

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
УМАНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Інженерно-технологічний факультет
Кафедра агроінженерії

Допущено до захисту
“ ____ ” _____ 20 ____ р.
Зав. кафедри Д.Т.Н., професор
(науковий ступінь, вчене звання)
Володимир ДІДУР
(підпис) (ініціали, прізвище)

ДИПЛОМНА РОБОТА

магістр

(освітній рівень)

тема роботи **«УДОСКОНАЛЕННЯ РОБОЧИХ ОРГАНІВ
КАРТОПЛЕЗБИРАЛЬНОЇ МАШИНИ ТА ОБГРУНТУВАННЯ
ПАРАМЕТРІВ ЇЇ РОБОТИ»**

Виконав: студент 2 курсу, групи 21м-ім
освітньої програми магістр
спеціальності Н7
«Агроінженерія»
Мартинюк О.І.
(прізвище та ініціали)

Керівник к.е.н., доцент, Кутковецька Т.О.
(науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

м. Умань – 2025 рік

РЕФЕРАТ

Мартинюк О.І. Удосконалення робочих органів картоплезбиральної машини та обґрунтування параметрів їх роботи (Дипломна робота, Уманський національний університет, 2025: пояснювальна записка на 48 сторінках, у т.ч. 5 розділів, 35 рисунків, 13 таблиць, 12 джерел літератури).

В дослідженнях вирішувалися завдання покращення показників роботи картоплезбиральних машин та зменшення їх енергоємності на процес викопування картоплі через обґрунтування параметрів підкопувальних робочих органів.

Так, як картопля на сьогодні є однією із головних харчових продуктів і має великі площі вирощування у сільськогосподарському виробництві та є трудомісткою операцією у технологіях виробництва таких культур, завжди актуальними є питання про використання механізованих засобів збирання бульб картоплі.

Таким чином, завдання щодо підвищення ефективності технологічної операції викопування картоплі вирішувалася через удосконалення конструкції робочих органів картоплезбиральних машин, це підкопувально-сепарувального робочого органу та обґрунтування його раціональних параметрів.

Об'єкт дослідження – технологічна операція викопування картоплі.

Предмет дослідження – вплив конструктивних параметрів підкопувально-сепарувального робочого органу на стан ґрунт та його зміни в процесі викопування.

Метою роботи є підвищення ефективності технологічної операції викопування картоплі шляхом удосконалення конструкції робочого органу картоплезбиральної машини з обґрунтуванням параметрів його роботи.

Ключові слова: ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕС, ВИКОПУВАННЯ КАРТОПЛІ, КАРТОПЛЕЗБИРАЛЬНА МАШИНА, КОНСТРУКЦІЯ, ПАРАМЕТРИ ПІДКОПУВАЛЬНО-СЕПАРУВАЛЬНОГО РОБОЧОГО ОРГАНУ.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	4
РОЗДІЛ 1. СУЧАСНИЙ СТАН ДОСЛІДЖУВАНОВОГО ПИТАННЯ.....	5
1.1. Огляд способів механізованого збирання картоплі.....	5
1.2. Аналіз конструкцій підкопувальних робочих органів картоплезбиральних машин.....	8
1.3. Мета та завдання дослідження.....	12
РОЗДІЛ 2. ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ	14
2.1. Схема та параметри підкопувального робочого органу.....	14
2.2. Дослідження взаємодії робочого органу з ґрунтом.....	17
2.3. Дослідження опору переміщення лемішної частини підкопувально-сепарувального робочого органу.....	19
РОЗДІЛ 3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	23
3.1. Результати дослідження показників роботи підкопувально-сепарувального робочого органу.....	23
3.2. Результати дослідження впливу зміни конструктивних параметрів підкопувально-сепарувального робочого органу на тяговий опір.....	30
3.3. Результати оцінки сепарування підкопувально-сепарувальним робочим органом.....	33
РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ.....	38
4.1. Організація охорони праці в сільськогосподарському підприємстві.....	38
4.2. Моделювання виникнення травм при роботі з картоплезбиральною машиною.....	39
РОЗДІЛ 5. ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ УДОСКОНАЛЕНОГО РОБОЧОГО ОРГАНУ.....	41
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	45
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	47

ВСТУП

Картопля – одна із найважливіших продуктивних культур у світі та зокрема, в Україні. З одиниці площі картопля дає більше поживних речовин ніж будь-яка інша сільськогосподарська культура. Так, один гектар картоплі може принести в 2-4 рази більшої кількості продуктів харчування в порівнянні із зерновими культурами.

Вирощування картоплі є трудомісткою операцією, тому вона потребує механізованого збирання врожаю. Як відомо, у світовому картоплярстві спостерігається тенденція переходу до виробництва основного обсягу картоплі за машинними технологіями з використанням високопродуктивної техніки. Так, як вона дозволяє мінімізувати використання ручної праці та підвищити якість продукції. Незважаючи на велику кількість сучасних машин, все ж таки постає проблема в конструкції робочих органів, зокрема підкопувальних та сепарувальних робочих органів, що відповідають за якісне збирання врожаю.

Таким чином, з вищевказаного, підвищення ефективності технологічної операції збирання картоплі за допомогою засобів механізації й зменшення енергозатрат на її збирання є актуальним завданням у сільськогосподарському виробництві на сьогодні.

РОЗДІЛ 1

СУЧАСНИЙ СТАН ДОСЛІДЖУВАНОГО ПИТАННЯ

1.1. Огляд способів механізованого збирання картоплі.

Найбільш трудомісткою та головною операцією у вирощуванні картоплі є процес збирання врожаю. Механізоване збирання картоплі полягає в наступних послідовних операціях – це викопування її, очищення від ґрунту та бадилля, завантаження у бункер або в транспортні засоби та вивезення у місця зберігання або реалізацію [5; 6].

Згідно агротехнічних вимог картоплезбиральні машини мають працювати наступним чином [1]:

- 1) повнота викопування картоплі має бути не менше як 97 – 98 %;
- 2) пошкодження та втрати картоплі допускаються до 3 %;
- 3) чистота картоплі в бункері має бути не менше 80 %;

Картоплю збирають потоковим, розподільним та комбінованим способами (рис. 1.1). Залежно від способу збирання та ґрунтово-кліматичних умов вибираються й наявні машини для виконання даної технологічної операції [11; 12].

За потоковим способом збирання картоплі відбувається виконання операцій однофазно, а саме: підкопування картоплі, відокремлення від ґрунту та бадилля, сепарація від домішок та вивантаження у транспортні засоби для вивезення у місця зберігання або сортування.

Проте, є недолік даного способу збирання картоплі, тобто при високій вологості ґрунту знижується ефективність процесу. Механічні пошкодження картоплі зростають до 40-60 % під час збирання її в дощову погоду та за недостиглої картоплі. Тому, рекомендується проводити збирання за вказаним способом для осінньої реалізації картоплі, такими картоплезбиральними машинами як: дворядний самохідний комбайн AVR Mistral (рис. 1.2, а), напівпричіпний дворядний комбайн Grimme DR 1500 або ККУ 2А (рис. 1.2, б), картоплесортувальні пункти, наприклад, КСП-25, Rolmet M 614/1, K 750 [5].

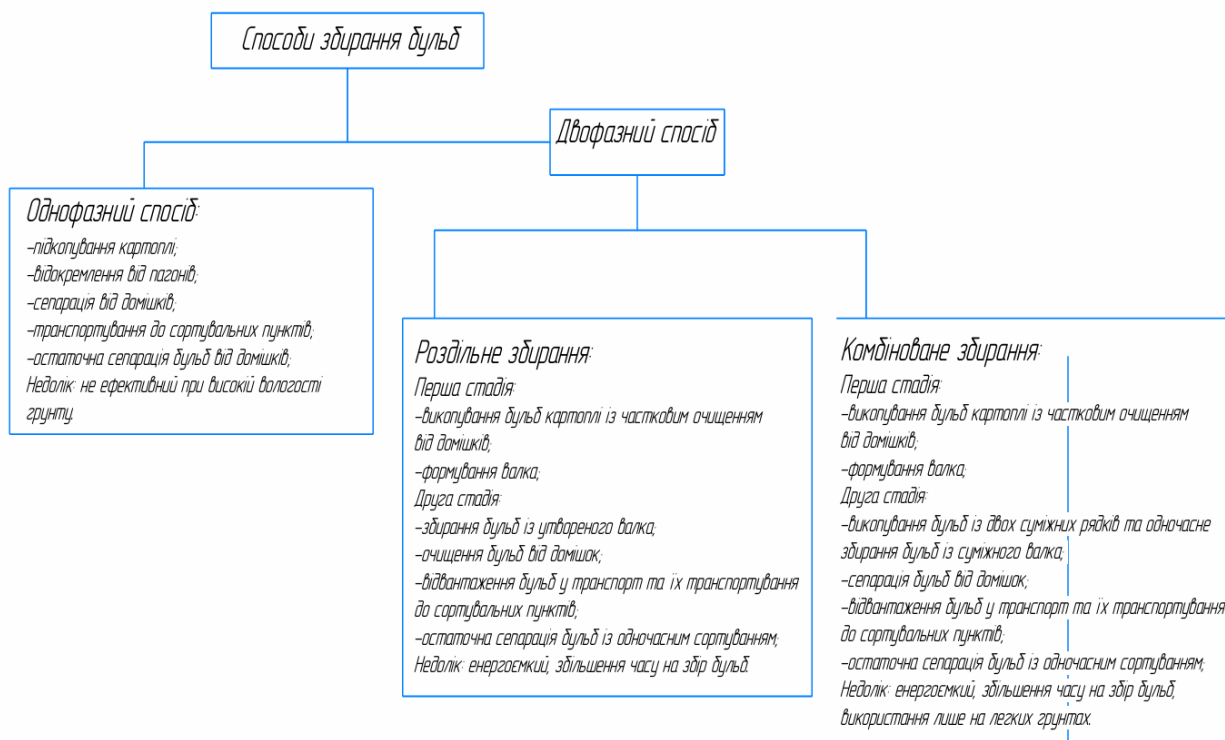


Рисунок 1.1 – Способи збирання картоплі та їх класифікація

Двофазний спосіб поділяється на роздільний та комбінований.

Коли існують важкі умови збирання картоплі, такі як підвищена вологість або надмірна засміченість домішками, використовують роздільний спосіб збирання врожаю.



а



б

Рисунок 1.2 – Картоплезбиральні комбайни марок AVR Mistral (а) та ККУ-2А (б)

При роздільному збиранні на першому етапі застосовують картоплекопачі-валкоукладачі, такі як УКВ-2 (рис. 1.3.), що є причіпними агрегатами з тракторами тягового зусилля 14 кН.

Технологічна операція включає наступні операції:

Перша операція:

- викопування картоплі з частковим очищенням від домішок;
- формування валків.

Друга операція:

- збирання картоплі із укладених валків;
- очищення картоплі від домішок;
- завантаження картоплі у транспортні засоби та вивезення її до сортувальних пунктів;
- кінцева сепарація картоплі з паралельним її сортуванням.



Рисунок 1.3 – Картоплекопач-валкоукладач марки УКВ-2

Другий етап здійснюється за допомогою картоплезбиральних комбайнів, таких марок, як ККУ-2А, КПК-3 або FORTSCHRITT E 686 (рис. 1.4).



Рисунок 1.4 – Картоплезбиральний комбайн марки FORTSCHRITT E 686

Збирання картоплі комбінованим способом також виконується у два етапи [1; 12]. Картоплю викопують з двох рядків картоплекопачем-валкоукладачем і укладають у міжряддях двох сусідніх рядків. У це саме міжряддя можна укласти бульби, викопані з двох сусідніх рядків, розміщених з другого боку цього міжряддя (перший етап). Потім картоплю збирають комбайном (другий етап). Продуктивність комбайна при роздільному чи комбінованому способах збирання підвищується у 2 – 2,5 рази, значно знижуються затрати праці та витрата коштів порівняно з прямим комбайнуванням. Але є недолік даного способу, тому що виникає потреба в залученні додаткової техніки для збирання картоплі та значні витрати часу на виконання технологічних операцій, що складаються з двох етапів.

1.2. Аналіз конструкцій підкопувальних робочих органів картоплезбиральних машин.

Підкопувальні робочі органи картоплезбиральних машин, залежно від дії на ґрунт, діляться на пасивні, активні та комбіновані. В завдання підкопувального робочого органу входить підкопування маси разом із шаром ґрунту та наступним відокремленням картоплі від ґрунту та інших домішок шляхом сепарування. За формою підкопувальні робочі органи бувають лемішні та дискові [2; 6].

Пасивними робочими органами машин для збирання картоплі є леміш (для підкопування), пасивні ворушилки та щитки (для відділення бульб від землі та напрямки потоку маси). Ці органи працюють без приводу від двигуна, використовуючи енергію руху самого агрегату, їх основне завдання – розпушувати ґрунт та сприяти відділенню картоплі.

