

Заклад вищої освіти «Подільський державний університет»
Інженерно-технічний факультет
Кафедра агроінженерії і системотехніки імені Михайла САМОКИША

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
НА ТЕМУ:
**«УДОСКОНАЛЕННЯ ТА ОБГРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ
ВИКОПУВАЛЬНО-СЕПАРУЮЧИХ РОБОЧИХ ОРГАНІВ
КАРТОПЛЕКОПАЧА»**

Виконав:

здобувач вищої освіти
освітнього ступеня «магістр»
освітньо-професійної програми «Агроінженерія»
спеціальності 208 «Агроінженерія»
денної форми навчання

Олександр АДАМЧУК

Керівник:

кандидат технічних наук,
доцент

Сергій ГРУШЕЦЬКИЙ

Оцінка захисту:

Національна шкала _____

Кількість балів _____

Шкала ECTS _____

«__» грудня 2025 р.

Допускається до захисту:

«__» грудня 2025 р.

Гарант освітньо-професійної програми
«Агроінженерія» спеціальності
208 «Агроінженерія»,
кандидат технічних наук, доцент

Василь ДУГАНЕЦЬ

м. Кам'янець-Подільський, 2025

ЗМІСТ

ЗАВДАННЯ	4
АНОТАЦІЯ	5
РЕФЕРАТ	6
ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ, ТЕРМІНІВ, СИМВОЛІВ, ПОЗНАЧЕНЬ .	7
ВСТУП.....	8
1. СУЧАСНИЙ СТАН ПИТАННЯ ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ	11
1.1. Проблеми механізованого збирання картоплі, пов'язані з підкопом бульбоносного пласта	11
1.2. Конструктивні різновиди підкопуючих робочих органів машин для збирання картоплі.....	11
1.3. Аналіз конструкцій картоплезбиральних машин.....	12
1.4. Аналіз і вибір перспективних конструктивно-технологічних схем робочих органів картоплезбиральних машин	20
1.5. Постановка завдань дослідження.....	32
Висновки до першого розділу.....	33
2. ТЕОРЕТИЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ І РЕЖИМІВ РОБОТИ ПІДКОПУЮЧО-СЕПАРУЮЧИХ РОБОЧИХ ОРГАНІВ КАРТОПЛЕЗБИРАЛЬНИХ МАШИН	34
2.1. Вдосконалений підкопуючий робочий орган картоплезбиральних машин ..	34
2.2. Теоретичне дослідження параметрів зубчастого диска з ґрунтозачепами...	34
2.3. Обґрунтування режимів роботи пасивних дискових елементів підкопу робочого органу.....	40
2.4. Конструктивно-технологічна схема вдосконаленого робочого органу сепарації.....	44
2.5. Обґрунтування конструктивних параметрів вдосконаленого робочого органу сепарації.....	46
Висновки до другого розділу	50

3. ЛАБОРАТОРНІ ДОСЛІДЖЕННЯ РОЗРОБЛЕНОГО ПІДКОПУЮЧО- СЕПАРУЮЧОГО РОБОЧОГО ОРГАНУ КАРТОПЛЕЗБИРАЛЬНОЇ МАШИНИ.....	52
3.1. Програма дослідження роботи розробленого бічного вертикального відрізного диска.....	52
3.2. Об'єкт досліджень та обладнання	52
3.3. Методика лабораторних досліджень та обробки дослідних даних	57
3.4. Результати лабораторно-польових досліджень	58
3.5. Обробка та аналіз отриманих результатів досліджень	61
Висновки до третього розділу	66
4. ЕКСПЕРЕМЕНТАЛЬНІ ПОЛЬОВІ ДОСЛІДЖЕННЯ	67
4.1. Програма польових досліджень.....	67
4.2. Об'єкт дослідження.....	67
4.3. Методика проведення польових досліджень.....	70
4.4. Результати польових досліджень.....	74
Висновки до четвертого розділу	78
5. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ВИКОРИСТАННЯ УДОСКОНАЛЕНОГО РОБОЧОГО ОРГАНУ В КОНСТРУКЦІЯХ КАРТОПЛЕЗБИРАЛЬНИХ МАШИН	79
5.1. Економічний ефект від зниження експлуатаційних витрат.....	79
5.2. Економічний ефект від зниження пошкоджень бульб	85
Висновки до п'ятого розділу.....	87
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ І РЕКОМЕНДАЦІЇ.....	88
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	90
ДОДАТОК А Матеріали комп'ютерної презентації.....	94
ДОДАТОК Б Копії друкованих тез доповідей	106

Заклад вищої освіти «Подільський державний університет»
Інженерно-технічний факультет
Кафедра агроінженерії і системотехніки імені Михайла САМОКИША
Освітній ступінь «магістр»
Спеціальність 208 Агроінженерія

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Анатолій РУДЬ
04 квітня 2025 р.

ЗАВДАННЯ
на кваліфікаційну роботу здобувачеві вищої освіти

АДАМЧУКУ
Олександрю Миколайовичу

**Тема роботи: «УДОСКОНАЛЕННЯ ТА ОБГРУНТУВАННЯ
ПАРАМЕТРІВ ВИКОПУВАЛЬНО-СЕПАРУЮЧИХ РОБОЧИХ ОРГАНІВ
КАРТОПЛЕКОПАЧА»**

Керівник роботи: доцент ГРУШЕЦЬКИЙ Сергій Миколайович
Затверджено наказом по Закладу вищої освіти «Подільський державний університет» від 04 квітня 2025 року № 355с.

Строк подання закінченої кваліфікаційної роботи 20 листопада 2025 року.

Вихідні дані до роботи:

1. Науково-технічна література, авторські свідоцтва і патенти на винаходи викопувально-сепаруючих робочих органів картоплекопача.
2. Протоколи випробування викопувально-сепаруючих робочих органів картоплекопача.
3. Результати дослідження та випробування викопувально-сепаруючих робочих органів картоплекопача.

Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити):
Вступ.

1. Сучасний стан питання та задачі дослідження.
2. Теоретичне обґрунтування параметрів і режимів роботи підкопуючо-сепаруючих робочих органів картоплезбиральних машин.
3. Лабораторні дослідження розробленого підкопуючо-сепаруючого робочого органу картоплезбиральної машини.
4. Експериментальні польові дослідження.
5. Техніко-економічне обґрунтування використання удосконаленого робочого органу в конструкціях картоплезбиральних машин.

Загальні висновки і рекомендації.

Список використаних джерел.

Додатки.

АНОТАЦІЯ

В кваліфікаційній роботі магістра представлено удосконалення та обґрунтування параметрів викопувально-сепаруючих робочих органів картоплекопача.

На основі аналізу існуючих робочих органів, теоретичних і експериментальних досліджень визначено конструктивну схему та встановлено оптимальні значення параметрів та режимів роботи елементів підкопуючих робочих органів для картоплезбиральних машин, які дозволять підвищити якісні показники роботи картоплезбиральної машини в цілому.

За результатами досліджень розроблено та виготовлено експериментальний зразок елементів підкопуючих робочих органів для картоплезбиральних машин, виробнича перевірка яких при роботі на картоплезбиральній машині підтвердила його працездатність та ефективність.

Виконано лабораторні дослідження ефективності функціонування викопувально-сепаруючих робочих органів картоплекопача.

Проведено польові дослідження ефективності функціонування викопувально-сепаруючих робочих органів картоплекопача.

Розраховано техніко-економічну ефективність застосування викопувально-сепаруючих робочих органів картоплекопача.

THE SUMMARY

The master's thesis presents the improvement and substantiation of the parameters of the digging-separating working bodies of the potato digger.

Based on the analysis of the existing working bodies, theoretical and experimental studies, a design scheme was determined and the optimal values of the parameters and modes of operation of the elements of digging working bodies for potato harvesters were determined, which will allow to increase the quality indicators of the potato harvester as a whole.

Based on the results of the research, an experimental sample of elements of digging working bodies for potato harvesting machines was developed and manufactured, the production inspection of which during work on a potato harvesting machine confirmed its operability and efficiency.

Laboratory studies of the effectiveness of the digging-separating working organs of the potato digger were performed.

Field studies of the effectiveness of the digging-separating working organs of the potato digger have been conducted.

The technical and economic efficiency of the use of digging-separating working bodies of the potato digger is calculated.

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота магістра складається з пояснювальної записки, виконаної машинописним способом на 88 аркушах формату А4, яка вміщує 5 розділів, 7 таблиць, 61 рисуноків, 53 найменування використаних джерел і презентаційного матеріалу на 22 аркушах.

Мета кваліфікаційної роботи присвячена питанням підвищення ефективності технологічного процесу машинного збирання картоплі шляхом вдосконалення викопувально-сепаруючих робочих органів картоплезбиральних машин. На основі аналізу існуючих робочих органів, теоретичних і експериментальних досліджень визначено конструктивну схему та встановлено оптимальні значення параметрів та режимів роботи елементів підкопуючих робочих органів для картоплезбиральних машин, які дозволять підвищити якісні показники роботи картоплезбиральної машини в цілому. За результатами досліджень розроблено та виготовлено експериментальний зразок елементів підкопуючих робочих органів для картоплезбиральних машин, виробнича перевірка яких при роботі на картоплезбиральній машині підтвердила його працездатність та ефективність.

Ключові слова: КАРТОПЛЯНИЙ ВОРОХ, БУЛЬБА КАРТОПЛІ, ПІДКОПУЮЧИЙ РОБОЧИЙ ОРГАН, МОДЕЛЬ.

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ, ТЕРМІНІВ, СИМВОЛІВ, ПОЗНАЧЕНЬ

Скорочення	Розшифровка скорочень
ВАТ	Відкрите акціонерне товариство
ДРМ	КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА магістра
ЕК	Екзаменаційна комісія
МТА	Машинно-тракторний агрегат
m	маса проби в природному стані, кг
m_m	маса висушеної проби (твердої фази)
m_v	маса вологи (рідкої фази)
m_c	маси вологи і сухого ґрунту
W_n	польова (загальна) вологоємність
W_a	абсолютна вологість ґрунту
a	глибина заглиблення голок диска, м
k	коефіцієнт пропорційності, $k = 1, 2$ кг/см
P	горизонтальна складова, Н
b	довжина лунки, м
n	число зубів на диску
R	радіус кола, при якому диск рухається без ковзання, м
d	діаметр голки, м
h	глибина обробітку, м
θ	кут сколювання ґрунту
φ	кут тертя голки об ґрунт
h_{max}	максимальна глибина обробітку
a	висота стерні
d	діаметр маточини
n	частота обертання уповільненого диска
n_o	частота обертання диска- шляховимірювача
a_n	деформація стискання пружини, см

ВСТУП

Актуальність роботи. Картоплярство – одна з галузей сільськогосподарського виробництва, робота в якій пов'язана зі значними енерговитратами і витратами праці. Затрати на механізоване збирання складають 50-60% від загальних затрат, з них близько 55% затрати енергії припадають на сепаруючі робочі органи. До 60-70% затрат праці витрачається на збиранні. Це пояснюється тим, що в підкопаній бульбоносній масі, яка подається на сепаруючі робочі органи, вміст бульб картоплі складає всього 2-3% від загальної маси. Тому якість вихідного продукту більшою мірою залежить від роботи сепараторів. З цього випливає, що сепаруючі робочі органи є основою для забезпечення якісних показників роботи картоплезбиральних машин.

Враховуючи технічне та соціальне значення розробки нових та удосконалення існуючих конструкцій картоплезбиральних машин в цілому та сепаруючих пристроїв зокрема, недостатні теоретичне обґрунтування та практичні розробки в галузі, темою дипломної роботи обрано «Удосконалення технологічного процесу викопувально-сепаруючих робочих органів картоплезбиральних машин».

Мета і завдання досліджень. Підвищення ефективності технологічного процесу машинного збирання картоплі шляхом вдосконалення викопувально-сепаруючих робочих органів картоплезбиральних машин.

Відповідно до мети дослідження поставлені такі *завдання*:

- проаналізувати існуючі конструкції викопувально-сепаруючих робочих органів картоплезбиральних машин, результати експериментальних і теоретичних досліджень викопувально-сепаруючих робочих органів і на їх основі удосконалити конструкцію;
- теоретично обґрунтувати удосконалення параметрів і режимів роботи викопувально-сепаруючих робочих органів машин для збирання картоплі;
- на підставі результатів лабораторно-польових експериментальних досліджень уточнити оптимальні значення параметрів і режимів

роботи досліджуваного робочого органу та визначити агротехнічні показники роботи картоплезбиральної машини;

- визначити ефективність використання викопувально-сепаруючих робочих органів.

Об'єкти досліджень – технологічний процес викопувально-сепаруючого картопленосного шару і вдосконалений робочий орган для його здійснення.

Предмети досліджень – теоретичні та експериментальні закономірності протікання технологічного процесу викопувально-сепаруючого картопленосного шару в картоплезбиральних машинах.

Методи дослідження – теоретичні дослідження проводилися за оригінальними методиками, що базуються на фундаментальних засадах теоретичної механіки, опору матеріалів, а також теорії ймовірності та математичної статистики. Лабораторно-польові випробування були виконані за планом багатофакторного експерименту. Обробка експериментальних даних здійснювалася методом багатофакторного кореляційно-регресійного аналізу відповідно до СТО АИСТ 1.17-2010 за допомогою програм «STATISTICA 6.0» і «MathCAD 15».

Наукова новизна одержаних результатів полягає в тому, що:

- вперше розроблено математичні моделі для силової взаємодії диска, обладнаного ґрунтозахватами, з ґрунтовим шаром і частинами рослин, допомагаючим встановити залежність тягового опору і крутного моменту від його основних параметрів;
- розробці залежності, що характеризує взаємозв'язок ушкоджень бульб від конструктивних параметрів розробленого робочого органу сепарації, а також від швидкості руху машини і показника врожайності бульб;
- подальшого розвитку набули теоретичні і експериментальні залежності впливу технологічних та кінематичних параметрів роботи машини на якісні показники роботи.

Практичне значення одержаних результатів.

Створена конструкція викопувально-сепаруючих робочих органів для корнебульбозбиральних машин, технічна новизна підтверджена 1 патентом на

корисну модель України (№ 150899). Результати досліджень взяті до впровадження під час удосконалення існуючої та розробки нової картоплезбиральної техніки.

Апробація результатів роботи. Основні положення виконаних теоретичних і експериментальних досліджень роботи доповідались на: щорічних конференціях професорсько-викладацького складу та аспірантів Закладу вищої освіти «Подільський державний університету» (2024-2025 рр.).

Публікації. Основні результати дослідження відображені у 4 публікаціях, з них 3 статті у науково-фахових виданнях, студенська наукова робота із спеціальності «Агроінженерія».

1. СУЧАСНИЙ СТАН ПИТАННЯ І ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ

1.1. Проблеми механізованого збирання картоплі, пов'язані з підкопуванням бульбоносного пластаі

Збирання врожаю є найбільш трудомістким процесом при вирощуванні картоплі. Підкопуючі робочі органи перебувають на початку технологічного процесу збирання, і від їх якісної роботи в подальшому залежить функціонування інших робочих органів збирального агрегату. Можна виділити наступні проблеми механізованого збирання картоплі, що виникають через недосконалість підкопуючої частини та пов'язані з підкопуванням бульбоносного пласта (рис. 1.1.).

З огляду на дані проблеми, проведемо огляд конструкцій і досліджень підкопуючих робочих органів, виконаних вітчизняними і зарубіжними вченими.

1.2. Конструктивні різновиди підкопуючих робочих органів, машин для збирання картоплі

Картоплезбиральні знаряддя дозволяють виконувати лише одну операцію – підкопування куща картоплі з частковим вилученням на поверхню бульб. Збір бульб у тару після підкопування проводиться вручну. На цьому етапі розвитку картоплезбиральної техніки підкопуючі органи були основними і єдиними робочими органами. До них можна віднести як ґрунтообробні знаряддя загального призначення: сохи, плуги, так і спеціальні копачі, руйнуючі ґрядку на дві сторони.

Подальший розвиток збиральних знарядь йшло, головним чином, шляхом розвідку копачів.

Сучасні підкопуючі робочі органи повинні виконувати наступні основні операції:

- зріз (підкопування) шару ґрунту;
- руйнування (кришення) пласта без пошкодження бульб;

- передачу зрізаного шару ґрунту з бульбами на наступні робочі органи машини.

Основними ознаками класифікації підкопуючих робочих органів картоплезбиральних машин послужили спосіб впливу їх на оброблюючий матеріал – картопляну грядку, форма і тип поверхні лемеша [2].

Існуюча відмінність підкопуючих органів по кінематичному признаку, формі і типу поверхні може бути представлено наступною схемою (рис. 1.2).

Всі вони поділяються на три типи – пасивні, активні і комбівані. Вони мають різноманітну форму (плоскі, циліндроїдальні і т.п.) і розрізняються за типом поверхні (суцільні, пруткові і т.д.)

Аналізуючи цю класифікацію підкопуючих робочих органів, можна сказати, що, незважаючи на ряд технологічних недоліків, пасивні лемеші все ж мають найбільше розповсюдження. Нашим же завданням буде часткове або повне усунення їх недоліків за рахунок використання розроблених дискових боковин.

1.3. Аналіз конструкцій картоплезбиральних машин

Технологічний процес збирання картоплі незалежно від засобів механізації, що застосовуються, включає наступні основні операції: підкопування (викопування бульб), відділення (сепарація) бульб від ґрунту, відділення бадилля і рослинних решток, відділення каміння та інших домішок, навантаження в тару або транспортні засоби. Можуть застосовуватись і додаткові операції: попереднє видалення бадилля або сортування бульб на фракції.



Рис. 1.1. Невирішені проблеми механізованого збирання картоплі, пов'язані з підкопуванням пласта [5]

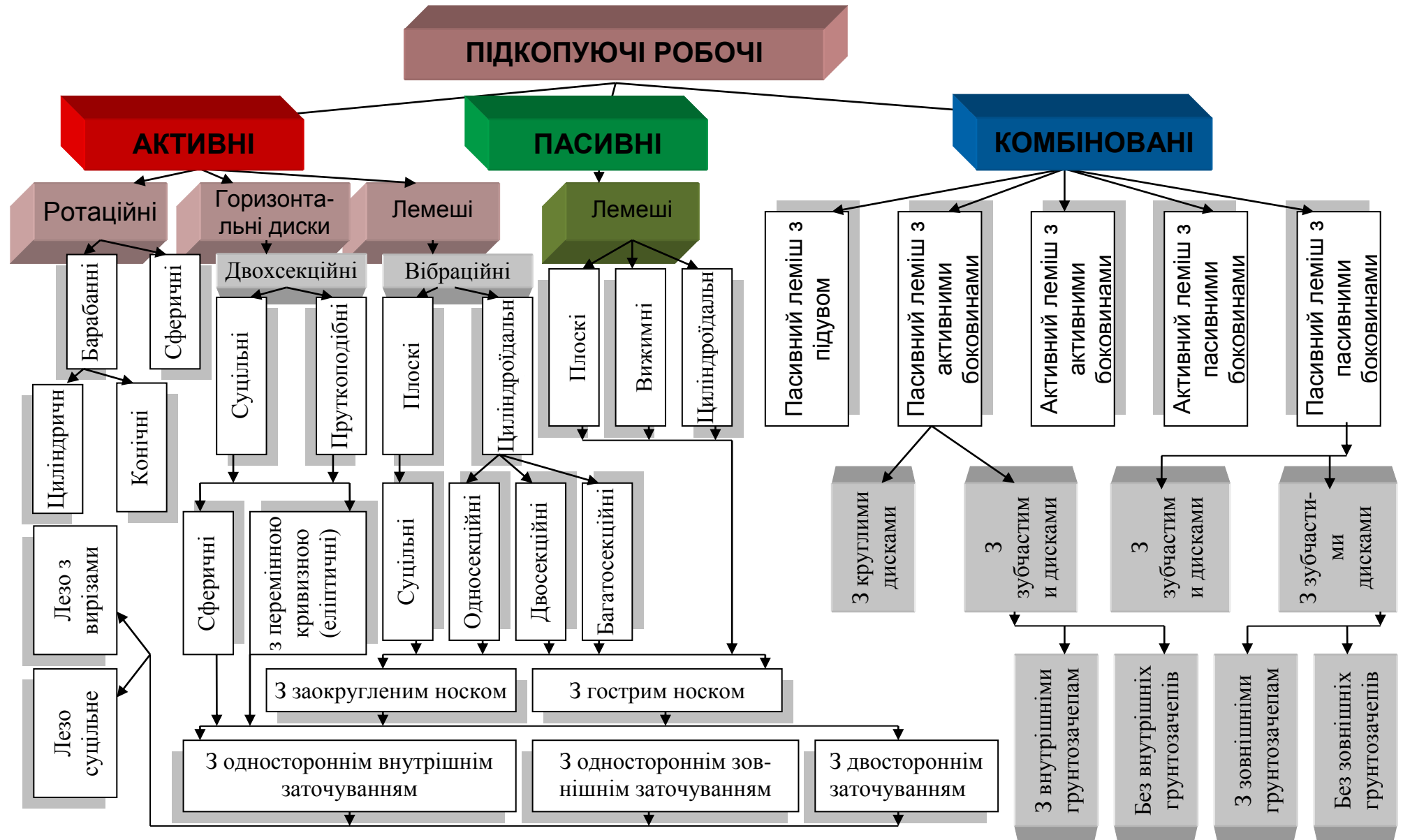


Рис. 1.2. Основні типи підкопуючих робочих органів картоплезбиральних машин [5]

У наш час практичне застосування знаходять три основних способи збирання [3]:

1) викопування бульб картоплекопачами з укладанням їх на поверхню поля і наступним ручним підбиранням;

2) збирання картоплекопачами з причіпними робочими столами, на яких робітники вручну вибирають бульби і завантажують їх в тару;

3) збирання комбайнами.

При останньому способі розрізняють три варіанти: пряме комбайнування, роздільне (двофазне) комбайнове збирання (підбирання комбайнами валків, укладених на поверхні поля картоплекопачами) і збирання комбінованим способом (збирання комбайном рядків, між якими розташований валок, утворений картоплекопачем-валкоукладчиком).

Для здійснення цих способів збирання використовують копачі, картоплекопачі, картоплекопачі з причіпними перебиральними столами, картоплекопачі-валкоукладчики і картоплезбиральні комбайни.

Вибір засобів механізації визначається конкретними умовами господарства. Наприклад, на полях з легкими і середніми ґрунтами, довгими гонами і високою врожайністю картоплі доцільніше використовувати картоплезбиральні комбайни. На важких ґрунтах, при підвищеній вологості та засміченості камінням кращі результати одержують при збиранні врожаю картоплекопачами.

Найпростішим знаряддям для викопування бульб є копач швиряльного типу (рис. 1.3, а). Під час руху такого копача леміш підрізує бульбоносний шар, який в момент сходу з лемеша руйнується і розкидається по поверхні поля гребінками ротора. Після проходу копача одержують смугу вороху шириною 1,5-3,0 м, бульби з якого підбирають вручну.

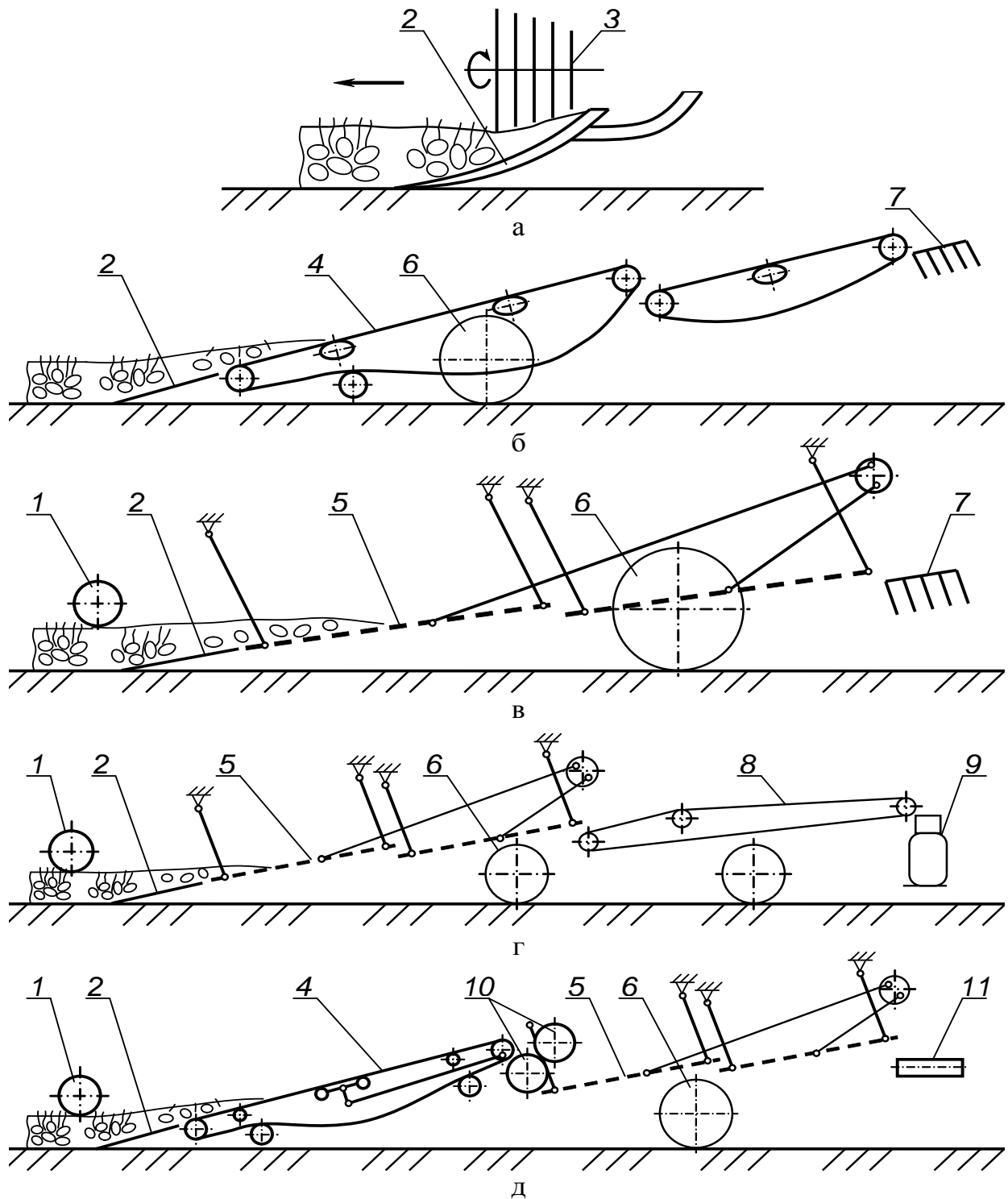


Рис. 1.3. Конструктивно-технологічні схеми картоплекопачів [3]:

а – лемішно-швирыльні (КТН-1А); б – лемішно-елеваторні (КТН-2В); в – лемішно-грохотні (КВН-2М); г – лемішно-грохотні з перебиральним столом (КГ-2); д – лемішно-елеваторні грохотні валкоукладчики (УКВ-2); 1 – коток; 2 – підкопуючий леміш; 3 – розкидальний ротор; 4 – прутковий елеватор; 5 – грохот; 6 – опорне колесо; 7 – решітка; 8 – перебиральний стіл; 9 – тара; 10 – грудкоподрібнюючі балони; 11 – поперечний елеватор

Схема виконання технологічного процесу таким копачем наведена на рис. 1.4.

Недоліком копачів такого типу є великі втрати бульб (грунтом засипається до 25%), високий ступінь пошкоджень бульб (особливо при роботі на сухих ґрунтах), а також високу трудомісткість підбирання бульб (на 20-25% вища, ніж після картоплекопачів просіюючого типу) [3].

Значно більшого поширення набули картоплезбиральні машини з сепараторами просіюючого типу. Роль основних робочих органів картоплекопачів відіграють пруткові елеватори (рис. 1.3, б) або коливальні грохоти (рис. 1.3, в), а також різноманітні їх поєднання. Підкопаний шар поступає на елеватор (грохот), де ґрунт просіюється між зазорами в робочій поверхні, а бульби і не просіяні грудки та каміння скидаються позаду картоплекопача. Потім з поверхні поля бульби підбираються робітниками і укладаються в тару.

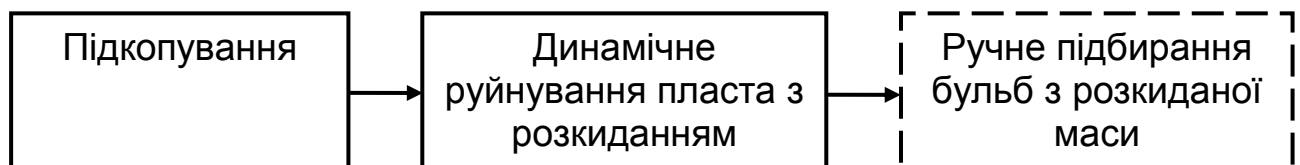


Рис. 1.4. Схема виконання технологічного процесу копачем швиряльного типу

Для роботи у важких умовах в картоплекопачах використовують два-три послідовно встановлених сепаратора, обладнують їх додатковими бітерами, грудкоподрібнювальними барабанами тощо.

У картоплекопачах закордонного виробництва, таких як “Шмотцер”, “Воккер” (Німеччина), “Колдрон” (Англія) в якості сепаруючого пристрою використовують відцентрове сито. На такому сепараторі ворох, який поступає в центр сита, під дією відцентрових сил розподіляється по його поверхні, при цьому руйнується структура пласта та грудки [3].

Виконання технологічного процесу такими картоплекопачами можна відобразити схемою, наведеною на рис. 1.5.

Тут і надалі під терміном “сепарація” будемо розуміти сукупність процесів кришення пласта, його перемішування, сегрегації і просіювання дрібних частинок.

Картоплекопачі з причіпними перебиральними столами (рис. 1.3, г) використовують в тих випадках, коли необхідно забезпечити низький ступінь пошкодження бульб, наприклад при збиранні ранньої і насінневої картоплі. Але такий спосіб збирання можливий лише в оптимальних умовах. Перевагою цих картоплекопачів порівняно зі звичайними є покращення умов та продуктивності праці працівників, а порівняно з картоплезбиральними комбайнами – дещо менше пошкодження бульб [3].

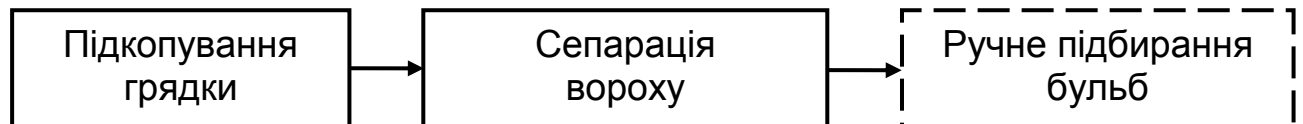


Рис. 1.5. Схема виконання технологічного процесу картоплекопачами з сепараторами просіюючого типу

Схема виконання технологічного процесу такими картоплекопачами наведена на рис. 1.6.

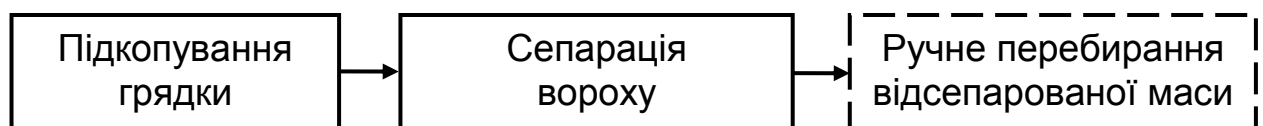


Рис. 1.6. Схема виконання технологічного процесу картоплекопачами з перебиральними столами

Картоплекопачі-валкоукладчики (рис. 1.3, д), як правило, мають додаткові пристрої для видалення бадилля і поперечні транспортери, які дозволяють укладати бульби у вузький рядок з двох, чотирьох або шести рядків. Використання таких картоплекопачів дає можливість підвищити продуктивність праці робітників при підбиранні бульб, а також забезпечити двофазне комбайнове збирання картоплі.

Схема виконання технологічного процесу картоплекопачами-валкоукладчиками наведена на рис. 1.7.

Картоплезбиральні комбайни здійснюють підкопування грядок, відділення бульб від ґрунту, бадилля та інших домішок і збирання бульб в тару. У картоплезбиральних комбайнах досить часто додатково встановлюють пристрої для механічного видалення каміння та грудок, розміри яких співрозмірні з розмірами бульб. Так, в багатьох англійських, німецьких та інших комбайнах каміння відділяється від бульб за допомогою транспортера,

який рухається в бік, протилежний до напрямку скочування бульб на перебиральний стіл. Але усі ці пристрої недостатньо ефективні і не дають можливості обійтися без трудомісткого перебирання бульб вручну [3].

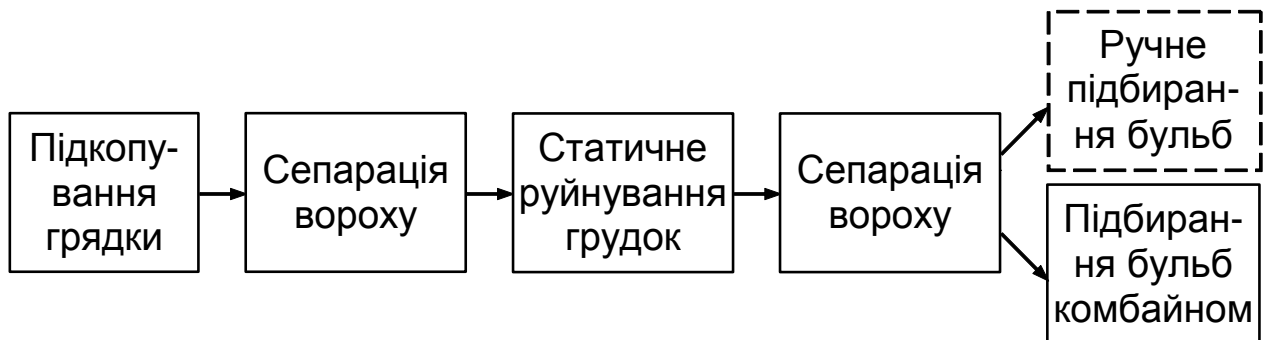


Рис. 1.7. Схема виконання технологічного процесу картоплекопачами-валкоукладчиками

Схема виконання технологічного процесу картоплезбиральними комбайнами наведена на рис. 1.8.

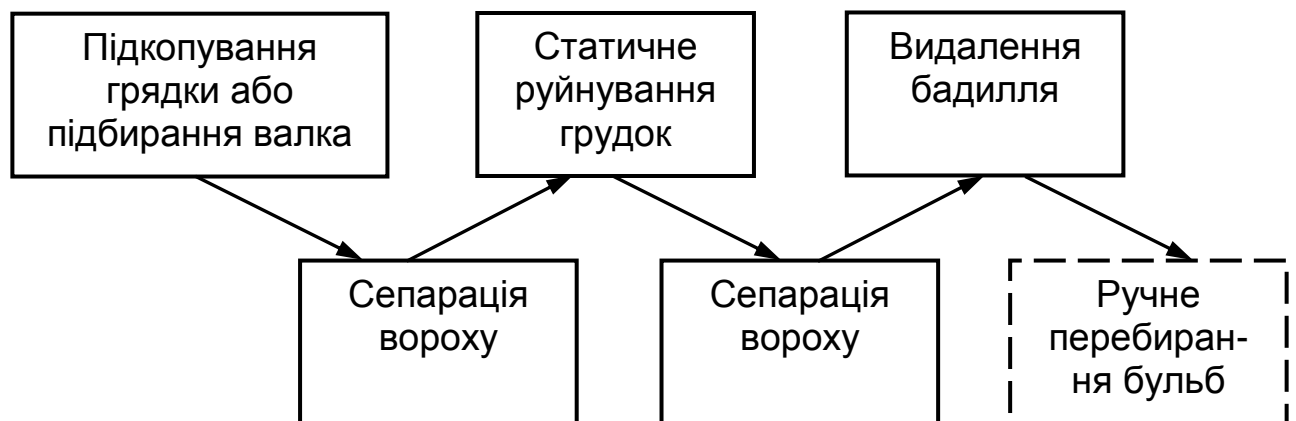


Рис. 1.8. Схема виконання технологічного процесу картоплезбиральними машинами

Комбайни є найбільш ефективними машинами для збирання картоплі. Вони дозволяють навіть при наявності 4-6 робітників, які обслуговують перебиральний стіл, знизити затрати праці порівняно з ручним підбиранням після картоплекопачів у 3-4 рази. Тому проблема удосконалення робочих органів комбайнів з метою підвищення якісних показників і підвищення продуктивності в наш час досить актуальна.

1.4. Аналіз і вибір перспективних конструктивно-технологічних схем робочих органів картоплезбиральних машин

Як показує практика використання збиральних агрегатів [5-8], при оптимальних умовах збирання (низька засміченість поля бур'янами і камінням, відмерле бадилля, вологість ґрунту 18%-22%, тип ґрунту – легкий суглинок та ін.) – в бункері комбайна є ґрунтові і рослинні домішки. Тим часом, до збиральних машин (комбайнів) пред'являються вельми жорсткі АТВ: чистота бульб в тарі 95% і вище, пошкодження - до 5%-10% і втрати бульб не більше 4%-6% [8, 9].

Проведемо аналіз конструкцій основних і допоміжних робочих органів сучасних картоплезбиральних машин, на прикладі комбайнів (рис. 1.9). Відзначимо, що картоплекопачі і копачі-навантажувачі в більшості випадків є спрощеними варіантами комбайнів (по кількості робочих органів і виконуваних технологічних операціям [8]).

Головне завдання збиральної машини – це витяг бульбоносного пласта з поля і виділення з нього коренебульбоплодів. Тому розділимо всі конструктивні елементи збиральної техніки на дві групи (рис. 1.9). Перша група – основні робочі органи: 1) підкопуючі; 2) сепаруючі (первинна та вторинна сепарація), у тому числі органи для відділення ґрунтових і рослинних домішок (видаляють бадилля) і 3) грудкоруйнуючі; Друга група – допоміжні робочі органи і вузли: 4) рама; 5) ходова частина; 6) привідні механізми і вузли; 7) пристрої і конструктивні елементи для тимчасового зберігання бульб (бункери, тара та ін.); 8) транспортуючі робочі органи.

У випадку, якщо робочий орган або вузол відноситься і до першої і до другої групи, наприклад, сепаруючий транспортер (відокремлює домішки і транспортує бульби), то класифікуємо його як основний орган. Органи первинної сепарації [8] діляться на дві групи (для відділення – 1) ґрунтових і 2) рослинних домішок). Органи вторинної сепарації – це в основному пальчаті гірки, різних конструкцій, що використовуються для доочистки бульб від дрібних ґрунтових і рослинних домішок.



Рис. 1.9. Класифікація робочих органів і вузлів картоплезбиральних машин

 — перспективні напрямки вдосконалення робочих органів

Сучасні підкопуючі робочі органи картоплезбиральних машин повинні виконувати такі основні операції: 1) зріз (підкопування) бульбоносного шару ґрунту; 2) часткове руйнування (кришення) пласта; 3) передачу зрізаного бульбоносного шару ґрунту на сепаруючий транспортер збиральної машини. При цьому, разом з бульбами повинно забиратися мінімальна кількість ґрунту і забезпечуватися як можна краще кришення пласта [3, 7, 8]. Існуючі відмінності в конструкції (класифікації) підкопуючих робочих органів можна провести по кінематичним ознакам (наявність приводу), а так само за формою і типом робочої поверхні. Підкопуючі робочі органи діляться на три основних типи (рис. 1.10) – пасивні, активні і комбіновані. Вони мають різноманітну форму (плоскі, циліндроїдальні і ін.) і розрізняються за конструкцією (суцільні, пруткові та ін.).

Залежно від характеру дії на картопляний шар підкопуючі робочі органи діляться на пасивні, активні і комбіновані; залежно від форми – на плоскі, секційні і циліндроїдальні [3]. Основні типи підкопуючих робочих органів показані на рис. 1.11.

Простотою конструкції пасивного підкопуючого робочого органу є плоский прямий леміш (рис. 1.11, *а*); такі лемеші можна застосувати на зв'язних ґрунтах при відсутності бур'янів. На спушених і забур'яненних ґрунтах рослинні домішки не перерізаються лезом, а обмотують його, в результаті чого простежується зсування пласта. Цей недолік усувається при використанні плоского лемеша трикутної форми (рис. 1.11, *б*) і плоского пруткового рис. 1.11, *и*. Кут сходу рослинних залишок γ з лемеша має бути таким, щоб рослинність переміщалась по лезу. У дворядних машинах плоский леміш взагалі складається із двох секцій – правої і лівої.

Кожну секцію кріплять консольно на кронштейні. Щоб зменшити кут γ і глибину підкопування пласта для вільного проходу ланок елеватора, у дворядній машині інколи ставлять третю, середню секцію (рис. 1.11, *в*).

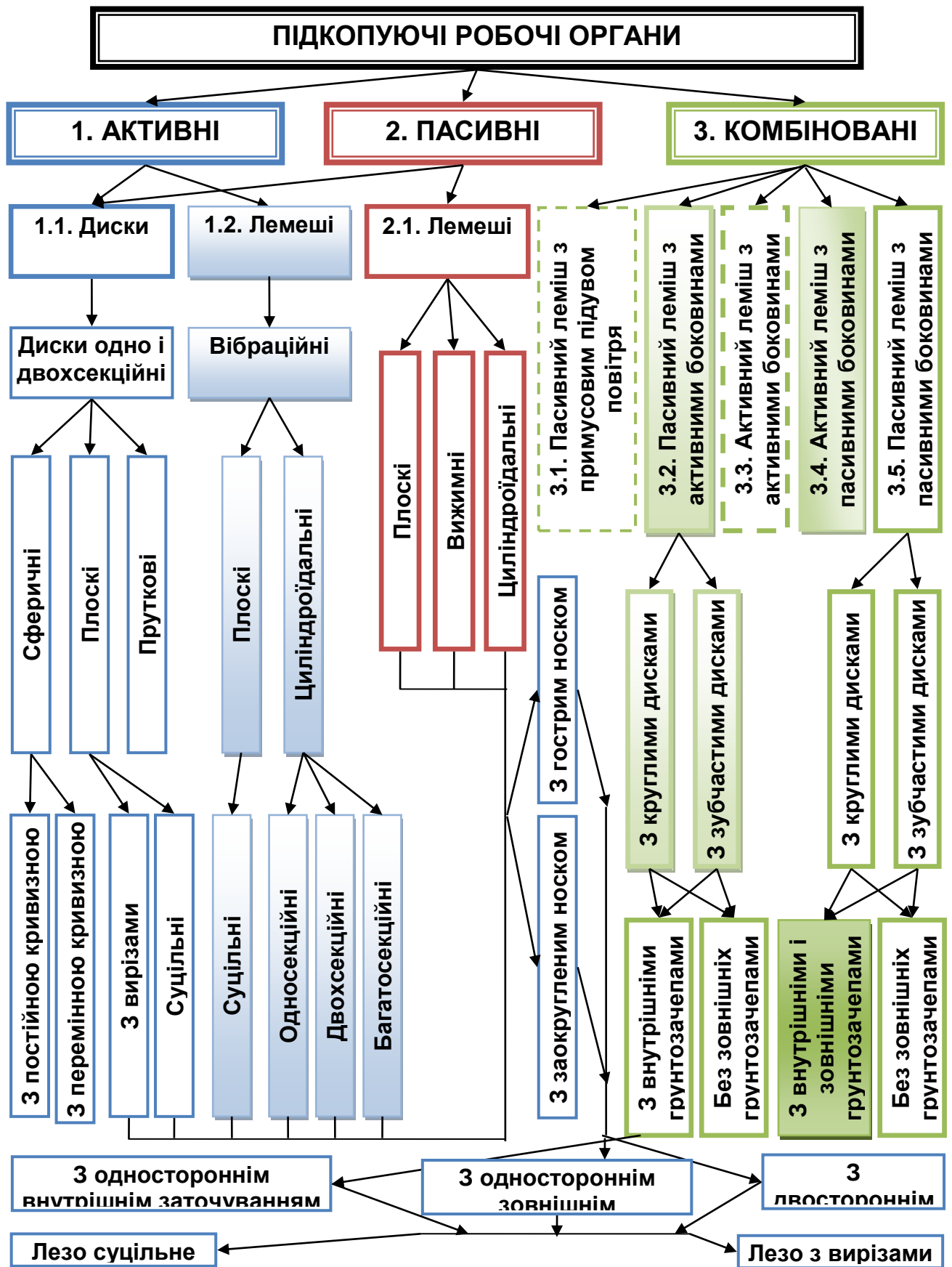


Рис. 1.10. Класифікація підкопуючих робочих органів картоплезбиральних машин

 – перспективні напрямки вдосконалення робочих органів

Недоліком плоского лемеша є розвалювання ґрунту з частиною бульб по сторонам, особливо на спušених не зв'язаних ґрунтах. Цей недолік усувається при використанні багатосекційних і коритоподібних лемешів.

Особливістю конструктивного рішення секційного лемеша (рис. 1.11, з) є кріплення кронштейнів окремих його секцій на зв'язках боковин рами, які знаходяться під нижньою частиною елеватора. Для усунення випадання бульб на сторони збоку секційних лемешів встановлюють дискові ножі.

Циліндричний леміш двосекційний (рис. 1.11, д, е, ж) складається із двох секцій – правої і лівої. Між секціями є зазор 30-50 мм для виходу рослинності. При підрізанні пласт спочатку зміщується до центру лемеша, що унеможливує випадання бульб на сторони. Втратам з лемешів запобігають бічні стінки. Циліндричний – леміш односекційний (рис. 1.11, з). Недоліком циліндроїдальних лемешів є налипання землі у закругленнях при роботі на вологих липких ґрунтах.

Слід відмітити, що передача підкопаного шару пасивним лемешом на сепаруючий орган здійснюється тим краще, чим менший шар деформується при підкопуванні. При роботі пасивного лемеша на спušених сипучих ґрунтах простежується тенденція згружування і розвалювання підкопуваного вороху по сторонах.

Недоліки, притаманні пасивним плоским і циліндричним лемешам, усунені в комбінованих і активних підкопуючих робочих органах. Серед комбінованих робочих органів, для яких характерними є ознаки пасивних лемешів із допоміжними пристроями, які активізують руйнування пласта і його передачу на сепаруючі робочі органи. Тому, широке застосування знайшов комбінований робочий орган, який включає у себе пасивні плоскі секційні лемеші і активні коливальні боковини (рис. 1.11, к). Боковинки прикріплені на підвісках до рами елеватора і приводяться в зворотно-поступальний рух від ексцентрикового вала.

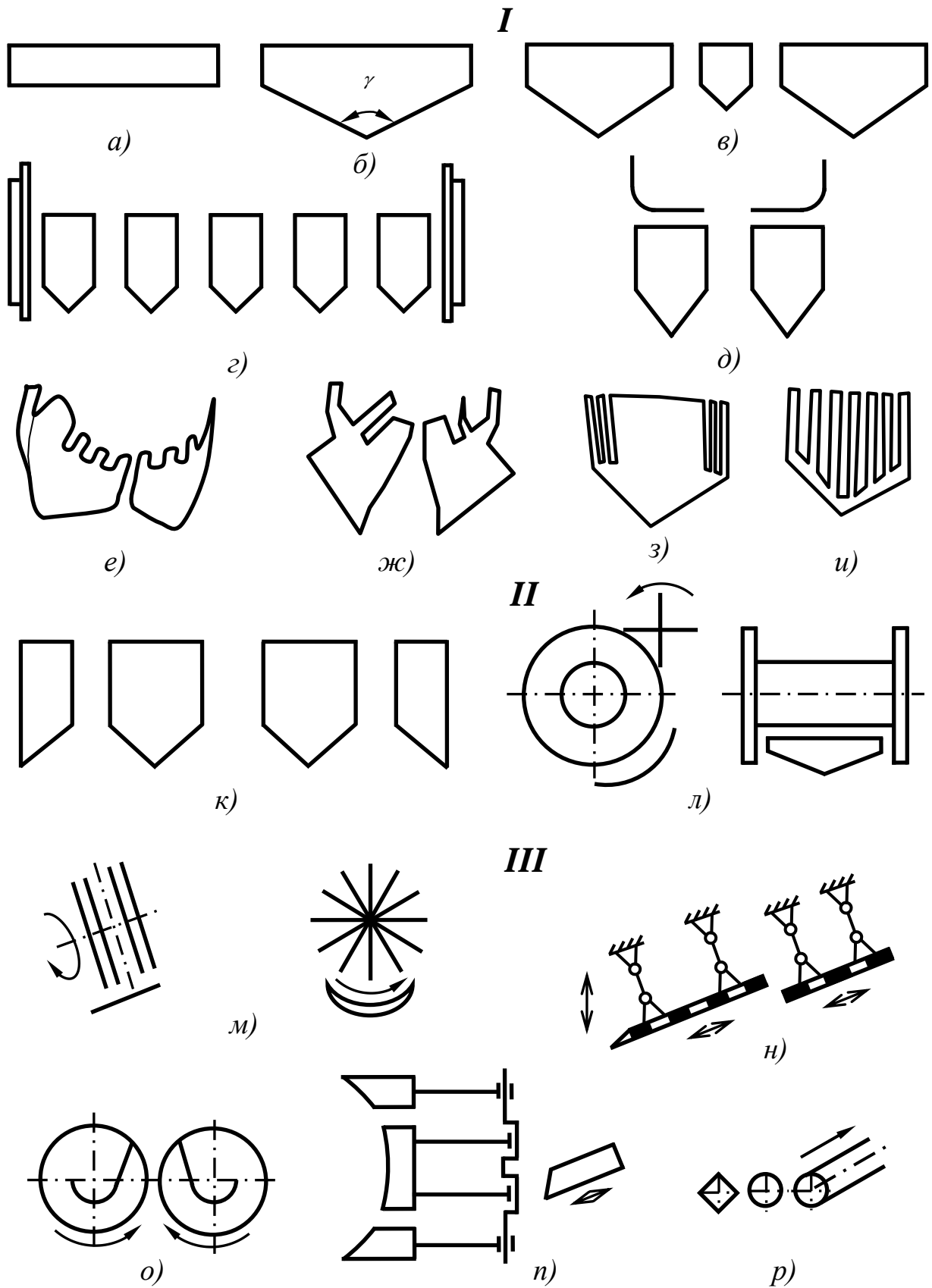


Рис. 1.11. Конструкції основних типів підкопуючих робочих органів:

I – пасивні; *II* – комбіновані; *III* – активні

До комбінованих підкопуючих органу відноситься також дисковий грядкопідйомник, який складається з лемеша і барабана із закріпленими на ньому по боках дисками (рис. 1.11, л). Барабан котиться по гребеню рядка, шар, підрізаний лемешами і дисками, затискується між дисками, переміщується по лемешу вверх і скидається обертаючим бітером на елеватор. Перевагою цього підкопуючого робочого органу є можливість піднімання шару на велику висоту, підкопування тільки рядка і відсутність розвалювання пласта по сторонах.

У картоплекопалках, а також в комбайнах знаходять застосування комбіновані підкопуючі робочі органи, які складаються із лемеша і кидаючого ротора, скидаючого пласт на поверхність поля або на сепаруючий робочий орган (рис. 1.11, м).

В якості коливаючого лемеша часто використовують передню кромку коливаючого грохота (рис. 1.11, н). Відмінною ознакою коливаючого лемеша є самоочищення леза і активне переміщення пласта по лемешу при будь-якому стані ґрунту. Такий леміш дозволяє підкопувати і транспортувати тонкий бульбоносний шар і підбирати валки. Лезо цього лемеша може бути виконано без кута сходу і не мати зазору для виходу рослинності. Для зменшення кількості ґрунту який забирається, при підрізання рядків цей леміш може бути виконаний гнучий по профілю залягання бульб у гніздах. До недоліків коливального лемеша слід віднести пилообразний характер траєкторії руху леза, що спонукає потребу заглиблювати його дещо глибше, ніж пасивний.

Відомі конструкції активних лемешей дискового типу, підкопуючі робочі органи розташовані під кутом до напрямку руху агрегату. Диски бувають активні (з приводом) і пасивні, які обертаються у результаті зчеплення з ґрунтом (рис. 1.11, о). Перевагою цього робочого органу є примусове транспортування бульбоносного шару і можливість звуження потоку підкопаного матеріалу.

Розроблені конструкції активних лемешів для елеваторних машин. Прикладом такого робочого органу може слугувати коливальний леміш, який

працює у протизазі з коливальними боковинами, що дозволяє урівноважити сили інерції (рис. 1.11, *n*).

У картоплезбиральних машинах і підбирачах США застосовують активний валиковий підкопуючий робочий орган (рис. 1.11, *p*), який складається із двох валиків (квадратного і круглого), що обертається у напрямку переміщення пласта. Такий робочий орган дозволяє підкопувати шар малої товщини і підбирати бульби із валків.

Доведено, що руйнування грудок необхідно проводити на початку технологічного процесу, в зоні підкопування бульбоносного пласта, що значно знижує навантаження на сепаруючі органи машини та підвищує ступінь сепарації, а бульби у цьому випадку частково захищені від механічних пошкоджень [3].

Враховуючи особливості технологічного процесу збирання картоплі, перспективні конструкції підкопуючих робочих органів повинні відповідати наступним вимогам [14]:

- під час підкопування картопляного пласта леміш повинен входити на глибину залягання картоплі;
- піднімати і передавати картопляний пласт на сепаруючий робочий орган;
- забирати разом з бульбами мінімальну кількість ґрунту і забезпечувати можливість кращого дроблення пласта для полегшення сепарації.

Поточний спосіб, в свою чергу, можна розподілити на механічне і автоматичне відокремлення домішок (рис. 1.12) [3, 8].

Простотою конструкції відзначаються сепаратори картопляного вороху просіваючого типу (рис. 1.13). Питаннями вивчення цих сепараторів займалися такі вчені як Г.Д. Петров, М.В. Фірсов, А.А. Сорокін, А.Ю. Кречко, А.Е. Мацапура, В.М. Алесенко та інші [2, 8].

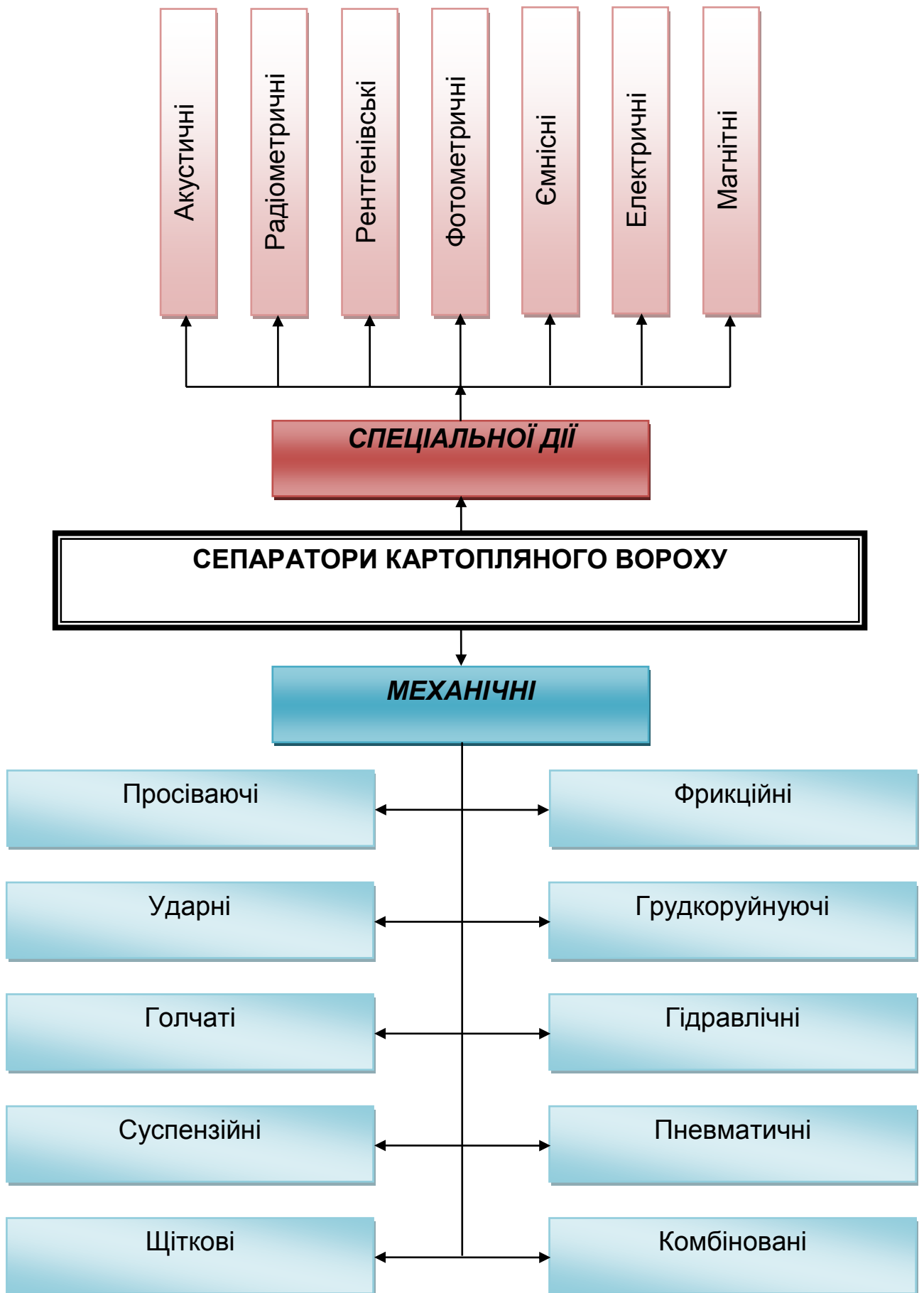


Рис. 1.12. Класифікація сепараторів картопляного вороху [3].



Рис. 1.13. Класифікація сепараторів картопляного вороху просіваючого типу [3].

Провівши детальний аналіз відомих конструкцій сепаруючих пристроїв, а також способів їх впливу на картопляний ворох, можна зробити висновок, що перспективний сепаратор повинен задовольняти таким вимогам:

- перемішування вороху повинно бути об'ємним (робочий орган повинен бути зануреним у об'єм ґрунтової скиби), якщо ж перемішування поверхневе (наприклад, у нижньому шарі матеріалу), то дія робочого органу повинна бути направлена паралельно напрямку руху вороху і має відбуватись на якомога більшій довжині;
- слід обмежувати або уникати взагалі перемішування вороху у вертикальній площині, натомість сприяти перемішуванню в горизонтальній площині, що покращить сегрегацію та просіювання дрібних частинок вороху;
- в результаті сегрегації бульби підіймаються на поверхню вороху, тому руйнування грудок повинно відбуватись в його нижньому шарі;
- ступінь перемішування ґрунту та руйнування грудок має бути регульованим, що дозволить оптимально завантажити сепаратор та знизити пошкодженість бульб.

В даний час всі сепаруючі пристрої діляться на дві основні групи: органи первинної сепарації і органи вторинної сепарації (виносної сепарації). Органи первинної сепарації [3] діляться на дві групи, призначені для відділення бульб від сухого, дрібного, сипучого ґрунту і відділення ґрунтових і рослинних домішок (видаляють бадилля). Органи вторинної сепарації – це в основному пальчаті гірки, різних конструкцій, які використовуються для доочистки бульб від дрібних ґрунтових і рослинних домішок. Схема класифікації органів сепарації представлена на рисунку 1.14.

Органи первинної сепарації при оптимальних умовах здатні відокремлювати до 90% домішок ґрунту. Вони характеризуються високою пропускною можливістю і малими ушкодженнями бульб [3]. В результаті чого бульбоносна маса може мати співвідношення бульб до домішок. Таким чином, первинні сепаратори грають важливу роль в процесі відділення домішок, і від якості їх роботи буде залежати ефективність функціонування складніших сепаруючих пристроїв (вторинних), що в подальшому позначиться на якості кінцевого продукту.

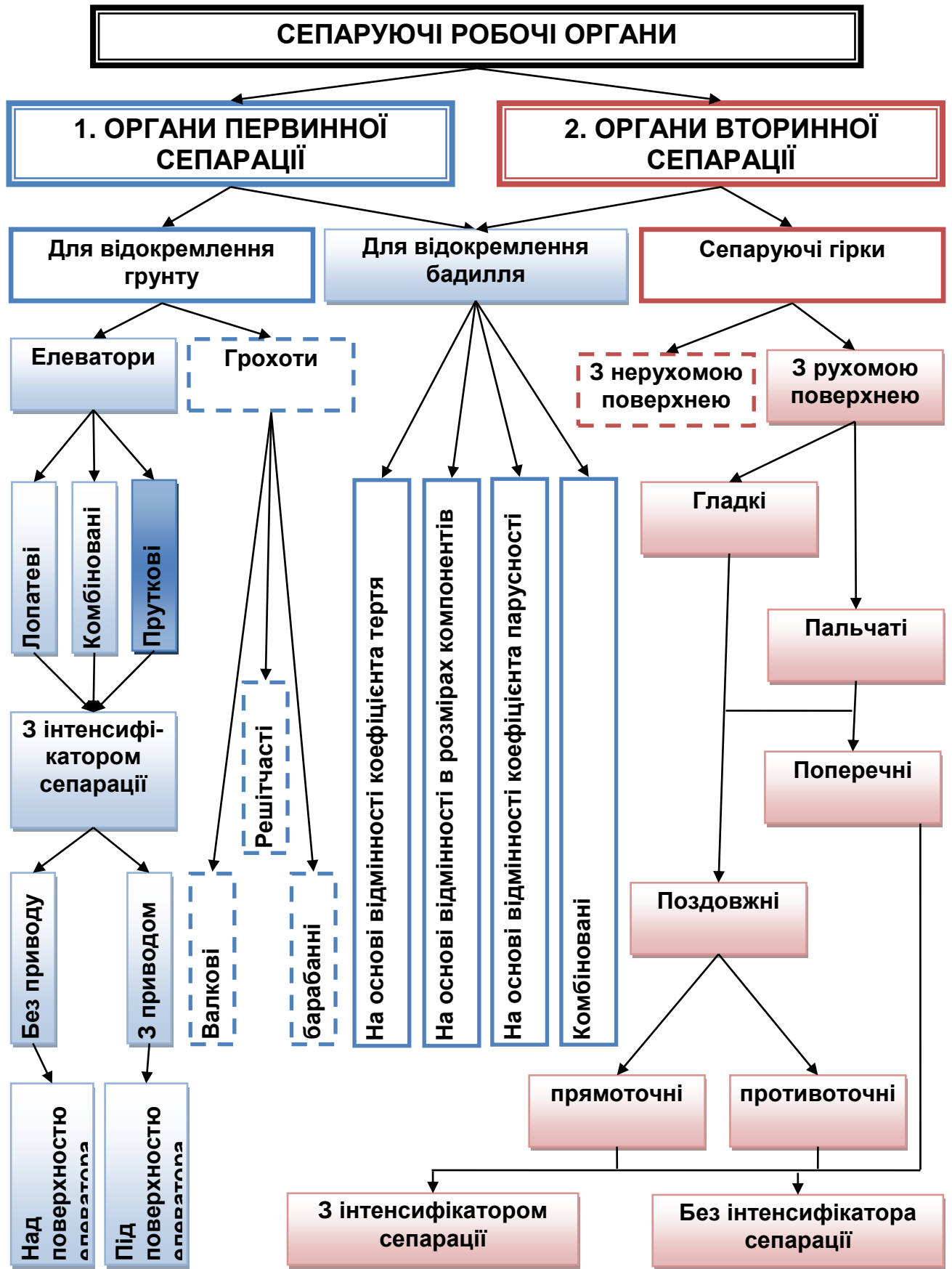



Рис. 1.14. Класифікація сепаруючих робочих органів картоплезбиральних машин

 – перспективні напрямки вдосконалення робочих органів

Отже, сепаратори просіваючої дії потребують подальшого конструктивного вдосконалення, а також теоретичного та експериментального дослідження з метою підвищення якісних показників їх роботи.

1.5. Постановка завдань дослідження

Велике значення для якості збирання має вибір раціональних параметрів і режимів дискових підкопуючих робочих органів. Так, багато машин внаслідок нестійкого ходу підкопуючих органів на заданій глибині і не правильно вибраних параметрах і режимах, залишають у ґрунті значну частину врожаю у вигляді не викопаних бульб (до 10%). Поряд з цим, при роботі картоплекопачів і комбайнів часто спостерігається зсування ґрунту на лемішах. У зв'язку зсування маси на лемеші виходить нерівномірна подача її в комбайн. Це призводить не тільки до різкого погіршення якісних показників, головним чином, сепаруючих і бадилльоусуваючих робочих органів (знижується чистота бульб, які видаються комбайном, в значній мірі збільшуються втрати картоплі з бадиллям), але і до зниження надійності підкопуючих робочих органів та збирального агрегату в цілому. Застосування комбінованих підкопуючих робочих органів дозволить усунути дані недоліки.

Удосконалення дискових елементів підкопуючих робочих органів є одним із актуальних завдань у вирішенні проблеми створення надійних і працездатних картоплезбиральних машин. Враховуючи вищевикладене, були поставлені такі завдання дослідження:

1. Провести аналіз існуючих конструкцій підкопуючих робочих органів картоплезбиральних машин та виявити шляхи їх вдосконалення;
2. Удосконалити конструкцію підкопуючого робочого органу картоплезбиральних машинне
3. У ході теоретичних і експериментальних досліджень вибрати і обґрунтувати режими роботи та основні параметри додаткових пристроїв нових дискових елементів підкопуючого робочого органу;
4. Оцінити показники надійності роботи картоплезбиральних машин з удосконалиними підкопуючими робочими органами і зносостійкість зубчатих дисків;
5. Провести господарські випробування удосконалених машин, на підставі яких визначити економічну ефективність від застосування винаходу.

Висновки до першого розділу

1. Найважливіша і відповідальна технологічна операція – підкопування бульбоносного пласта в сучасних картоплезбиральних машинах виконується з недостатньою якістю, тому слід і далі розвивати і вдосконалювати підкопуючі робочі органи.

2. Вибір підкопуючого робочого органу повинен здійснюватися з урахуванням ґрунтово-кліматичної зони, в якій буде використовуватися картоплезбиральна машина.

3. З усіх відомих підкопуючих органів найефективнішими і перспективними є комбіновані підкопуючі робочі органи, що містять пасивний леміш і активні або пасивні дискові боковини.

2. ТЕОРЕТИЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ І РЕЖИМІВ РОБОТИ ПІДКОПУЮЧО-СЕПАРУЮЧИХ РОБОЧИХ ОРГАНІВ КАРТОПЛЕЗБИРАЛЬНИХ МАШИН

В.П. Горячкін вказував, що основним елементом при всякому технологічному процесі є матеріал, що підлягає обробці. Він неодноразово підчеркував необхідність систематичних досліджень властивостей ґрунту, стебел, повітря і т.д. з точки зору їх фізичних властивостей і зовнішніх ознак (для сортування, різання, деформації, струшування і т.д.). Виходячи з цього, в основу вишукування раціональних параметрів і режимів роботи дискових елементів підкопуючих робочих органів картоплезбиральних машин нами були подані дослідження технологічних властивостей культури картоплі та ґрунту, на яким вона обробляється.

2.1. Вдосконалений підкопуючий робочий орган картоплезбиральних машин

Призначення лемешів картоплекопачів – підкопати бульбоносний шар, частково або повністю зруйнувати шар і передати на наступні робочі органи.

Конструкція лемеша повинна забезпечувати мінімальне захоплення ґрунту за відсутності непідкопаних або пошкоджених бульб. Лемеші сучасних картоплезбиральних машин являють собою двогранний клин патент на корисну модель України (№ 99259).

2.2. Теоретичне дослідження параметрів зубчастого диска з ґрунтозачепами

Для обґрунтування раціональної форми і геометричних параметрів різальної кромки було розглянуто декілька форм ґрунтозачепів і проведено їх порівняння за наступними показниками:

- а – металоємкістю конструкцій диска з ґрунтозачепами;
- б – тяговим опором диска з ґрунтозачепами;

у – перерізанню елементів засмічених рослин і бадилля.

Основним елементом запропонованого диска є зуб з різальною кромкою, виконаною по логарифмічній кривій. В нашому випадку рівняння логарифмічної кривої має вигляд (рис 2.1)

$$r = \frac{1}{2} r_0 (1 + e^{\psi \tau \operatorname{ctg} \tau}), \quad (2.1)$$

де r – значення радіус-вектора, м;

r_0 – початкове значення радіус-вектора, м;

r_0 – кінцеве значення радіус-вектора, м;

ψ – кут обхвату леза, рад.;

τ – кут ковзання, рад.

В даному випадку $\tau = \text{const}$.

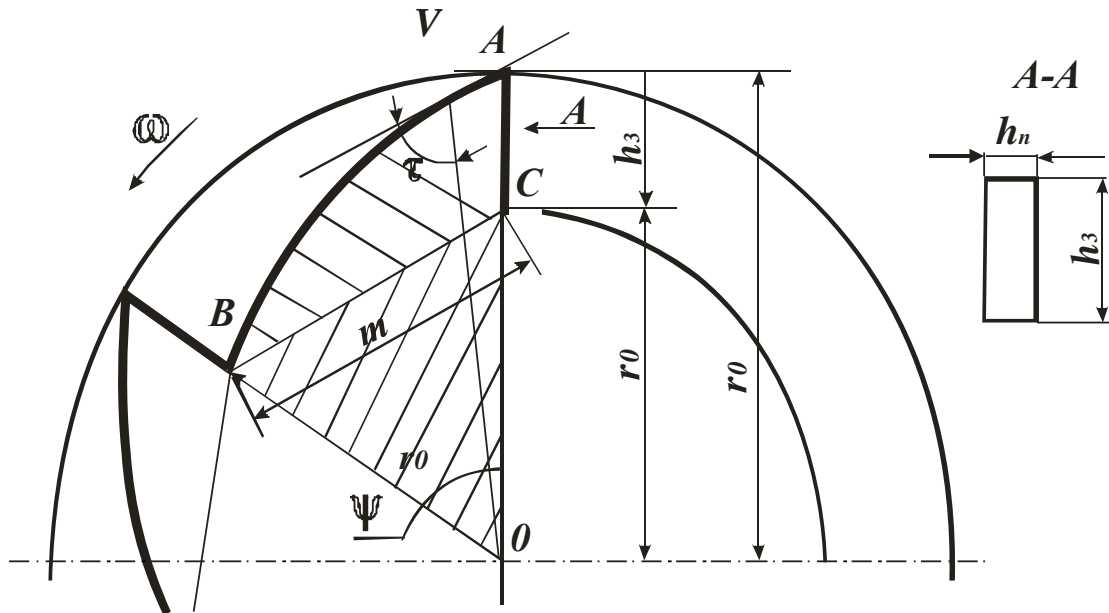


Рис. 2.1. Схема для визначення металоємності зубчастого диска з ґрунтозачепами, зуби якого мають різучу кромку, виконану за логарифмічною кривою.

З схеми (рис. 2.1)

$$r_k - r_0 = h_3 = \frac{1}{2} r_0 (e^{\psi \operatorname{ctg} \tau} - 1). \quad (2.2)$$

Тоді вираз для визначення довжини різучої кромки зуба [5]

$$c = \frac{r_0}{2 \sin \tau} \int_0^{\psi} \sqrt{\sin^2 \tau + 2 \cdot \sin \tau \cdot e^{\psi \operatorname{ctg} \tau} + e^{2\psi \operatorname{ctg} \tau}} \cdot d\psi = \frac{1}{2} r_0 \left(\psi + \frac{e^{\psi \operatorname{ctg} \tau}}{\operatorname{ctg} \tau} \right). \quad (2.3)$$

Площу диска із зубчастою ріжучою крайкою визначимо за формулою

$$S_{\text{заг.}} = (S_{\text{зуба}} + S_n) \cdot Z \quad (2.4)$$

де S_n – площа ґрунтозачепа, м²;

$S_{\text{зуба}}$ – площа зуба, обмежена радіусами r_0 по западинах, м²;

Z – число зубів, шт.

Визначимо площу зуба

$$S_{\text{зуба}} = S_{OAB}, \quad (2.5)$$

$$S_{OAB} = \frac{S_{\text{заг.}}}{Z}, \quad (2.6)$$

У загальному вигляді запишемо

$$S_{OAB} = \frac{1}{2} \int_0^{\psi} r_0^2 d\psi; \quad (2.7)$$

$$\begin{aligned} S_{OAB} &= \frac{1}{2} \int_0^{\psi} \left(\frac{1}{2} r_0 + \frac{1}{2} r_0 \cdot e^{\psi \operatorname{ctg} \tau} \right)^2 d\psi = \\ &= \frac{1}{2} \int_0^{\psi} \frac{1}{4} r_0^2 (1 + e^{\psi \operatorname{ctg} \tau})^2 d\psi = \frac{r_0^2}{4} \left(\psi + \frac{2 e^{\psi \operatorname{ctg} \tau}}{\operatorname{ctg} \tau} + \frac{e^{2\psi \operatorname{ctg} \tau}}{2 \operatorname{ctg} \tau} + \frac{5}{2 \operatorname{ctg} \tau} \right), \end{aligned} \quad (2.8)$$

Площу ґрунтозачепа визначимо, як площу прямокутника

$$S_n = h_z \cdot k_n, \quad (2.9)$$

де k_n – ширина ґрунтозачепа, м.

Остаточно отримаємо вираз для визначення площі зубчастого диска з ґрунтозачепами прямокутної форми

$$S_{\text{заг.}} = 10 \cdot \left(\frac{r_0^2}{8} \left(\psi + \frac{2 e^{\psi \operatorname{ctg} \tau}}{\operatorname{ctg} \tau} + \frac{e^{2\psi \operatorname{ctg} \tau}}{2 \operatorname{ctg} \tau} + \frac{5}{2 \operatorname{ctg} \tau} \right) + h_z \cdot k_n \right), \quad (2.10)$$

$$\begin{aligned}
S_{заг.} &= \frac{5}{4} r_0^2 \left(\psi + 2 \cdot e^{\psi \operatorname{ctg} \tau} \cdot \operatorname{tg} \tau + \frac{1}{2} e^{\psi \operatorname{ctg} \tau} \cdot \operatorname{tg} \tau + \frac{5}{2} \operatorname{tg} \tau \right) + \\
&+ 5 r_0 \left(e^{\psi \operatorname{ctg} \tau} - 1 \right) \cdot k_n = \\
&= \frac{5}{4} r_0^2 \left(\psi + 2 \cdot \operatorname{tg} \tau \cdot e^{\psi \operatorname{ctg} \tau} + \frac{1}{2} \cdot \operatorname{tg} \tau \cdot e^{2 \psi \operatorname{ctg} \tau} + \frac{5}{2} \operatorname{tg} \tau \right) + \\
&+ 5 r_0 \left(e^{\psi \operatorname{ctg} \tau} - 1 \right) \cdot k_n.
\end{aligned} \tag{2.11}$$

Розглянемо дію сил опору ґрунту на зубчастий диск з ґрунтозачепами, для чого скористаємося схемою, представленою на рис. 2.2.

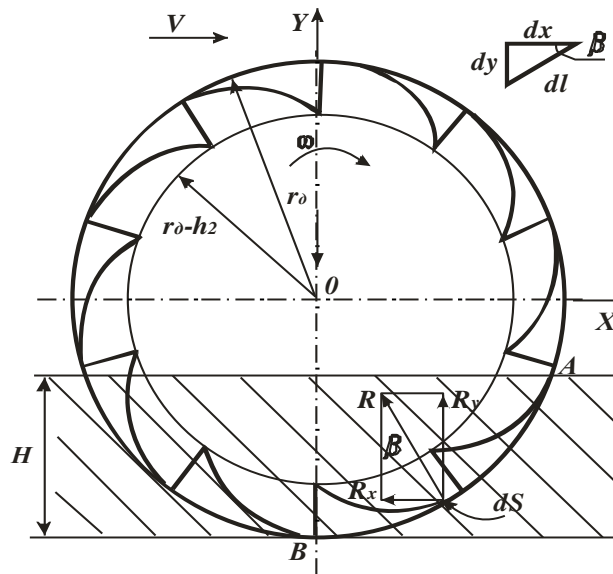


Рис. 2.2. Схема до визначення тягового опору диска з ґрунтозачепами, зуби якого мають ріжучу поверхню, виконану за логарифмічною кривою

Після перетворення знаменника вираз для визначення тягового опору диска з логарифмічною зубчастою ріжучою кромкою і ґрунтозачепами без урахування сил тертя буде мати вигляд

$$\begin{aligned}
R_x &= \frac{Q_{з.ч.} \left(b_0 \cdot H + \sum_{i=Z} S_n \cdot \cos \beta_i \right)}{\frac{2 \cdot Z \cdot b_0 \cdot r_0}{2 \cdot 2\pi} \left(\psi + \frac{2k_n}{r_0} - 1 + e^{\psi \operatorname{ctg} \tau} \left[1 + \frac{1}{\cos \tau} \right] \right) \cdot \left(\pi - 2 \arcsin \frac{r_0 - H}{r_0} \right) + \sum_{i=Z} S_n \cdot \sin \beta_i} = \\
&= \frac{Q_{з.ч.} \left(b_0 \cdot H + \sum_{i=Z} S_n \cdot \cos \beta_i \right)}{Z \cdot b_0 \cdot r_0 \left(\psi + \frac{2k_n}{r_0} - 1 + e^{\psi \operatorname{ctg} \tau} \left[1 + \frac{1}{\cos \tau} \right] \right) \cdot \left(\pi - 2 \arcsin \left[1 - \frac{2PH}{r_0(1 + e^{\psi \operatorname{ctg} \tau})} \right] \right) + \sum_{i=Z} S_n \cdot \sin \beta_i}.
\end{aligned} \tag{2.12}$$

За результатами проведених обчислень був зроблений порівняльний аналіз дискових елементів підкопуючого робочого органу наступних типів: диска із зубами, виконаними за логарифмічною кривою, диска з ґрунтозачепами, що мають форму прямокутника, диска з ґрунтозачепами, що мають форму прямокутної трапеції, і диска з ґрунтозачепами, що мають форму прямокутного трикутника (табл. 2.1).

Таблиця 2.1.

Порівняльні характеристики дисків з ґрунтозачепами різної форми

Порівняльні показники	Зубчастий диск без ґрунтозачепа	Зубчастий диск з ґрунтозачепами		
		Прямокутна форма	Прямокутна трапеція	Прямокутний трикутник
1. Збільшення металлоємкості, %	0,0	3,4	3,3	1,7
2. Збільшення тягового опору, %	0,0	14,5	11,2	8,7

Розглянемо вплив робочої кромки ґрунтозачепа на рослинні залишки і бадилля. Спочатку приймемо, що ґрунтозачеп має форму прямокутної трапеції. Скористаємося схемою, представленою на рис. 2.3.

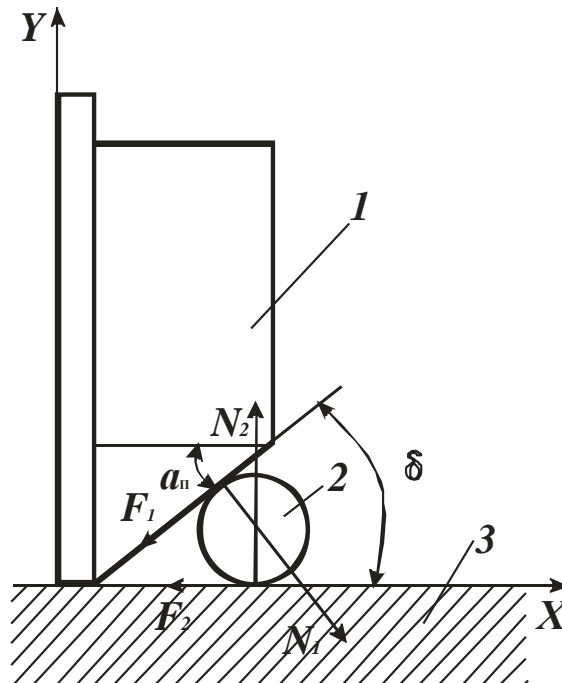


Рис. 2.3. Схема дії робочої кромки ґрунтозачепа на елемент рослин:

1 – ґрунтозачеп диска; 2 – елемент рослин; 3 – поверхня поля.

Нехай на елемент рослини діють сили N_1 і N_2 , нормальні до робочої кромки і поверхні ґрунту. Якщо він буде виштовхувати з розчину робочої кромки і поверхні ґрунту, то на нього діють сили тертя F_1 і F_2 , значення яких знайдемо з виразів [5]

$$F_1 = N_1 \cdot \operatorname{tg} \varphi_1, \quad (2.13)$$

$$F_2 = N_2 \cdot \operatorname{tg} \varphi_2, \quad (2.14)$$

де $\operatorname{tg} \varphi_1$ і $\operatorname{tg} \varphi_2$ – коефіцієнти тертя елемента рослини відповідно в сталь і в ґрунт.

Щоб рослинні залишки не виштовхувалися з вищезазначеного розчину, сила F_2 повинна бути більше або дорівнює сумі проекцій всіх сил, що діють на стебло по осі ОУ, тобто має дотримуватися умова

$$F_2 \geq N_1 \cdot \sin \delta - F_1 \cdot \cos \delta, H. \quad (2.15)$$

Тоді умова защемлення елементів рослин робочою кромкою ґрунтозачепа буде мати вигляд [17]

$$a_n \leq \varphi_1 + \varphi_2. \quad (2.16)$$

Кути φ_1 і φ_2 відомі, і, отже, кут нахилу робочої кромки ґрунтозачепа, що визначає перерізання елементів рослин і бадилля, повинен бути менше або дорівнює 63° [5], тобто:

$$a_n \leq 27^\circ + 36^\circ = 63^\circ \quad (2.17)$$

Аналізуючи вираз (2.17), можна зробити висновок, що ґрунтозачеп виконаний у формі прямокутної трапеції є найбільш раціональним рішенням для перерізання рослинних залишків. Так, як ґрунтозачеп, що має форму прямокутного трикутника, для забезпечення умови зацімлення повинен мати ширину не менше 50 мм, що негативно позначиться на металоємності та тяговому опорі. А прямокутна форма ґрунтозачепа є перерізання рослинних

залишків різанням без ковзання (тобто $\delta = 0$), яке є більш енерговитратним, ніж різання з ковзанням [5].

2.3. Обґрунтування режимів роботи пасивних дискових елементів підкопу робочого органу

Для забезпечення раціональних режимів роботи пасивних дискових елементів підкопуючого робочого органу необхідно правильно вибрати співвідношення поступальної швидкості агрегату і частоти обертання дискових елементів [5]. Ці величини в значній мірі впливають на крутний момент, що створюється на диску, і тяговий опір диска.

Силу взаємодію ґрунту з диском без урахування сил тертя було розглянуто раніше. Знайдемо крутний момент і тяговий опір з урахуванням сил тертя [5]. Для цього розглянемо окремо поверхню диска і ґрунтозачепа.

При поступальному переміщенні і обертанні диска на кожну точку A бокової поверхні диска з боку ґрунту діє сила тертя F_1 , спрямована проти швидкості поступального руху, і сила тертя F_2 , спрямована проти обертальної швидкості обертання диска. Рівнодійна цих сил є сила F (рис. 2.4).

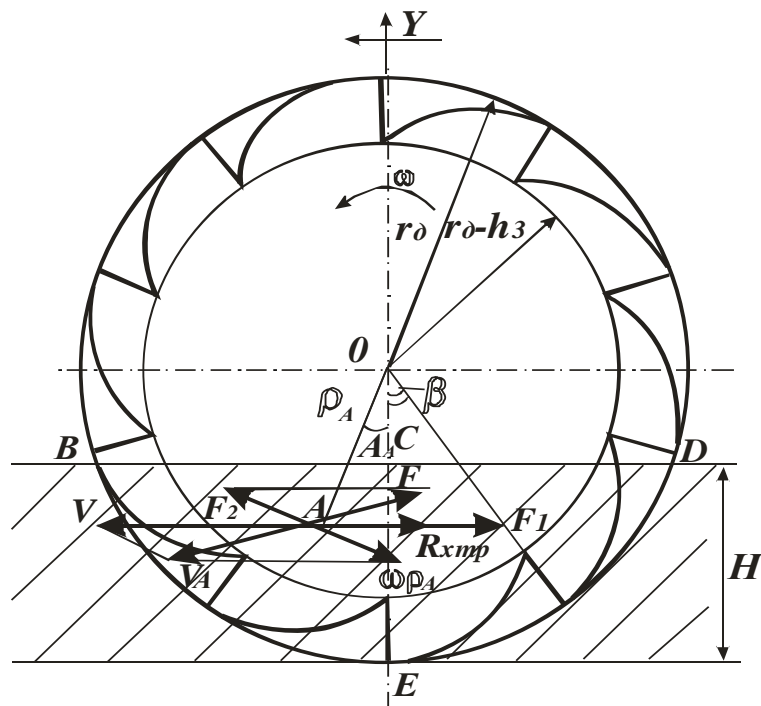


Рис. 2.4. Розрахункова схема сил, що діють на диск, який працює в пасивному режимі

Елементарний момент сил тертя в нескінченно малому елементі площі точки А диска рівний

$$dM_{duc} = 2 \cdot p \cdot f_{mp} \cdot p_A^2 \cdot dp_A \cdot da_A \frac{V \cdot \cos a_A - \omega \cdot p_A}{\sqrt{\omega \cdot p_A (\omega \cdot p_A \cdot V \cdot \cos a_A) + V^2}}. \quad (2.18)$$

Момент, створюваний ґрунтозачепами розрахуємо за формулою

$$M_{epm} = \left(r_d - \frac{h_n}{2} \right) \cdot N_c \cdot \sum_{i=Z} S_n, \quad (2.19)$$

де $\sum_{i=Z} S_n$ – сумарна площа ґрунтозачепа, м²;

$r_d - \frac{h_n}{2}$ – плече дії сили, м;

N_c – питома сила опору (твердість) ґрунту, Н/м².

Підсумовуючи момент, створюваний ґрунтозачепами і самим диском, отримаємо загальний крутний момент

$$M_{zag} = M_{duc} + M_{epm} = 2 \cdot p \cdot f_{mp} \int_{a=0}^{\arccos \frac{r-H}{p}} \int_{p=r-H}^{p=r-h/2} \frac{(V \cdot \cos a - \omega \cdot p) \cdot p^2 \cdot dp \cdot da}{\sqrt{\omega \cdot p (\omega \cdot p - 2V \cdot \cos a) + V^2}} + \left(r_d - \frac{h_n}{2} \right) \cdot N_c \cdot \sum_{i=Z} S_n. \quad (2.20)$$

Результати інтегрування виразів при $\rho = 2,3$ Н/см², $f = 0,5$, $H = 0,2$ м, $V = 1$ м/с представлені на рис. 2.5.

Аналізуючи рис. 2.5 можна зробити висновок, що в діапазоні кутових швидкостей від 0 до 2,8 рад/с (при $\lambda = 1$) крутний момент, створений на диску з ґрунтозачепами, залишається значним, і менше залежить від стану і типу ґрунту, що обробляється картоплезбиральною машиною, а також частоти обертання диска. Отже, забезпечується обертання диска з меншим буксуванням, що призводить до більш повного перерізання рослинності і бадилля гострою кромків зубів і ґрунтозачепів. Це позитивно позначається на роботі самого диска і сепаруючих робочих органів, при цьому зменшуються втрати картоплі і технологічні простой машини.

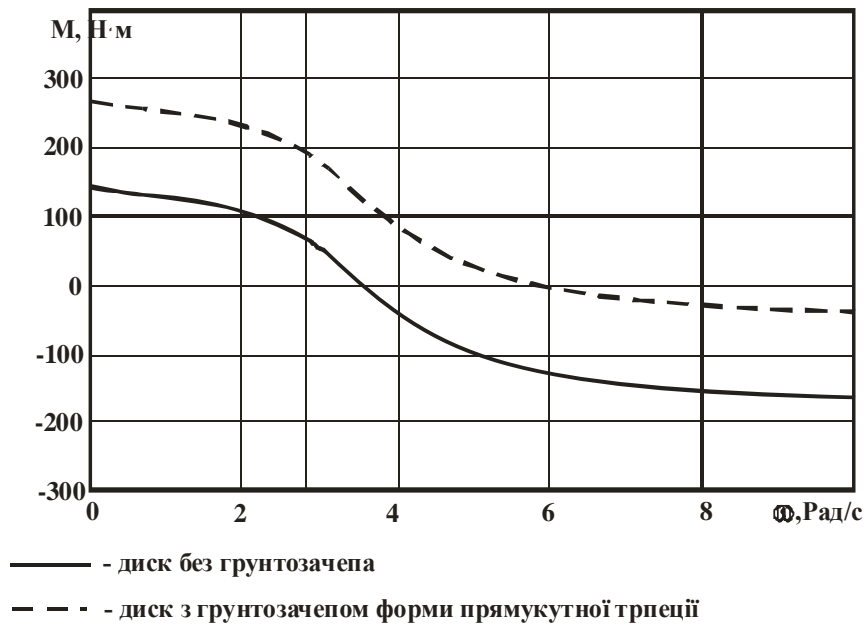


Рис. 2.5. Теоретична залежність крутного моменту зубчастого диска від кутової швидкості при твердості ґрунту в зоні ґрунтозачепа 10 Н/см^2

Тяговий опір, що створюється диском з ґрунтозачепами, для простоти обчислення розіб'ємо на тяговий опір самого зубчастого диска і тяговий опір, створений ґрунтозачепами.

Величину тягового опору, створюваного силами тертя на бічній поверхні диска, визначимо з рисунка 2.4. Елементарна величина тягового опору від сил тертя $dR_{x.mp}$ рівна

$$dR_{x.mp} = 2 \cdot p \cdot f_{mp} \cdot p_A \cdot da_A \cdot dp_A \cdot \frac{V - \omega \cdot p_A \cdot \cos a}{\sqrt{V(V - 2 \cdot \omega \cdot p_A \cdot \cos a) + \omega^2 \cdot p^2}}, \quad (2.21)$$

Тяговий опір, що створюється силами тертя на поверхні ґрунтозачепів визначимо за схемою, розташованої на рисунку 2.6.

Після перетворень загальний тяговий опір набуде вигляду

$$R_{x.зая} = R_{x.mp} + R_{ч.зпч.} = 2 \cdot p \cdot f_{mp} \int_{a=0}^{\arccos \frac{r-h}{p}} \int_{p=r-H}^{p=r/2} \frac{(V - \omega \cdot p \cdot \cos a) \cdot p \cdot dp \cdot da}{\sqrt{\omega^2 \cdot p^2 + V(V - 2\omega \cdot p \cdot \cos a)}} + \quad (2.22)$$

$$+ N_c \cdot f_{mp} \sum_{i=Z} S_n \cdot \sin \beta_i.$$

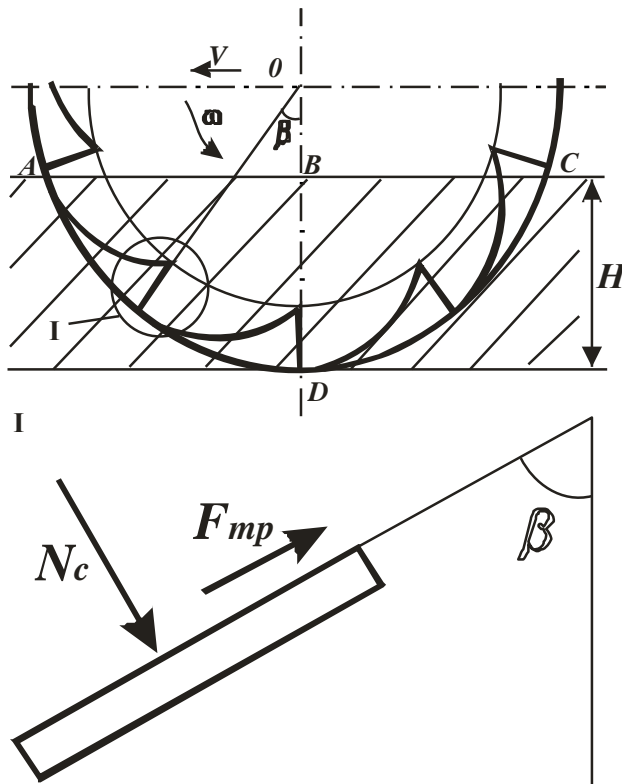


Рис. 2.6. Схема для визначення моменту і тягового опору, створюваного силою тертя на поверхні ґрунтозачепів

Результат інтегрування виразу 2.22 на ЕОМ при значеннях $p = 2,3 \text{ N/cm}^2$, $f = 0,5$, $H = 0,2 \text{ м}$ представлений на рисунку 2.7.

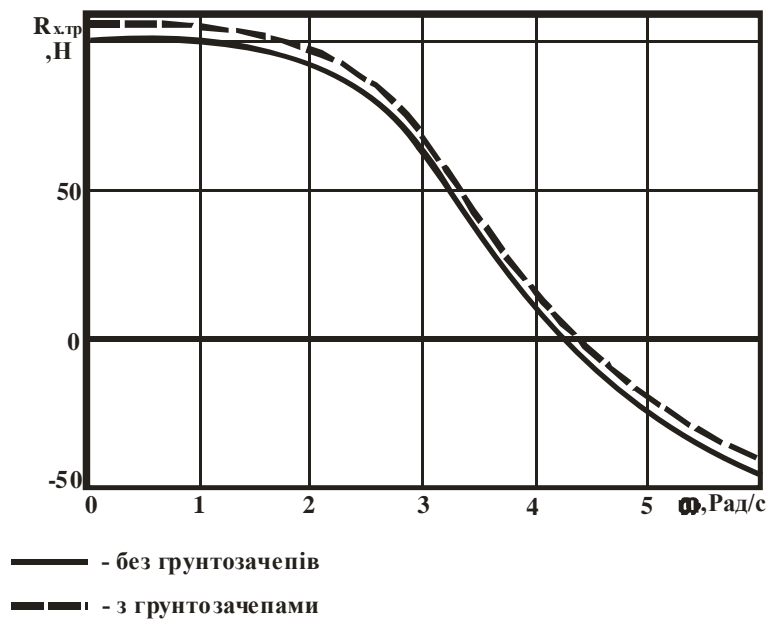


Рис. 2.7. Теоретична залежність тягового опору, утвореного силами тертя на поверхні зубчастого диска

2.4. Конструктивно-технологічна схема вдосконаленого робочого органу сепарації

З метою підвищення експлуатаційної продуктивності картоплезбиральної машини і зниження пошкоджень бульб пропонується конструктивно-технологічна схема робочого органу сепарації, що містить полотно пруткового елеватора з встановленими на нього пружними елементами обмеження контакту бульб з жорсткими боковинами рами (рис. 2.8) [13].

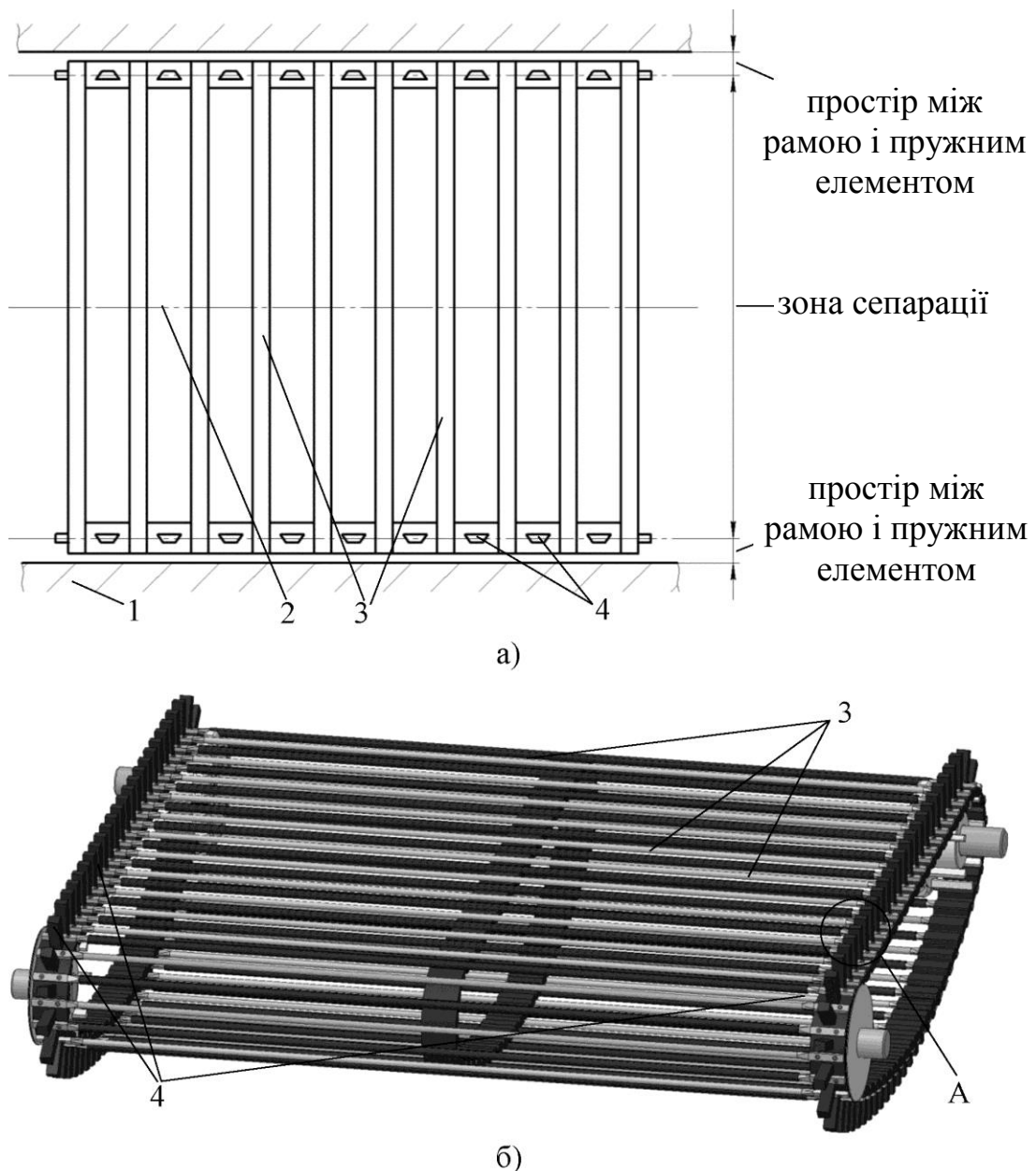


Рис. 2.8. Робочий орган сепарації картоплезбиральних машин:
 а) технологічна схема; б) тривимірна модель; 1 - боковини рами; 2 - полотно елеватора; 3 - прутки елеватора; 4 - пружні елементи

Робочий орган сепарації картоплезбиральної машини містить встановлене на рамі полотно просівного пруткового елеватора 2 (рис. 2.8), і пружні елементи 4 обмеження контакту бульб з боковинами 1, виконані у вигляді еластичних прутків, які розташовані вздовж полотна елеватора 2, з його боків паралельно рамі і симетрично щодо його центру.

Пружні елементи 4 обмеження контакту бульб з боковинами рами 1 закріплені консольно на зовнішній стороні елеватора 2 між його прутами 3 і

мають підставу в формі рівнобедреної трапеції, причому більшою основою трапеції направлено в сторону центру елеватора.

Принцип дії пристрою полягає в наступному [13]. Картопленосний шар (рис. 2.8) з транспортера, що подає надходить на полотно просівного пруткового елеватора 2. У міру просування по прутковому елеватору 2 частина шару зміщується до його країв, але це зміщення обмежується пружними елементами 4, розташованими вздовж полотна елеватора 2 з його боків паралельно рамі і симетрично відносно її центра. Для зниження можливості потрапляння окремих компонентів картопленосного шару в простір між боковинами рами 1 і пружними елементами 4 останні закріплені консольно до зовнішньої сторони елеватора 2 між його прутами 3 (рис. 2.9).

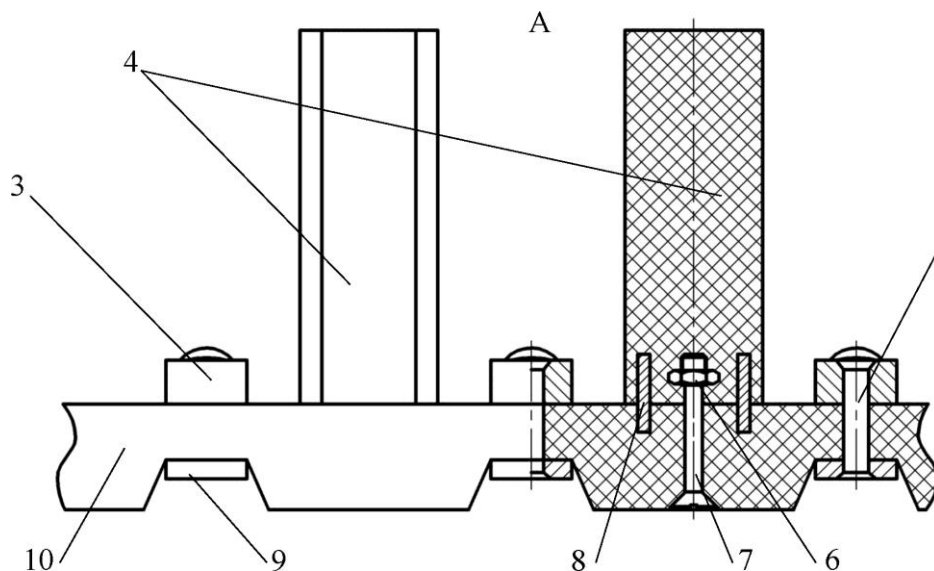


Рис. 2.9. Схема кріплення пружних елементів (місцевий вид):

3 - пруток елеватора; 4 - пружні елементи; 5 - заклепка; 6 - гайка; 7 - гвинт; 8 - направляюча; 9 - заклепувача зєднувальна планка; 10 - транспортерна стрічка

При впливі компонентів картопленосного шару з боку боковини рами 1 пружні елементи 4 деформуються, забезпечуючи їм можливість повернення в центральну частину полотна елеватора 2 (в зону сепарації) [13].

Перевага запропонованого пристрою перед серійними прутковими елеваторами полягає в запобіганні защемлення бульб між боковинами рами 1 і полотном елеватора 2 [13].

Для підвищення експлуатаційної продуктивності картоплезбиральних машин, і дотримання встановлених агротехнічних вимог (особливо за кількістю пошкоджень бульб) необхідно провести теоретичне обґрунтування параметрів і режимів роботи вдосконаленого робочого органу сепарації.

2.5. Обґрунтування конструктивних параметрів вдосконаленого робочого органу сепарації

Метою теоретичних досліджень технологічного процесу видалення ґрунтових домішок є обґрунтування раціональних параметрів нового робочого органу сепарації [13], що забезпечує мінімум пошкоджень бульб при допустимій повноті видалення ґрунтових домішок і відповідної продуктивності.

Механіко-математичне моделювання технологічного процесу видалення ґрунтових домішок проводилося при наступних основних допущення і вихідних даних: 1) сорт картоплі «Гірас»; 2) коефіцієнт тертя бульби об гуму $f = 0,71$ [13]; 4) статична міцність бульби $F_{кл} = 300$ Н [13] 5) сила тяжіння бульби $F_{ТЯГ}$ в розрахунках не враховується.

Основне завдання розробленого робочого органу сепарації - зниження пошкоджень бульб при видаленні домішок з картопляного шару. Відповідно при механіко-математичному моделюванні даного технологічного процесу приділимо особливу увагу взаємодії бульби з новим конструктивними елементами - пружними прутами трапецієподібної форми, з метою обґрунтування раціональних їх параметрів. Вибір параметрів елементів проводиться на умові не зісковзування бульб в простір між боковинами і пружними елементами і зменшення пошкоджень бульб.

Проведемо механіко-математичне моделювання технологічного процесу видалення ґрунтових домішок і розглянемо вплив бульби на пружний елемент з поперечним перерізом у формі: 1) кола; 2) прямокутника, 3) еліпса; 4) рівнобедреної трапеції [13]. Визначимо максимальний кут прогину осі пружного елемента θ_{max} при впливі на нього бульби з деяким зусиллям $F_{кл}$ (під

$F_{\text{кл}}$ мається на увазі сила $F_{\text{вор}}$, з якої шар впливає на бульбу і, отже, на пружний елемент). Розглянемо випадок, коли це зусилля максимально (по модулю) і так само статичної міцності бульби, при цьому направлено перпендикулярно робочій поверхні пружного елемента. При даній постановці завдання необхідно дотримуватись наступних умов: сила, з якою бульба діє на пружний елемент, не повинна перевищувати силу тертя спокою [13]. В іншому випадку, бульба починає переміщатися по поверхні до тих пір, поки не зісковзне в простір між рамою і пружними елементами [13].

Тому однією з цілей механіко-математичного моделювання технологічного процесу видалення ґрунтових домішок є вибір раціональної форми пружних елементів, що забезпечує допустиме значення пошкоджень бульб картоплі при високій експлуатаційній продуктивності картоплезбиральної машини [133].

Проаналізуємо процес впливу бульби картоплі на пружний елемент з поперечним перерізом у формі кола (рис. 2.10) для визначення його геометричних параметрів [13].

Запишемо умову не зковзування бульб з пружного елемента

$$F_{\text{кл}} \cdot \sin\theta_{\text{max}} < F_{\text{тр}} = N_A \cdot f = F_{\text{кл}} \cdot f \cdot \cos\theta_{\text{max}}, \quad (2.23)$$

де $F_{\text{тр}}$ - величина сили тертя між бульбою і пружним елементом, Н;

θ_{max} - максимальний кут прогину поздовжньої осі пружного елемента, рад;

f - коефіцієнт тертя бульби об гуму;

N_A - нормальна реакція поверхні пружного елемента на дію бульби, Н.

Отримуємо такий вираз

$$F_{\text{кл}} \cdot \sin\theta_{\text{max}} < F_{\text{кл}} \cdot f \cdot \cos\theta_{\text{max}}, \quad (2.24)$$

Після перетворення виразу (2.6) отримаємо

$$\text{tg}\theta_{\text{max}} < f, \quad (2.25)$$

Якщо умова (2.25) дотримується, то бульба не зісковзує в простір між рамою і пружними елементами (рис. 2.10).

Зробимо припущення, що при деформації пружного елемента (рис. 2.11) має місце прямий поперечний вигин. У цьому випадку основне диференціальне рівняння виглядає наступним чином [13]

$$E_1 \cdot I_x \cdot \frac{d^2 y}{dz^2} = M(Z), \quad (2.26)$$

де I_x - момент інерції щодо осі X , м⁴;

$M(Z)$ - згинальний момент в перерізі X , Нм.

Маємо

$$M(Z) = F_{\text{кл}} \cdot z, \quad (2.27)$$

де z - відстань від підстави пружного елемента до шуканого перетину, м.

Момент інерції щодо осі X дорівнює [13]

$$I_x = I_{x1} + c^2 \cdot S, \quad (2.28)$$

де I_{x1} - момент інерції щодо осі X_1 , м⁴;

c - відстань між паралельними осями X і X_1 , м;

S - площа підстави елемента, м².

Момент інерції щодо осі X_1 для кола дорівнює [12]

$$I_{x1} = \frac{\pi \cdot r^4}{4}, \quad (2.29)$$

де r - радіус пружного елемента, м.

$$S = \pi \cdot r^2, \quad (2.30)$$

$$c = r, \quad (2.31)$$

Перетворюємо вираз (2.31) і отримуємо

$$I_x = \frac{\pi \cdot r^4}{4} + r^2 \cdot \pi \cdot r^2, \quad (2.32)$$

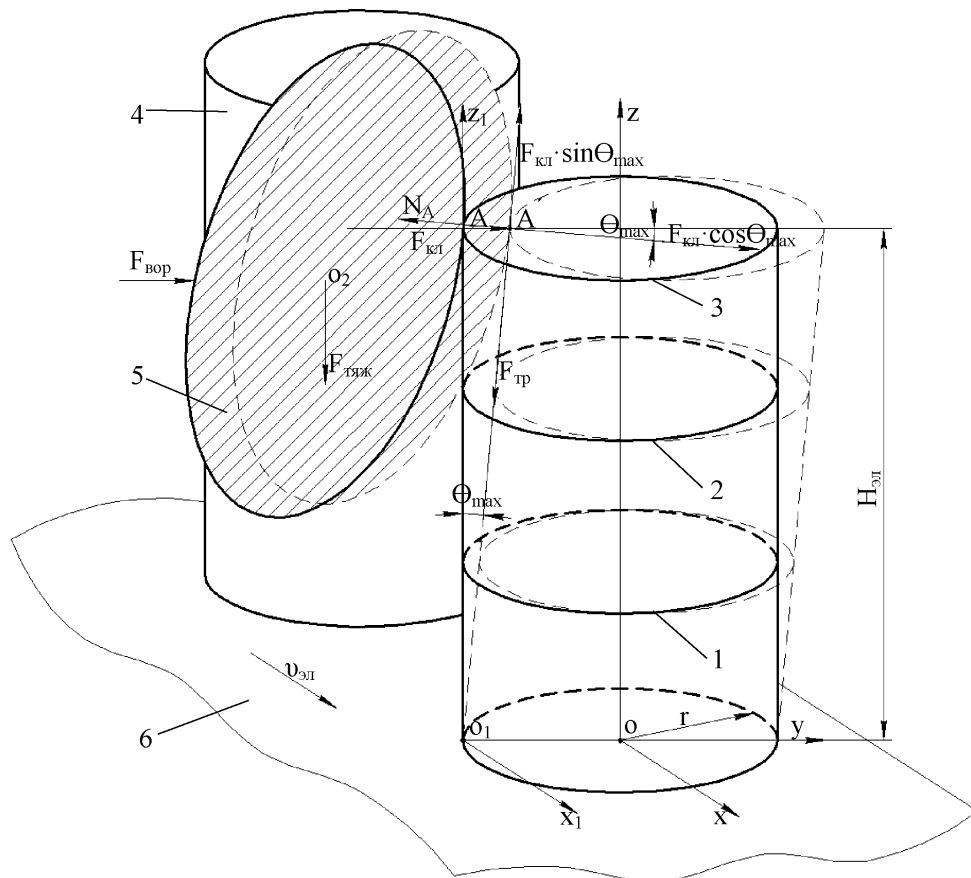


Рис. 2.10. Упругий елемент з перерізом у формі кола:

1 - переріз №1; 2 - переріз №2; 3 - переріз №3; 4 - пружний елемент; 5 - бульба; 6 - полотно елеватора

Вираз (2.27) з урахуванням (2.29 і 2.32) набирає вигляду

$$E_1 \cdot \left(\frac{\pi \cdot r^4}{4} + r^2 \cdot \pi \cdot r^2 \right) \cdot \frac{d^2 y}{dz^2} = F_{\text{кл}} \cdot (H_{\text{ел}} - z), \quad (2.33)$$

або

$$\frac{d^2 y}{dz^2} = \frac{F_{\text{кл}} \cdot (H_{\text{ел}} - z)}{E_1 \cdot \left(\frac{\pi \cdot r^4}{4} + r^2 \cdot \pi \cdot r^2 \right)}, \quad (2.34)$$

де $H_{\text{ел}}$ - висота пружного елемента, м.

Проінтегрувавши вираз (2.34) отримуємо

$$\frac{dy}{dz} = \text{tg} \theta = \frac{F_{\text{кл}}}{E_1 \cdot \left(\frac{\pi \cdot r^4}{4} + r^2 \cdot \pi \cdot r^2 \right)} \cdot \left(H_{\text{ел}} \cdot z - \frac{z^2}{2} \right) + C, \quad (2.35)$$

де θ - кут прогину поздовжньої осі пружного елемента, рад;

C - постійна інтегрування.

Значення постійної інтегрування C знайдемо з рівняння (2.35) за умови нерухомості підстави пружного елемента ($\text{tg} \theta = 0, z = 0$)

$$C = 0, \quad (2.36)$$

Після підстановки виразу (2.36) в (2.35) отримуємо

$$tg\theta = \frac{F_{кл}}{E_1 \cdot \left(\frac{\pi \cdot r^4}{4} + r^2 \cdot \pi \cdot r^2\right)} \cdot \left(H_{ел} \cdot z - \frac{z^2}{2}\right), \quad (2.37)$$

Максимальне значення $tg\theta_{max}$ буде в перерізі №3 (рис. 2.10) при $z = H_{ел}$.

Виходячи з вищевикладеного вираження (2.37) виглядає наступним чином

$$tg\theta_{max} = \frac{F_{кл}}{E_1 \cdot \left(\frac{\pi \cdot r^4}{4} + r^2 \cdot \pi \cdot r^2\right)} \cdot \frac{H_{ел}^2}{2}, \quad (2.38)$$

Остаточню вираз (2.30) з урахуванням (2.44) набуде вигляду

$$f > \frac{F_{кл}}{E_1 \cdot \left(\frac{\pi \cdot r^4}{4} + r^2 \cdot \pi \cdot r^2\right)} \cdot \frac{H_{ел}^2}{2}, \quad (2.39)$$

Виразимо з виразу (2.39) модуль Юнга матеріалу

$$E_1 > \frac{2}{5} \cdot \frac{F_{кл} \cdot H_{ел}^2}{f \cdot \pi \cdot r^4}. \quad (2.40)$$

Отримане значення модуля Юнга буде використовуватися в подальших розрахунках геометричних параметрів інших форм пружних елементів.

Висновки до другого розділу

1. Запропоновано оригінальну конструктивно-технологічну схему робочого органу підкопування і сепарації, оснащена обмежувачами контакту бульб з рамою картоплезбиральної машини, які виконані з пружного матеріалу з основою у формі рівнобедреної трапеції, причому більша основа направлена в бік центральної осі елеватора.

2. Розроблено методику теоретичного обґрунтування характеристик пружних елементів удосконаленого робочого органу сепарації, за допомогою якої були визначені наступні її конструктивні параметри: висота $H_{ел} = 0,06$ м, розміри основи трапеції $b_{тр} = 0,028$ м, $h_{тр} = 0,033$ м, $a_{тр} = 0,008$ м.

3. Встановлено, що при однаковій площі основи пружні елементи з поперечним профілем у формі рівнобедреної трапеції здатні при дотриманні АТП сприймати навантаження на 49,1% більше прямокутної і на 57,7% більше еліптичної, що дає передумови до підвищення експлуатаційної продуктивності машини в цілому.

3. ЛАБОРАТОРНІ ДОСЛІДЖЕННЯ РОЗРОБЛЕНОГО ПІДКОПУЮЧО-СЕПАРУЮЧОГО РОБОЧОГО ОРГАНУ КАРТОПЛЕЗБИРАЛЬНОЇ МАШИНИ

3.1. Програма дослідження роботи розробленого бічного вертикального відрізного диска

З метою аналізу показників тягового опору при роботі зубчастого диска була прийнята програма лабораторних досліджень, що складається з слідуючих етапів:

1. Проведення повнофакторного експерименту зубчастого диска з ґрунтозачепами при різних значеннях робочої швидкості, величини заглиблення диска і ширини ґрунтозачепів.

2. Проведення повнофакторного експерименту зубчастого диска, що має привід від гідромотора при різних значеннях робочої швидкості, величини заглиблення диска і частоти обертання диска.

3. Обробка результатів досліджень та їх оцінка.

4. Розробка рекомендацій щодо використання пасивно працюючих відрізних зубчатих дисків з ґрунтозачепами, а також гідроприводу з метою підвищення показників функціонування при різних значеннях глибини обробки і робочої швидкості.

Дисковий елемент досліджувався при наступних параметрах, визначених раніше: $V_{max} 3\text{км/год} = 0,83 \text{ м/с}$, $r_d = 0,355 \text{ м}$, $h_z = 0,1 \text{ м}$, $Z = 10$.

Усі досліді проводилися при однакових умовах з триразовою повторюваністю.

3.2. Об'єкт досліджень та обладнання

Лабораторні дослідження проводилися на установці (схема лабораторної установки представлена рис. 3.1., 3.3.), що складається з ґрунтового каналу 5, пульт 1 з електролебідкою 2, яка за допомогою троса 3 через направляючих роликів 4 переміщує по ґрунтовому каналу 5 візок 6 з кронштейном. У першій серії дослідів до кронштейна візка був прикріплений пасивно працює диск 7 з

грунтозачепами, а в другій – активний зубчастий диск 8, що приводиться від гідромотора 9. Гідромотор з'єднаний з зовнішньою гідросистемою за допомогою гідравлічних шлангів 10. Вимірювання тягового опору здійснюється за допомогою динамометра 11 [5]. На рис. 3.2. показаний загальний вигляд лабораторної установки, а на рис. 3.4. – гідропривід активного зубчастого диска.

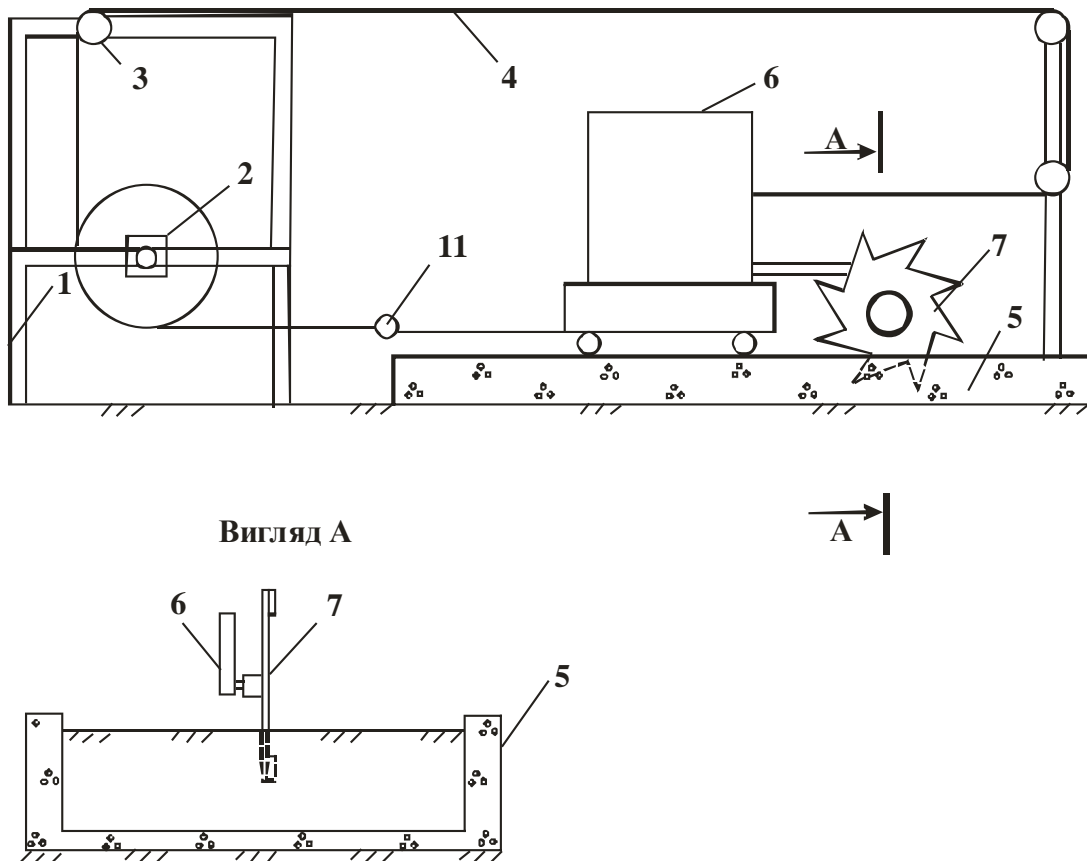


Рис. 3.1. Схема лабораторної установки для перевірки роботи зубчастого диска в пасивному режимі:

1 – пульт керування; 2 – електролебідка; 3 – направляючі ролики, 4 – датковий робочий орган; 5 – ґрунтовий канал; 6 – візок з кронштейном; 7 – зубчастий диск з ґрунтозачепами; 11 – динамометр

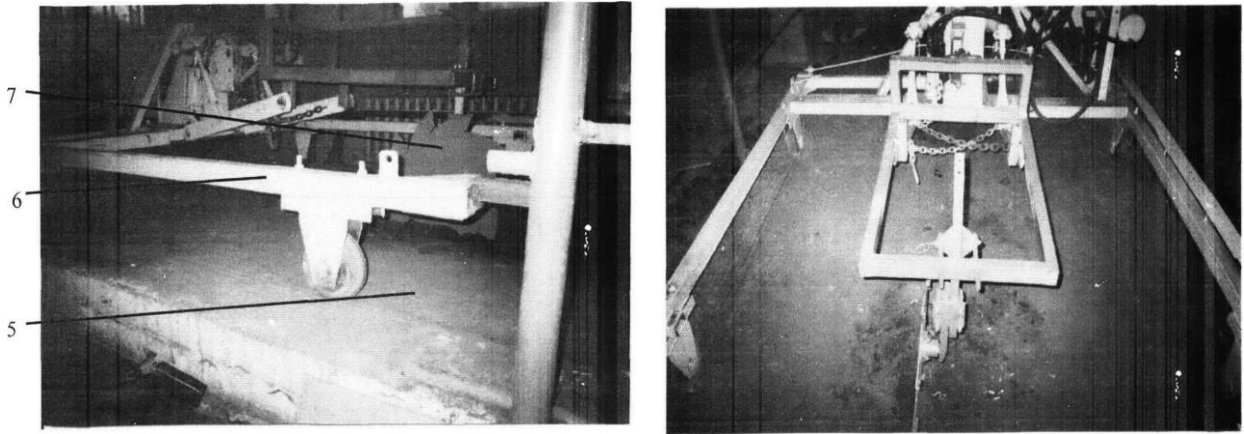


Рис. 3.2. Лабораторна установка для дослідження пасивного зубчастого диску з ґрунтозацепами (загальний вигляд) (див. рис. 3.1)

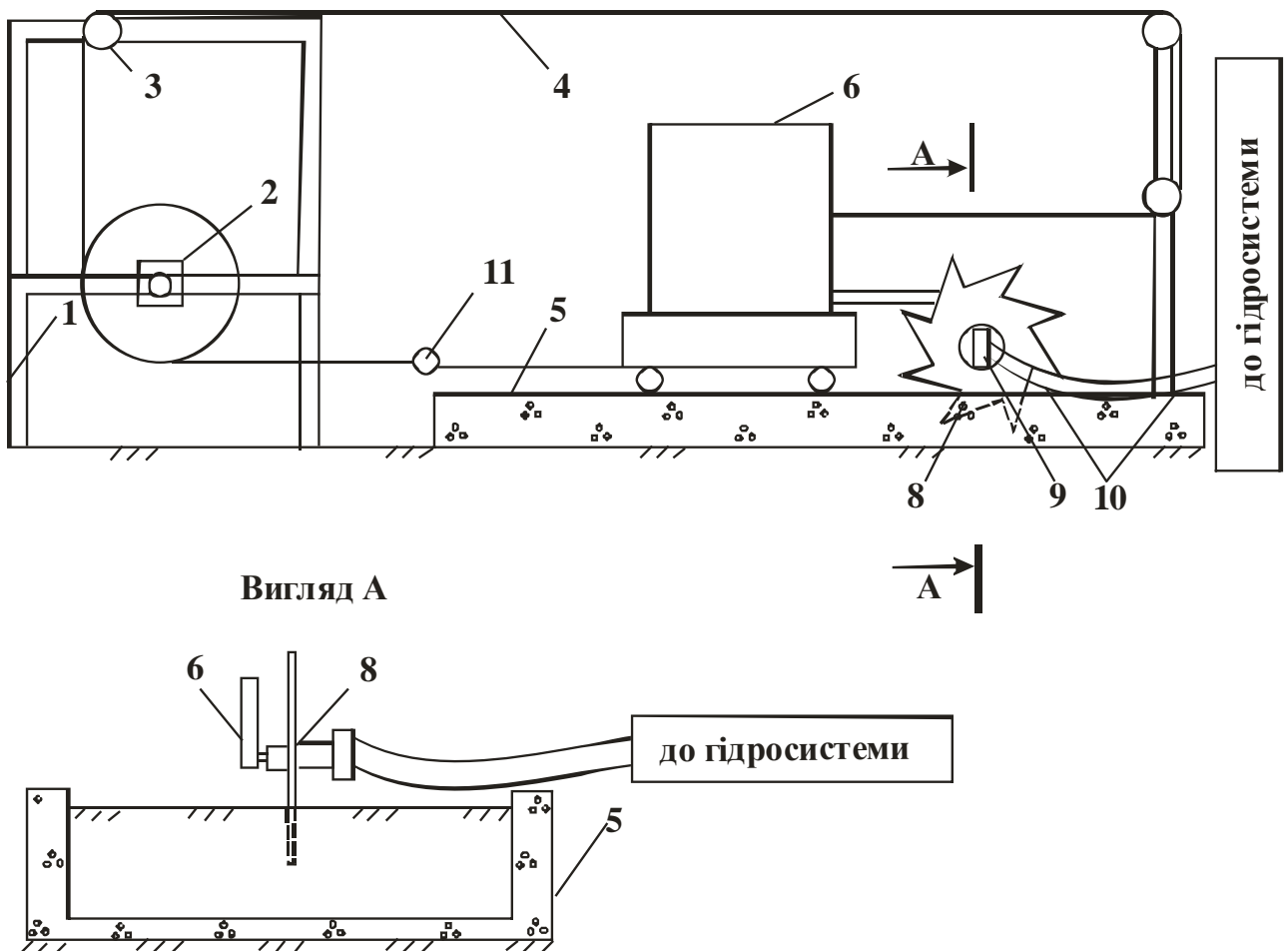


Рис. 3.3. Схема лабораторної установки для перевірки роботи зубчастого диска в активному режимі:

1 – пульт керування; 2 – електролебідка; 3 – направляючі ролики, 4 – тяговий робочий орган; 5 – ґрунтовий канал; 6 – візок з кронштейном; 8 – зубчастий диск, 9 – гідромотор; 10 – гідравлічні шланги; 11 – динамометр

В ході лабораторних досліджень визначалися показники якості виконання технологічного процесу серійного картоплекопача і картоплекопача, оснащеного вдосконаленим робочим органом сепарації:

- чистота картопляного шару;
- втрати бульб;
- пошкодження бульб (всього по вазі).

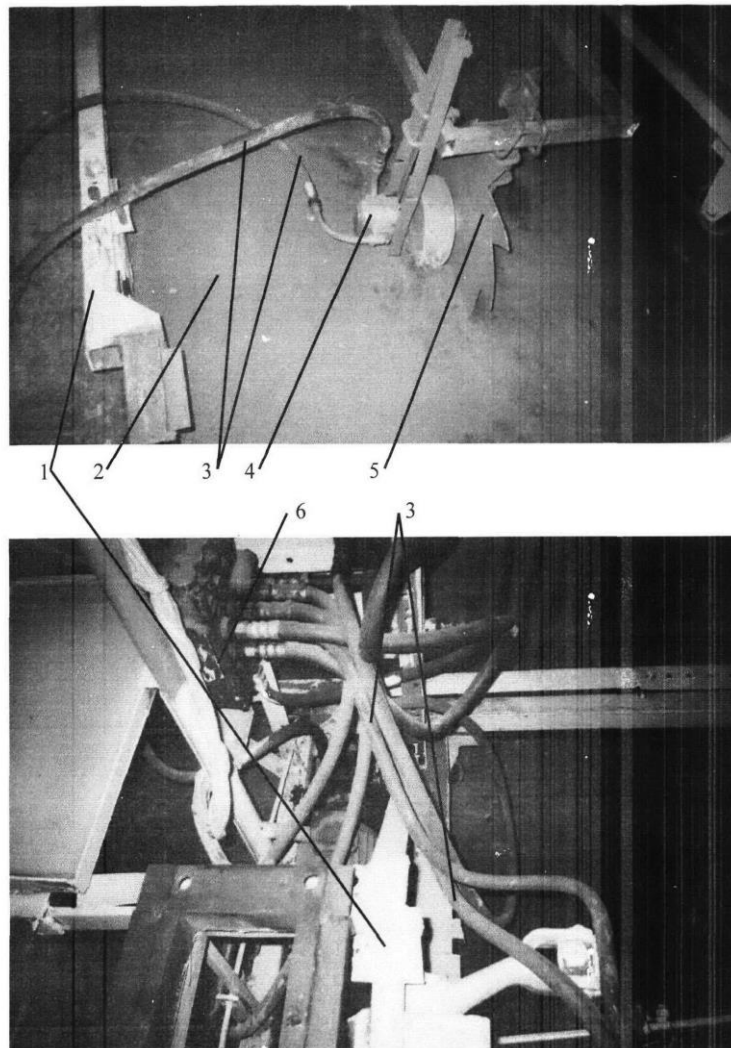


Рис. 3.4. Гідропривід активного зубчастого диска:

1 – візок з кронштейном; 2 – ґрунтовий канал; 3 – гідравлічні шланги; 4 – гідромотор; 5 – зубчастий диск; 6 – розподільник

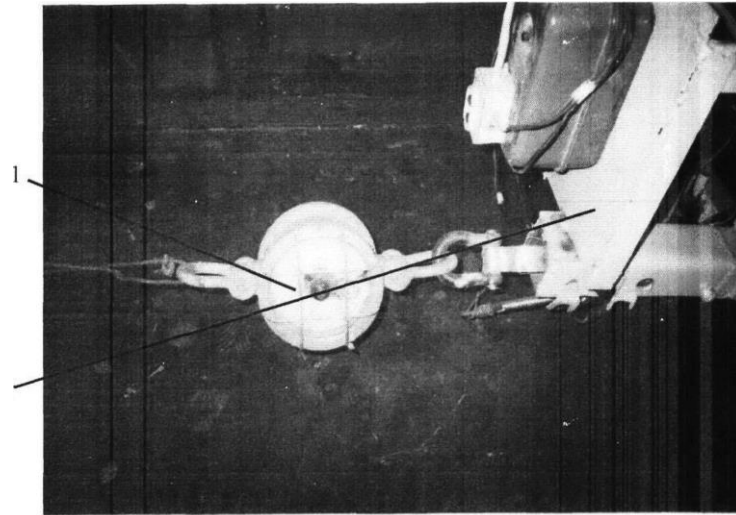


Рис. 3.5. Замірювання тягового опору

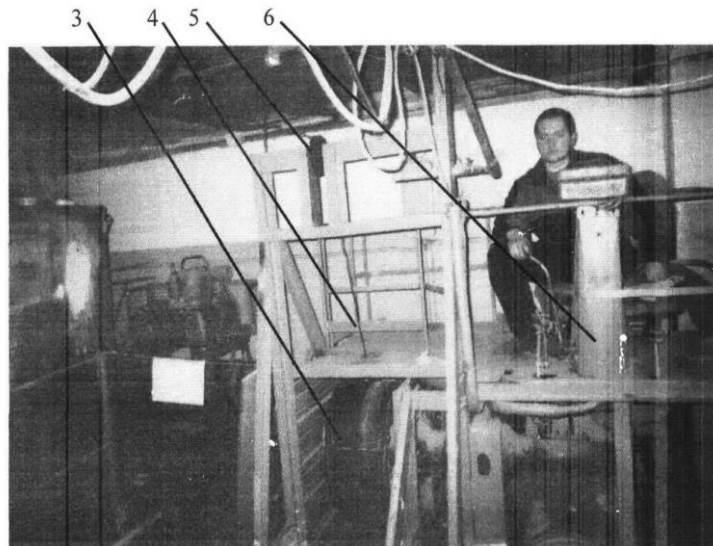


Рис. 3.6. Пульт керування лабораторної установки з електролебідкою

1 – динамометр; 2 – візок з кронштейном; 3 – електролебідка; 4 – тяговий робочий орган; 5 – направляючі ролики; 6 – пульт керування

Об'єктами лабораторно-польових досліджень виступали:

- на першому етапі – експериментальна установка, оснащена вдосконаленим робочим органом сепарації;

- на другому етапі - серійний картоплекопач КТН-2В.

Експериментальна установка (рис. 3.7) була зібрана на базі серійного картоплекопач КТН-2В з заміною на ньому каскадного елеватора вдосконаленим робочим органом сепарації [13], який складається з полотна просівного пруткового елеватора 2 і пружних елементів 3 обмеження контакту

бульб з рамою 1, розташованих вздовж полотна елеватора 2 з його боків паралельно рамі 1 і симетрично щодо її центральній осі. Пружні елементи 3 обмеження контакту бульб з боковиною рами 1 закріплені консольно до зовнішньої сторони елеватора 2 між його прутками 4 і мають перетин у формі рівнобедреної трапеції, причому більшою основою направлено в бік центральної осі елеватора. Загальний вигляд вдосконаленого робочого органу сепарації представлений на рис. 3.8.

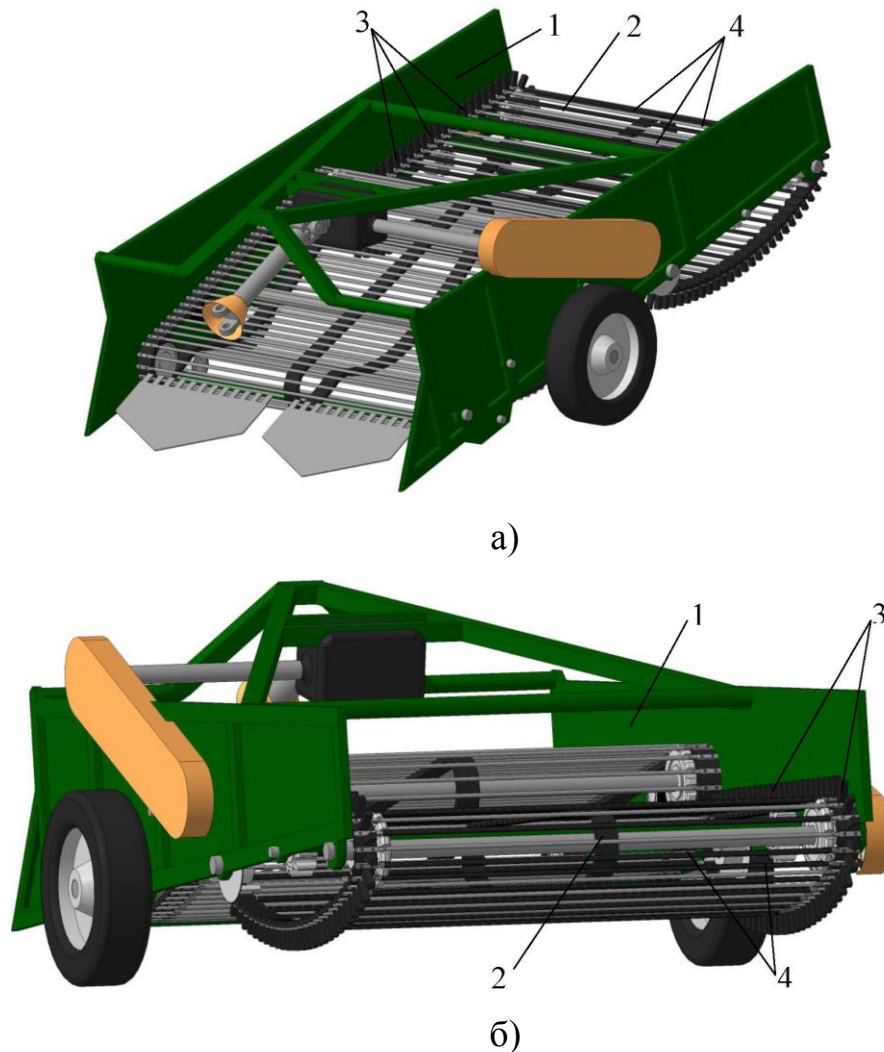


Рис. 3.7. Схема експериментальної установки:

1 - рама; 2 - полотно елеватора; 3 - пружні елементи; 4 - прутки елеватора

3.3. Методика лабораторних досліджень та обробки дослідних даних

Експериментальні дослідження були проведені відповідно до загальновідомої методики, положення якої викладені в літературі [5].

Робота експериментального підкопуючого робочого органу досліджувалась за двома показниками:

- за величиною тягового опору;
- по крутному моменту.

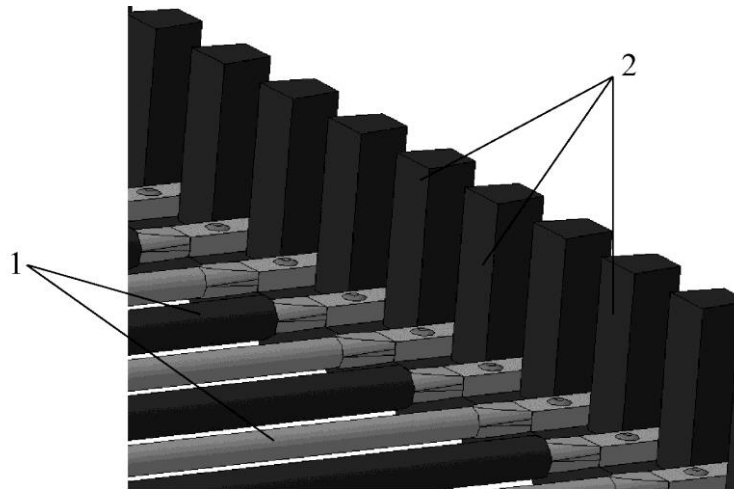


Рис. 3.8. Робочий орган сепарації з встановленими пружними елементами:

1 - прутки елеватора; 2 - пружні елементи

На першому етапі лабораторних досліджень був зроблений повнофакторний експеримент за планом 2^3 на експериментальному пристрої.

Змінними факторами виступали:

- x_1 – поступальна швидкість агрегату, км/год;
- x_2 – глибина ходу диска, мм;
- x_3 – ширина ґрунтозачепів, що є на диску, мм.

Всі наведені фактори відповідали вимогам, викладеним в літературі [5].

На другому етапі лабораторних досліджень був зроблений повнофакторний експеримент за планом 2^3 на експериментальному пристрої.

Змінними факторами виступали:

- x_1 – поступальна швидкість агрегату, км/год;
- x_2 – глибина ходу диска, мм;
- x_3 – частота обертання диска, об/хв.

Всі наведені фактори відповідали вимогам, викладеним в літературі [5].

3.4. Результати лабораторно-польових досліджень

Умови проведення лабораторно-польових випробувань і характеристики

облікових ділянок представлені на рисунку 3.9 і в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 - Умови проведення випробувань

Назва показників	Значення показників
Температура повітря, °С	12...18
Відносна вологість повітря, %	52
Рельєф (нахил), °	0,7...1,0
Мікрорельєф	Гребнистий (міжряддя 70 см)
Тип ґрунту	Світло-сіра лісова
Механічний склад	Важкий суглинок
Вологість ґрунту, %	8-12
Твердість ґрунту, кг/см ²	0,8
Сорт картоплі	«Гірас»

Рішення про проведення випробувань експериментальної установки в умовах зниженої вологості пояснюється високим показником пошкоджень бульб про непружні поверхні картоплезбиральних машин [13], а розроблений нами робочий орган сепарації [13] покликаний мінімізувати даний негативний момент.

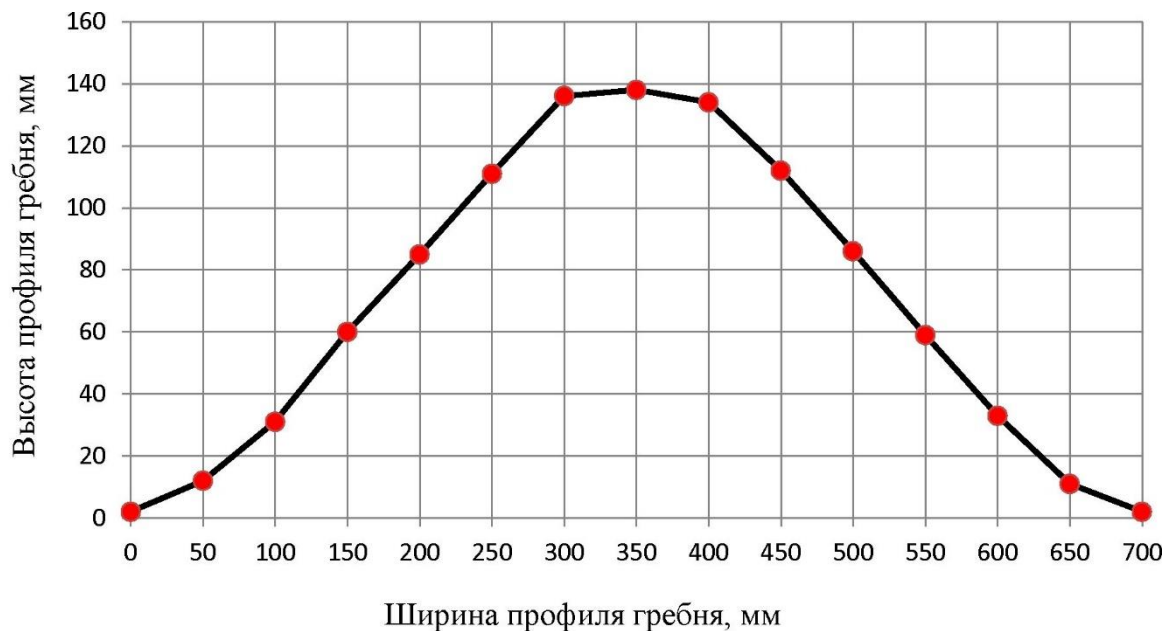


Рис. 3.9. Графік дослідження мікрорельєфу поля профілографи

Отримані в ході багатofакторного експерименту характеристики роботи установки (чистота картопляного шару, втрати і пошкодження бульб), а також відповідні їм значення факторів були занесені в таблицю 3.2. Причому для

кожної комбінації чинників $x_1 \dots x_4$ досліди проводилися з триразовою повторністю, за результатами яких визначалися середньоарифметичні значення показників $Q_{\text{чист}}$, $Q_{\text{пот}}$, $Q_{\text{повр}}$.

Таблиця 3.2 - Результати багатofакторного експерименту на лабораторній установці

№	Досліджуємі фактори				Показники роботи установки		
	x_1 , см ²	x_2 , см	x_3 , т/га	x_4 , км/год	Чистота картопляного шару, $Q_{\text{чист}}$, %	Втрати бульб, $Q_{\text{пот}}$, %	Пошкодження бульб, $Q_{\text{повр}}$, %
1	5,94	6	21,3	2,7	89	0,71	3,32
2	5,94	5	22	2,8	88,7	0,76	4,84
3	5,2	5	21,3	2,9	87,2	0,78	6,37
4	5,2	5,5	22	3	85,6	0,81	6,01
5	6,3	6	21,3	3,1	82	0,86	3,45
6	6,3	5	22	3,2	80,5	0,85	5,64
7	5,2	5,5	21,3	3,3	80	0,83	6,83
8	5,2	6	22	3,4	79,5	0,95	6,49
9	6,3	5	21,3	3,5	78,4	1,05	6,33
10	5,94	5,5	22	3,6	78,3	1,10	6,64
11	5,94	6	21,3	3,7	77,7	1,13	5,52
12	5,94	5	22,7	2,8	88,6	0,74	5,17
13	5,2	5	20,8	2,9	87	0,78	6,08
14	5,2	5,5	22,7	3	85,9	0,83	6,41
15	6,3	6	20,8	3,1	81,5	0,86	3,29
16	6,3	5	22,7	3,2	80,7	0,84	6,01
17	5,2	5,5	20,8	3,3	79,5	0,83	6,51
18	5,2	6	22,7	3,4	79,7	0,96	6,92
19	6,3	5	20,8	3,5	78,4	1,05	6,04
20	5,94	5,5	22,7	3,6	78,3	1,11	7,07
21	5,94	6	20,8	3,7	77,8	1,12	5,27

Одночасно з випробуваннями експериментальної установки, оснащеної вдосконаленим робочим органом сепарації, проводилися дослідження функціонування серійного картоплекопач КТН-2В при аналогічних режимах роботи. Отримані дані були занесені в таблицю 3.3.

Таблиця 3.3 - Результати експерименту на картоплекопач КТН-2В

№	Урожайність картоплі, x_3 , т/га	Швидкість руху установки, x_4 , км/год	Показники роботи установки		
			Чистота картопляного шару, $Q_{\text{чист}}$, %	Втрати бульб, $Q_{\text{пот}}$, %	Пошкодження бульб, $Q_{\text{повр}}$, %
1	21,3	2,7	89,1	0,7	7,42
2	22	2,8	88,6	0,73	7,95
3	21,3	2,9	87,3	0,79	7,97
4	22	3	85,4	0,8	8,51
5	21,3	3,1	82,1	0,85	8,52
6	22	3,2	80,5	0,86	9,08
7	21,3	3,3	79,9	0,81	9,07
8	22	3,4	79,4	0,97	9,65
9	21,3	3,5	78,6	1,03	9,62
10	22	3,6	78	1,11	9,99
11	21,3	3,7	77,9	1,1	10,07
12	22,7	2,8	88,9	0,73	8,2
13	20,8	2,9	87,1	0,76	7,78
14	22,7	3	85,7	0,84	8,78
15	20,8	3,1	81,7	0,85	8,32
16	22,7	3,2	80,8	0,83	9,37
17	20,8	3,3	79,6	0,85	8,85
18	22,7	3,4	79,4	0,97	9,96
19	20,8	3,5	78,7	1,06	9,39
20	22,7	3,6	78,2	1,1	10,14
21	20,8	3,7	78	1,13	9,98

3.5. Обробка та аналіз отриманих результатів досліджень

При обробці і аналізі результатів лабораторно-польових випробувань (табл. 3.4) було встановлено, що розміщені на робочому органі сепарації пружні елементи обмеження контакту бульб з рамою не чинили істотного впливу на такі показники роботи установки, як втрати бульб і чистота картопляного шару (відхилення в показниках не перевищували 2% [13], а отже, характеризувалися як похибка експерименту). У зв'язку з чим подальше дослідження цих процесів є недоцільним (дане судження можна застосувати лише в конкретному випадку - при зниженій вологості ґрунту).

Таблиця 3.4 - Характеристики отриманого рівняння регресії

Характеристика	Значення
Середньоквадратична помилка оцінки по рівнянню регресії, $\sigma_{\text{ост}}$	0,08629
Виправлена середньоквадратична помилка оцінки по рівнянню регресії, $\widehat{\sigma}_{\text{ост}}$	0,09648
Коефіцієнт великої кількості детермінації, R_y^2	0,99435
Виправлений коефіцієнт великої кількості детермінації, \widehat{R}_y^2	0,99294
Коефіцієнт великої кількості кореляції, R_y	0,99717
Виправлений коефіцієнт великої кількості кореляції, \widehat{R}_y	0,99646
Розрахункове значення виправленого коефіцієнт великої кількості кореляції, $t_{\text{расч}}$	564,67
Залишкова дисперсія, $\sigma_{\text{ост}}^2$	0,00745
Виправлена залишкова дисперсія, $\widehat{\sigma}_{\text{ост}}^2$	0,00931
Розрахункове значення рівняння регресії, $F_{\text{расч}}$	141,67
Критерій Фішера, $F_{\text{табл}}$	2,28
Середня помилка апроксимації, E	1,41684
Критичне значення коефіцієнта Стюдента, $t_{\text{крит}}$	2,086

Найбільш адекватним рівнянням регресії, що характеризує процес пошкоджень бульб, виявилось експоненціальне, так як коефіцієнт множинної кореляції найбільш близький до одиниці (0,99717) і середня помилка апроксимації мінімальна (1,41684).

За результатами аналізу істотно впливають на пошкодження бульб $Q_{\text{повр}}$ виявилися всі досліджувані фактори. Остаточне отримане рівняння регресії виглядало наступним чином

$$y = e^{(1,7655973 - 0,1738671x_1 - 0,1816299x_2 + 0,0439469x_3 + 0,3389805x_4)}. \quad (3.1)$$

Для практичного застосування рівняння округлимо значення коефіцієнтів до тисячних:

$$y = e^{(1,766 - 0,174x_1 - 0,182x_2 + 0,044x_3 + 0,339x_4)}. \quad (3.2)$$

Результати проведених розрахунків представлені в таблицях 3.5-3.6.

Таблиця 3.5 - Характеристики результативного показника і факторів, що впливають

Характеристика	Значення				
	y	x_1	x_2	x_3	x_4
Середнє арифметичне значення	5,724	5,761	5,476	21,681	3,224
Середньоквадратична помилка	1,148	0,474	0,432	0,723	0,311
Дисперсія	1,319	0,224	0,187	0,523	0,097
Коефіцієнт варіації	20,06	8,22	7,895	3,334	9,656
Коефіцієнт рівняння	1,825	-0,339	-0,342	0,086	0,576
Середньоквадратична помилка коефіцієнтів регресії	-	0,044	0,049	0,029	0,068
Суттєвість коефіцієнтів регресії	-	7,625	11,744	2,953	8,517

Скористаємося отриманим рівнянням регресії для визначення оптимальних конструктивних параметрів елементів робочого органу сепарації.

Побудуємо графік залежності висоти пружного елемента від площі його основи (рис. 3.10). Розглянемо найбільш несприятливий випадок, коли швидкість руху установки максимальна $v_{уст} = 3,8$ км/год (швидкість, при якій на вдосконаленому картоплекопачу в умовах зниженої вологості спостерігалася технологічна відмова по досліджуваному показнику АТВ) і середнім значенням врожайності бульб картоплі в регіоні $Y_{макс} = 25$ т/га [13]. В результаті було отримано наступний графік.

Виходячи з графіка, представленого на рисунку 3.10, для дотримання регламентованого значення пошкоджень бульб (у важких умовах він становить 10% [33]) і мінімізації площі основи пружного елемента обґрунтованим рішенням є прийняття максимально допустимої його висоти рівною $H_{ел} = 6$ см, значення якої визначається конструктивними особливостями збиральної техніки.

Визначивши максимальну висоту необхідно уточнити мінімальне значення площі основи пружного елемента. В цьому випадку скористаємося виразом (3.1) і побудуємо наступний графік залежностей (рис. 3.11).

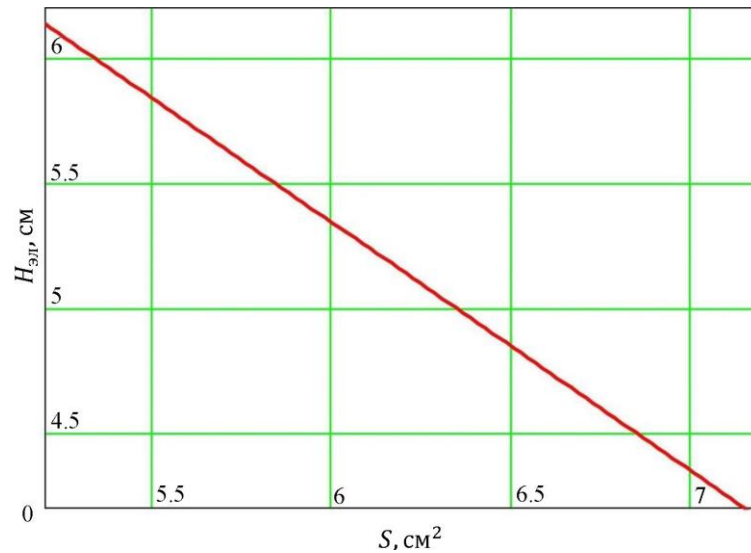


Рис. 3.10. Графік залежності висоти пружного елемента від площі його ОСНОВИ

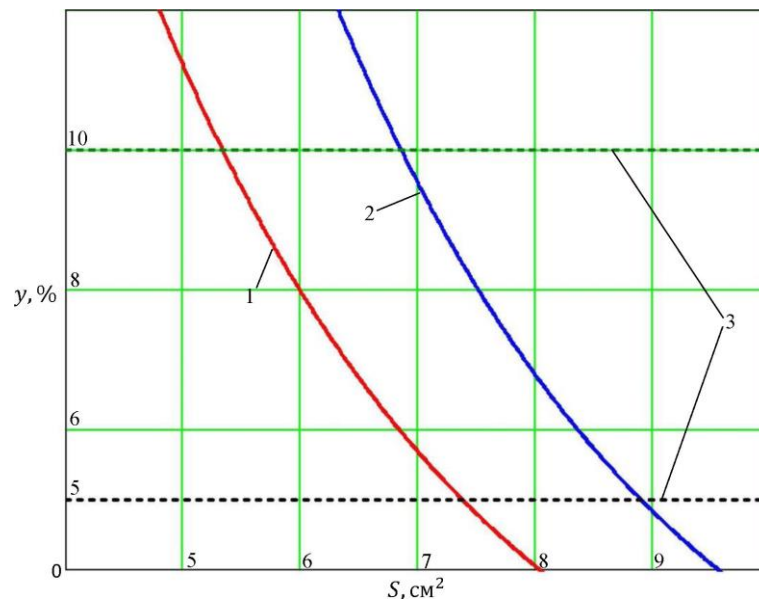


Рис. 3.11. Графік залежності ушкоджень бульб від площі основи пружних елементів (в залежності від врожайності бульб):

1 - врожайність бульб становить 25 т/га; 2 - врожайність бульб становить 31 т/га; 3 - допустиме значення пошкоджень бульб

Для цього були використані наступні значення незалежних факторів: максимальна швидкість руху установки $\vartheta_{уст} = 3,8$ км/год, висота пружного елемента $H_{ел} = 6$ см, а також деякі значення врожайності бульб (середня і

максимальна врожайності бульб в регіоні [13]).

Найбільший інтерес представляє область, обмежена кривими 1 і 2, так як дана постановка завдання найбільш наближена до реальних умов. В цьому випадку для забезпечення максимально допустимого значення пошкоджень бульб необхідно використовувати пружні елементи з площею основи в межах від $5,34 \text{ см}^2$ до $6,86 \text{ см}^2$ при середньому значенні діапазону варіювання, рівного $6,1 \text{ см}^2$. Розбіжність з результатами теоретичних досліджень склало 2,69%, що відповідає межах похибки вимірювань.

На рисунку 3.12 представлені результати лабораторно-польових випробувань серійного картоплекопач КТН-2В, а також експериментальної установки, оснащеної вдосконаленим робочим органом сепарації. Застосування пружних елементів трапецієподібної форми в конструкції робочого органу сепарації дозволило домогтися зниження пошкоджень бульб при максимально швидкісному режимі на 30,27% (з 10,14% на серійному КТН-2В до 7,07% на вдосконаленому картоплекопачу). Похибка вимірювань не перевищувала 2%, що відповідає вимогам.

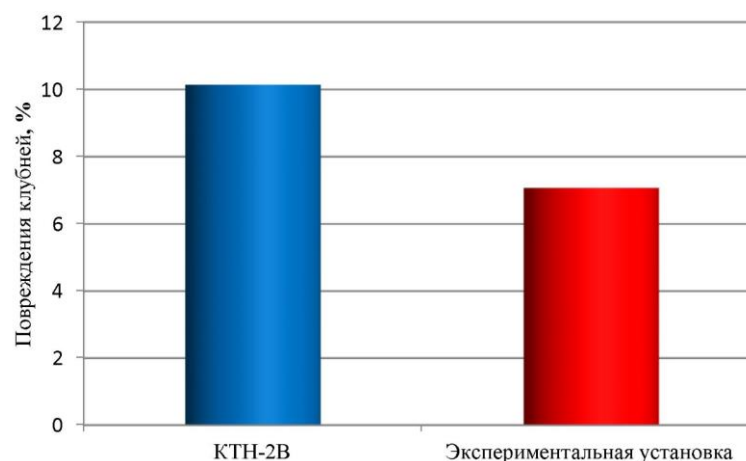


Рис. 3.12. Результати випробувань серійного і вдосконаленого картоплекопача

Отримані в ході досліджень дані підтверджують раціональність застосування розробленого робочого органу сепарації, що дозволяє знизити показник ушкоджень бульб в умовах зниженої вологості до значень агротехнічних норм.

Висновки до третього розділу

1. Лабораторні дослідження довели наявність тягового зусилля зубчастого диска з приводом при заданому кінематичному режимі його роботи.

2. Уточнена раціональна величина частоти обертання диска, що працює в активному режимі, значення якої прийнято рівним 48,63 об/хв при швидкості картоплезбиральної машини 3 км/ч.

3. Встановлено раціональна величина ширини ґрунтозачепів зубчастого диска, що працює в пасивному режимі. При глибині ходу диска $H = 200$ мм її значення становить 10,76 мм.

4. В ході польових досліджень встановлено, що вдосконалений робочий орган сепарації картоплезбиральних машин знижує пошкодження бульб при важких умовах роботи в середньому на 30,27%, при цьому забезпечується виконання агротехнічних вимог за іншими показниками.

5. За результатами проведених лабораторно-польових досліджень отримана математична модель, яка характеризує взаємозв'язок ушкоджень бульб від конструктивних параметрів розробленого робочого органу сепарації, а також від робочої швидкості установки і показника врожайності бульб.

6. Уточнено конструктивні параметри пружних елементів робочого органу сепарації: його висота дорівнює 6 см, а площа основи склала 5,94 см².

4. ЕКСПЕРЕМЕНТАЛЬНІ ПОЛЬОВІ ДОСЛІДЖЕННЯ

4.1. Програма польових досліджень

1. Дослідження характеристики культури картоплі.
2. Проведення польових випробувань серійного і вдосконаленого картоплезбирального комбайна DR-1500.
3. Проведення польових випробувань серійного і вдосконаленого картоплезбирального комбайна AVR 220.

4.2. Об'єкти досліджень

При проведенні польових випробувань картоплезбиральних машин визначалися:

- кількісні та розмірно-масові характеристики картоплі;
- чистота картопляного шару;
- кількість і вид ушкоджень бульб;
- втрати бульб.

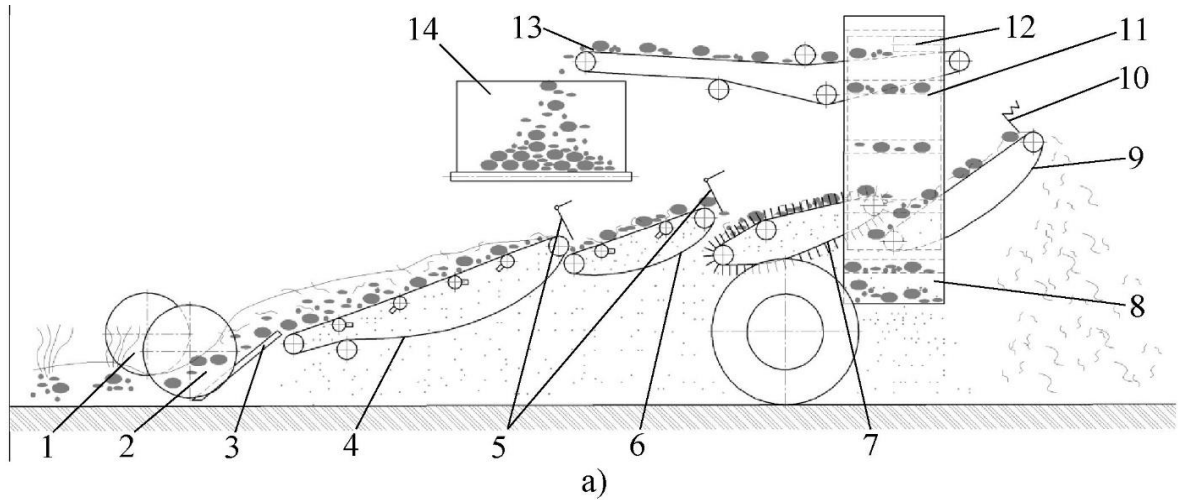
Об'єктами проведених досліджень були:

- на першому етапі - кількісні та розмірно-масові характеристики культури картоплі широко поширених на території України сортів: «Белла Росса», «Тірас»;
- на другому етапі - серійні і вдосконалені картоплезбиральні комбайни DR 1500 і AVR 220 (рис. 4.1 і 4.2).

Відмінність вдосконалених картоплезбиральних комбайнів від базових моделей полягала в використанні на місці додаткового елеватора вдосконаленого робочого органу сепарації з пружними елементами обмеження контакту бульб з боковинами рами машини [13] (рис. 4.3).

Пружні елементи були виготовлені згідно ТУ 38.005.1166-98 з гумової суміші марки «НО-681-1нта» з контрольованим модулем Юнга, рівним $E_1 = 5,1 \cdot 10^6$ Па. Висота елементів становила 0,06 м при боковому зазорі між

ними 0,029 м. Площа поперечного перерізу в формі рівнобедреної трапеції $S = 5,94 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$ з основою рівними $b_{\text{ТР}} = 0,028 \text{ м}$, $a_{\text{ТР}} = 0,028 \text{ м}$ і висотою $h_{\text{ТР}} = 0,028 \text{ м}$.



б)

Рис. 4.1. Технологічна схема і загальний вид вдосконаленого картоплезбирального комбайна DR-1500:

а) технологічна схема; б) загальний вигляд; 1 - катки; 2 - вертикальні диски; 3 - леміш; 4 - основний елеватор; 5 - бульбовидаляч; 6 - каскадний елеватор; 7 - вдосконалений елеватор; 8 - ковшовий транспортер; 9 - гірка; 10 - відбійні елементи; 11 - підтримуюча стрічка; 12 - вал; 13 - переборочний стіл; 14 - бункер

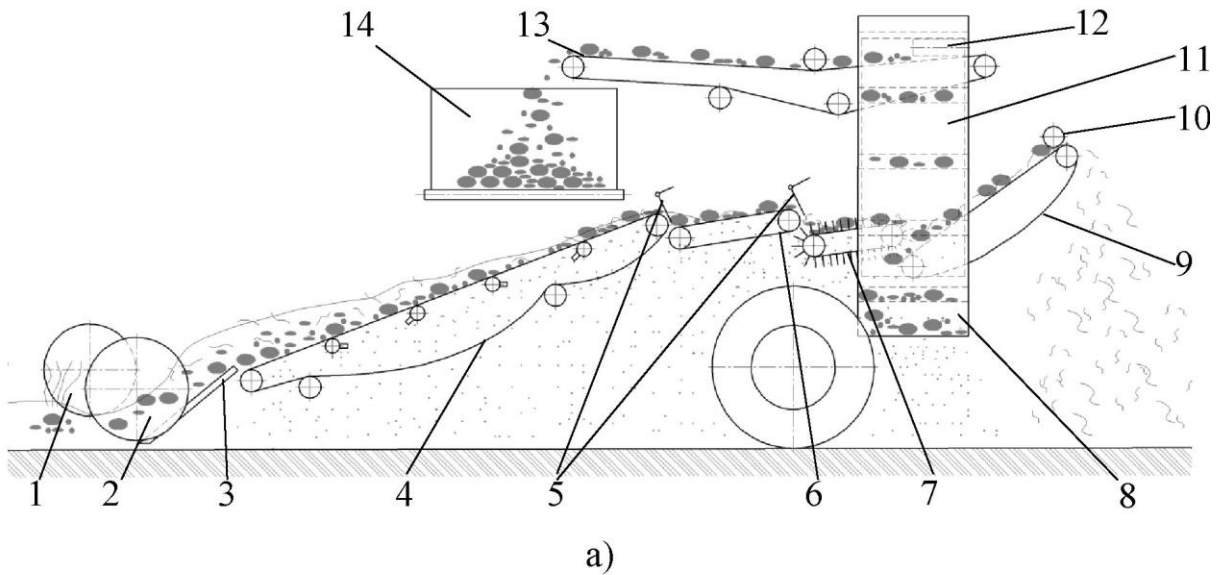


Рис. 4.2. Технологічна схема і загальний вигляд вдосконаленого картоплезбирального комбайна AVR 220 а) технологічна схема; б) загальний вигляд: 1 - катки; 2 - вертикальні диски; 3 - леміш; 4 - основний елеватор; 5 - бульбовидаляч; 6 - каскадний елеватор; 7 - вдосконалений елеватор; 8 - ковшовий транспортер; 9 - гірка; 10 - відбійні елементи; 11 - підтримуюча стрічка; 12 - вал; 13 - переборочний стіл; 14 - бункер

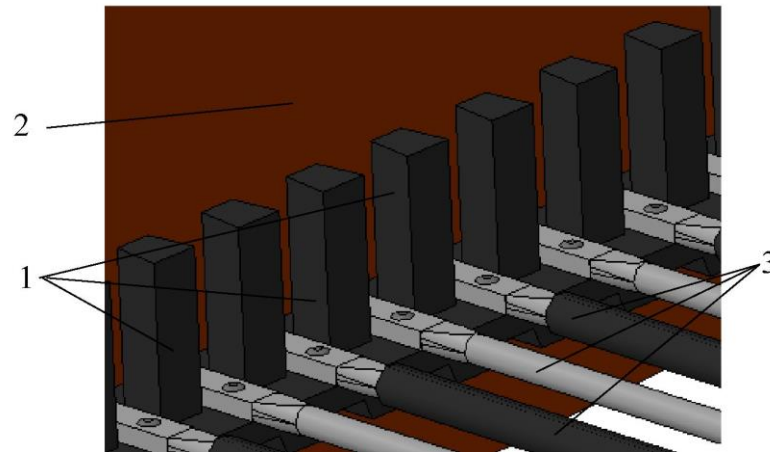


Рис. 4.3. Вдосконалений робочий орган сепарації

1 - пружні елементи; 2 - боковина рами картоплезбиральної машини; 3 - прутки елеватора

4.3 Методика проведення польових досліджень

Дослідження проводилися на сільськогосподарських угіддях в період масового збирання картоплі 2023 року.

Місце проведення випробувань: СФГ «Олександр» Хмельницької області.

Встановлено такі умови проведення випробувань:

- знижена вологість ґрунту 8-12%;
- твердість ґрунту 0,38-0,41 МПа;
- температура повітря 15-18°C;
- засміченість облікової ділянки бур'янами і камінням склала відповідно 1,45 т/га і 0,11 т/га;
- густина посадки кущів 38,9 тис/га і максимальна глибина залягання бульб 18 см.

Тип ґрунту: в першому випадку - темно-сірий лісовий, за механічним складом - важкий суглинок; у другому - чорнозем вилужений, за механічним складом - важкий суглинок.

Мікрорельєф картопляної грядки представлений на рисунку 4.4.

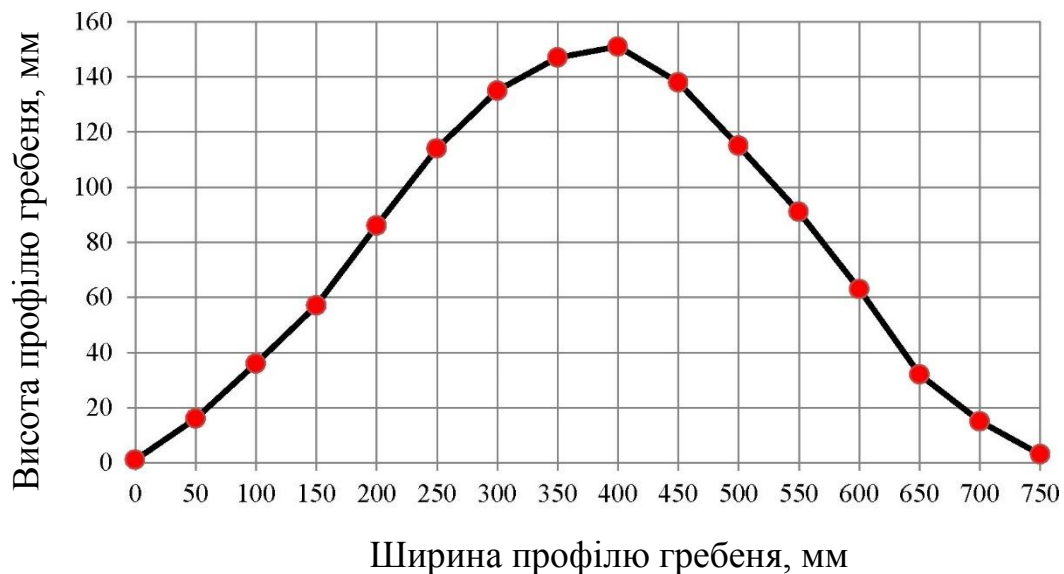


Рис. 4.4. Графік дослідження мікрорельєфу поля профілографом

а) методика досліджень розмірно-масових властивостей культури картоплі

Стандартну агротехнічну оцінку культури картоплі та дослідження бульб виробляли в польових умовах згідно СТО АІСТ 8.5-2010. Для визначення розмірно-масових характеристик в лабораторних умовах збирався шар, що складається з стебел бадилля і бульб. При проведенні стандартної агротехнічної оцінки культури картоплі на ділянці поля було виділено п'ять облікових ділянок шириною два рядки (1,5 м) і довжиною 2,0 м.

Біологічну зрілість бульб і стан бадилля визначали візуально на кожному майданчику по 20 кущах.

Для визначення біологічної урожайності бадилля на двох рядах кожної площадки викопували рослини з кожного другого куща [13].

Бадилля відокремлювали від бульб і зважували з похибкою ± 1 г.

Біологічну врожайність бадилля Y_6 , т/га вираховували за формулою

$$Y_6 = q_6 \cdot n_k \cdot 10^{-3}, \quad (4.1)$$

де q_6 - середня маса гички з одного куща, кг;

n_k - число кущів на гектарі, шт.

Для визначення розмірно-масової характеристики бульб, викопаних з кожного облікового майданчика, їх перемішують і відбирають середню пробу в

кількості 200 шт [13]. У кожної бульби визначають масу, довжину, ширину і товщину штангенциркулем в місці найбільшого потовщення. Похибка вимірювань бульб ± 1 мм, похибка зважування ± 1 г [13].

Потім обчислювалися середні арифметичні значення параметрів бульб, а також їх розподіл за розмірами в %.

Коефіцієнт форми бульби K_{ϕ} розраховують за формулою [13]

$$K_{\phi} = \frac{a_{\text{кл}}}{b_{\text{кл}} \cdot c_{\text{кл}}} \cdot 100, \quad (4.2)$$

де $a_{\text{кл}}$ - середня довжина бульби, мм;

$b_{\text{кл}}$ - середня ширина бульби, мм;

$c_{\text{кл}}$ - середня товщина бульби, мм.

б) методика визначення показників якості виконання технологічного процесу

Для визначення показників якості виконання технологічного процесу досліджувався картопляний шар в бункері вдосконаленого комбайна при його роботі на облікової ділянці.

Втрати бульб в процесі збирання визначали на облікових ділянках після проходу комбайна. В цьому випадку враховувалися:

- зібрані бульби;
- бульби, що залишилися на поверхні ґрунту;
- не підкопані або засипані бульби.

Бульби масою менше 20 г, а також при товщині не більше 28 мм не вважалися втратами [13].

Для підрахунку кількості засипаних або не підкопаних бульб облікові ділянки повторно перекопують вручну на глибину, нижче максимального рівня залягання.

Потім кожен вид втрат збирався в тару і зважувався з похибкою ± 50 г [33], для подальшого розрахунку масових часток за такою формулою

$$Q_{i.\text{пот}} = \frac{m_{i.\text{пот}}}{\sum m_{i.\text{пот}} + m_{\text{тар}}} \cdot 100\%, \quad (4.3)$$

де $m_{i.\text{пот}}$ - кількість i -го виду втрат, кг;

$\sum m_{i.\text{пот}}$ - загальна кількість бульб які залишилися на ділянці, кг;

$m_{\text{тар}}$ - кількість зібраної картоплі, кг.

Отримані результати обчислень, а також загальну частку втрат бульб $Q_{\text{пот}} = \sum Q_{i.\text{пот}}$ заносили в таблицю 4.3 і 4.4.

Чистота бульб в тарі визначалася за формулою

$$Q_{\text{чист}} = \frac{m_{\text{кл}}}{\sum m_{i.} + m_{\text{кл}}} \cdot 100\%, \quad (4.4)$$

де $m_{\text{кл}}$ - кількість бульб в тарі, кг;

$\sum m_{i.}$ - загальна кількість домішок в тарі, кг.

Масова частка *i*-го виду домішок розраховувалася аналогічним чином.

Для визначення пошкоджень відбиралися бульби масою понад 50 г при середній масі проби більш 15 кг. Похибка зважування становила ± 50 г [13]. Після цього бульби були розділені на дві групи: цілі та пошкоджені. Останні в свою чергу поділялися на наступні групи, беручи до уваги вид ушкодження [13]:

- з них зі здертою шкіркою на площі від 25% до 50% поверхні;
- з них із здертою шкіркою на площі понад 50% поверхні;
- з вирваною м'якотю на глибину більше 5 мм;
- з довжиною тріщин більше 20 мм;
- з розрізами і надрізами;
- роздавлені бульби.

Після зважування цілі бульби закладалися на десятиденне зберігання. Після закінчення встановленого терміну визначалося потемніння м'якоті картоплі. Для цього бульби розрізали на часточки завтовшки 5 мм.

Пошкодження *i*-го виду розраховувалося за формулою

$$Q_{i.\text{повт}} = \frac{m_{i.\text{повт}}}{\sum m_{i.\text{повт}} + m_{\text{кл}}} \cdot 100\%, \quad (4.5)$$

де $m_{\text{кл}}$ - кількість абсолютно непошкоджених бульб, кг;

$m_{i.\text{повт}}$ - кількість бульб з *i*-м видом ушкоджень, кг;

$\sum m_{i.\text{повт}}$ - загальна кількість пошкоджених бульб, кг.

Результати обчислень і загальна кількість пошкоджень бульб заносили в

таблиці 4.3 і 4.4.

4.4. Результати польових досліджень

В результаті досліджень були отримані дані про масові та кількісні характеристики як кущів (табл. 4.1), так і окремих бульб (табл. 4.2) сортів картоплі «Тірас», «Белла Росса». Дані по бульбам сорту «Белла Росса» наведені на рис. 4.5 і склали: середня довжина - $a_{\text{кл}} = 71,7$ мм при $\sigma_{\text{дл}} = 19,4$ мм; середня ширина - $b_{\text{кл}} = 51,8$ мм при $\sigma_{\text{ш}} = 13,6$ мм; середня товщина - $c_{\text{кл}} = 45,5$ мм при $\sigma_{\text{т}} = 12,9$ мм, де $\sigma_{\text{дл}}$, $\sigma_{\text{ш}}$, $\sigma_{\text{т}}$ – середньоквадратичні відхилення габаритних розмірів бульб.

Таблиця 4.1 - Кількісні та розмірно-масові характеристики куща картоплі (середні дані за 2025)

Сорт	Куст			Кількість на кусті		Урожайність, т/га	
	Загальна маса, г	Маса бульб, г	Маса картоплі, г	Картоплі, шт	Стеблі бульби, шт.	Картоплі	Бульби
«Белла Росса»	656,1	424,4	231,7	6,9	6,1	21,3	1,37
«Тірас»	1077,7	704,0	373,7	9,5	6,2	24,0	1,42

Таблиця 4.2 - Розмірно-масові характеристики бульб картоплі (середні дані за 2025)

Сорт	Середні розміри картоплі				К _ф
	Довжина, мм	Ширина, мм	Товщина, мм	Вага, г	
«Белла Росса»	71,7	51,8	45,5	85,7	3,04
«Тірас»	64,4	52,1	43,7	74,1	2,82

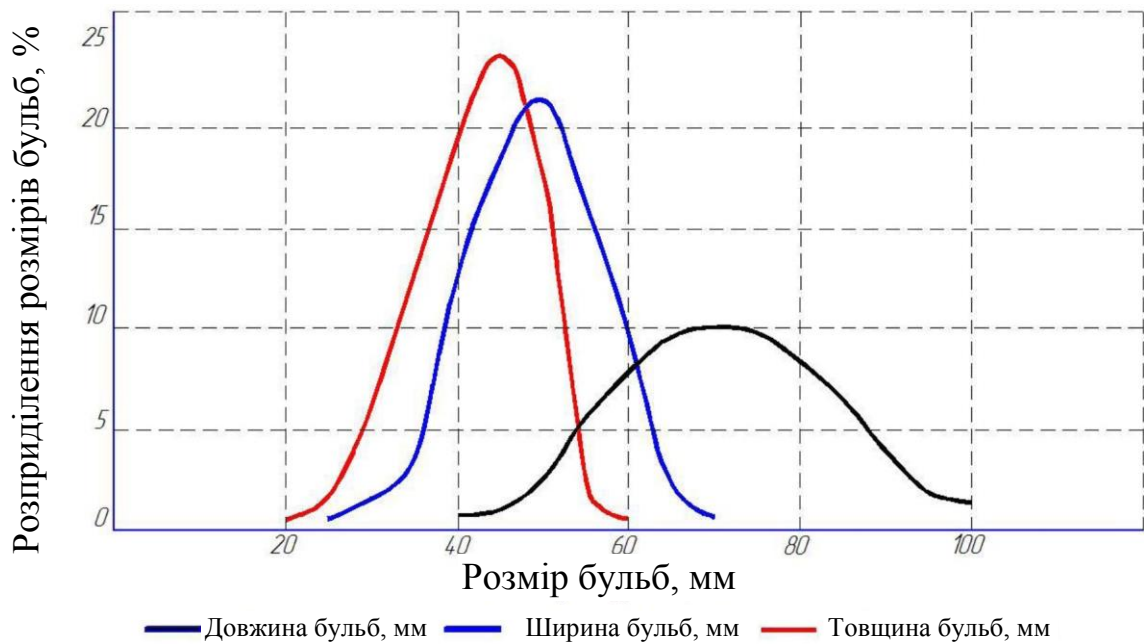


Рис. 4.5. Розмірні характеристики сорту картоплі «Белла Росса»

Дані по бульб сорту «Тірас» представлені на рис. 4.6 і склали: середня довжина - $a_{\text{кл}} = 64,4$ мм при $\sigma_{\text{дл}} = 15,8$ мм; середня ширина - $b_{\text{кл}} = 52,1$ мм при $\sigma_{\text{ш}} = 11,3$ мм; середня товщина - $c_{\text{кл}} = 43,7$ мм при $\sigma_{\text{т}} = 10,9$ мм.

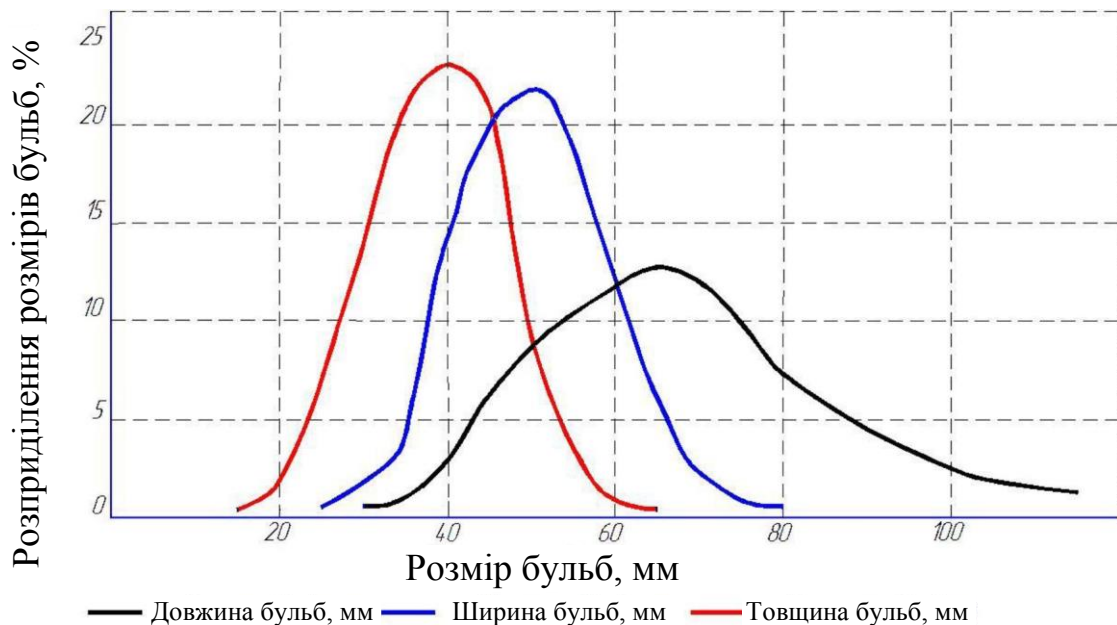


Рис. 4.6. Розмірні характеристики сорту картоплі «Тірас»

Картоплезбиральні машини, оснащені удосконаленим робочим органом сепарації, показали більш високі техніко-експлуатаційні показники роботи, ніж

серійні моделі (табл. 4.3).

Таблиця 4.3 - Показники роботи серійних і вдосконалених картоплезбиральних машин DR-1500, AVR 220 при різних фізико-механічних властивостях ґрунтів

Місце проведення випробування	Тип ґрунту	Механічний склад	Вологість ґрунту, %	Чистота картопляного шару, %		Пошкодження картоплі, %	
				базова модель	удосконалена модель	базова модель	удосконалена модель
DR-1500							
СФГ «Олександр», Хмельницької області	темно-сіра лісова	важкий суглинок	8-9	95,5	95,3	6,1	3,2
AVR 220							
СФГ «Олександр», Хмельницької області	чорнозем вилужений	важкий суглинок	9-12	92,8	92,4	8,6	5,1

При випробуваннях вдосконаленого комбайна DR-1500 на темно-сірих лісових ґрунтах з вологістю 8-9% частка пошкодженої продукції склала 3,2% проти 6,1% на серійній машині. Зміни чистоти картопляного шару і втрат бульб не виходили за межі похибки вимірювань.

В ході випробувань вдосконаленого комбайна AVR 220 на вилужених чорноземах з вологістю 9-12% частка пошкодженої продукції склала 5,1%, а на серійній машині 8,6%. Якість сепарації картопляного вороху і втрати бульб можна віднести до похибки вимірювань.

Узагальнені дані господарських випробувань серійних і вдосконалених картоплезбиральних машин наведені в таблиці 4.4.

Таблиця 4.4 - Результати господарських випробувань
картоплезбиральних машин

№ п/п	Показники роботи	Агротехнічні і експлуатаційні показники картоплезбиральні машини			
		серійний DR-1500	вдосконалений DR-1500	серійний AVR 220	вдосконалений AVR 220
1	2	3	4	5	6
1	Робоча швидкість машини, км/год	4,2	4,6	4,1	4,4
2	Глибина ходу лемеша, см	20	20	20	20
3	Ширина захвату, м	1,5	1,5	1,5	1,5
4	Сорт картоплі	«Белла Росса»		«Гірас»	
5	Середній річний наробіток машини, га	40	40	40	40
6	Продуктивність за 1 год, га:				
	- основного часу, га/год	0,59	0,65	0,58	0,62
	- змінного часу, га/год	0,35	0,39	0,34	0,37
7	Коефіцієнт використання змінного часу	0,56	0,57	0,55	0,56
8	Коефіцієнт використання експлуатаційного часу	0,54	0,55	0,53	0,54
9	Втрати бульби (від загальної ваги), %:	1,4	1,4	1,9	1,9
	- залишено на поверхні	1,3	1,2	1,6	1,5
	- залишено в ґрунті	0,1	0,2	0,3	0,4
10	Пошкодження бульби, всього по вазі, %	6,1	3,2	8,6	5,1
	Число пошкоджень на 100 бульб, шт:	5,7	2,4	8,9	3,4
	- з здертою шріркою від ¼ до ½ поверхності	3	0,3	7,2	2,1
	- з здертою шкіркою від ½ і більше поверхності	0,8	0,1	0,7	0,2
	- з вириванням мякоті більше 5 мм	1,6	1,7	-	-
	- з тріщинами довжиною більше 20 мм	-	-	-	-
	- різані бульби	0,3	0,3	1	1,1
	- роздавлені бульби	-	-	-	-
	- з потемнінням мякоті більше 5 мм	-	-	-	-

1	2	3	4	5	6
	Чистота картопляного шару (по вазі), %:				
11	- більби	95,5	95,3	92,8	92,4
	- ґрунтові грудки	2,4	2,5	4,1	4,7
	- ґрунт на бульбі	0,9	1	2,4	2,3
	- камінці	0,5	0,4	0,4	0,4
	- рослинні домішки	0,7	0,8	0,3	0,2

Польові випробування вдосконалених картоплезбиральних машин підтвердили ефективність використання розробленого робочого органу сепарації.

Висновки до четвертого розділу

1. Встановлено, що у вдосконаленого картоплезбирального комбайна DR-1500 в порівнянні з серійною моделлю знизилася пошкодження бульб з 6,1% до 3,2% (різниця склала 47,5%), а також чистота картопляного шару з 95,5% до 95,3% (різниця в 0,2%), при незмінному показнику втрат бульб.

2. В ході польових досліджень встановлено, що використання вдосконаленого робочого органу сепарації на комбайні AVR 220 дозволило знизити пошкодження бульб на 47,5% при незначному падінні якості сепарації ґрунту.

3. Визначено, що застосування удосконалених робочих органів сепарації на комбайнах DR-1500 і AVR 220 дозволило створити передумови до підвищення експлуатаційної швидкості машин з 4,2 до 4,6 км/год і з 4,1 до 4,4 км/год, а отже, збільшити продуктивність з 0,35 до 0,39 га/год і з 0,34 до 0,37 га/год відповідно при дотриманні АТТ до якості виконання збиральних робіт.

5. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ВИКОРИСТАННЯ УДОСКОНАЛЕНОГО РОБОЧОГО ОРГАНУ В КОНСТРУКЦІЯХ КАРТОПЛЕЗБИРАЛЬНИХ МАШИН

Розрахунок техніко-економічної ефективності використання вдосконаленого робочого органу сепарації в картоплезбиральних машинах проводився за стандартною методикою [14] відповідно до ДСТУ Р 52778-2007. Вихідні дані взяті за 2025 рік і представлені в таблиці 5.1.

При експлуатації удосконалених картоплезбиральних машин DR-1500, AVR 220 сумарний річний економічний ефект складався з наступних складових

$$E_{\text{сум}} = E_{\text{r}} + E_{\text{повр}}, \quad (5.1)$$

де E_{r} - річний економічний ефект від зниження експлуатаційних витрат, грн;

$E_{\text{повр}}$ - річний економічний ефект від зниження пошкоджень бульб по вазі, грн.

Подальший розрахунок зводився до визначення чисельних значень розглянутих вище показників і був представлений в пункті 5.1 та 5.2.

5.1. Економічний ефект від зниження експлуатаційних витрат

Економічний ефект від впровадження удосконаленого робочого органу сепарації в конструкцію картоплезбиральних машин DR-1500, AVR 220 шляхом заміни додаткового елеватора визначався зіставленням приведених витрат базового і нового варіанту (в розрахунку на одну машину) [14-16].

Річний економічний ефект від зниження експлуатаційних витрат визначаємо

$$E_{\text{r}} = (Z_1 - Z_2) \cdot V_{\text{r}}, \quad (5.2)$$

де Z_1 і Z_2 - приведені витрати на одиницю напрацювання по серійной і

вдосконаленій машинам, грн/га;

B_r - річне напрацювання досліджуваної машини, га.

Наведені витрати на одиницю напрацювання отримуємо

$$Z_i = Z_{\text{екс}} + N_{\text{п}}, \quad (5.3)$$

де $Z_{\text{екс}}$ - експлуатаційні витрати, грн/га;

$N_{\text{п}}$ - прибуток від капітальних вкладень, грн/га.

Експлуатаційні витрати включають в себе наступні статті витрат:

- амортизаційні відрахування;
- витрати на ТО, поточний і капітальний ремонт;
- витрати на паливно-мастильні матеріали;
- витрати на зберігання збиральної машини;
- заробітна плата робітникам і т.д.

Витрати на амортизацію по збиральній машині визначаємо за формулою:

$$Z_{\text{ам}} = \frac{B \cdot a_{\text{ам}}}{T_{\text{год}} \cdot W_{\text{екс}}}, \quad (5.4)$$

де B - балансова вартість машини, грн;

$a_{\text{ам}}$ - коефіцієнта відрахувань на амортизацію машини;

$T_{\text{год}}$ - річне завантаження машини, год;

$W_{\text{екс}}$ - експлуатаційна продуктивність машини, га/год.

Значення коефіцієнта відрахувань на амортизацію обчислимо:

$$a_{\text{ам}} = \frac{1}{T_{\text{ф}}}, \quad (5.5)$$

де $T_{\text{ф}}$ - фактичний термін служби машини, років.

Річну завантаженість машини визначимо:

$$T_{\text{год}} = \frac{B_r}{W_{\text{см}}}, \quad (5.6)$$

де $W_{\text{см}}$ - продуктивність машини за 1 год змінного часу, га/год.

Продуктивність машини за 1 год змінного часу знайдемо за формулою:

$$W_{\text{см}} = 0,1 B_{\text{захв}} \cdot \vartheta_{\text{маш}} \cdot k_{\text{см}} \quad (5.7)$$

де $B_{\text{захв}}$ - ширина захвату машини, м;

Таблиця 5.1 - Вихідні дані для техніко-економічного обґрунтування

№	Показник	Джерело	DR-1500		AVR 220	
			серійний	удосконалений	серійний	удосконалений
1	Марка трактора з яким агрегатується машина	технічний опис	MT3-82.1	MT3-82.1	MT3-82	MT3-82
2	Оптова вартість машини, грн	прейскурант	240500		1500142	
3	Кількість обслуговуючого персоналу, люд.	технічний опис	4			
4	Сума годинної оплати з урахуванням всіх видів доплат трактористам V розряду, грн/год	НСМ	70,0			
5	Сума годинної оплати з урахуванням всіх видів доплат робочим на підборі, грн/год	НСМ	45,0			
6	Урожай картоплі, т/га	протокол випробувань	21,3		24	
7	Коефіцієнт відрахування на ТО, поточний і капітальний ремонт	НСМ	0,15			
8	Коефіцієнт враховуючий затрати на доставку машини в господарство	прейскурант	1,2			
9	Коефіцієнт ефективності капіталовкладень	НСМ	0,15			
10	Питома витрата паливо-мастильних матеріалів, кг/га	НСМ	20,4		26,28	
11	Ціна 1 кг ПММ, грн	НСМ	56,50			

12	Закупочна ціна картоплі, грн/т: - продовольчого - пошкодженого	прейскурант	6000 4000	6000 4000	6000 4000	6000 4000
13	Термін служби машини, років	НСМ	7			
14	Робоча швидкість, км/ГОД	протокол випробувань	4,2	4,6	4,1	4,4
15	Ширина захвату, м	технічний опис	1,5			
16	Пошкодження бульби, %	протокол випробувань	6,1	3,2	8,6	5,1
17	Площа місця для зберігання машини, м ²	технічний опис	26,62		27,6	
18	Питома вартість 1 м ² машиномісця, грн/м ²	НСМ	280			
19	Коефіцієнт відрахування на амортизацію і ремонт місця зберігання техніки	НСМ	0,08			
20	Річний об'єм роботи виконаної машиною, га	протокол випробувань	40			
21	Коефіцієнт використання експлуатаційного часу	протокол випробувань	0,54	0,55	0,53	0,54
22	Коефіцієнт використання часу зміни	протокол випробувань	0,56	0,57	0,55	0,56

$\vartheta_{\text{маш}}$ - робоча швидкість машини, км/ГОД;

$k_{\text{см}}$ - коефіцієнт використання часу зміни.

Балансова вартість збиральної машини розраховуємо

$$Б = Ц_{\text{опт}} \cdot K_{\text{п}}, \quad (5.8)$$

де $Ц_{\text{опт}}$ - оптова ціна збиральної машини, грн;

$K_{\text{п}}$ - коефіцієнт, що враховує витрати за доставку машини в господарство.

Балансова вартість удосконаленої машини отримаємо

$$Б = Ц_{\text{опт}} \cdot K_{\text{п}} + Ц_{\text{мод}}, \quad (5.9)$$

де $C_{\text{мод}}$ - вартість виготовлення, встановлення та налаштування нового робочого органу сепарації (табл. 5.2), грн.

Таблиця 5.2 - Статті витрат на модернізацію серійних картоплезбиральних машин

Найменування	DR-1500	AVR 220
Витрати на покупку матеріалів, деталей і т.д., грн	24891	25674
Витрати на виготовлення комплектуючих запчастин, грн	2981	3022
Витрати на зборку і налаштування пристрою, грн	2083	2156
Загальна вартість модернізації картоплезбиральних машин, грн	29955	30852

Експлуатаційну продуктивність машини знайдемо

$$W_{\text{екс}} = 0,1B_{\text{захв}} \cdot \vartheta_{\text{маш}} \cdot k_{\text{екс}}, \quad (5.10)$$

де $k_{\text{екс}}$ - коефіцієнт використання експлуатаційного часу.

Витрати на ТО, поточний і капітальний ремонт визначимо:

$$Z_{\text{т.к.}} = \frac{B \cdot a_{\text{т.к.}}}{T_{\text{год}} \cdot W_{\text{екс}}}. \quad (5.11)$$

де $a_{\text{т.к.}}$ - коефіцієнт відрахувань на ТО, поточний і капітальний ремонт.

Витрати на паливо-мастильні матеріали знайдемо

$$Z_{\text{гсм}} = P_{\text{гсм}} \cdot C_{\text{гсм}}. \quad (5.12)$$

де $P_{\text{гсм}}$ - питома витрата паливо-мастильних матеріалів, кг/га;

$C_{\text{гсм}}$ - ціна паливо-мастильних матеріалів, грн/кг.

Витрати на зберігання збиральної машини розраховуємо

$$Z_{\text{хр}} = \frac{N_{\text{хр}}}{T_{\text{год}} \cdot W_{\text{екс}}}. \quad (5.13)$$

де $N_{\text{хр}}$ - норматив витрат на зберігання однієї машини, грн.

Норматив витрат на зберігання машини знайдемо

$$N_{\text{хр}} = S_{\text{м}} \cdot C_{\text{хр}} \cdot K_{\text{ам}}. \quad (5.14)$$

де $S_{\text{м}}$ - площа, яку займає машина, м²;

$C_{\text{хр}}$ - питома вартість 1 м² машиномісця, грн/м²;

$K_{ам}$ - коефіцієнт відрахувань на амортизацію та ремонт місць зберігання техніки.

Величина заробітної плати механізаторів розраховується

$$Z_{мех} = \frac{C_{тар} \cdot L}{W_{см}} \quad (5.15)$$

де $C_{тар}$ - тарифна ставка механізатора, грн/год;

L - число механізаторів, люд;

Величина заробітної плати робітників на ручній доочистці

$$Z_p = \frac{C_{тар}^п \cdot L_p}{W_{см}} \quad (5.16)$$

де L_p - число робочих на ручній доочистці, люд;

$C_{тар}^п$ - тарифна ставка за ручну доочистку, грн/год.

Результати розрахунку експлуатаційних витрат по базовій і вдосконаленій машині представлені в таблиці 5.3.

Таблиця 5.3 - Результати розрахунку експлуатаційних витрат при використанні серійної і вдосконаленої картоплезбиральної машини

№	Статті затрат	Позначення	DR-1500		AVR 220	
			серійний	удосконалений	серійний	удосконалений
1	Витрати на амортизацію по збиральній машині, грн/га	$Z_{ам}$	8888,89	8993,99	19978,53	20079,34
2	ТО, поточний і капітальний ремонт, грн/га	$Z_{т.к.}$	9333,33	9443,69	20977,46	21083,31
3	Паливо-мастильні матеріали, грн/га	$Z_{гсм}$	540,6		696,42	
4	Зберігання машини, грн/га	$Z_{хр}$	15,45	15,46	16,04	16,03
5	Заробітня плата механізаторів, грн/га	$Z_{мех}$	198,41	177,98	206,95	189,39
6	Заробітня плата працівників на ручній доочистці, грн/га	Z_p	510,2	457,67	532,15	487,01
	Всього експлуатаційних витрат, грн/га	$Z_{екс}$	19486,9	19629,37	42407,54	42551,51

Прибуток від капіталовкладень визначимо

$$H_{\Pi} = E_{\Pi} \cdot K_{y.} \quad (5.17)$$

де E_{Π} - коефіцієнт ефективності капіталовкладень;

$K_{y.}$ - питомі капіталовкладення, грн/га.

Питомі капіталовкладення знайдемо

$$Y_{K} = \frac{B}{T_{\text{год}} \cdot W_{\text{екс}}}. \quad (5.18)$$

Проміжні обчислення річного економічного ефекту від зниження експлуатаційних витрат наведені в таблиці 5.4.

Таблиця 5.4 - Показники розрахунку річного економічного ефекту

Найменування	Вартість, грн			
	серійний DR-1500	удосконалений DR-1500	серійний AVR 220	удосконалений AVR 220
Приведені витрати на одиницю виробітку	28820,23	29073,06	63385	63634,82
Нормативний прибуток від капіталовкладень	9333,33	9443,69	20977,46	21083,31
Питомі капіталовкладення	62222,22	62957,92	139849,7	140555,4

Крім річного економічного ефекту від зниження експлуатаційних витрат є економічний ефект від зниження пошкоджень бульб при збиранні картоплі.

5.2. Економічний ефект від зниження пошкоджень бульб

Економічний ефект від зниження пошкоджень бульб при експлуатації картоплезбиральної машини оснащеної вдосконаленим робочим органом сепарації (табл. 5.5) знайдемо за формулою

$$E_{\text{повр}} = I_1 - I_2, \quad (5.19)$$

де I_1 - витрати від пошкодження продукції при збиранні серійною машиною, грн;

I_2 - витрати від пошкодження продукції при збиранні вдосконаленою

машиною, грн.

Витрати від пошкодження продукції при збиранні визначимо

$$I_i = 0,01B_r \cdot Y \cdot a_{\text{повр}} \cdot C_p, \quad (5.20)$$

де $a_{\text{повр}}$ - пошкодження бульб по вазі;

Y - врожайність картоплі, т/га;

C_p - цінова різниця товарних і пошкоджених бульб, грн/т.

Таблиця 5.5 - Сумарний річний економічний ефект від застосування вдосконалених машин в порівнянні з базовими моделями

№	Статті витрат	Позначення	Картоплезбиральний комбайн DR 1500	Картоплезбиральний комбайн AVR 220
1	Річний економічний ефект від зниження експлуатаційних витрат: - на одиницю виробітку, грн/га - загальний, грн	E_r	-252,83 -10113,26	-249,82 -9992,74
2	Економічний ефект від зниження пошкоджених бульб: - на одиницю виробітку, грн/га - загальний, грн	$E_{\text{повр}}$	1235,4 49416	1680 67200
3	Сумарний річний економічний ефект: - на одиницю виробітку, грн/га - загальний, грн	$E_{\text{сум}}$	982,57 39302,74	1430,18 57207,26

Сумарний річний економічний ефект від використання на картоплезбиральних машинах вдосконаленого робочого органу сепарації склав для DR-1500 – 39302,74 грн (982,57 грн на 1 га напрацювання) і AVR 220 – 57207,26 грн (1430,18 грн на 1 га напрацювання).

Застосування вдосконалених картоплезбиральних машин є економічно ефективним, що підтвердили наведені вище розрахунки.

Висновки до п'ятого розділу

1. Встановлено, що впровадження вдосконаленого робочого органу сепарації в конструкцію (патент на корисну модель) картоплезбиральних машин шляхом заміни серійного (додаткового) елеватора є економічно обґрунтованим.

2. Визначено, що сумарний економічний ефект від застосування на картоплезбиральних комбайнах DR-1500 вдосконаленого робочого органу склав 39302,74 грн (982,57 грн. на 1 га напрацювання).

3. Сумарний економічний ефект від застосування на картоплезбиральних комбайнах AVR 220 вдосконаленого робочого органу (патент) склав 57207,26 грн (1430,18 грн. на 1 га напрацювання).

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ І РЕКОМЕНДАЦІЇ

1. З аналізу технологічного процесу встановлено, що для підвищення ефективності використання картоплекопача, необхідно в підкопуючій частині використовувати вертикальні відрізні зубчасті диски з ґрунтозачепами. Для більш енергоємних збиральних машин і умов роботи раціональним являється застосування зубчатих дисків з активним приводом.

2. Проведено аналіз існуючих робочих органів сепарації, за результатами якого запропонована оригінальна конструктивно-технологічна схема пруткового елеватора, оснащеного обмежувачами контакту бульб з боковинами рами картоплезбиральної машини, виконаними з пружного матеріалу з основою у формі рівнобедреної трапеції, причому більшою основою направлено в сторону центру елеватора.

3. Отримано аналітичні вирази для визначення основних параметрів дискових елементів з ґрунтозачепами. Результатами теоретичних і експериментальних досліджень встановлено, що для зубчастого дискового елемента з ґрунтозачепами раціональною формою є прямокутна трапеція. Дисковий елемент повинен мати наступні параметри: висоту зуба і ґрунтозачепа 0,1 м, число зубів 10, ширину ґрунтозачепа 0,011 м.

При поступальній швидкості руху 3 км/год частота обертання диска в активному режимі має складати $48,6 \text{ хв}^{-1}$.

4. Встановлено, що ґрунтозачеми розробленого пасивного дискового елемента дають надбавку в моменті, що крутить від 91,5 до 274,5 Н·м, надійно забезпечують обертання диска без буксування та перерізання рослинності і бадилля робочою кромкою зубів і ґрунтозачепів.

5. Встановлено теоретичним шляхом, що при однаковій площі основи пружні елементи з поперечним профілем у формі рівнобедреної трапеції здатні при дотриманні АТП сприймати навантаження на 49,1% більше прямокутної і на 57,7% більше еліптичної, що дає передумови до підвищення експлуатаційної продуктивності машини в цілому. Були визначені наступні конструктивні

параметри пружних елементів робочого органу сепарації: висота $H_{\text{ел}} = 0,06$ м, розміри основи $b_{\text{тр}} = 0,028$ м, $h_{\text{тр}} = 0,033$ м, $a_{\text{тр}} = 0,008$ м.

6. Встановлено взаємозв'язок ушкоджень бульб з конструктивними параметрами вдосконаленого робочого органу сепарації, врожайністю картоплі і експлуатаційною швидкістю експериментальної машини, а також уточнено діапазон значень площі основи пружних елементів в межах від $5,34$ см² до $6,86$ см² (розбіжність з результатами теоретичних досліджень склало 2,69%).

7. Застосування вдосконаленого робочого органу сепарації на картоплезбиральних комбайнах DR-1500 і AVR 220 знижує пошкодження бульб на 47,5% (з 6,1 до 3,2%) і на 40,7% (з 8,6 до 5,1%) при підвищенні продуктивності машин на 0,04 і 0,03 га/год відповідно.

8. Сумарний річний економічний ефект від використання вдосконаленого робочого органу сепарації в конструкціях картоплезбиральних машинах склав: для комбайна DR-1500 – 39302,74 грн (982,57 грн на 1 га); для комбайна AVR 220 – 57207,26 грн (1430,18 грн на 1 га).

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Грушецький С.М. Аналіз сучасних технологій вирощування і збирання картоплі. Зб. наук. праць ПДАТУ. Вип. 24, час. 2 (технічні науки) – Кам'янець-Подільський : ПДАТУ, 2016. С. 55-64.
2. Сергій Грушецький, Юрій Фірман. 2015. Дослідження і обґрунтування параметрів лемішно-полицевого картоплекопача з барабанним сепаратором картопляного вороху / MOTROL. Commission of Motorization and energetics in agriculture 2015, Vol. 17, No.1, 17-26.
3. Грушецький С.М. Обґрунтування конструкції і параметрів лемішно-полицевого картоплекопача з барабанним сепаратором картопляного вороху : дис. ... канд. техн. наук : 05.05.11. Вінниця, 2008. 285 с.
4. Ставрук Д.В. Удосконалення підкопуючих робочих органів для картоплезбиральних машин : наук. роб. : 05.05.11. Харків, 2015. 98 с.
5. Городинський В.О. Обґрунтування конструкції і параметрів підкопуючих робочих органів для картоплезбиральних машин : наук. роб. : 05.05.11. Харків, 2016. 87 с.
6. Пат. № 99259 Україна, МПК (2015) A01D21/00. Підкопуючий робочий орган для коренебульбозбиральних машин / Грушецький С.М., Городинський В.О., Ставрук Д.В., Громик Б.І., Дудар М.О. (Україна). № u 2014 12978; заявл. 15.12. 2014; опубл. 25.05. 2015, Бюл. № 10. 4 с.
7. Аналіз конструктивно-технологічних схем підкопуючих робочих органів коренебульбозбиральних машин / С.М. Грушецький, Л.Ю. Збаравська, І.В. Семенишена // Сучасні проблеми землеробської механіки: збірник наукових праць XVIII міжн. наук. конф. (16-18 жовтня 2017 р., м. Кам'янець-Подільський). Тернопіль : Крок, 2017. С. 63-65.
8. Федорів Д.А. Підвищення ефективності збирання картоплі шляхом удосконалення конструктивних і технологічних параметрів картоплекопача. Дис... канд. техн. наук. Великі Луки, 2005. 169 с.
9. Іванишин В. В., Рудь А. В., Грушецький С. М. Технічне обслуговування машин і обладнання : підручник. Кам'янець-Подільський : ЗВО «ПДУ» : ТОВ «Друкарня «Рута»., 2023. 360 с.
10. Експлуатація машин і обладнання : навч. посіб. / І. М. Бендера та ін. Кам'янець-Подільський : ФОП Сисин Я.І., 2013. 576 с.
11. Експлуатація машин і обладнання : навч. посіб. / М. А. Ружицький, В.І. Рябець, В. М. Кіяшко та ін. Київ : Аграрна освіта, 2010. 617 с.

12. Лудченко О. А. Технічна експлуатація і обслуговування автомобілів : технологія : підручник. Київ : Вища школа, 2007. 527 с.
13. Мельника І. І. Практикум із машиновикористання в рослинництві : навч. посіб. Київ : Кондор, 2004. 284 с.
14. Лімонт А. С. та ін. Практикум з машиновикористання в рослинництві. Київ : Кондор, 2009. 280 с.
15. Павліський В. М., Нагірний Ю. П., Мельник І. І. Проектування технологічних систем рослинництва : навч. посіб. Тернопіль : Збруч, 2003. 264 с.
16. Проектування механізованих технологічних процесів у рослинництві : навч. посіб. / І. М. Бендера та ін. Кам'янець-Подільський: ФОП Сисин О.В., 2011. 556с.
17. Основи механізації сільськогосподарського вирощування : навч. посіб. / І. І. Ріпка та ін. Львів : ЛНАУ, 2013. 224 с.
18. Головчук А. Ф., Лімонт А. С., Бондаренко М. Г. Машиновикористання та екологія довкілля. Київ : Грамота, 2007. 360 с.
19. Квашук О. В. Сучасні інтенсивні технології вирощування сільськогосподарських культур. Кам'янець-Подільський : Абетка, 2008. 482 с.
20. Технічний сервіс в АПК : навч. посіб. / С. М. Грушецький та ін. Кам'янець-Подільський : ФОП Сисин Я. І., 2014. 680 с.
21. Технологія технічного обслуговування машин : навч. посіб. / Бендера І. М., Грушецький С. М., Роздорожнюк П. І., Михайлович Я. М. Кам'янець-Подільський : ФОП Сисин О. В., 2010. 320 с.
22. Заявка КМ № u202401497 на патент МПК (2024.01) A01D21/00. Роторна коренебульбозбиральна машина / Іванишин В.В., Грушецький С.М., Рудь Корчак М.М., Мушеник І.М., Чайка І.М., Гаврилук М.А. (Україна). Заявл. 21.03.2024. <https://sis.nipo.gov.ua/uk/search/detail/1789883/>.
23. Hrushetskyi S., & Adamchuk, O. (2025). Laboratory tests of the developed working body of a potato harvester for digging and separation. *International Science Journal of Engineering & Agriculture*, 4(1), 14–29. <https://doi.org/10.46299/j.isjea.20250401.02>.
24. Hrushetskyi S., & Havrylyuk, M. (2025). Study of design characteristics and parameters of separating slides of potato harvesting machines. *International Science Journal of Engineering & Agriculture*, 4(1), 30–42. <https://doi.org/10.46299/j.isjea.20250401.03>.
25. Адамчук О.М., Гаврилук М.А., Грушецький С.М. Обґрунтування конструкції і параметрів підкопуючих робочих органів коренебульбозбиральних машин: студ. наук. роб. із спец. «Агроінженерія», Кам'янець-Подільський : ЗВО «ПДУ», 2025. 85 с.

26. Механізація, електрифікація та автоматизація сільськогосподарського вирощування : підручник. В 2 т. Т. 1 / А. В. Рудь та ін. Київ : Агроосвіта, 2012. 584 с.
27. Механізація, електрифікація та автоматизація сільськогосподарського вирощування : підручник. В 2 т. Т. 2 / А. В. Рудь та ін. Київ : Агроосвіта, 2012. 432 с.
28. Левицька Ю. О. та ін. Основи агрономії. Київ : Аграрна освіта, 2008. 382 с.
29. Кравченко М. С. Томашевський З. М. Практикум із землеробства. Київ : Мета, 2003.
30. Мельник А. В. Агробіологічні особливості вирощування соняшнику та ріпаку ярового в умовах Північно-Східного Лісостепу України. Аналітичний огляд та результати дослідження : монографія. Суми : Унів. кн., 2007. 228 с.
31. Типові норми продуктивності і витрати палива на передпосівному обробітку. Київ : НДІ Укראгропромпродуктивність, 2005. 672 с.
32. Типові норми продуктивності і витрати палива на сівбі, садінні і догляді за посівами. Київ : НДІ Укראгропромпродуктивність, 2005. 424 с.
33. Пастухов В. І Довідник з машиновикористання в землеробстві : навч. посіб. Харків : Веста, 2001. 344 с.
34. Саблук П. Т. Технологічні карти та витрати на вирощування сільськогосподарських культур. ННЦ Інститут аграрної економіки, 2005. 292 с.
35. Іванишин В. В., Рудь А. В., Грушецький С. М. Машини та обладнання в тваринництві : підручник. Кам'янець-Подільський : ЗВО «ПДУ» : ТОВ «Друкарня «Рута»., 2022. 468 с.
36. Машини і обладнання для тваринництва. / І. І.Ревенко, та ін. Ніжин : видавець ПП Лисенко М. М., 2016. 584 с.
37. Машини та обладнання для тваринництва : посібник-практикум / І. І. Ревенко та ін. Київ : Кондор, 2011. 396 с.
38. Проектування сільськогосподарських машин : навч. посіб. для виконання курсових проектів з розробки сільськогосподарської техніки при підготовці фахівців напряму 6.100202 «Процеси, машини та обладнання агропромислового вирощування». 2-ге видання доп. і перероб. І. М. Бендера, та ін. Кам'янець-Подільський : ФОП Сисин О. В., 2011. 640 с.
39. Експлуатація машин і обладнання : підручник / Іванишин В.В., Лабазюк П.П., Рудь А.В., Грушецький С.М. Заклад вищої освіти «Подільський державний університет». Кам'янець-Подільський : ТОВ «Друкарня «Рута», 2024. 600 с.
40. Методичні рекомендації до виконання та оформлення дипломної роботи для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти спеціальності Н7

- «Агроінженерія» / Ю.І. Панцир, А.В. Рудь, В.І. Дуганець, В.І. Дуганець, Л.С. Шелудченко, С.М. Грушецький, С.П. Комарніцький. За ред. В.І. Дуганця. Кам'янець-Подільський: ЗВО «ПДУ», 2025. 52 с.
41. Офіційний сайт фірми Grimme. URL : www.erfoig-ernten.de. (дата звернення: 26.06.2025).
 42. Офіційний сайт фірми WM Kartoffeltechnik. URL : www.wm-kartoffeltechnik.com. (дата звернення: 26.06.2025).
 43. Офіційний сайт фірми Колнаг. URL : www.kolnag.com. (дата звернення: 26.06.2025).
 44. Технологія вирощування картоплі : відео. URL : https://vimeo.com/386300091?embedded=true&source=vimeo_logo&owner=107260504. (дата звернення: 12.09.2025).
 45. Вирощування картоплі в Норвегії : відео. URL : <https://www.youtube.com/watch?v=BQG3wny1f6g>. (дата звернення: 19.09.2025).
 46. Як вирощують картоплю в Європі : відео. URL : <https://www.youtube.com/watch?v=Pcn4eq6XkIE>. (дата звернення: 19.09.2025).
 47. Обробіток ґрунту під картоплю : відео. URL : https://vimeo.com/386300164?embedded=true&source=vimeo_logo&owner=107260504. (дата звернення: 19.09.2023).
 48. Особливості технології вирощування картоплі. URL : <http://www.agro-business.com.ua/agronomiia-siogodni/489-osoblyvosti-tekhnologiii-vyroschuvannia-kartopli.html>. (дата звернення: 19.01.2023).
 49. Садіння картоплі : відео. URL : https://vimeo.com/386300235?embedded=true&source=vimeo_logo&owner=107260504. (дата звернення: 19.09.2023).
 50. Садіння картоплі в Німеччині : відео. URL : https://vimeo.com/386300388?embedded=true&source=vimeo_logo&owner=107260504. (дата звернення: 19.09.2025).
 51. Садіння картоплі в Голландії : відео. URL : https://vimeo.com/386300562?embedded=true&source=vimeo_logo&owner=107260504. (дата звернення: 19.09.2025).
 52. Догляд за картоплею : відео. URL : https://vimeo.com/386300291?embedded=true&source=vimeo_logo&owner=107260504. (дата звернення: 19.09.2025).
 53. Збирання картоплі : відео. URL : https://vimeo.com/386300347?embedded=true&source=vimeo_logo&owner=107260504. (дата звернення: 19.09.2025).

ДОДАТОК А



МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАКЛАД ВИЩОЇ ОСВІТИ «ПОДІЛЬСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ»
ІНЖЕНЕРНО-ТЕХНІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ
КАФЕДРА АГРОІНЖЕНЕРІЇ І СИСТЕМОТЕХНІКИ
ІМЕНІ МИХАЙЛА САМОКИША

**Кваліфікаційна робота**

на тему:

**УДОСКОНАЛЕННЯ ТА ОБГРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ
ВИКОПУВАЛЬНО-СЕПАРУЮЧИХ РОБОЧИХ ОРГАНІВ
КАРТОПЛЕКОПАЧА**

здобувач вищої освіти освітнього ступеня «Магістр»
освітньо-професійної програми «Агроінженерія»
спеціальності 208 «Агроінженерія» денної форми навчання
АДАМЧУК Олександр Миколайович

Науковий керівник:
кандидат технічних наук, доцент
ГРУШЕЦЬКИЙ Сергій Миколайович

м. Кам'янець-Подільський, 2025 р.

2

МЕТА І ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ

Метою дослідження є підвищення ефективності технологічного процесу машинного збирання картоплі шляхом вдосконалення викопувально-сепаруючих робочих органів картоплезбиральних машин.

Об'єкт дослідження: технологічний процес викопувально-сепаруючого картопленосного шару і вдосконалений робочий орган для його здійснення.

Предмет дослідження: теоретичні та експериментальні закономірності протікання технологічного процесу викопувально-сепаруючого картопленосного шару в картоплезбиральних машинах.

Основні завдання досліджень:

1. Проаналізувати існуючі конструкції викопувально-сепаруючих робочих органів картоплезбиральних машин, результати експериментальних і теоретичних досліджень викопувально-сепаруючих робочих органів і на їх основі удосконалити конструкцію.

2. Теоретично обґрунтувати удосконалення параметрів і режимів роботи викопувально-сепаруючих робочих органів машин для збирання картоплі.

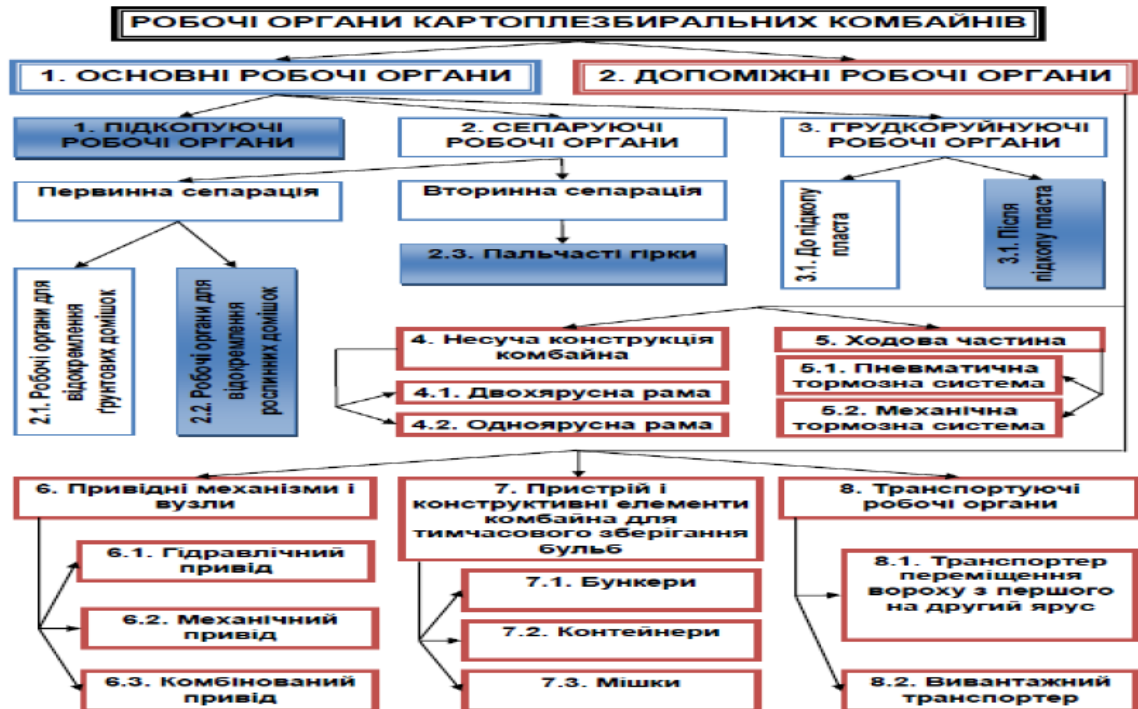
3. На підставі результатів лабораторно-польових експериментальних досліджень уточнити оптимальні значення параметрів і режимів роботи досліджуваного робочого органу та визначити агротехнічні показники роботи картоплезбиральної машини.

4. Визначити ефективність використання викопувально-сепаруючих робочих органів.

НЕВИРІШЕНІ ПРОБЛЕМИ МЕХАНІЗОВАНОГО ЗБИРАННЯ КАРТОПЛІ, ПОВ'ЯЗАНІ З ПІДКОПУВАННЯМ ПЛАСТА



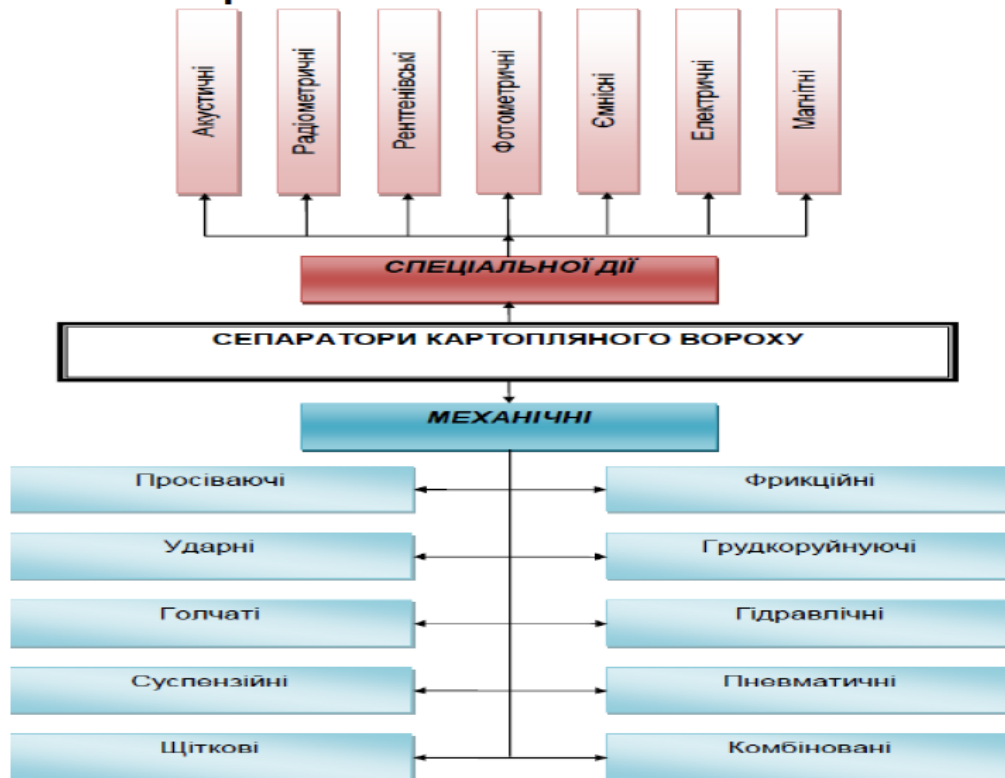
КЛАСИФІКАЦІЯ РОБОЧИХ ОРГАНІВ І ВУЗЛІВ КАРТОПЛЕЗБИРАЛЬНИХ МАШИН



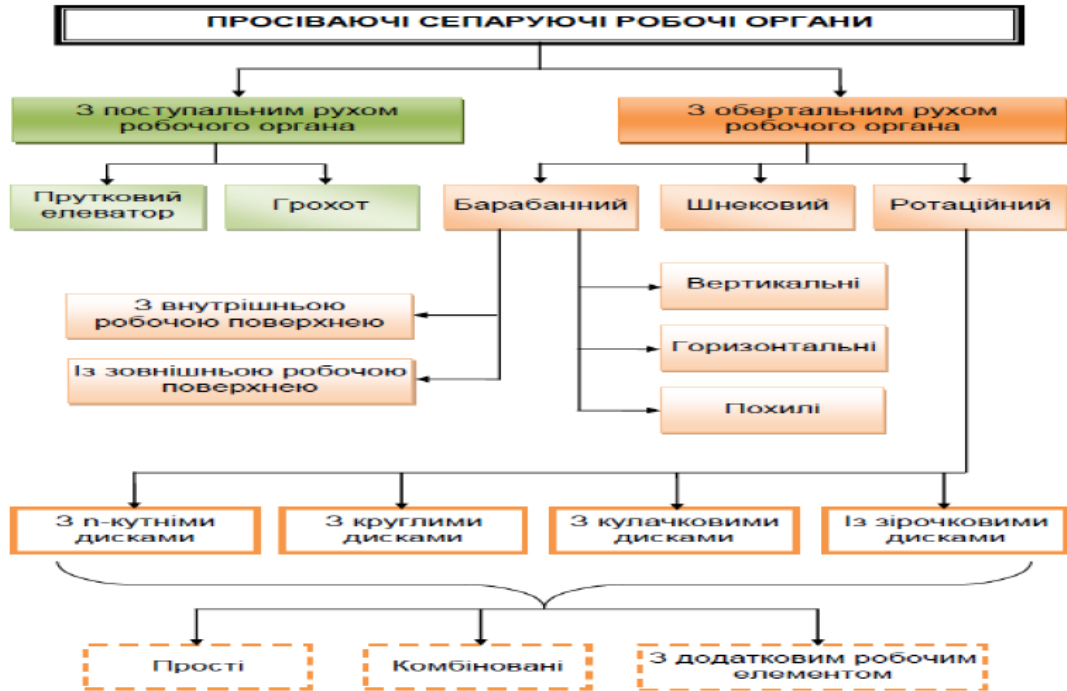
ОСНОВНІ ТИПИ ПІДКОПУЮЧИХ РОБОЧНХ ОРГАНІВ КАРТОПЛЕЗБИРАЛЬНИХ МАШИН



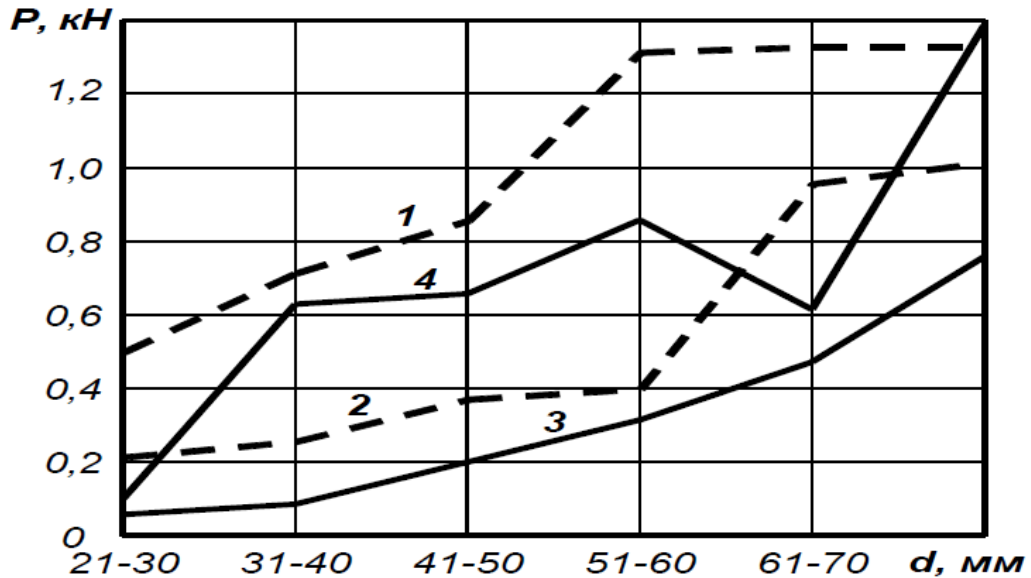
КЛАСИФІКАