечує правильне орієнтування бульб і коренеплодів у калібрувальних отворах. Орієнтуючі диски допомагають повертати бульби вздовж щілин, створених ременями.

При сортуванні коренеплодів і бульб подовженої форми кращій орієнтації сприяють різні швидкості сусідніх ременів сортуючої поверхні (різниця 0,1 - 0,2 м/с). Це призводить до їх повороту та орієнтації вздовж калібрувальних отворів.

Як видно з цього огляду, механічні сортувальні пристрої, що ґрунтуються на ознаці товщини, мають більший потенціал для реалізації принципу активного орієнтування продукції в порівнянні з пристроями, що базуються на інших ознаках.

Результатом спрямованого орієнтування та пришвидшення взаємодії бульб з калібруючими отворами є скорочення часу, необхідного для порівняння розміру бульби та калібрувального отвору.

Згідно з даними [15, 1], сортувальні системи з ротаційними робочими органами на основі роторно-пальцевих пристроїв здатні виконувати сепарацію домішок та сортування бульб на одній робочій поверхні за допомогою

універсальних робочих органів. Поділ бульб відбувається за товщиною через калібрувальні отвори щілинної форми. Для реалізації цього процесу була розроблена експериментальна конструкція робочих органів, що формують калібрувальні отвори.

1.4. Вплив вібрацій на інтенсифікацію технологічних процесів

У машинобудуванні вібрація використовується досить широко, оскільки вона впливає на багато технологічних процесів, змінюючи їхню природу в порівнянні з традиційними умовами. У [7] розглядаються основні аспекти цього явища, серед яких:

- переміщення об'єктів або сипучих матеріалів по вібруючих поверхнях, що активно застосовується у вібраційних транспортних і технологічних системах;
- зменшення ефективності певних елементів технологічних процесів під впливом вібрацій, що може призвести до покращення фізичних характеристик, наприклад, зниження сухого тертя між тілами, що значно зменшує опір їх руху під дією постійних або повільно змінюваних сил;
- розшарування частинок сипучих матеріалів за їхньою вагою і розміром під впливом вібрації, що викликане силою тяжіння та зниженням ефективних коефіцієнтів тертя;
- поділ частинок на вібруючих поверхнях за щільністю, що відбувається при зниженні коефіцієнта внутрішнього тертя, форми та інших параметрів (вібросепарація).

У деяких випадках технологічні процеси можуть здійснюватися лише завдяки вібрації, тоді як у інших — її використання істотно прискорює процеси та покращує якість результатів [7, 72].

Повторні переміщення бульб по решету завдяки коливальному руху підвищують ймовірність просіювання дрібної фракції. У випадку подовженої

форми частинок, прямолінійні коливання можуть бути ефективнішими, оскільки вони забезпечують певну орієнтацію частинок щодо отворів.

Вібраційні лемеші забезпечують ефективну роботу, менше забиваються ґрунтом і рослинними залишками, а також мають менший опір при русі.

У розглянутих системах вібраційний вплив робочого органу на оброблюваний матеріал сприяє:

- рівномірному розподілу матеріалу по робочій поверхні;
- транспортуванню уздовж робочого каналу для забезпечення безперервності процесу;
- самосортуванню, що дозволяє меншій та більш щільній частинкам занурюватися в нижні шари, а більшим — спливати на поверхню;
- просіюванню, що включає проходження через калібрувальні отвори частинок менших розмірів;
- роздільному виведенню фракцій з робочого простору;
- розриву ґрунтових грудок та зменшенню коефіцієнта внутрішнього тертя завдяки зниженню зв'язності ґрунту;
- інтенсифікації та покращенню якості калібрування шляхом орієнтування частинок щодо калібрувальних отворів.

Висновки: Аналіз конструкцій і процесів у сортувальних та сепаруючих системах виявив наступні моменти:

- комбінування сепаруючих і сортуючих поверхонь забезпечує безперервний перехід оброблюваної продукції та зменшує механічні пошкодження та кількість технологічного обладнання;
- ротаційні сортуючі пристрої можуть ефективно сепарувати домішки і забезпечувати високу продуктивність при інтенсивному режимі роботи (9...15,7 с⁻¹), що підвищує ризик пошкодження бульб, за винятком роторно-пальцевих;

- вдосконалення конструкції робочих органів на основі роторно-пальцевих механізмів дозволяє досягти щадного режиму обробки бульб з високою технологічною надійністю та знизити їх пошкодження, у тому числі свіжозібраних;
- спрямоване орієнтування бульб підвищує точність сортування і продуктивність пристроїв, реалізуючи це в системах з поздовжніми або щітковими сепарувальними пристроями.

РОЗДІЛ II

ОСНОВНІ ПАРАМЕТРИ ТРАВМУВАННЯ БУЛЬБ КАРТОПЛІ

2.1. Причини потемніння м'якоті картоплі та можливі способи їх запобігання

Потемніння м'якоті (синці, забиті місця, знебарвлення) – це локальна зміна природного кольору бульб, яка викликана фізіологічними факторами та механічними впливами. Синці в картоплі становлять серйозну економічну проблему для сучасного картоплярства. Втрати, пов'язані з цим, включають зменшення ваги, ризик захворювань та зниження привабливості й вартості пошкодженої продукції. Потемніння м'якоті виникає внаслідок удару бульби об предмет, що призводить до пошкодження клітин у тканині під шкіркою, при цьому сама шкірка залишається цілою. Протягом 24-48 годин після травми пошкоджена тканина набуває темно-сірого, синюватого або темного відтінку, що можна помітити лише після очищення картоплі (Рис. 2.1).