Активні робочі органи машин для збирання картоплі – це леміш, елеватори (основний та каскадний) та вібраційні решітки, які підкопують ґрунт, руйнують грудки, просіюють землю та відокремлюють бульби від бадилля та залишків ґрунту. Леміш підрізає і подає шар землі з бульбами на елеватор, який струшує його і відділяє ґрунт. Каскадний елеватор і вібраційні решітки продовжують цей процес, тобто бадилля й великі грудки викидаються у валок, тоді як бульби та дрібна земля

проходять далі.

Комбіновані робочі органів у картоплезбиральних машинах передбачають використання декількох механізмів в одному агрегаті для виконання різних етапів процесу. Вони включають леміш для підрізання шару ґрунту, транспортери для просіювання ґрунту і сепарації бульб від землі, а також пристрої для остаточного очищення та сортування картоплі. Такий підхід дозволяє досягти високої ефективності, оскільки всі етапи збирання та очищення проводяться одночасно.

Плоский прями́й лемі́ш є найпростішим підкопувальним робочим органом картоплезбиральних машин (рис. 1.5, а).

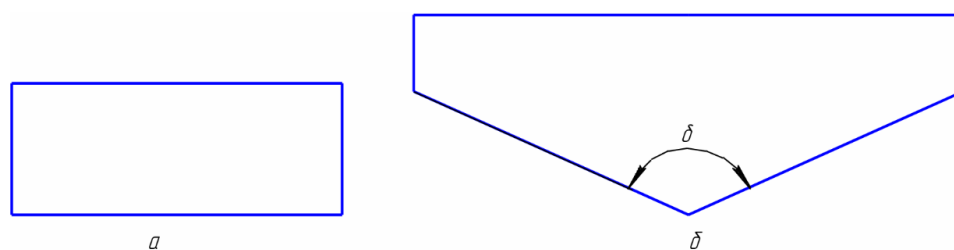


Рисунок 1.5 – Плоский леміш для викопування картоплі:

а – прями́й; б – трикутний; δ – кут загострення

Даний робочий орган призначений для підкопування та викопування бульб разом із шаром ґрунту. Він працює на принципі пасивного підрізування шару, після чого ґрунт із картоплею переміщається на елеватор, де відбувається відсіювання землі від бульб. Цей тип леміша підходить для легких та середніх ґрунтів.

Щоб усунути розвалювання ґрунту з картоплею в боки застосовують багатосекційні леміші (рис. 1.6).

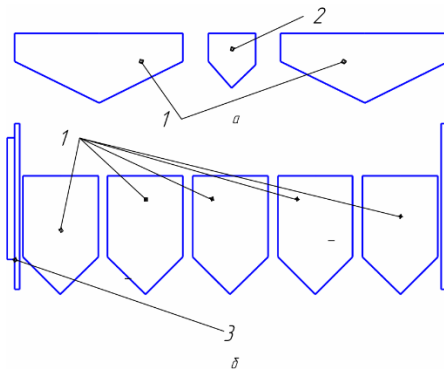


Рисунок 1.6 – Плоский трикутний леміш: а – вставна секція; б – трикутний багатосекційний плоский леміш; 1 – леміш; 2 – вставна секція; 3 – боковини

Щоб запобігти згружуванню ґрунту у передній частині робочого органу використовують леміші з активним приводом (рис. 1.7).

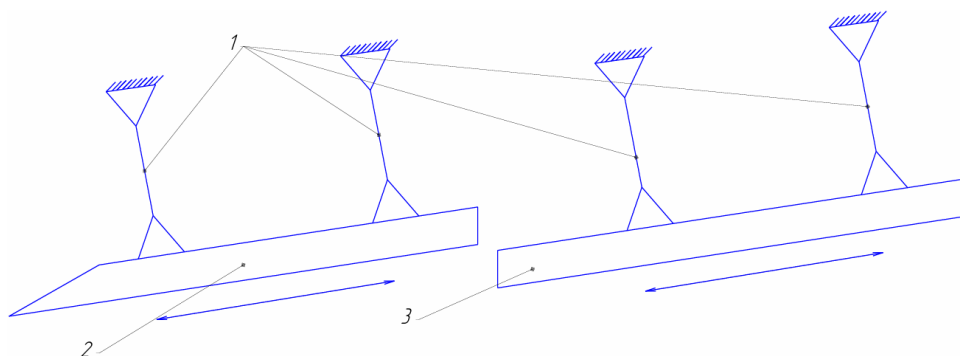


Рисунок 1.7 – Колівальний леміш:

1 – підвіска; 2 – схема леміша в передній частині;

3 – схема леміша в задній частині

До істотних переваг такої конструкції леміша належить самоочищення та активне переміщення шару ґрунту по його поверхні. Серед недоліків є глибше входження леміша в ґрунт, яке пов'язане з рухом його передньої частини.

На рис. 1.8 показано схему колівального леміша з плоскими секціями з активним приводом, робота якого полягає в протифазі з колівальними боковинами для зрівноваження сил інерції. Така конструкція робочого органу для підкопування картоплі спеціально була розроблена для машин елеваторного типу [6].

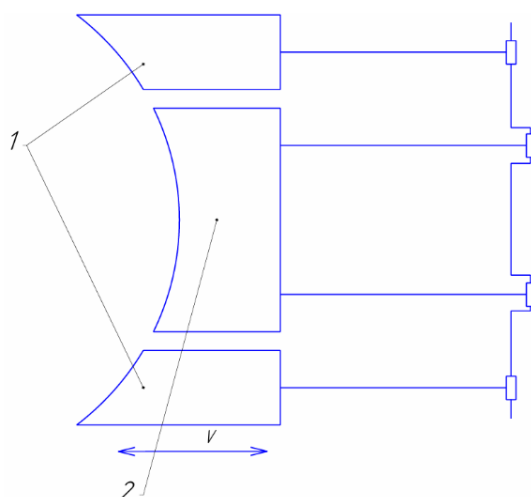


Рисунок 1.8 – Схема колівального леміша, робота якого полягає в протифазі з колівальними боковинами: 1 – боковини, що коливаються; 2 – пласка секція;

V – швидкість коливання

Дискові леміші з активним приводом (рис. 1.9) – це робочі органи, які підкопують картоплю, обертаючись, і мають переваги перед звичайними лемішами, тобто менші втрати врожаю та менший тяговий опір. Даний робочий орган має конструкцію валиків (рис. 1.10), який складається з квадратного і круглого валиків, що обертаються в напрямку переміщення шару ґрунту.

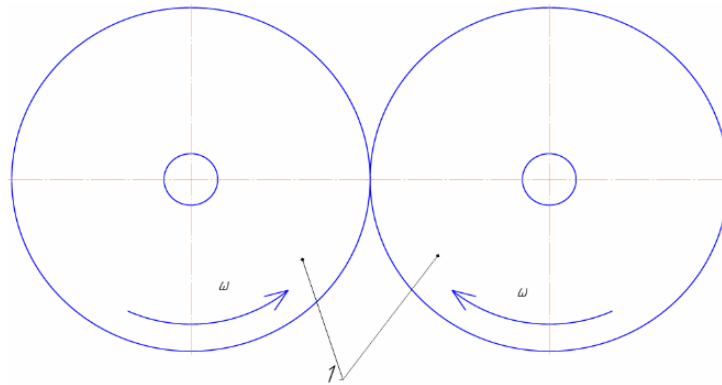


Рисунок 1.9 – Активний дисковий леміш: 1 – дисковий леміш; ω – кутова швидкість обертання дискових лемішів

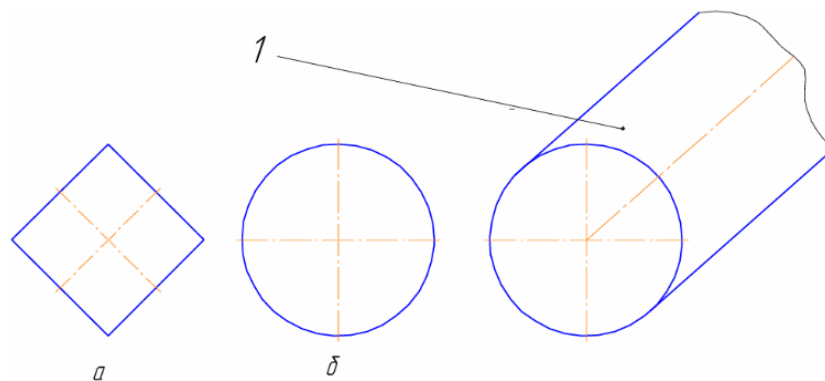


Рисунок 1.10 – Схема активного валикового леміша:

1 – валиковий леміш; а – квадратний переріз; б – круглий переріз

Серед відомих підкопувальних робочих органів картоплезбиральних машин є комбіновані робочі органи. Вони мають в своїй конструкції комбіновані пасивні леміші з елементами, що здійснюють обертальні або коливальні рухи [6].

Для прикладу таким підкопувальним робочим органом є грядкопідійомник дисковий (рис. 1.11), який складається з леміша та дисків на барабані, що закріплені по боках барабана.

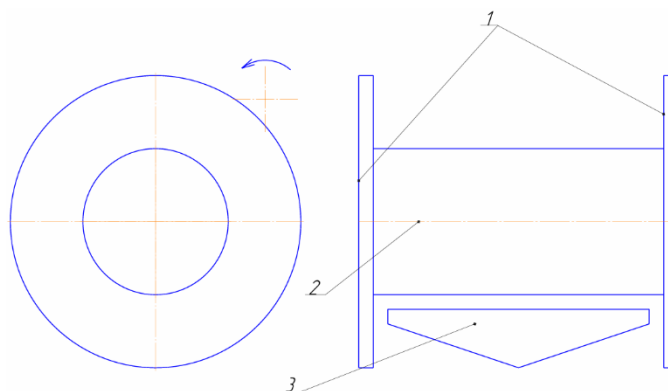


Рисунок 1.11 – Грядкопідйомник дисковий: 1 – диски; 2 – барабан; 3 – леміш

Переваги грядкопідйомника дискового – це підкопування тільки самого рядка та немає розвалювання шару ґрунту по боках.

Таким чином, серед розглянути підкопувальних робочих картоплезбиральних машин, їх переваг та недоліків нами визначена актуальність удосконалення даних робочих органів, що полягає в спрощенні конструкції зменшенні пошкодження і втрат картоплі та зменшенні енерговитрат на виконання технологічної операції.

1.3. Мета та завдання дослідження.

Таким чином, при проведенні аналізу способів збирання та конструкцій робочих органів картоплезбиральних машин визначено деякі недоліки існуючих конструкцій – це випадання картоплі в процесі проходження маси по поверхні леміша та сепарувального пристрою; ушкодження картоплі в момент підкопування; згужування ґрунту на підкопувальних робочих органах; значна металоємкість робочих органів у конструкції. Тому, виникає потреба в удосконаленні робочих органів машин для збирання картоплі, а саме підкопувально-сепарувальної групи.

Метою досліджень є підвищення ефективності технологічної операції викопування картоплі шляхом удосконалення конструкції робочого органу картоплезбиральної машини з обґрунтуванням параметрів його роботи.

Для досягнення поставленої мети з врахуванням проведеного аналізу вище потрібно розв'язати такі завдання:

- здійснити огляд способів збирання картоплі механізованими засобами та виконати аналіз конструкції робочих органів картоплезбиральних машин для визначення напрямів їх удосконалення;
- провести теоретичні дослідження щодо конструктивних параметрів удосконаленого робочого органу з їх обґрунтуванням;
- здійснити експериментальні дослідження сепарувальної здатності робочого органу;
- визначити економічну ефективність роботи підкопувально-сепарувального робочого органу.

РОЗДІЛ 2

ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1. Схема та параметри підкопувального робочого органу.

Результати аналізу конструкцій підкопувальних робочих органів машин для збирання картоплі та досліджень їх взаємодії з ґрунтом, враховуючи зменшення енергоємності операції підкопування показали актуальність даної проблеми. Щоб зменшити енергетичні витрати на процес викопування картоплі, при умові, що вона посаджена гребневим способом, нами запропоновано підкопувально-сепарувальний робочий орган [8], схема (рис. 2.1) даного технічного рішення має вигляд:

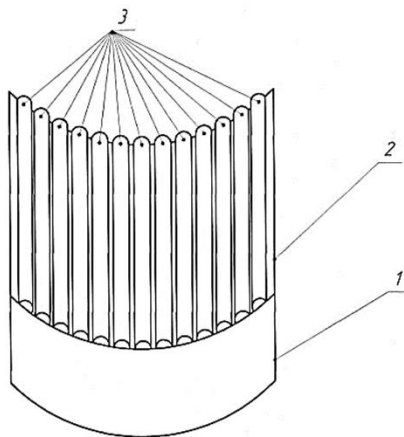


Рисунок 2.1 – Підкопувально-сепарувальний робочий орган:

1 – леміш; 2 –поверхня сепарувальна; 3 – прутки

Процес викопування бульбоплодів складається з декількох послідовних операцій, а саме: підкопування скиби ґрунту разом з бульбоплодами, транспортування скиби по підкопувальній поверхні, переміщення цієї скиби по сепарувальній поверхні робочого органу і подальше переміщення картопляного вороху разом з залишками ґрунту на активну сепарувальну частину робочого органу.

Відповідно до поставлених завдань дослідження здійснено аналіз впливу параметрів та режимів роботи лемішного й пруткового сепарувального елементів робочого органу на ґрунт і його стан зміни, а також розуцілювання і можливість

розпушення, для забезпечення кращих умов просіювання саме через пруткову частину поверхні, яка сепарує.

Для першого припущення робочий орган при входженні в ґрунт представлений у вигляді конструкції схема якого показана на рис. 2.2.

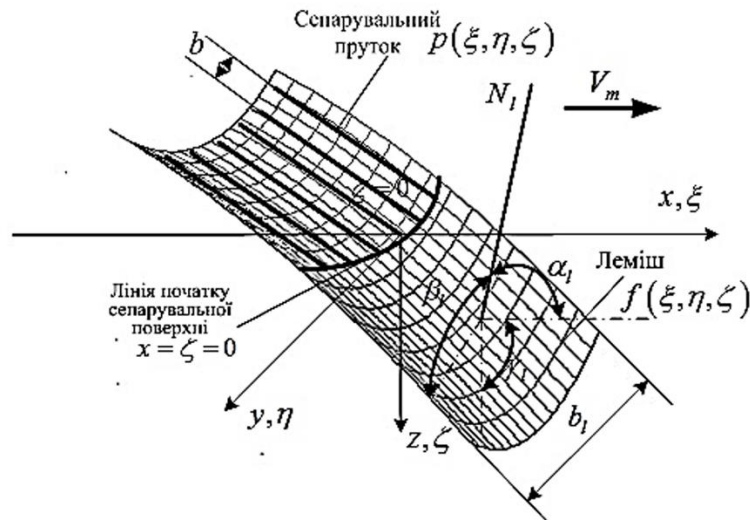


Рисунок 2.2 – Розрахункова схема підкопувально-сепарувального робочого органу

У системі координат $x y z$, яка відповідає ґрунтовому простору поля, при цьому вісь x спрямована в напрямку переміщення робочого органу зі швидкістю V_m лежить у поверхні $x y$ при значенні $z=0$, і тобто на денній поверхні поля, вісь z спрямована в глибину ґрунтового простору, а вісь y спрямована перпендикулярно до напрямку руху робочого органу і збігається з поверхнею $z=0$.

Система координат $\xi \eta \zeta$ *idem* $x y z$, збігається з системою координат ґрунтового напівпростору. Ця система прийнята для описання в ній рівнянь поверхонь складових частин робочого органу.

На схемі прийняті наступні позначення: $f(\xi, \eta, \zeta)$ – рівняння поверхні леміша, $p(\xi, \eta, \zeta)$ – рівняння поверхні сепарувального прутка, b – крок розстановки сепарувальних прутків у поперечному напрямку, тобто в напрямку осі y , N_l – нормаль до поверхні леміша, α_l – кут нахилу нормалі до поверхні леміша до осі ζ *idem* x , β_l – кут нахилу нормалі до поверхні леміша до осі ζ *idem* y , γ_l – кут нахилу до поверхні леміша до осі ζ *idem* z , V_m – швидкість переміщення робочого органу в напрямку осі x .

Таким чином, необхідно записати рівняння поверхонь частин підкопувального робочого органу у системі координат $\xi\eta\zeta$.

Рівняння поверхні леміша та поверхні, в якій розміщені сепарувальні прутки, може представлятися у вигляді гіперболічного параболоїду в неявному вигляді [5]:

$$f_l = \zeta - \left(d + c \left(\frac{((\phi\xi) + s)^2}{a} - \frac{(\kappa\eta)^2}{b} \right) \right), \quad (2.1)$$

де ϕ , κ , s , a , b , c – коефіцієнти, що характеризують форму, розташування та параметри кривизни поверхні лемішної частини, яка в подальшому переходить у пруткову сепарувальну частину. При цьому перехід у сепарувальну частину поверхні відбувається при координатах $\zeta=z$, що відповідає поверхні поля; d – коефіцієнт, який характеризує зміщення осі відносно центру координат по осі ζ *idem* z .

Враховуючи коефіцієнти рівняння (2.1), будемо їх вважати формоутворювальними параметрами та на основі них визначати конструктивні параметри підкопувального робочого органу.

Враховуючи осьову симетрію робочого органу відносно осі ξ x , можна розглядати частину робочого органу. Крім того, будемо розглядати весь робочий орган, як окремі частини при взаємодії з ґрунтом та ворохом у послідовності взаємодій. Зміни напружено-деформованого стану можуть визначатися шляхом накладання цих станів від дії окремих елементів робочого органу. Тому доцільно розглядати поетапно спочатку взаємодію лемішної частини та обмежувальної стінки, як окремих елементів з середовищем а потім, розташувавши в зручному положенні систему координат відокремленої скиби ґрунту з бульбами, розглянемо умови змін властивостей ґрунту та можливі умови сепарації на прутковій частині робочого органу.

При узагальненні всього необхідно враховувати, що механічні властивості робочого органу взаємодіють з матеріалом або середовищем, які можуть змінювати його властивості. Тому, ці механічні властивості мають мати значення, які описують деформацію робочого органу та будуть більшими за аналогічні значення

середовища або матеріалу. У випадку, якщо немає таких обмежень відносно пошкоджень чи руйнування цілісності матеріалу через перевищення допустимих напружень, робочий орган можна вважати абсолютно твердим недеформуючим тілом.

2.2. Дослідження взаємодії робочого органу з ґрунтом.

Для загальних випадків у розв'язанні контактних задач застосовуються такі групи рівнянь: рівняння динаміки (статики) суцільного середовища, рівняння рівноваги на поверхні контакту, геометричні рівняння, фізичні рівняння зв'язку напружень з деформаціями (швидкостями деформацій) та рівняння сумісності деформацій [1].

Рівняння динаміки суцільного середовища використовуються при великих швидкостях переміщень, мають вигляд [1]:

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial z} + \rho \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} &= X, \\ \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_y}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial z} + \rho \frac{\partial^2 v}{\partial t^2} &= Y, \\ \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial y} + \frac{\partial \sigma_z}{\partial z} + \rho \frac{\partial^2 w}{\partial t^2} &= Z, \end{aligned} \right\}, \quad (2.2)$$

де u, v, w – компоненти швидкостей переміщень, м/с; ρ – густина середовища, кг/м³; X, Y, Z – масові (об'ємні) сили, Н/м³.

Для випадку, коли інерційні складові мають несуттєве значення, тобто відсутні прискорення переміщень середовища, та відсутності або несуттєвості величин масових сил рівняння (2.2) набудуть вигляду:

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial z} &= 0, \\ \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_y}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial z} &= 0, \\ \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial y} + \frac{\partial \sigma_z}{\partial z} &= 0. \end{aligned} \right\}, \quad (2.3)$$

Рівняння рівноваги на поверхні контакту мають вигляд:

$$\left. \begin{aligned} \sigma_x l + \tau_{xy} m + \tau_{xz} n &= \bar{X}, \\ \sigma_y m + \tau_{yz} n + \tau_{xy} l &= \bar{Y}, \\ \sigma_z n + \tau_{xz} l + \tau_{yz} m &= \bar{Z}, \end{aligned} \right\}, \quad (2.4)$$

де l, m, n – напрямні косинуси зовнішньої нормалі до поверхні, яка обмежує середовище, тобто контактної поверхні (поверхні робочого органа, XYZ – компоненти проєкцій, розподілених по поверхні контакту сил на відповідні осі координат, Pa).

Геометричні рівняння теорії суцільних середовищ без враховування частин другого порядку будуть мати вигляд [12]:

$$\begin{aligned} \dot{\varepsilon}_x &= \frac{\partial \dot{u}}{\partial x}; \dot{\varepsilon}_y = \frac{\partial \dot{v}}{\partial y}; \dot{\varepsilon}_z = \frac{\partial \dot{w}}{\partial z}; \dot{\gamma}_{xy} = \frac{\partial \dot{u}}{\partial y} + \frac{\partial \dot{v}}{\partial x}; \\ \dot{\gamma}_{yz} &= \frac{\partial \dot{v}}{\partial z} + \frac{\partial \dot{w}}{\partial y}; \dot{\gamma}_{zx} = \frac{\partial \dot{w}}{\partial x} + \frac{\partial \dot{u}}{\partial z}. \end{aligned} \quad (2.5)$$

Рівняння суцільності середовища [12] мають вигляд:

$$\begin{aligned} \frac{\partial^2 \dot{\gamma}_{xy}}{\partial x \partial y} &= \frac{\partial^2 \dot{\varepsilon}_x}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \dot{\varepsilon}_y}{\partial x^2}, \quad \frac{\partial^2 \dot{\gamma}_{yz}}{\partial y \partial z} = \frac{\partial^2 \dot{\varepsilon}_y}{\partial z^2} + \frac{\partial^2 \dot{\varepsilon}_z}{\partial y^2}, \quad \frac{\partial^2 \dot{\gamma}_{zx}}{\partial z \partial x} = \frac{\partial^2 \dot{\varepsilon}_z}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \dot{\varepsilon}_x}{\partial z^2}, \\ 2 \frac{\partial^2 \dot{\varepsilon}_x}{\partial y \partial z} &= \frac{\partial}{\partial x} \left(-\frac{\partial \dot{\gamma}_{yz}}{\partial x} + \frac{\partial \dot{\gamma}_{zx}}{\partial y} + \frac{\partial \dot{\gamma}_{xy}}{\partial z} \right), \quad 2 \frac{\partial^2 \dot{\varepsilon}_y}{\partial z \partial x} = \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{\partial \dot{\gamma}_{yz}}{\partial x} - \frac{\partial \dot{\gamma}_{zx}}{\partial y} + \frac{\partial \dot{\gamma}_{xy}}{\partial z} \right), \\ 2 \frac{\partial^2 \dot{\varepsilon}_z}{\partial y \partial x} &= \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{\partial \dot{\gamma}_{yz}}{\partial x} - \frac{\partial \dot{\gamma}_{zx}}{\partial y} + \frac{\partial \dot{\gamma}_{xy}}{\partial z} \right). \end{aligned} \quad (2.6)$$

Наведені рівняння разом із фізичними включають 15 невідомих. Розв'язок цих рівнянь у сукупності з фізичними рівняннями зв'язку напружень із деформаціями можна виконати різними способами, в залежності від того, які величини прийняті за невідомі, або в залежності від початкових умов [11].

Постановка задачі взаємодії підкопувально-сепарувального робочого органу з ґрунтом відповідає постановці оберненої задачі, тому що початковими умовами є кінематика робочого органу.

Тому, алгоритм розв'язку контактних задач при наявності рівнянь наведених

вище полягає в тому, що геометричні рівняння підставляються у фізичні рівняння, і отримані вирази підставляються в рівняння динаміки (статики) середовища, при цьому повинні виконуватись умови рівноваги на поверхні контакту та рівняння сумісності деформацій.

У випадку, коли такі підстановки після перетворень отриманих рівнянь приводять до системи еліптичних рівнянь, то такі рівняння можуть бути розв'язані з використанням бігармонічних потенціальних функцій.

Бігармонічні потенціальні функції повинні відповідати рівнянню Лапласа другого порядку [2]:

$$\Delta^2 f(x, y, z) = \frac{\partial^4 f}{\partial x^4} + \frac{\partial^4 f}{\partial y^4} + \frac{\partial^4 f}{\partial z^4} = 0 . \quad (2.7)$$

Отже, такі бігармонічні потенціальні функції мають виконувати умови границь, що виникають на поверхні робочого органу при контакті з середовищем та на нескінченності.

2.3. Дослідження опору переміщення лемішної частини підкопувально-сепарувального робочого органу.

На витрати енергії при виконанні технологічної операції викопування картоплі впливають параметри леміша підкопувально-сепарувального робочого органу. Загальновідомо, що основною причиною витрати енергії є опір переміщення робочого органу при виконанні технологічної операції.

Якщо виходити з рівнянь рівноваги на поверхні, то складові опору, що виникають при взаємодії робочого органу, будуть мати вигляд:

$$\begin{aligned} \sigma_{xl} \frac{l}{l} + \tau_{xyl} \frac{m}{l} + \tau_{xzl} \frac{n}{l} &= dF_z; \sigma_{yl} \frac{m}{l} + \tau_{yzl} \frac{n}{l} + \tau_{xyl} \frac{l}{l} = dF_y; \\ \sigma_{zl} \frac{n}{l} + \tau_{xzl} \frac{l}{l} + \tau_{yzl} \frac{m}{l} &= dF_z, \end{aligned} \quad (2.8)$$

де dF_x , dF_y , dF_z складові проекцій сил, що віднесені до одиниці площі контакту.

Таким чином, для отримання складових опору ґрунту переміщенню леміша підкопувально-сепарувального робочого органу, потрібно провести інтегрування елементів dF_x , dF_y , dF_z у площинах, що є перпендикулярними до елементів

розподілених сил за наведеними рівняннями:

$$\begin{aligned} F_{xli} &= \int_0^h \int_{-b_l}^{b_l} (\sigma_{xl} l_l + \tau_{xyl} m_l + \tau_{xzl} n_l) d\eta d\zeta; \\ F_{yli} &= \int_0^h \int_0^{L_l} (\tau_{xyl} l_l + \sigma_{yl} m_l + \tau_{yzl} n_l) d\xi d\zeta; \\ F_{zli} &= \int_0^h \int_0^{L_l} (\tau_{xyl} l_l + \tau_{yzl} m_l + \sigma_{yl} n_l) d\xi d\zeta. \end{aligned} \quad (2.9)$$

Складові сил опору діють на поверхню робочого органа у трьох взаємно перпендикулярних напрямках. Для визначення сумарної сили опору, яка діє в напрямку руху, необхідно врахувати складову сили опору в напрямку руху, вісь ox та врахувати зовнішнє тертя на поверхні робочого органа:

$$F_{xl} = F_{xli} + \sqrt{F_{xli}^2 + F_{yli}^2 + F_{zli}^2} \operatorname{tg}[\psi], \quad (2.10)$$

де $\operatorname{tg}[\psi]$ – коефіцієнт зовнішнього тертя ґрунту по матеріалу робочого органу.

На графіку (рис. 2.3 – 2.4) показана залежність змін тягового опору від параметрів леміша підкопувально-сепарувального робочого органу картоплезбиральних машин.

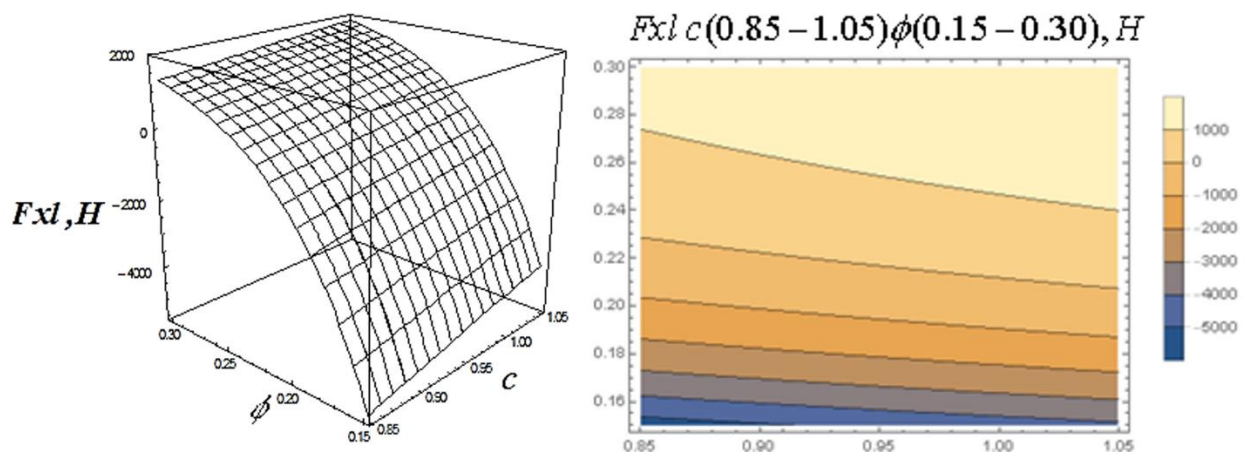


Рисунок 2.3 – Залежності змін тягового опору F_{xl} при різних параметрах форми поверхні леміша підкопувально-сепарувального робочого органу картоплезбиральних машин c, a, b, ϕ, κ

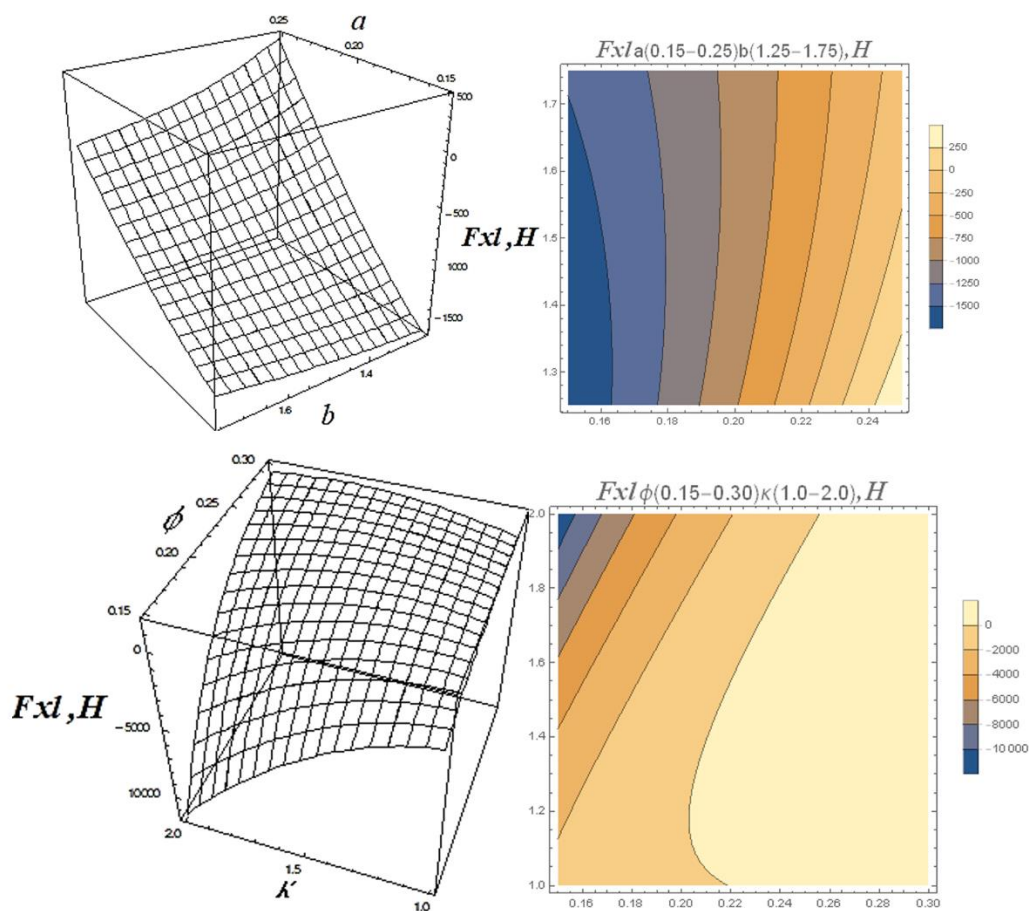


Рисунок 2.4 – Залежності змін тягового опору F_{xl} при різних параметрах форми поверхні леміша підкопувально-сепарувального робочого органа картоплезбиральних машин c , a , b , ϕ , κ

Із аналізу залежностей опору переміщенню леміша підкопувально-сепарувального робочого органа в ґрунті (рис. 2.3 – 2.4) бачимо, що мінімуму тягового опору можна досягти при використанні робочого органа з формоутворювальних параметрами поверхні: $c \rightarrow 0.95$, $\phi \rightarrow 0.25$, $a \rightarrow 0.20$, $b \rightarrow 1.50$, $\kappa \rightarrow 1.50$. Такі значення формоутворювальних параметрів співпадають з тими значеннями даних формоутворювальних параметрів, які забезпечують розпушення ґрунту. Це пояснюється тим, що при таких значеннях формоутворювальних параметрів відбувається руйнування ґрунту в максимально можливій зоні перед робочим органом, отже, опір ґрунту переміщенню робочого органа знижується.

Таким чином, щоб забезпечити найбільшу зону розпушення ґрунту

формоутворювальний параметр має приблизно дорівнювати 0.2. Величина формоутворювального параметра b приймається 1.50. Якщо врахувати, що даний формоутворювальний параметр визначає кривизну леміша в напрямку, поперечному до напрямку руху, подальше його збільшення приведе до зменшення висоти «боковин» підкопувально-сепарувального робочого органу, в свою чергу це призведе до зростання ущільнення в зонах «боковин». Збільшення формоутворювального параметра поверхні c , який визначає поздовжній кут нахилу поверхні, призведе до зростання кута входження леміша у ґрунт, при цьому зменшується величина критерію вигляду напруженого стану, що веде до зростання довжини леміша для забезпечення необхідної глибини ходу. Виходячи з цих міркувань, формоутворювальний параметр $c=0.95$ може вважатися раціональним. Величина формоутворювального параметра ϕ повинна знаходитись в межах $\phi=0.25$, оскільки її зменшення хоч і впливає позитивно на збільшення зони розпушення, але при цьому не забезпечується необхідна глибина ходу робочого органу, а збільшення цієї величини веде до переущільнення ґрунту. Найбільш раціональним значенням формоутворювального параметра k слід вважати його величину $k=1.5$.

РОЗДІЛ 3

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

У ході виконання теоретичних досліджень було розроблено схему нового підкопувально-сепарувального робочого органу картоплезбиральної машини, обґрунтовано його формоутворювальні параметри, на основі яких побудовано 3D модель, яка дозволила визначити його конструктивні параметри та виготовити модель запропонованого робочого органу.

Враховуючи, що експериментальному дослідженню підлягає технічна система, до основних елементів якої відносимо ґрунт – робочий орган – бульби картоплі, виникла потреба в дослідженні всіх цих компонент.

З урахуванням цього, предметом дослідження є конструктивні параметри підкопувально-сепарувального робочого органу, кінематичні та експлуатаційні параметри, які забезпечують високі якісні показники виконання технологічного процесу збирання бульб картоплі.

3.1. Результати дослідження показників роботи підкопувально-сепарувального робочого органу.

Під час проведення експериментальних досліджень було визначено коефіцієнти тертя спокою та руху для пар тертя: плід картоплі – сталева поверхня (табл. 3.1, 3.2), в результаті чого визначені середні значення цих коефіцієнтів.

Таблиця 3.1 – Значення коефіцієнту тертя руху

Стан бульб	Кут тертя руху, град	Коефіцієнт тертя руху	Коефіцієнт варіацій, %
Чисті клубні	28	0,5317	3,5
Бульби з налиплим ґрунтом (площа налипання 10%)	31	0,601	3,8
Бульби з налиплим ґрунтом (площа налипання 30%)	34	0,675	2,9
Бульби з налиплим ґрунтом (площа налипання 60%)	39	0,809	3,5

Гістограма розподілу коефіцієнтів тертя руху залежно від стану бульб наведено на рис. 3.1.

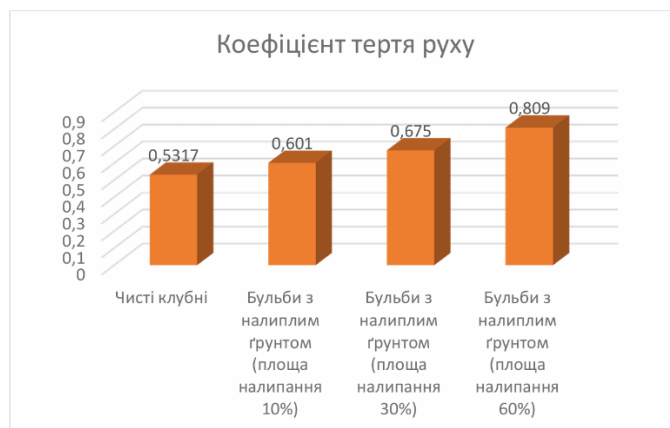


Рисунок 3.1 – Гістограма розподілу коефіцієнтів тертя руху залежно від стану бульб

Аналіз отриманих експериментальних даних виявив, що величина коефіцієнту тертя руху становить в середньому 0,5317 для чистої бульби картоплі за умови її руху по сталевій поверхні. Виявлено, що налипання ґрунту на бульби приводить до зростання величини коефіцієнту тертя в середньому на 7,16 % (за умови, що ґрунт займає 10% площі контакту бульб із сталевою поверхнею тертя).

Відповідно за умови, що ґрунт займає 60% площі контакту бульб із сталевою поверхнею тертя руху становить 34,2%.

Таблиця 3.2 – Коефіцієнт тертя спокою для пари бульба картоплі – сталева поверхня

Стан бульб	Кут тертя руху, град	Коефіцієнт тертя руху	Коефіцієнт варіацій, %
Чисті клубні	30	0,577	3,5
Бульби з налиплим ґрунтом (площа налипання 10%)	34	0,675	3,8
Бульби з налиплим ґрунтом (площа налипання 30%)	37	0,754	3,9
Бульби з налиплим ґрунтом (площа налипання 60%)	41	0,869	3,5

Аналіз отриманих експериментальних даних виявив, що величина коефіцієнту тертя спокою становить в середньому 0,577 що на 8,5% більше коефіцієнту тертя руху для чистої бульби картоплі за умови її руху по сталевій поверхні.

Розрахунок коефіцієнтів варіації підтвердив достовірність виконаних досліджень (не перевищує 10%).

Результати визначення коефіцієнту тертя кочення для чистої бульби [5; 140] наведено в табл. 3.3 – 3.5 (наведено середні значення, отримані в ході проведення дослідів).

Таблиця 3.3 – Коефіцієнт тертя кочення бульби картоплі без забруднення по сталевій поверхні при $\beta=60^\circ$

Маса, гр.	Коефіцієнт тертя кочення	Маса, гр.	Коефіцієнт тертя кочення
113	0,2338	106	0,1819
110	0,2078	109	0,2078
105	0,1819	106	0,1949
104	0,1689	105	0,1819
112	0,2208	111	0,2208
108	0,1949	110	0,2078
106	0,1689	105	0,1949
107	0,1949	103	0,1819
110	0,2208	103	0,1689
112	0,2078	113	0,2338
108	0,1949	110	0,2208
112	0,2338	108	0,1949
111	0,2208		

З рис. 3.2 – 3.4 бачимо, що на коефіцієнт тертя кочення впливає маса бульб картоплі (зі збільшенням маси коефіцієнт тертя зростає). Крім того, значним чином впливає величина кута β нахилу площини коливань до горизонту.

Таблиця 3.4 – Коефіцієнт тертя кочення бульби картоплі без забруднення по сталевій поверхні при $\beta=45^\circ$

Маса, гр.	Коефіцієнт тертя кочення	Маса, гр.	Коефіцієнт тертя кочення
1	2	3	4
113	0,1800	110	0,1575
111	0,1650	113	0,1800
110	0,1575	111	0,1650
104	0,1275	112	0,1725
105	0,1275	111	0,1575
112	0,1725	107	0,1425
106	0,1350	107	0,1425
107	0,1425	110	0,1500
110	0,1500	106	0,1350
110	0,1575	109	0,1575
111	0,1575	111	0,1650
112	0,1650	113	0,1725
113	0,1725		

Таблиця 3.5 – Коефіцієнт тертя кочення бульби картоплі без забруднення по сталевій поверхні при $\beta=30^\circ$

Маса, гр.	Коефіцієнт тертя кочення	Маса, гр.	Коефіцієнт тертя кочення
110	0,1169	109	0,1169
113	0,1256	106	0,1083
112	0,1212	108	0,1126
105	0,1039	105	0,1039
106	0,1083	112	0,1212
108	0,1126	113	0,1256
110	0,1169	111	0,1169
112	0,1212	111	0,1169
113	0,1256	109	0,1126
105	0,1039	112	0,1212
106	0,1083	109	0,1126
111	0,1256	107	0,1083
112	0,1212		

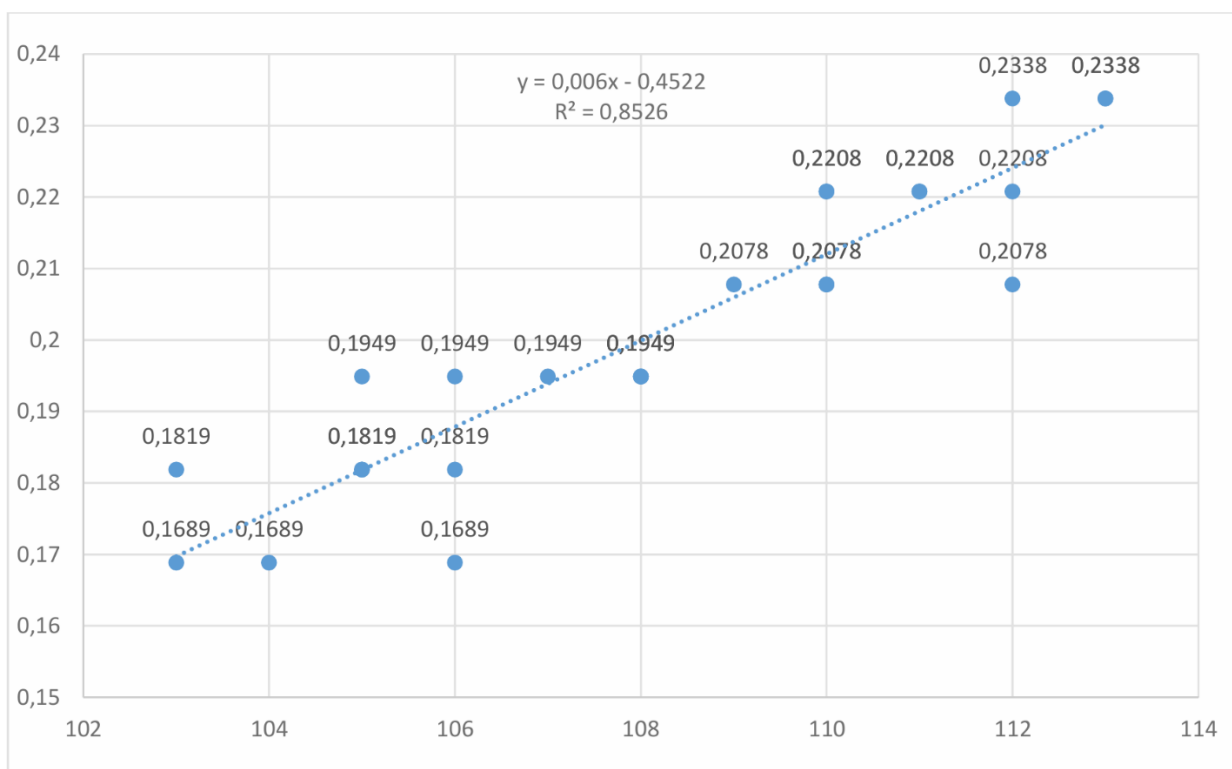


Рисунок 3.2 – Графічна залежність коефіцієнту тертя кочення від маси бульб картоплі за умови її кочення по сталевій поверхні при $\beta=60^\circ$

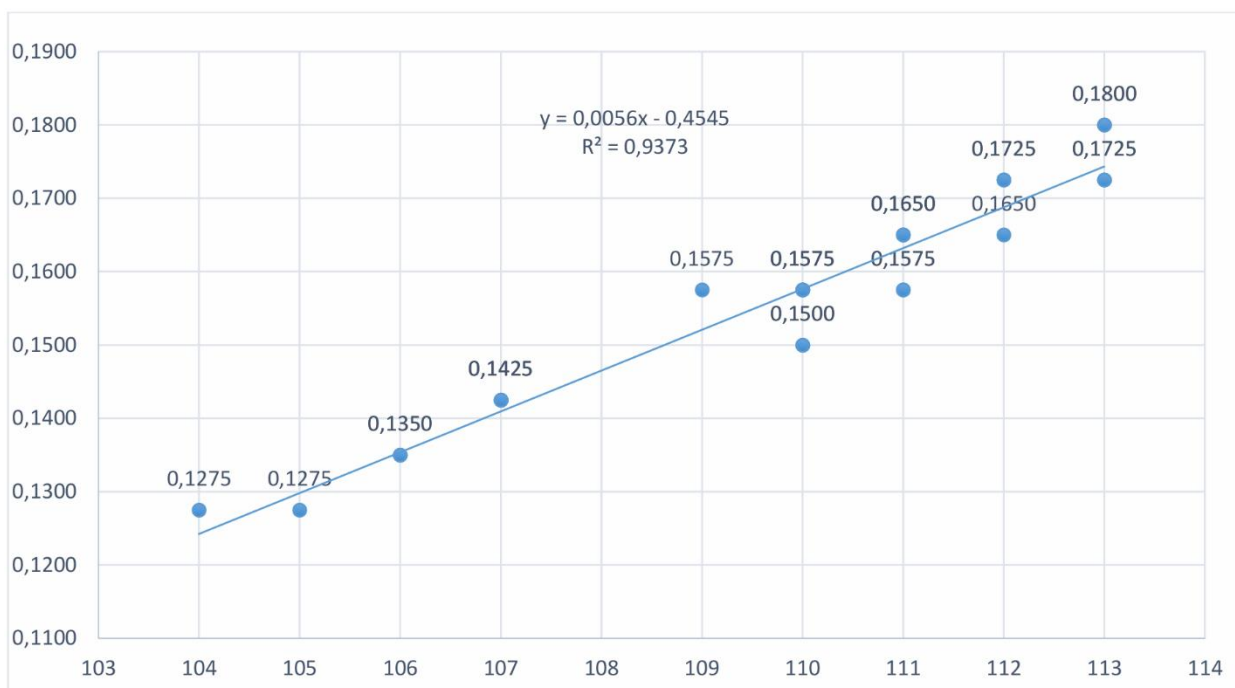


Рисунок 3.3 – Графічна залежність коефіцієнту тертя кочення від маси бульб картоплі за умови її кочення по сталевій поверхні при $\beta=45^\circ$

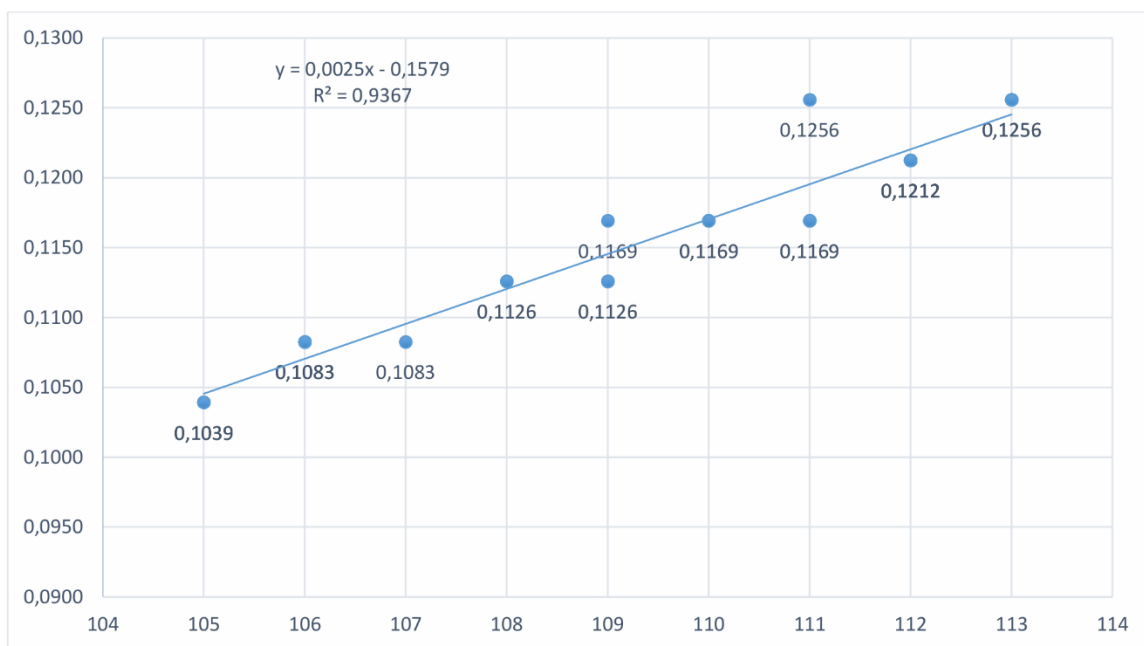


Рисунок 3.4 – Графічна залежність коефіцієнту тертя кочення від маси бульб картоплі за умови її кочення по сталевій поверхні при $\beta=30^\circ$

З аналізу отриманих дослідних даних бачимо, що зі збільшенням кута нахилу поверхні кочення до горизонталі кут тертя зростає.

Аналогічні дослідження виконано для бульб картоплі, які відбирали з підкопаної поверхні за умови, що їхня поверхня забруднена зволоженим ґрунтом в середньому на 35-40%. Результати досліджень подано нижче на рис. 3.5 – 3.7.

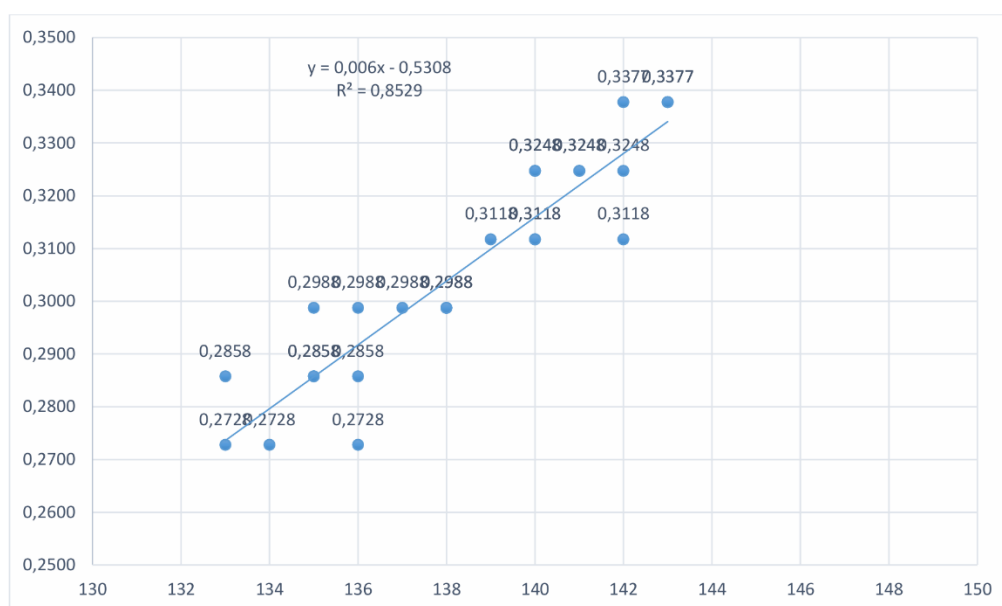


Рисунок 3.5 – Графічна залежність коефіцієнту тертя кочення від маси бульб картоплі за умови що $\beta=60^\circ$

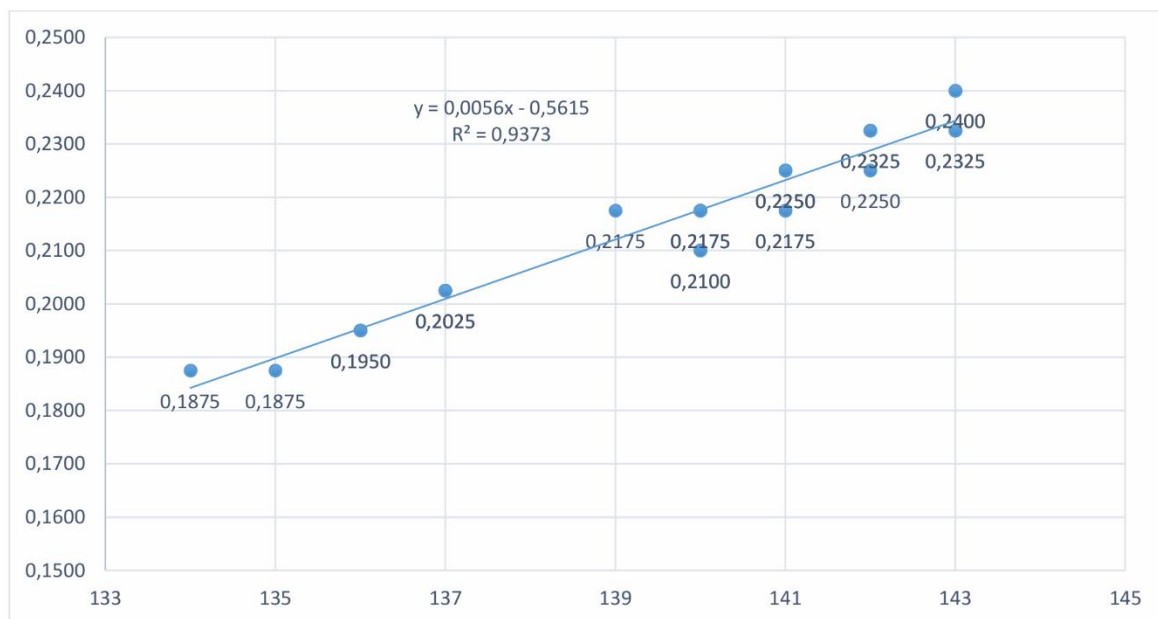


Рисунок 3.6 – Графічна залежність коефіцієнту тертя кочення від маси бульб картоплі за умови що $\beta=45^\circ$

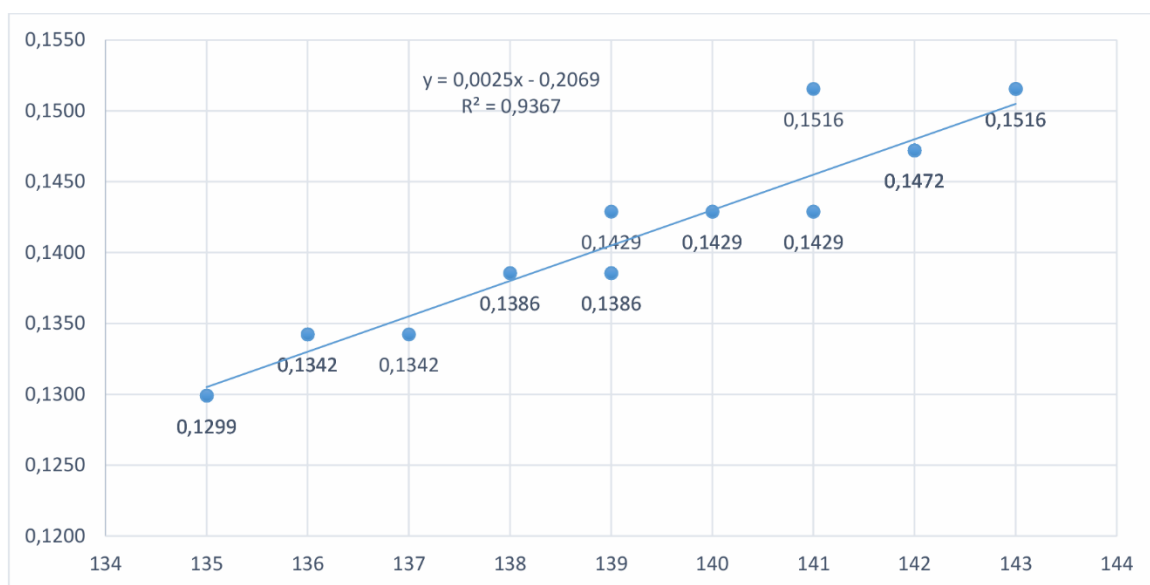


Рисунок 3.7 – Графічна залежність коефіцієнту тертя кочення від маси бульб картоплі за умови що $\beta=30^\circ$

Встановлено, що забрудненість поверхні бульб картоплі в середньому на 35-40% ґрунтом веде до зростання коефіцієнтів тертя кочення на 28%.

Отримані залежності, що описують зв'язок коефіцієнтів тертя та маси бульб і наведені на рис.3.2-3.7, є достовірними, що доведено значеннями коефіцієнту R^2 , який наближається до одиниці.

3.2. Результати дослідження впливу зміни конструктивних параметрів підкопувально-сепарувального робочого органу на тяговий опір.

В ході експериментальних досліджень визначено показники тягового опору при використанні підкопувально-сепарувальних робочих органів із наступними формоутворювальними параметрами:

$$c = 0.95, b = 1.5, \phi = 0.25;$$

$$c = 1.05, b = 1.5, \phi = 0.25;$$

$$c = 0.95, b = 1.5, \phi = 0.15.$$

За даними формоутворювальними параметрами побудовано 3D моделі робочого органу (рис. 3.8) та визначено основні конструктивні параметри для виготовлення фізичних моделей робочого органу.

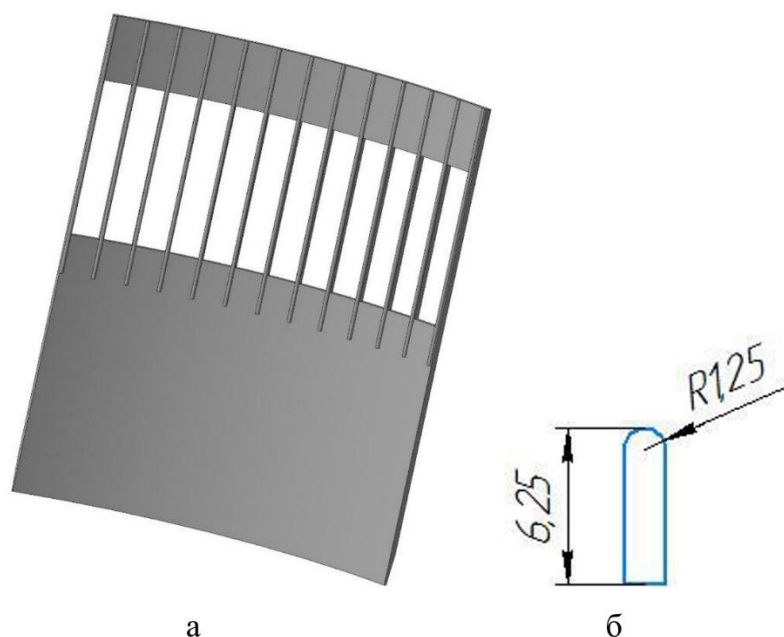


Рисунок 3.8 – Модель робочого органу:

а – загальний вигляд робочого органу; б – геометричний переріз прутка

Основною відмінністю виготовлених моделей є поздовжній кут нахилу поверхні, який для моделі №1 становить 10^0 у зоні лемішної частини та 15^0 в зоні сепарувальної частини робочого органу; моделі № 2 – 5^0 та 25^0 , моделі № 3 – 10^0 і 20^0 відповідно.

Удосконалений підкопувально-сепарувальний робочий орган (рис. 3.9)

бульбозбиральної машини має форму гіперболічного параболоїду, на поверхні якого знаходяться 13 прутків, які починаються від переходу лемішної частини в сепарувальну частину до кінця підкопувально-сепарувального робочого органу.

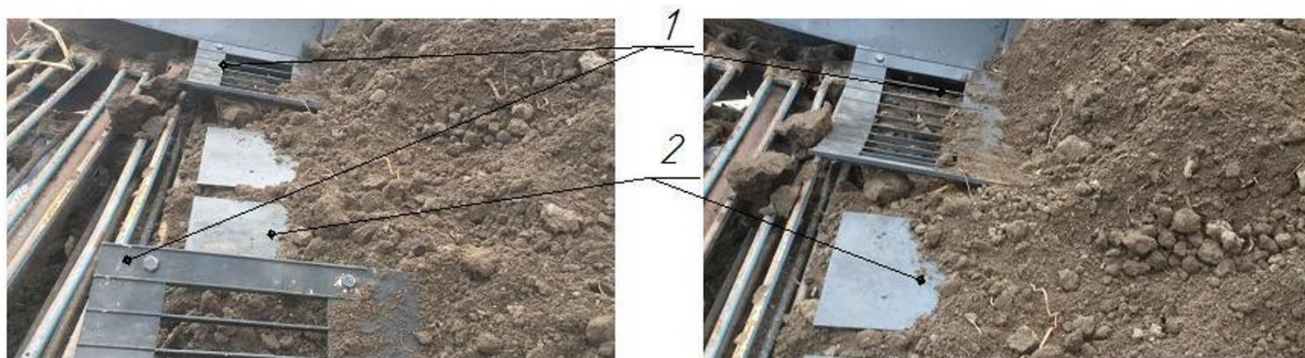


Рисунок 3.9 – Удосконалений підкопувально-сепарувальний робочий орган:

1 – підкопувально-сепарувальний робочий орган; 2 – вставні секції

Геометричні параметри удосконаленого підкопувально-сепарувального робочого органу, який встановлювався на картоплекопачі КТН-2В та Agromet z 609/2:

- довжина підкопувально-сепарувального робочого органу 37 см;
- довжина лемішної частини 20 см;
- довжина сепарувальної частини 17 см;
- довжина сепарувальної частини з отворами 10 см;
- ширина підкопувально-сепарувального робочого органу 30 см;
- кількість прутків 13; відстань між осями прутків 2,5 см;
- розмір геометричного перерізу прутка 0,25 см;
- товщина металу, з якого виготовлений робочий орган 5 мм;
- поздовжній кут нахилу поверхні 14° .

Ширина вставних секцій становила 16 см, відстань між підкопувально-сепарувальним робочим органом та вставною секцією, а також між вставними секціями становила 6 см.

В таблицях 3.6 – 3.8 наведені середні значення тягового опору.

Таблиця 3.6 – Показник тягового опору при значенні формоутворювальних параметрів $c=0.95$, $b=1.5$, $\phi=0.25$

Експериментальне значення, Н	Теоретичне значення, Н	Розбіжність, %
3595	3425	4,9
3362		1,8
3280		4,2
3260		4,8
3260		4,8
3225		5,8
Середнє значення		4,38

Таблиця 3.7 – Показник тягового опору при значенні формоутворювальних параметрів $c=1.05$, $b=1.5$, $\phi=0.25$

Експериментальне значення, Н	Теоретичне значення, Н	Розбіжність, %
3750	3650	2,7
3910		7,1
3925		7,5
3890		6,8
3910		7,1
3880		6,3
Середнє значення		6,25

Таблиця 3.8 – Показник тягового опору при значенні формоутворювальних параметрів $c=0.95$, $b=1.5$, $\phi=0.15$

Експериментальне значення, Н	Теоретичне значення, Н	Розбіжність, %
3598	3560	1,1
3420		3,9
3380		5,1
3360		5,6
3410		4,2
3480		2,2
Середнє значення		3,69

Розбіжність теоретичних і експериментальних даних не перевищує 10%, що доводить їхню узгодженість.

З аналізу отриманих значень бачимо, що робочий орган, конструктивні параметри якого встановлено за рахунок побудови 3D моделі з використанням програмного продукту Mathematica, за умови, що формоутворювальні параметри c , b та ϕ , які входять у рівняння поверхні леміша та поверхні, в якій розміщені сепарувальні прутки, та характеризують форму розташування й параметри кривизни поверхні лемешної частини, яка в подальшому переходить в пруткову сепарувальну частину, становлять: $c=0.95$, $b=1.5$, $\phi=0.25$ створює мінімальний тяговий опір.

Зростання величини тягового опору за умови використання моделей № 2 і № 3 пояснюється зростанням кута входження лемеша у ґрунт (табл. 3.9).

Таблиця 3.9 – Кут входження робочого органу в ґрунт

Номер моделі	1	2	3
Кут входження, град.	20	28	25

При цьому для забезпечення необхідної глибини ходу (прийнятої 0,19 м) потрібно було забезпечити зростання довжини леміша.

Таким чином, проведені дослідження доводять результати теоретичних досліджень, викладених у розділі 2.

3.3. Результати оцінки сепарування підкопувально-сепарувальним робочим органом.

Об'єм ґрунту, який поступає на робочий орган, в середньому становить $34400\text{см}^3=0,0344\text{м}^3$. Об'єм ґрунту, який зійшов на плівку (рис. 3.10), визначали через 1м пройденого шляху. Результати визначення об'єму наведено в табл. 3.10.



Рисунок 3.10 – Підкопувально-сепарувальний робочий орган з рулоном плівки, на яку сходив ґрунт

Таблиця 3.10 – Визначення об'єму ґрунту, який зійшов на плівку (середні значення)

Абсолютна вологість ґрунту, %	Об'єм ґрунту (м ³) при швидкості руху:				
	1.0 км/год	1,5 км/год	2,0 км/год	2,5 км/год	3,0 км/год
1	2	3	4	5	6
12,0	15,770% 0,0289	15% 0,0289	14,7% 0,0293	6% 0,0323	5% 0,0326
15,2	15% 0,0292	14,7% 0,0293	13,9% 0,0296	6% 0,0323	5% 0,0326
18,0	13,8% 0,0296	12,6% 0,030	13% 0,0294	4,8% 0,0327	4,1% 0,0329
25,0	9,4% 0,0312	9,0% 0,0313	5% 0,0326	3,9% 0,0331	Не просівається

На рис. 3.11 – 3.14 подано графічні залежності та рівняння, які розкривають зв'язок між сепарувальною здатністю робочого органу та швидкістю його переміщення. Сепарувальну здатність оцінювали у %.

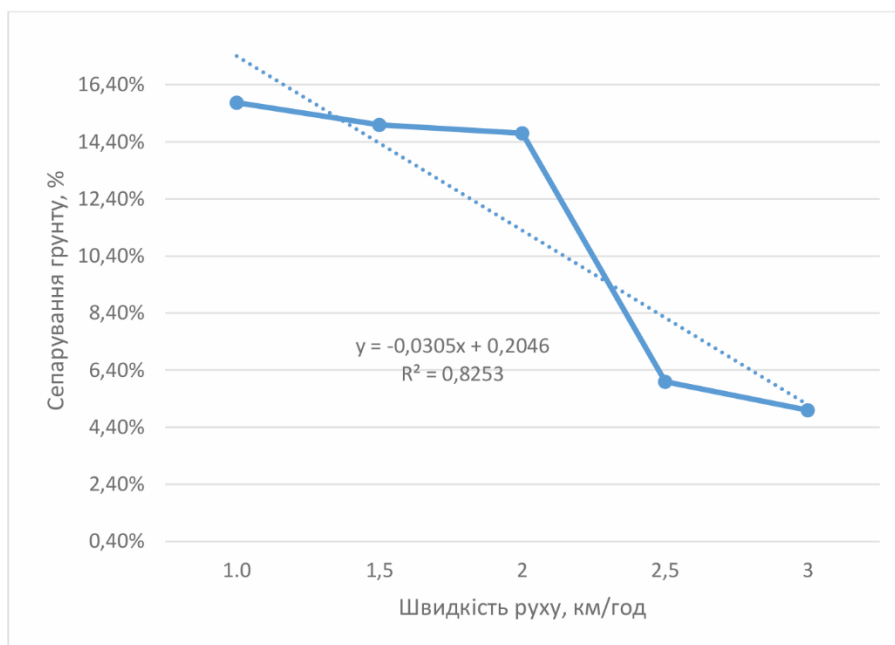


Рисунок 3.11 – Залежність відсепарованого ґрунту від швидкості руху при абсолютній вологості ґрунту 12,0%

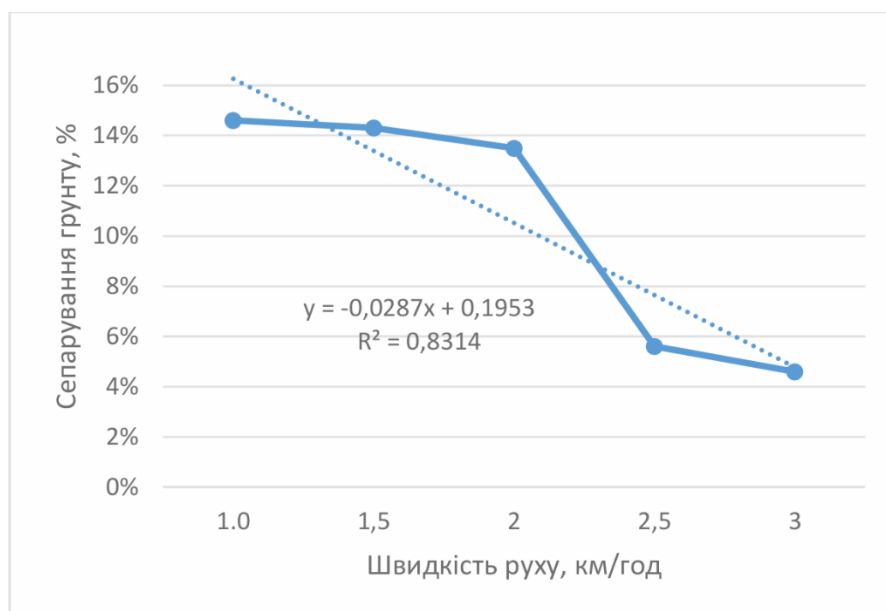


Рисунок 3.12 – Залежність відсепарованого ґрунту від швидкості руху при абсолютній вологості ґрунту 15,2%

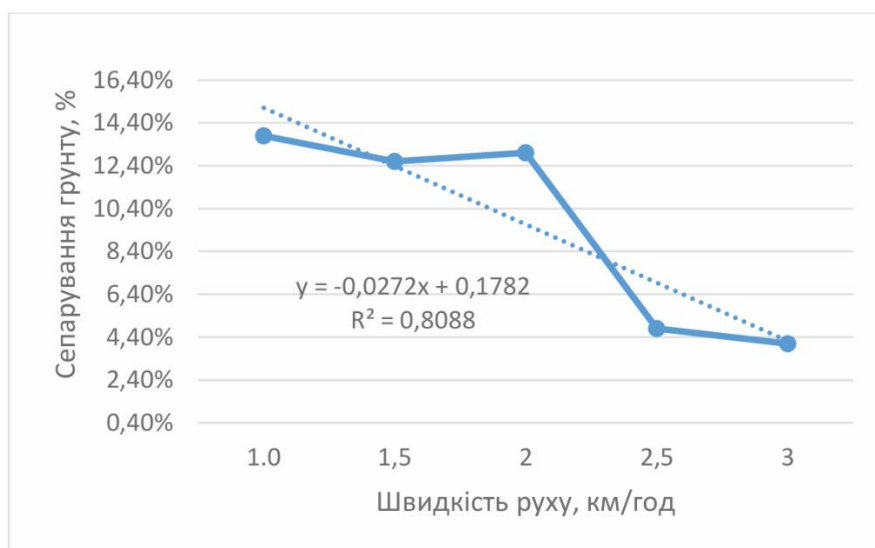


Рисунок 3.13 – Залежність відсепарованого ґрунту від швидкості руху при абсолютній вологості ґрунту 18,0%

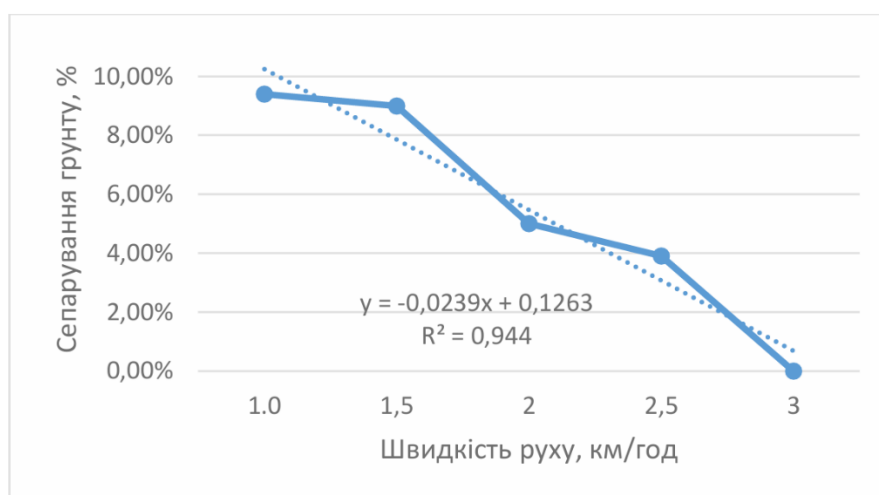


Рисунок 3.14 – Залежність відсепарованого ґрунту від швидкості руху при абсолютній вологості ґрунту 24%

Як бачимо з рисунків наведених вище, існує лінійний зв'язок між сепарувальною здатністю та швидкістю переміщення підкопувально-сепарувального робочого органу.

Найвищі показники сепарувальної здатності забезпечуються за умови роботи на ґрунті з показником вологості 12-15,2% і швидкості переміщення робочого органу 1,0-1,5 км/год. Різке зменшення сепарувальної здатності спостерігається при швидкості, що перевищує 2,0 км/год (в наших дослідках при 2,5 км/год) навіть на сухому ґрунті. Крім того, за результатами дослідів можна зробити висновок, що

даний робочий орган не рекомендується застосовувати при вологості $\geq 25\%$.

Зв'язок вологості ґрунту, швидкості переміщення та сепарувальної здатності оцінено коефіцієнтом кореляції із використанням прикладної програми Microsoft Excel.

Зв'язок між вологістю ґрунту та відсотком просіяного ґрунту:

при швидкості руху 1,0 км/год – -0,978103328;

при швидкості руху 1,5 км/год – -0,99522;

при швидкості руху 2,0 км/год – -0,94284;

при швидкості руху 2,5 км/год – -0,98944;

при швидкості руху 3,0 км/год – -0,95127.

Зв'язок між швидкістю переміщення та відсотком просіяного ґрунту:

при абсолютній вологості ґрунту 12,0% – -0,908467116;

при абсолютній вологості ґрунту 15,2% – -0,911832776;

при абсолютній вологості ґрунту 18,0% – -0,899341877;

при абсолютній вологості ґрунту 25,0% – -0,971576826.

З отриманих результатів бачимо, що швидкість руху та вологість ґрунту значним чином впливають на роботу підкопувально-сепарувального робочого органу. Коефіцієнт кореляції > 0.7 . Крім того, коефіцієнт кореляції від'ємний, що вказує на зворотній зв'язок: чим вище швидкість переміщення та вологість ґрунту, тим менший відсоток ґрунту просіюється крізь отвори підкопувально-сепарувального робочого органу, а значить більше ґрунту попадає на транспортний робочий орган, що є небажаним.

Таким чином, в результаті експериментальних досліджень визначено раціональні формоутворювальні параметри пропонованого робочого органу за яких здійснюється мінімальний тяговий опір. Також виявлено високий кореляційний зв'язок між вологістю ґрунту, швидкістю переміщення та просіюванням ґрунту під час проходження його по сепарувальній поверхні підкопувально-сепарувального робочого органу. В результаті чого рекомендовано проводити збиральні роботи на ґрунтах із вологістю, що не перевищує 20%. Швидкість переміщення картоплезбиральної машини повинна знаходитися в межах 1,0-2,0 км/год.

РОЗДІЛ 4

ОХОРОНА ПРАЦІ

4.1. Організація охорони праці в сільськогосподарському підприємстві.

З метою створення здорових та безпечних умов праці при організації та проведенні сільськогосподарських робіт роботодавцем має бути забезпечене виконання наступних загальних організаційно-технічних заходів:

1) усунення безпосередніх контактів працівників із вихідними матеріалами, напівфабрикатами та відходами виробництва, що надають шкідливий вплив, забезпечення належної герметизації технологічного обладнання;

2) підвищення рівня механізації та автоматизації виробничих процесів, використання дистанційного управління;

3) проведення професійного відбору та підготовки працівників з охорони праці та перевірки їх знань та навичок безпечних прийомів роботи відповідно до вимог охорони праці;

4) організація проведення робіт, пов'язаних із підвищеною небезпекою, що виконуються в особливому порядку (за нарядом-допуском), забезпечення контролю за безпечним проведенням цих робіт;

5) забезпечення працівників ефективними засобами індивідуального та колективного захисту, що відповідають характеру прояву можливих шкідливих та (або) небезпечних виробничих факторів, та здійснення контролю за їх правильним застосуванням;

6) застосування раціональних режимів праці та відпочинку з метою зниження впливу на працівників фізичних та психофізіологічних шкідливих та (або) небезпечних виробничих факторів.

Вимоги охорони праці при проведенні сільськогосподарських робіт, встановлені Правилами та іншими вимогами охорони праці, повинні бути відображені в окремих розділах технологічних карт (регламентах), що розробляються на їх проведення, що затверджуються роботодавцем або іншою уповноваженою ним посадовою особою.

Для кожного виробничого процесу проведення сільськогосподарських робіт, пов'язаного з виділенням шкідливих речовин, у технологічній документації повинні бути передбачені способи нейтралізації та збирання розсипаної сировини, розлитих чи розсипаних реагентів, очищення пиловиділень та стічних вод.

4.2. Моделювання виникнення травм при роботі з картоплезбиральною машиною.

Серед методів оцінювання реальної небезпеки існують методи моделювання щодо виникнення різних аварій та травм.

Вказаний вище метод відкриває можливість розробити систему управління безпекою життєдіяльні виробництва, яка буде уникати можливості виникнення небезпек та базується на оперативному пошуку виробничих небезпек, їх глибокому, логічному (при необхідності і математичному) аналізі й терміновому прийнятті рішень щоб усунути потенційні небезпеки ще до виникнення травмонебезпечних та катастрофічних ситуацій [9]. Моделювання виникнення небезпечних ситуацій під час збирання картоплі наведено в табл. 4.1.

Таблиця 4.1 – Моделювання виникнення небезпечних ситуацій під час збирання картоплі

Вид робіт	Виробнича небезпека			Можливі наслідки	Заходи запобігання небезп. ситуац.
	Небезпечна умова (НУ)	Небезпечна дія (НД)	Небезпечна ситуація (НС)		
Регулювання механізмів під час працюючого двигуна	Ланцюгова передача немає кожуху НУ	Можливий контакт із обертовими частинами НД	Захват одягу тракториста НС	Травма	Регулювання необхідно виконувати при виключеному двигуні та ВВП
Модель процесу НУ → НД → НС → Т					
Вхід та вихід тракториста із кабіни	Відсутня запобіжна огорожа НУ	Втрата рівноваги НД	Падіння тракториста НД	Травма	Встановлення огорожі
Модель процесу НУ → НД → НС → Т					

Таким чином, застосування на практиці моделювання аварій і травм у процесі виконання сільськогосподарських робіт, знижує ймовірності виникнення травм та аварій. У випадку якщо є необхідність оцінки рівня небезпеки робочого місця, необхідно вивчити та побудувати логічні моделі ймовірних небезпечних ситуацій, що враховують усі стани обладнання, а також поведінку оператора та розрахувати ймовірність виникнення можливих травм.

РОЗДІЛ 5

ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ УДОСКОНАЛЕНОГО РОБОЧОГО ОРГАНУ

Мета економічної оцінки використання удосконаленого робочого органу полягає у визначенні доцільності його використання в виробничих умовах.

В результаті проведення виробничих випробувань отримані технічні та агротехнологічні характеристики, на підставі яких можливе виконання економічної оцінки використання машини [3]. Основними критеріями, які впливають економічну ефективність застосування нової техніки за результатами виробничих випробувань прийнято вважати зниження витрат праці та зниження матеріальних витрат на виконання технологічних процесів [3]. При цьому слід враховувати, що якість виконання технологічного процесу має бути рівнозначним.

З технологічної точки зору, при роботі робочого органу якість виконання основної роботи нижча, ніж при роботі в режимі з вібрацією. Основними недоліками, що впливають на проведення наступних технологічних процесів, є недосконале викопування та очищення. Усунення цих недоліків найбільш раціонально проводити шляхом використання удосконаленого підкопувально-сепарувального пристрою [3].

Для порівняння економічної ефективності використання удосконаленого робочого органу визначали базовий і новий варіанти. Визначення економічних показників ефективності порівнюваних варіантів ведено шляхом накладання розрахунків показники модельного господарства. Вихідні дані для розрахунку економічної ефективності представлені в таблиці 5.1.

Виконання порівняльної оцінки використання робочого органу в умовах модельного господарства здійснювалось за методикою відповідно до ГОСТ 53056-2008 «Техніка сільськогосподарська. Методи економічної оцінки» [3] та ГОСТ 10 2.18-2001 «Випробування сільськогосподарської техніки. Методи економічної оцінки» [3].

Таблиця 5.1 – Вихідні дані для розрахунків

Показник	Картоплекопачка Agromet Z609/2		Картоплекопачка КТН-2В	
	Базова	З експеримент альним робочим органом	Базова	З експеримент альним робочим органом
Швидкість руху, км/год	2,5	2,5	2,5/1,8	2,5/1,8
Повнота викопування, %	96,0	98,0	96,9/97,2	98,6/98,8
Бульби не викопані, %	4,0	2,0	3,1/2,8	1,4/1,2
Пошкодженість бульб, %	1,6	1,4	1,7/1,6	1,4/1,28

Прямі експлуатаційні витрати на одиницю напрацювання грн./га обчислюються за такою формулою:

$$E = Z + \Pi + P + A + I \quad (5.1)$$

Визначення витрат коштів на оплату праці механізатора виконують за допомогою виразу:

$$Z = \frac{1}{W_{CM}} \cdot L \cdot \tau \cdot K_H, \quad (5.2)$$

Витрати коштів на паливо та мастильні матеріали обчислювалися за формулою:

$$G = q_T \cdot C_{TK} \cdot K_{CM.M}, \quad (5.3)$$

Комплексна ціна палива визначається за виразом:

$$C_{TK} = C_{PP} + C_{TP} + C_{PT}, \quad (5.4)$$

Амортизаційні відрахування на експлуатацію машин на одиницю напрацювання визначається за формулою:

$$A = \frac{B \cdot H_A}{100 \cdot T_{ГОД} \cdot W_{\text{ч}}}, \quad (5.5)$$

Витрати на ремонт, технічне обслуговування та зберігання визначають за формулою:

$$P = \frac{B \cdot H_{TO}}{100 \cdot T_{ГОД} \cdot W_{ч}}, \quad (5.6)$$

Порівняльна економічна ефективність рахунок зниження прямих експлуатаційних витрат:

$$E_{пп} = I_B - I_H, \quad (5.7)$$

Металоемність (кг/м) визначається через відношення маси машини до робочої ширини захвату:

$$M_{\Pi} = \frac{M_K}{B_{ш}}, \quad (5.8)$$

Термін окупності капітальних вкладень обчислюється за такою формулою:

$$T_o = \frac{K_o}{E}, \quad (5.9)$$

Показники економічної ефективності наведені в таблиці 5.2.

Таблиця 5.2 – Показники економічної ефективності

Показники	Машина	
	базова	удосконалена
1	2	3
Річне напруцювання, га	4.495	4.495
Прямі затрати (грн/га) на:		
– оплату праці,	184.74	176.94
– пально-мастильні матеріали	240	240
– технічне обслуговування, поточний і капітальний ремонт	4858.73	4884.89
– реновацію,	3488.32	3519.36
– інші прямі затрати,	4.51	4.29
– всього прямих затрат	8774.3	8825.481
Капітальні вкладення, грн/га	31145.72	31363.3
Приведені затрати, грн/га	13448.15	13529.97
Економічний ефект від зміни маси вибраних бульб картоплі, грн/га	–	6160
Річний економічний ефект від експлуатації машини з удосконаленим підкопувально-сепарувальним робочим органом, грн.	–	27325
Економічний ефект від виробництва і використання за строк служби машини з удосконаленим підкопувально-сепарувальним робочим, грн.	–	93578

Таким чином, згідно з виконаними розрахунками, використання експериментального удосконаленого робочого органу у виробничих умовах дозволяє скоротити прямі експлуатаційні витрати на одиницю роботи на 25,93%, знизити питому трудомісткість виконання роботи на 35,76%. Річна економія коштів становить 27325 грн., забезпечуючи термін окупності 1,205 року.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Таким чином, підсумовуючи проведені дослідження в даній дипломній роботі можна стверджувати про наступне:

1. Був проведений огляд конструкцій підкопувальних робочих органів картоплезбиральних машин. Дослідження показали, що в існуючих машинах є багато недоліків – це випадання картоплі під час проходження викопаної маси по поверхні леміша та сепарувального пристрою; пошкодження картоплі під час підкопування; згружування ґрунту на підкопувальних робочих органах; велика металоємкість в конструкціях підкопувальних робочих органів. Враховуючи всі недоліки вище, наведено конструктивну схему удосконаленого робочого органу, який буде здійснювати якісне викопування картоплі.

2. Обґрунтовано раціональні значення формоутворювальних параметрів підкопувально-сепарувального робочого органу, які характеризують форму розташування, параметри кривизни поверхні лемішної частини, яка в подальшому переходить в пруткову сепарувальну частину: формоутворювальний параметр поверхні $a=0.20$, що забезпечує найбільшу зону розпушення ґрунту; формоутворювальний параметр $b=1.50-1.75$, що визначає кривизну леміша в поперечному до напрямку руху, та подальше його збільшення зменшить висоту «боковин» підкопувально-сепарувального робочого органу, а зменшення – призведе до зростання ущільнення в зонах «боковин»; формоутворювальний параметр $c=0.95$ – забезпечує потрібну глибину входження леміша в ґрунт без значного зростання його довжини; формоутворювальні параметри $k=1.5$ і $\phi=0.25$, які позитивно впливають на збільшення зони розпушення та унеможливають переущільнення ґрунту.

3. В результаті експериментальних досліджень визначено раціональні формоутворювальні параметри пропонованого робочого органу за яких здійснюється мінімальний тяговий опір. Рекомендовано проводити збиральні роботи коли вологість ґрунту не більше 20%. Робоча швидкість руху удосконаленої картоплезбиральної машини має бути в межах 1,0-2,0 км/год. За вказаних

параметрів буде відбуватися якісне збирання картоплі, що відповідає агротехнічним вимогам.

4. Удосконалений робочий орган дозволяє скоротити прямі експлуатаційні витрати на одиницю роботи на 25,93%, знизити питому трудомісткість виконання роботи на 35,76%. Річна економія коштів становить 27325 грн., забезпечуючи термін окупності 1,205 року.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Аналіз впливу лемішної частини підкопуючого робочого органа на напрям змін властивостей ґрунту / А. Шимко, О. Налобіна. European Cooperation. Warszawa, 2018. Scientific Approaches and Applied Technologies. No 6 (37). P.21-35.
2. ГОСТ 23728 - 88. Техніка сільськогосподарська. Основні положення та показники економічної оцінки.
3. Грушецький С.М. Обґрунтування конструкції і параметрів лемішно полицевого картоплекопача з барабанним сепаратором картопляного вороху; автореф. дис. на присв. учен. степ. кан. техн. наук: спец. 05.05.11 Машини і засоби сільськогосподарського виробництва / С.М. Грушецький. Вінниця, 2008. 18 с.
4. Закон України «Про охорону праці». URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2694-12#Text>. (Дата звернення: 25.09.2025).
5. Збирання та післязбиральна доробка бульб картоплі. URL: <https://propozitsiya.com/> (Дата звернення: 25.09.2025).
6. Кобець А.С., Сокол С.П., Науменко М.М., Кобець О.М., Волик Б.А., Пугач А.М. Викопувальний орган коренезбиральної машини : патент на корисну модель № 83230 Україна : U201304086; заявл. 27.04.2009; опубл. 25.08.2009. Бюл. №16. 4 с.
7. 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.
8. Пасаман Б.Ф., Пасаман О.Б. Збірний леміш : патент на корисну модель №19434 Україна : u200606900; заявл. 20.06.06; опубл. 15.12.06. Бюл. №12. 2 с.
9. Прокопенко Е.В., Лісовий І.О., Лісова Т.С. Моделювання виробничих небезпек та зменшення їх шкідливого впливу під час проведення механізованих робіт. Зб. наук. праць УНУС. Умань, 2015. С. 79-86.
10. Смолінський С.В. Обґрунтування доцільності застосування спірального очисника в конструкції дворядного картоплекопача. Техніко-технологічні

аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства України : зб.наук.праць Київ: НУБіП, 2017. Вип. 21. С. 88-92.

11. 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.

12. Hakan Kibar. Design and management of postharvest potato (*Solanum tuberosum* L.) storage structures. Ordu Univ. J. Sci. Tech. 2012. Vol. 2, No, 1, pp. 23-48.