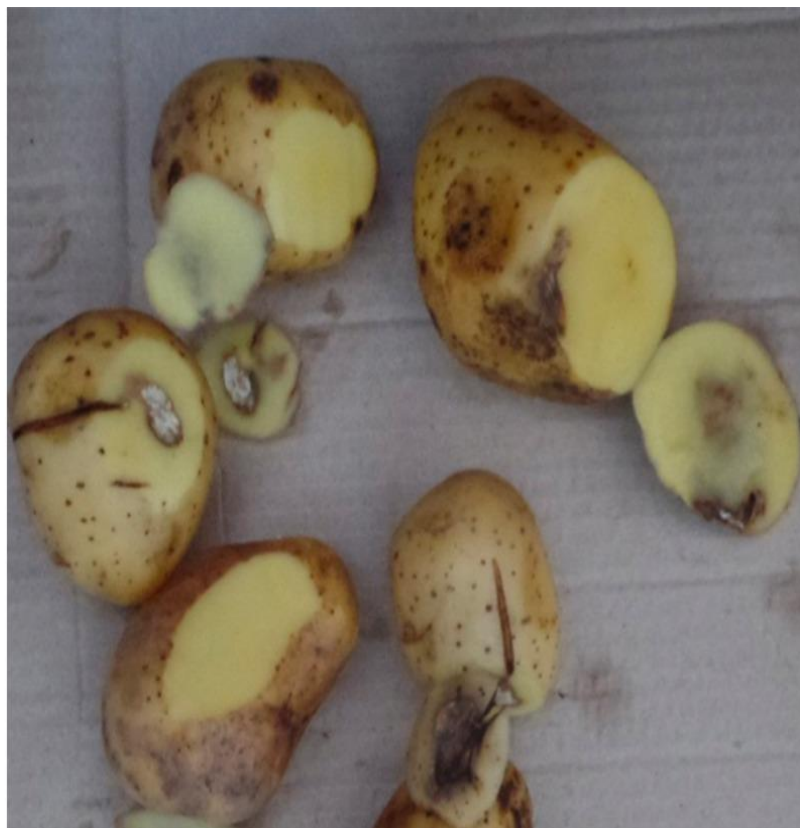


Рис. 2.1. Ударені місця м'якоті бульб картоплі

Синці в м'якоті також виникають, коли удари призводять до розтріскування (розколювання) бульб або їх шкірки. Тріщини можуть поширюватися на глибші тканини. Гнилі, такі як фузаріозна суха, ранова водяниста та бактеріальна м'яка, легко проникають у бульби з ушкодженнями. Під час зберігання також часто виникають удари через тиск на нижні шари продукту (пролежні), що призводять до сплющування або вдавленості форми бульб. Синці від тиску зазвичай з'являються в нижній частині насипу і часто супроводжуються внутрішніми дефектами сірої або чорної забарвленості. У найгіршому випадку здавлювання бульб може спостерігатися навіть у контейнерах, коли висота шару продукту не перевищує 150 см. Картопля з пролежнями є непридатною для преміум-сегмента ринку (Рис. 2.2).



Рис. 2.2. Пошкодження бульб від здавлювання

Моніторинг частоти виникнення синців під час збору, зберігання та підготовки продукту до продажу дає змогу виявити проблемні ділянки і вжити ефективних коригуючих заходів. Вибірка бульб на різних етапах збору врожаю та обробки (через ручну копку, комбайн, транспортування, конвеєри, у місцях падіння або поворотів, сортування, дозування, упаковку тощо) дозволяє оцінити їх на предмет ушкоджень чорними плямами протягом кількох днів, якщо вони зберігаються при підвищеній температурі. Вища температура сприяє швидшому утворенню пігменту та прояву синців у м'якоті. Спеціальні термостати (хот-бокси) здатні виявити наслідки ударів протягом 12 годин. Заміщення в розчині

йоду та використання спеціальних датчиків також є ефективними методами визначення ушкоджень (Рис. 2.3).

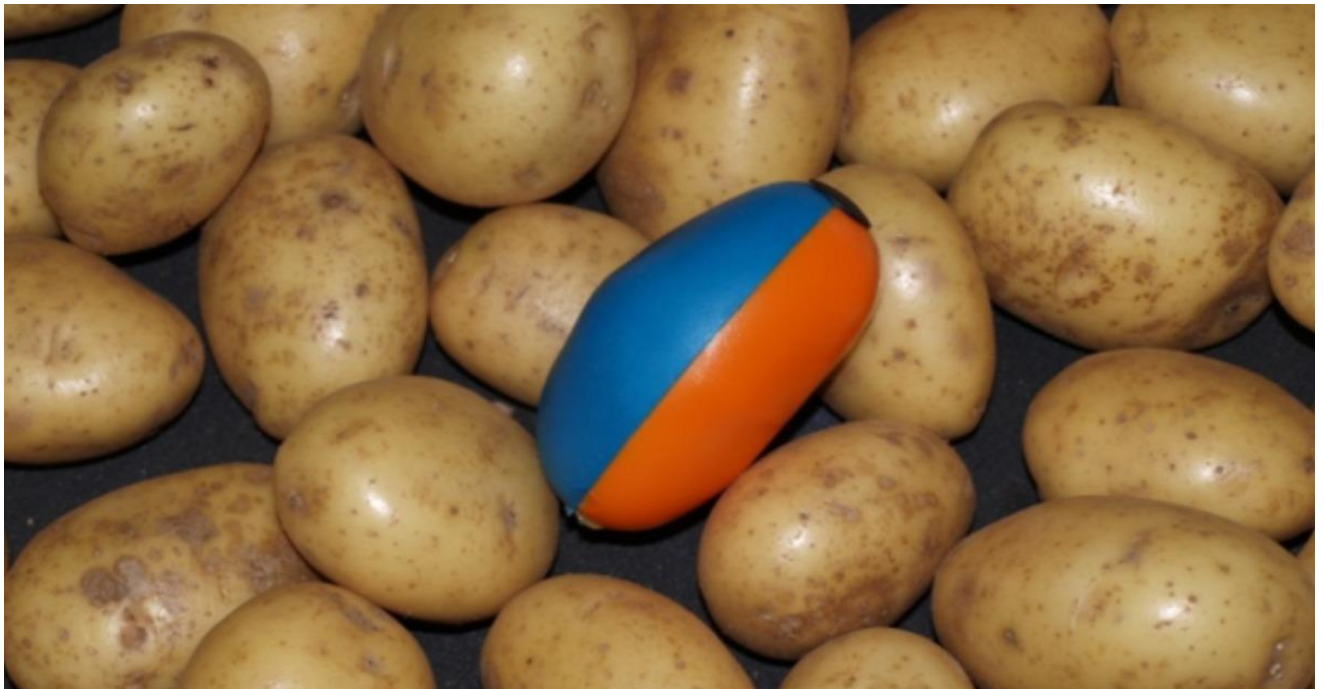


Рис. 2.3. Датчик-бульба для визначення ступеня травмування бульб.

На ризик потемніння м'якоті найзначніше впливають такі фактори:

- сортова чутливість;
- вміст сухих речовин;
- температура;
- рівень гідратації (хрусткість);
- зрілість та фізичні характеристики бульб.

2.2 Фактори, що сприяють травмуванню картоплі

Сорти картоплі значно різняться за стійкістю до потемніння м'якоті. Чутливі сорти, які є особливо цінними для виробництва, потребують особливого догляду. У столовому сегменті немає підстав для вирощування проблемних сортів, оскільки вони не мають перспективи. Схильність сорту до механічних пошкоджень м'якоті виявляється лише в умовах виробництва; на етапі первинного впровадження це важко визначити. Саме синці в м'якоті часто стають причиною швидкого завершення кар'єри багатьох нових сортів.

1. Низька температура м'якоті робить бульби більш вразливими як до розтріскування, так і до утворення чорних плям. Температура м'якоті нижче 5 °C є небажаною при роботі з бульбами, оскільки може викликати серйозні ушкодження.
2. Водяниста і хрустка картопля має високу ймовірність появи синців через розтріскування.
3. Зневоднена картопля схильна до потемніння м'якоті, так само як і добре визріла картопля, яка тривалий час перебуває в сухому ґрунті після десикації бадилля.
4. Дозрівання картоплі проявляється у формуванні міцної шкірки та завершенні процесів крохмалоутворення. Така картопля має найвищу стійкість до синців в м'якоті.
5. Розмір і форма бульб також відіграють важливу роль; великі бульби подовженої форми більш уразливі до пошкоджень.

Сумісність різних чинників ускладнює закономірності прояву ударів м'якоті. Наприклад, на рисунку 2.2 представлений відсоток бульб із синцями при різних температурах обробки залежно від ступеня тургору. При температурі 5,5 °C (помаранчева лінія) до 60% бульб отримують ушкодження як при максимальному зневодненні, так і при максимальному тургорі. Зменшити пошкодження до 40% можливо лише за середнього ступеня тургору. З підвищенням температури обробки до 13,5 °C (зелена лінія) відсоток потемніння м'якоті зменшується, а залежність від тургору змінюється на функціональну — мінімально для зневодненої картоплі, максимально — для хрусткої. При високій температурі обробки 21 °C (сіра лінія) ситуація змінюється: частка ушкоджених бульб є мінімальною при максимальному тургорі.

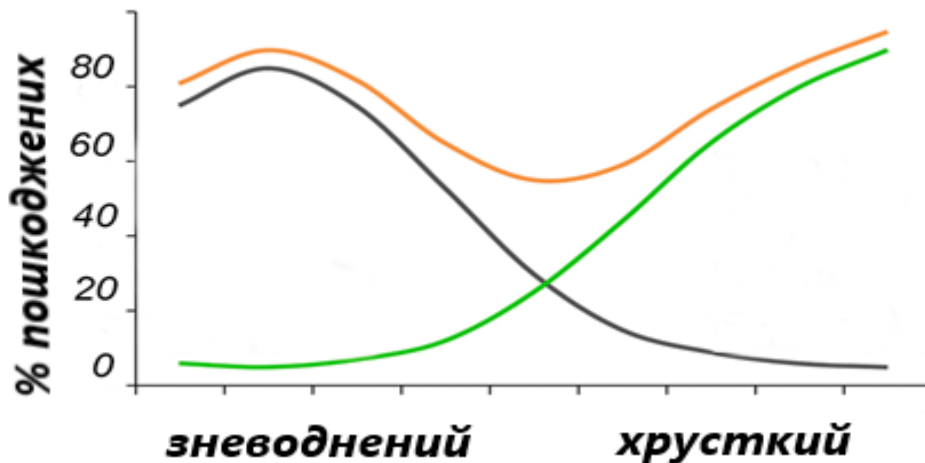


Рис. 2.4 Графік залежності потемніння м'якоті картоплі від температури і гідратації бульб

Зневоднені бульби більше схильні до потемніння м'якоті (Рис. 2.4). Щільність бульб залежить від їх гідратації. Тургорний тиск, який пов'язаний із водою в вакуолях клітин, визначає механічні властивості бульб. Зниження відносного тургору може призвести до зменшення жорсткості тканини, в результаті чого бульби стають більш «самопоглинаючими», оскільки задане навантаження розподіляється на велику площу вигнутої поверхні. Стан гідратації бульб впливає на тип синців і ступінь їх чутливості до механічних ударів.

Умови навколишнього середовища під час збору врожаю можуть значно варіюватися в залежності від погоди та часу доби. Ідеальні умови для збору становлять температуру 10-15 °С. Низькі температури збільшують ймовірність розтріскування і виникнення синців у м'якоті, що може сприяти розвитку фузаріозної сухої гнилі та інших патогенів. Лікування розтріскування м'якоті при низьких температурах є складнішим, що призводить до значних втрат води через рани. Це може стати первинною причиною зниження тургору та ушкоджень внаслідок здавлювання.

Щороку відзначається коливання зрілості бульб наприкінці вегетаційного періоду. Деякі поля виглядають дуже зеленими і незрілими, тоді як інші засихають значно раніше збору. Обидва ці крайнощі істотно впливають на

чутливість бульб до ушкоджень синцями. Коли рослини повністю дозрівають природним шляхом, бульби стають більш уразливими до синців у м'якоті. Бульби, що довго перебувають у сухому ґрунті після висихання стебел, можуть виявитися дуже чутливими до потемніння м'якоті. При цьому важливими є сортові особливості. Для всіх основних сортів ці закономірності були ретельно досліджені, і надані рекомендації щодо того, на якій стадії дозрівання варто проводити десикацію, щоб зменшити ризик утворення синців.

2.3. Можливості запобігання потемніння м'якоті картоплі.

Можливості механізованого запобігання потемніння м'якоті полягають в оптимізації стану бульб та зменшенні негативних впливів робочих органів, на них. Розуміння закономірностей сприйнятливості різних сортів картоплі до механічних пошкоджень дозволяє керувати рівнем гідратації та біохімічним станом бульб під час вирощування, збирання та зберігання. Агротехнологічний менеджмент базується на таких аспектах:

1. Людський фактор: хоча більшість операцій з вирощування картоплі автоматизовані, управління обладнанням завжди залишається за людьми, які повинні діяти так, щоб мінімізувати механічні удари. Регулярне навчання та контроль за дотриманням заходів запобігання потемніння м'якоті повинні стати стандартною частиною виробничого процесу.
2. Облік сортових особливостей: важливо знати, який сорт картоплі ви вирощуєте, оскільки різні сорти можуть по-різному реагувати на механічні впливи, такі як зняття шкірки, розтріскування чи утворення синців. Стратегії запобігання синцям повинні варіюватися в залежності від ступеня сприйнятливості конкретного сорту до ударів.

Управління родючістю. Пізнє та надмірне внесення мінеральних добрив занадто уповільнює процеси дозрівання, формування шкірки і збільшує вразливість бульб до утворення синців. Існує критерій оптимального рівня нітратного азоту в черешках листя на середину серпня; його перевищення може призвести до значного потемніння м'якоті. Важливо збалансувати використання

азоту з достатньою кількістю фосфору, хоча високий рівень фосфору не здатен повністю усунути негативні наслідки надлишку азоту. Низький рівень калію також підвищує вразливість до потемніння м'якоті. Тим не менш, внесення калію понад оптимальний рівень не зменшує механічні удари, а може навіть призвести до зниження вмісту сухої речовини в бульбах через підвищене водопоглинання. Збільшення концентрації кальцію в бульбах до 250 мг/кг може значно знизити частоту появи синців.

Вірний вибір полів з урахуванням механічного складу ґрунту, ретельна підготовка ґрунту, запобігання утворенню грудок та видалення каміння є надзвичайно важливими, особливо для сортів, які мають високу чутливість до механічних пошкоджень м'якоті.

Своєчасна та якісна посадка, а також використання матеріалу високої якості сприяють максимальному використанню агрокліматичних ресурсів для формування врожаю та дозрівання бульб.

2.4. Захист та стимулювання насіннєвого матеріалу під час посадки картоплі

Кваліфіковане завершення процесу формування врожаю є важливим. Десикація або механічне видалення бадилля повинні проводитися за два-три тижні до збору врожаю, з урахуванням погодних умов, оскільки шкірка утворюється повільніше в прохолодному або вологому ґрунті. Важливо підтримувати вологість ґрунту понад 60% від моменту видалення бадилля до збору. Якщо ґрунт сухий і бульби зневоднені, необхідно поливати за тиждень до збору.

Збирання врожаю має бути обережним. Бульби слід прибирати, коли вони дозріли та мають якісну шкірку. Оптимальна температура для збору — від 10 до 15 °С. Помірний рівень гідратації бульб є кращим, адже зневоднені бульби схильні до утворення чорних плям, а надмірно зволожені — до тріщин. Щоденне налаштування збиральної техніки повинно мінімізувати пошкодження картоплі. Необхідно підтримувати потік ґрунту на другому приймальному транспортері,

регулювати швидкість транспортерів, щоб вони були заповнені до межі, що знижує ризик відкату. Уникати падінь з висоти більше 15 см. На комбайні слід видаляти не більше 60-70% бадилля, оскільки це може призвести до значного пошкодження бульб.

Для зменшення синців під час транспортування та завантаження до сховища важливо мінімізувати падіння, узгодити швидкість конвеєра з обсягом бульб і укладати насип ступінчастим способом, щоб зменшити скочування бульб. Регулярно контролювати зону вантажно-розвантажувальних робіт протягом дня, щоб запобігти травмуванню бульб. Приблизно 30% усіх ударів м'якоті відбуваються в сховищі.



Рис. 2.5. Визначення ударів м'якоті в процесі передпродажної підготовки картоплі

Першочергове дотримання оптимальних умов для якісного тривалого зберігання є необхідним. Вентиляцію слід почати не пізніше ніж через дві години після завантаження картоплі у сховище. Важливо повністю висушити картоплю протягом максимум двох днів. Пошкодження шкірки потрібно усунути протягом двох-трьох тижнів. Необхідно підтримувати правильний темп охолодження і

оптимальні показники температури та вологості повітря на етапі основного зберігання, виключаючи можливість утворення конденсату.

Дотримання оптимальних температурних і вологісних умов, мінімальної висоти при падінні, а також повного завантаження транспортерів та обладнання під час пакування, відвантаження та приймання є важливими.

Отже, для запобігання або зменшення ушкоджень м'якоті картоплі слід знайти розумний компроміс між прагненням отримати максимальний врожай з високим вмістом сухої речовини і необхідністю оптимізації біохімічного складу, зрілості, гідратації та формування шкірки бульб. Регламенти вирощування, збору, зберігання і підготовки до реалізації слід використовувати та коригувати для зменшення потемніння м'якоті. Висока кваліфікація, регулярне навчання та постійний контроль за персоналом є ключовими елементами ефективного управління потемнінням м'якоті картоплі.

2.5. Об'єкти та методика проведення наукових досліджень.

Бульбами картоплі, які вибрано для дослідження, були 5 сортів картоплі («Пікассо» – ранній сорт, «Рів'єра» та «Слов'янка» – також ранні сорти, «Гранада» – середньопізній сорт та «Мелоді» – середньоранній сорт). Різні сорти досліджували щороку протягом декількох років. Дані сорти вибрані як найбільш розповсюджені в Україні, та показові з точки зору дослідження

Усі вони характеризуються різними розмірами з відповідними співвідношеннями, що якісно показує їх сортові властивості при дослідженні.

Вміст крохмалю в сортах, які вибрані для дослідження відповідно складає «Пікассо» (16,9%), за ним йдуть «Рів'єра» (13,5%), «Слов'янка» (12,8%), «Гранада» (12,3%) і «Мелоді» (11,6%), це впливає на їх пошкодженість.

Усі сорти мають низький потенціал знебарвлення, оцінений на рівні 8-8,5 балів за датською шкалою, де 9 означає, що не темніє, а 1 – чорний.

Механічні пошкодження бульб викликані впливом машин. Ці травми поділяються на негайні та вторинні. Негайні травми можуть призвести до зниження врожайності, якщо пошкоджена тканина бульби.

Наслідки таких травм включають:

- підвищений ризик захворювань під час зберігання,
- швидше проростання бульб у картоплесховищі,
- більші втрати крохмалю протягом зберігання,
- потемніння м'якоті (синіння, почорніння),
- погіршення форми бульб,
- зменшення рослинності через механічні пошкодження бульб (захворювання під час зберігання).

Оцінка механічних травм бульб проводиться в основному у відсотках, виходячи з глибини пошкодження. Травми поділяються на:

- поверхневі (до 1,7 мм),
- середні (від 1,7 мм до 5 мм),
- серйозні (понад 5 мм).

Внутрішні травми бульб картоплі

Цей тип травм виникає внаслідок механічного навантаження бульб, яке можна виявити через 24 години. Пошкоджені ділянки характеризуються зміною кольору тканини бульби, від червоно-коричневих до сіро-білих плям. Механічне навантаження під час збору врожаю та післязбиральної обробки може призвести до чітко окреслених внутрішніх травм, які виникають через вихід з ладу клітин. Ці плями зазвичай знаходяться на глибині від 2 до 5 мм у м'якоті бульби.

Стійкість до механічних травм можна досліджувати різними методами. Об'єктивна оцінка механічних ушкоджень, завданих під час збору та обробки врожаю, має хороші перспективи завдяки розвитку електроніки та комп'ютерних технологій, які можуть точно оцінювати якість машин і технологічних ліній з

будівельного та технологічного аспектів.

Кожну бульбу можна протестувати в цілому або лише за певною частиною. Дослідження показують, що індивідуальна стійкість різних частин бульби відрізняється. Це підтверджується тим, що бульби картоплі не є однорідними. Визначення стійкості бульб до механічних травм пов'язане з проблемою забезпечення порівнянних умов для вимірювань. Для цього були розроблені різні підходи. Лабораторні методи зазвичай є тривалими, але найбільш поширеними. Першим пристроєм для дослідження механічних травм був пенетрометр, який представляє собою циліндр певного діаметра, що втискається в бульбу, а рівень сили, необхідної для його проникнення, служить показником опору. Інші методи базуються на навантаженні бульб шляхом обертання в барабані роторного стрижня.

РОЗДІЛ III

ВПЛИВ МЕХАНІЧНИХ ПОШКОДЖЕНЬ БУЛЬБ КАРТОПЛІ ПІД ЧАС ЗБЕРІГАННЯ

3.1. Вплив механічних пошкоджень бульб картоплі на процеси зберігання.

Вивчення впливу механічних пошкоджень бульб під час збирання та зберігання картоплі на вміст сухої речовини, хлорогенової кислоти та ступінь чорної плямистості було проведено на п'яти сортах картоплі різних груп раннього віку. Дослідження проводилися одразу після збору врожаю, а також через два, чотири та шість місяців зберігання за постійних умов (температура +4 °C і відносна вологість 95%). Результати показали, що механічні пошкодження призводять до підвищеного накопичення хлорогенової кислоти.

Однією з основних проблем при вирощуванні картоплі є механічні пошкодження, які спричиняють почорніння бульб та знижують якість сировини. Почорніння м'якоті сирих бульб відбувається через ферментативне окислення фенолів (переважно тирозину та фенольних кислот, таких як хлорогенова та кавова) під дією ферменту фенолази, який перетворює ці сполуки на темні продукти, зокрема меланін. Механічні пошкодження (синці й потертості) змінюють структуру клітин, що призводить до збільшення вмісту поліфенольних сполук, головним чином хлорогенової кислоти, яка становить близько 90% усіх поліфенолів у картоплі. Це також спричиняє підвищення активності поліфенолоксидаз, що, в свою чергу, веде до посилення процесу ферментативного окислення поліфенолів.

Вміст хлорогенової кислоти та схильність бульб до пошкоджень і почорніння значною мірою залежать від сорту. Висока схильність до темних плям після ушкодження властива сортам картоплі з більшим вмістом сухих речовин і грубих кормів. Під час зберігання підвищується ймовірність виникнення темних плям через активізацію життєвих процесів.

Низька температура сприяє більшому почорнінню м'якоті. Дослідження показують, що при зберіганні бульб за температури 2-4 °С почорніння м'якоті відбувається інтенсивніше, ніж при температурі 8 °С. Крім того, знижена відносна вологість повітря та триваліший період зберігання збільшують ризик виникнення чорної плямистості.

3.2. Моделювання впливу травмування бульб.

Моделювання впливу травмування бульб в технологіях збирання та зберігання картоплі є важливим аспектом для забезпечення якості і мінімізації втрат продукції. Це можна реалізувати шляхом створення математичних моделей, які враховують різні фактори травмування бульб під час збирання і зберігання. Пропонуються наступні підходи для моделювання:

1. Статистичне моделювання:

Використання статистичних методів для аналізу даних про травмування бульб під час різних етапів збирання та зберігання. Це може включати аналіз регресії, щоб визначити зв'язок між різними параметрами збирання та зберігання і рівнем травмування.

2. Фізичне моделювання:

Використання фізичних моделей для симуляції процесів, які призводять до травмування бульб. Це може включати моделювання механічних впливів на бульби під час транспортування, збирання та зберігання.

3. Комп'ютерне моделювання (Finite Element Analysis - FEA):

Використання методів кінцевих елементів для моделювання механічних напружень і деформацій, які виникають у бульбах під час збирання і зберігання. Це дозволить точніше передбачити місця та ступінь травмування.

Підхід 1: Статистичне моделювання

1. Збір даних:

- Збирання даних про кількість травмованих бульб на різних етапах збирання та зберігання.
- Реєстрація параметрів, таких як швидкість збирання, висота падіння, тривалість

зберігання, температура, вологість тощо.

2. Аналіз даних:

- Використання методів описової статистики для розуміння розподілу даних.
- Використання кореляційного аналізу для виявлення зав'язків між параметрами збирання/зберігання і травмуванням бульб.

3. Побудова моделі:

Використання методів регресійного аналізу для побудови моделі, яка описує вплив параметрів збирання та зберігання на рівень травмування бульб. Варто розглянути використання багатофакторної регресії для врахування взаємодії між різними факторами. Приклад коду для реалізації регресійного аналізу на Python представлений на рисунку 1

```
python Copy code

import pandas as pd
import statsmodels.api as sm

# Збір даних
data = {
    'speed': [2.5, 3.0, 3.5, 4.0, 4.5],
    'drop_height': [1.0, 1.2, 1.5, 1.7, 2.0],
    'storage_time': [30, 45, 60, 75, 90],
    'temperature': [10, 12, 15, 18, 20],
    'humidity': [70, 65, 60, 55, 50],
    'damage': [5, 10, 15, 20, 25] # кількість травмованих бульб
}

df = pd.DataFrame(data)

# Побудова моделі
X = df[['speed', 'drop_height', 'storage_time', 'temperature', 'humidity']]
y = df['damage']
X = sm.add_constant(X) # додавання константи (вільного члена) до моделі

model = sm.OLS(y, X).fit()

# Результати моделювання
print(model.summary())
```

Рис.1 Регресійний аналіз побудови моделі на Python, яка описує вплив параметрів збирання та зберігання на рівень травмування бульб

Підхід 2. Використання фізичних моделей для симуляції процесів

Використання фізичних моделей для симуляції процесів, які призводять до травмування бульб картоплі, може допомогти краще зрозуміти механізми

ушкоджень та розробити методи для мінімізації травмування. Пропоную розглянути декілька підходів для моделювання цих процесів:

1. **Моделювання падіння бульб:** Симуляція падіння бульб з різних висот на різні поверхні, щоб визначити вплив висоти і матеріалу поверхні на ступінь ушкодження.
2. **Моделювання механічного тиску:** Симуляція дії механічного тиску на бульби під час збирання та транспортування, наприклад, при стисканні між роликками чи конвеєрними стрічками.
3. **Моделювання ударів та вібрацій:** Симуляція впливу ударів та вібрацій, які можуть виникати під час транспортування та зберігання.

Приклад моделювання падіння бульб представлено на рисунку 2.

1. Ініціалізація симуляції:

- Підключення до симулятора PyBullet та завантаження стандартної площини.

2. Створення моделі бульби:

- Створення візуальної та колізійної сферичної моделі для бульби картоплі.
- Встановлення маси та початкової позиції бульби.

3. Запуск симуляції:

- Запуск симуляції на 240 кроків (1 секунда при частоті 240 Гц).
- Виведення кінцевого положення та швидкості бульби після падіння.

4. Завершення симуляції:

- Відключення від симулятора.

```

import pybullet as p
import pybullet_data
import time

# Ініціалізація симуляції
p.connect(p.GUI)
p.setAdditionalSearchPath(pybullet_data.getDataPath())

# Завантаження площини
p.loadURDF("plane.urdf")

# Встановлення гравітації
p.setGravity(0, 0, -9.81)

# Створення моделі бульби картоплі
visual_shape_id = p.createVisualShape(shapeType=p.GEOM_SPHERE, radius=0.1)
collision_shape_id = p.createCollisionShape(shapeType=p.GEOM_SPHERE, radius=0.1)
mass = 0.1 # Маса бульби
position = [0, 0, 1] # Початкова висота 1 метр

potato_id = p.createMultiBody(mass, collision_shape_id, visual_shape_id, position)

# Запуск симуляції
for i in range(240): # 240 кроків симуляції (1 секунда при частоті 240 Гц)
    p.stepSimulation()
    time.sleep(1./240.)

# Отримання кінцевого положення та швидкості
position, orientation = p.getBasePositionAndOrientation(potato_id)
velocity = p.getBaseVelocity(potato_id)

print("Кінцеве положення:", position)
print("Кінцева швидкість:", velocity)

# Завершення симуляції
p.disconnect()

```

Рис. 2. Приклад коду моделювання падіння бульб представлено з використанням PyBullet

Моделювання механічного тиску

Для моделювання механічного тиску на бульби можна використати програмне забезпечення, таке як COMSOL або ANSYS, які дозволяють моделювати контактні взаємодії та розраховувати напруження в матеріалах.

Приклад моделювання в ANSYS:

1. Створення геометрії бульби і контактуючих елементів:

- Створення 3D-моделі бульби картоплі та роликів або інших контактуючих елементів.
- 2. **Визначення матеріальних властивостей:**
 - Введення матеріальних властивостей картоплі та контактуючих елементів.
- 3. **Застосування граничних умов і навантажень:**
 - Встановлення граничних умов для контактуючих елементів.
 - Застосування навантажень, які імітують механічний тиск.
- 4. **Розрахунок і аналіз результатів:**
 - Запуск аналізу та отримання результатів розподілу напружень і деформацій в бульбах.

Використання фізичних моделей для симуляції процесів, які призводять до травмування бульб, дозволяє краще розуміти механізми ушкоджень і розробляти ефективні заходи для їх мінімізації. Залежно від конкретного процесу (падіння, тиск, удари), можна вибрати відповідний метод і програмне забезпечення для моделювання.

Підхід 3. Комп'ютерне моделювання (Finite Element Analysis - FEA)

Для моделювання механічних напружень і деформацій у бульбах картоплі під час збирання та зберігання за допомогою методів кінцевих елементів (Finite Element Analysis - FEA) необхідно виконати кілька ключових етапів. Це включає створення геометричної моделі, визначення матеріальних властивостей, застосування граничних умов та навантажень, а також проведення аналізу. Нижче наведено основні кроки та приклад використання FEA з використанням програмного забезпечення, такого як ANSYS або COMSOL.

Ключові етапи комп'ютерного моделювання за допомогою FEA

1. **Створення геометричної моделі бульби:**
 - Побудова 3D-моделі бульби картоплі. Це можна зробити, використовуючи програмне забезпечення для CAD, наприклад, SolidWorks або Blender.
2. **Визначення матеріальних властивостей:**
 - Введення властивостей матеріалу для картоплі. Це включає модуль пружності,

коефіцієнт Пуассона та інші необхідні параметри.

3. Сітка моделі (Mesh generation):

- Розбиття геометричної моделі на кінцеві елементи (вузли та елементи). Це визначає точність і складність моделі.

4. Застосування граничних умов і навантажень:

- Визначення граничних умов, таких як фіксація частини моделі.
- Застосування механічних навантажень, які імітують процес збирання або зберігання.

5. Проведення аналізу:

- Запуск аналізу для обчислення напружень та деформацій у моделі.
- Аналіз результатів для визначення місць найбільшого травмування бульби.

Finite Element Analysis - FE - це потужна бібліотека для обчислень з використанням кінцевих елементів в Python. На рисунку 3 зображено базовий приклад створення і аналізу простої моделі механічних напружень і деформацій у бульбах картоплі під час збирання та зберігання за допомогою методів кінцевих елементів.

```

python Copy code

from fenics import *
import numpy as np

# Створення геометрії
mesh = UnitSphereMesh(8)

# Визначення матеріальних властивостей
E = 1e5 # Модуль пружності
nu = 0.3 # Коефіцієнт Пуассона
mu = E / (2 * (1 + nu))
lambda = E * nu / ((1 + nu) * (1 - 2 * nu))

# Визначення функціонального простору
V = VectorFunctionSpace(mesh, 'P', 1)

# Граничні умови
def boundary(x, on_boundary):
    return on_boundary

bc = DirichletBC(V, Constant((0, 0, 0)), boundary)

# Зовнішнє навантаження
f = Constant((0, 0, -9.81))

# Визначення форми
u = TrialFunction(V)
d = u.geometric_dimension() # розмірність простору
v = TestFunction(V)
epsilon = lambda u: sym(grad(u))
sigma = lambda u: lambda * tr(epsilon(u)) * Identity(d) + 2 * mu * epsilon(u)
a = inner(sigma(u), epsilon(v)) * dx
L = dot(f, v) * dx

# Розв'язання проблеми
u = Function(V)
solve(a == L, u, bc)

# Візуалізація результатів
import matplotlib.pyplot as plt
plot(u, title='Displacement')
plt.show()

# Визначення напружень
s = sigma(u) - (1./3) * tr(sigma(u)) * Identity(d) # дівіатор напружень
von_Mises = sqrt(3./2 * inner(s, s))
V = FunctionSpace(mesh, 'P', 1)
von_Mises = project(von_Mises, V)

plot(von_Mises, title='Von Mises stress')
plt.show()

```

Рис. 3 Приклад коду для створення моделі в Python з використанням бібліотеки FEniCS

Опис коду

1. Створення геометрії:

- Використано UnitSphereMesh для створення простої сферичної моделі, яка символізує бульбу картоплі.

2. Визначення матеріальних властивостей:

- Введені модуль пружності та коефіцієнт Пуассона для матеріалу картоплі.

3. Застосування граничних умов і навантажень:

- Фіксація меж моделі та застосування сили гравітації як зовнішнього навантаження.

4. Розв'язання проблеми:

- Використання рівняння пружності для обчислення переміщень та напружень.

5. Візуалізація результатів:

- Візуалізація переміщень та напружень за допомогою бібліотеки matplotlib.

Цей приклад демонструє основні етапи моделювання за допомогою FEA. Для точнішого моделювання бульби картоплі необхідно використовувати більш складні геометрії та реалістичні властивості матеріалів, а також налаштовувати навантаження і граничні умови відповідно до реальних умов збирання та зберігання. Використання професійного програмного забезпечення, такого як ANSYS або COMSOL, дозволить більш точно моделювати та аналізувати механічні процеси.

ВИСНОВКИ

Отримані дані показали, що кожна технологічна система збирання врожаю та післяжнивної обробки вимагає використання машин, робочі елементи яких створюють навантаження на рослинний матеріал, що дозволяє продукту бути задовільним як за кількістю, так і за якістю.

Основною причиною втрат картоплі є механічні пошкодження (забиття) внаслідок удару. Цей вплив може бути результатом вібрації або раптового падіння бульб з певної висоти.

1. До способів виділення домішок відносяться:

- а) автоматичні електронні універсальні пристрої;
- б) механічні пристрої;

2. До способів та пристроїв сортування картоплі відносяться:

- а) Сортуючий пристрій з ремінною робочою поверхнею;
- б) Сортуючий пристрій з роликівим робочою поверхнею;
- в) Сортуючий пристрій з сітчастою робочою поверхнею;

3. Фактори травмування картоплі

- а) Сорти картоплі істотно розрізняються по стійкості до потемніння м'якоті;
- б) Занадто низька температура, до 5°C
- в) Зволожена (водяниста, хрустка) картопля характеризується високою

ймовірністю появи синців від розтріскування.

г) Зневоднена картопля

д) Дозрівання картоплі виражається у формуванні міцної шкірки і завершення процесів крохмалоутворення.

е) Розмір і форма бульб мають значення. Великі бульби подовженої форми більш схильні до пошкоджень.

Метод оцінки стійкості бульб картоплі до механічного навантаження був перевірений через два етапи вимірів. На першому етапі порівнювали п'ять різних сортів картоплі при однаковому рівні механічного навантаження, а на другому –

ідентичні сорти при різних ступенях навантаження, за умов зберігання при постійній температурі і вологості. У першому випадку зразки картоплі піддавалися вібраціям заданої частоти на спеціальному випробувальному стенді, що дозволило оцінити внутрішнє пошкодження бульб, зокрема зміни кольору (потемніння, чорніння, посивіння м'якоті) на нарізаних після 48-годинного зберігання при однакових температурних і вологісних умовах. Було перевірено, чи можна оцінити ці зміни за допомогою інших програм для аналізу зображень.

Поверхня зрізу бульб, а також ділянки з видимими змінами кольору (посивіння чи потемніння м'якоті) були оцінені за допомогою комп'ютерного аналізу. Виявлено значні відмінності в стійкості різних сортів картоплі до механічних навантажень, як у ранній, так і в пізній фазі зростання.

Описаний метод може бути використаний в різних наукових установах, що займаються дослідженнями рослин, а також у сільськогосподарських та переробних підприємствах. Завдяки об'єктивній оцінці стійкості картоплі та інших культур до механічного навантаження можна визначити межі і критерії, що дозволяють уникнути зниження якості продукції та втрат у виробництві.

Під час проведення наступної післязбиральної обробки бульб, їх можуть вибраковувати, а можуть і пропустити. Після проходження післязбиральної обробки ці бульби попадають до сховища і на протязі певного періоду зберігання вона сама заживляє ці синці, але для кожного сорту картоплі цей період може бути різний, і все залежить від умов зберігання, які встановленні у сховищі. Цей період може тривати від 2 - 3 тижнів до 3 - 4 місяців.

Вміст загальної сухої речовини бульб картоплі під впливом механічних пошкоджень під час зберігання показало що це й показник відразу після закладки становив від 201 до 227 г\кг⁻¹. У травмованих бульб цей показник становив від 207 до 228 г\кг⁻¹. Протягом зберігання 6 місяців цей показник зменшувався, у нетравмованих становив від 190 до 209 г\кг⁻¹, а у травмованих від 199 до 213 г\кг⁻¹. Крім того механічні пошкодження призвели до втрат крохмалю на 2..3%, що призводить до зменшення вмісту загальної сухої речовини.

Вміст хлорогенованої кислоти бульб картоплі під впливом механічних пошкоджень відразу після збирання в нетравмованих має від 174 до 232 г\кг⁻¹, а у травмованих від 235 до 311 г\кг⁻¹. Протягом зберігання 6 місяців цей показник збільшувався, у нетравмованих становив від 251 до 353 г\кг⁻¹, а у травмованих від 282 до 430 г\кг⁻¹.

Відразу після збирання встановлено, що зміна кольору бульб картоплі в нетравмованих має 173 до 268, а у травмованих 179 до 310. А підчас зберігання на протязі мали такі показники у нетравмованих від 224 до 429, а у травмованих від 236 до 434 – ми бачимо наявне збільшення тенденції зміни кольору

Тому до зберігання проводилося затвердіння, щоб мінімізувати втрати, що сталися через втрату вологи, шляхом збереження вологи, а належне управління зберіганням мінімізувало втрати у разі проростання, підтримуючи атмосферу зберігання, щоб продовжити термін зберігання бульб, що зберігаються.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Алакін В.М. Дослідження роботи роторно-пальцевої комбінованої поверхні для відділення домішок та калібрування картоплі / В.М. Алакін, Н.В. Шабуров // Технології та технічні засоби механізованого виробництва продукції рослинництва та тваринництва у Нечорноземній зоні Росії. Збірник наукових праць. Випуск 65. - СПб.: НІПТІМЕСГ НЗ РФ, 1995. - С. 50 - 57.
2. Байбулат Т.С., Маазов Ш.М. Аналіз різних технологій обробітку картоплі // Молоді вчені – внесок у реалізацію національного проекту «Розвиток АПК»: зб. матеріалів регіональної науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих учених ПФО. - Махачкала, 2007.
3. Босий Є. С. Теорія, конструкція та розрахунок сільськогосподарських машин: Підручник для сільськогосподарського машинобудування / О.С. Босий; під. ред. О.С. Босий. - М: Машинобудування, 1977. - 568 с.
4. Верещагін Н.І. Динамічні характеристики стійкості бульб картоплі до механічних пошкоджень // Картоплярство результати досліджень, інновації, практичний досвід. - Том 2. - Москва. - 2008. - С.243-253.
5. Вібрації у техніці: Довідник Б 6 - ти т. / За ред. е.е. Лавендел. ред. порада: В.М. Челомей (попер.). - М: Машинобудування. – Т. 4. – 1981. – 509 с.
6. Воловик А.С., Глез В.М., Зейрук В.М., Капустін В.М. Протравлення бульб скорочує втрати при зберіганні // Картопля та овочі. 1996. №4. С. 31.
7. Гандбаріан Д. Обґрунтування параметрів і режимів роботи картоплесортувального барабанного типу: автореф. дис. канд. тих. наук: 05.20.01 / Давуд Гандбаріан. – М., 2006. – 22 с.
8. Гордєєв О.В. Модель утворення картопляного насипу та пошкодження бульб картоплі // Трактори та сільгоспмашини. - 2007. - №10. - С.28-29.
9. Діденко М.Д. Машини для збирання овочів/М.Д. Діденко, В.О. Хвостів, В. П. Медведєв. - М: Машинобудування, 1973. - 199 с.
10. Дослідження травмування бульб на робочих органах картоплезбирального комбайна ККУ-2 «Дружба»/ О.О. Герасимів, А.Є.

Перм'якова, К.А. Пшеченків, В.Ф. Синяков// Технологія виробництва картоплі. Науч.праці НДІКГ, вип. 15. М. - 1973. - С.77-85.

11. Ємельянов П.А. Основи теорії орієнтування тіл сільськогосподарських матеріалів технічними засобами/П.А. Ємельянов. – М.: Інформагротех, 2001.- 67с.

12. Завалішин Ф.С. Методи досліджень з механізації сільськогосподарського виробництва/Ф.С. Завалішин, М.Г. Мацнів. - М: Колос, 1972. - 231 с.

13. Кожушко Н.С., Кравченко І.В. Вплив травмування бульб на врожай картоплі // Картопля та овочі. - 1976. - №10.

14. Колчин Н.М. Комплекси машин та обладнання для післязбиральної обробки картоплі та овочів / Н.М. Колчин. - М: Машинобудування, 1982. - 268 с.

15. Колчин Н.М. Механізація робіт у сховищах картоплі та овочів / Н.М. Колчин. - М: Агропромиздат, 1985. - 191 с.

16. Костенко М.Ю. Ушкодження бульби картоплі // Сучасні енерго- та ресурсозберігаючі, екологічно стійкі технології та системи сільськогосподарського виробництва: зб. наук. тр. - Рязань: Інформаційні технології, 1999. - Ч.1. - 146 с.

17. Красніков В.В. Підйомно-транспортні машини у сільському господарстві. Вид. 2 - е, перероб. та дод. / В.В. Красніков. - М: Колос, 1973. - 464с.

18. Листопад Г.Є. Сільськогосподарські та меліоративні машини / Г.Є. Листопад, Г.К. Демідова, Б.Д. Зонов - М: Агропромиздат, 1986. - 688 с.

19. Манпіль Л.І. Визначення коефіцієнта миттєвого тертя бульб по робочій поверхні/Л.І. Манпіль // Механізація та електрифікація сільського господарства. – 1986. – № 12. – С. 28.

20. Метлицький Л.В., Гусєв С.А., Тектоніди І.П. Технологія зберігання ня картоплі. М. "Колос" 1972. 205 с.

21. Нікітін Н. Н. Курс теоретичної механіки: Навч. для машинобудування. та приладобудує. спец. вузів/Н.М. Нікітін. - М: Вища. шк., 1990. – 607 с.

22. Петров Г.Д. Картоплезбиральні машини / Г.Д. Петров. - М: Машинобудування, 1972. - 395 с.

23. Петров Г.Д. Картоплезбиральні машини/Г.Д. Петров. - М: Машинобудування, - 1984. - 320 с.

24. Плахов С.А Результати розробки та впровадження віброротаційного сортування картоплі / С.А. Плахів – Калуга.: Видавничо КЦДО, 2014. – 12 с.

25. Плахов С.А. Обґрунтування форми пальців ротора віброротаційного сортування / С.А. Плахов, В.М. Алакін, Г.С. Нікітін // Наукоємні технології у приладі- та машинобудуванні та розвиток інноваційної діяльності у вузі: Матеріали Всеросійської науково-технічної конференції 4 - 6 грудня 2012 р., т. 2 - М.: Вид - у МДТУ ім. Н. Е. Баумана, 2012. – С. 127 – 133.

26. Поліщук С.Ф. Вплив внутрішніх (прихованих) механічних пошкоджень тканин м'якоті лежкість та насіннєві якості бульб картоплі: дис. ... канд. техн. наук. - Київ, 1965.

27. Поліщук С.Ф. Картопля: якість, зберігання. Київ. 1971. 47с.

28. Поліщук С.Ф. Комплекс заходів щодо збереження продовольничих та насіннєвих якостей картоплі. Зберігання та переробка картоплі, овочів, плодів та винограду.// Тр. ВАСХНІЛ. М. "Колос". 1979. С. 87-92.

29. Приймальний бункер Grimme: додаткове оснащення серії RH/[Електронний ресурс] Сайт фірми «Гріме» завод сільськогосподарських машин». - Електрон дано. - Режим доступу: Web <http://www.grimme.com/>.

30. Пшеченков К.А., Давиденкова О.М. Споживчі якості бульб та зберігання картоплі залежно від сорту, умов вирощування та зберігання У сб.: Питання картопіводства. М. 2003. З 90-99.

31. Ротаційний сепаратор для коренеклубнеплодів: пат. 2092012 Ріс. Федерація: МПК6 А 01 D 33/08 / Мішин П.В.; заявник та патентовласник Чуваський сільськогосподарський інститут. - №93033352/13; заявл. 28.06.1993; опубл. 10.10.1997.

32. Рудзінська Г., Згорська К. 2011: Зміни вмісту вітаміну С і фенольних компуіндс в бульбах картоплі при зберіганні. Zeszyty Problemowe Postpow Nauk Rolniczych 566, 61-68. ISSN 0084-5477. [польською мовою]

33. Сорокін А.А. Розрахунок ґрунтосепаруючої поверхні картоплезбирального комбайна / О.О. Сорокін // Механізація та електрифікація сільського господарства. – 1983. – № 1 – С. 17 – 18.

34. Степанов О.М. Результати дослідження роlikово-дискової картоплесортировки / А.А. Степанов, Є.Є. Орешин, Г.А. Логінов // Наукове забезпечення розвитку АПК за умов реформування: Збірник наукових праць СПБГАУ. – СПб – Пушкін, 2009. – С. 297 – 301.

35. Суханов В. А. Методи розрахунку економічної ефективності нової техніки / В. А. Суханов // Трактори і сільськогосподарські машини. - 1974. - No 11. - С. 35 - 37.

36. Фомін І.М. Картоплезбиральний комбайн для перезвожених кам'янистих ґрунтів / І.М. Фомін, В.В. Пузанов, Д.Г. Петров / / Техніка в сільському господарстві. – 1989. – № 5. – С. 49 – 50.

37. Хаворкорт А.Я Картопля та інноваційні технології / А. Я. Хаворкорт, Б. В. Анісімов. Нідерланди. Вагенінген Академічні Паблізери - 2007. – 422 с.

38. Хамхоев Б.І. Результати досліджень картоплекопача у складних ґрунтово-кліматичних умовах//Проблеми розвитку АПК регіону. - 2019. - №1 (37). - С. 144-149.

39. Хамхоев Б.І., Байбулатов Т.С., Хабібов С.Р. Удосконалення технологічного процесу збирання картоплі // Проблеми розвитку АПК регіону. - 2019. - №1 (37). - С. 15-20.

40. Хвостов В.А. Машини для збирання коренеплодів та цибулі / В.А. Хвостів, Е.С. Рейнгарт. - М: А.О. "Полімат", 1995. - 391 с.

41. Хотовський Ю., Типа І., 2010: Картопляні сорти. Характеристика табличної. Засоби захисту рослин і насінневої картоплі ІНАР. Бонін. 2010. <http://www.ihar.edu.pl/download.php?id=741>

42. Шабельник Б.П. Геометрія кулачкової транспортери - очищувача машини для заготівлі коренів./ Б.П. Шабельник // Трактори та сільськогосподарські машини. - 1975. - No 8. - с. 18 - 21.

43. Шабуров Н.В. Калібрування бульб картоплі/Н.В. Шабуров // Механізація та електрифікація сільського господарства, 1987. - № 10. - С. 33 – 53
44. Шабуров Н.В. Результати дослідження обертального сепаратора / Н.В. Шабуров, Л.Ю. Лебедєв // Уральські Ниви. - 1989. - № 12. S 17 - 18.
45. Cantos E., Tudela J., Gil, M.I., 2002: Фенольні сполуки та пов'язані з ними ферменти не обмежують швидкість у розвитку підсмажувальній картоплі. Й. Агрік. Фуд Ем.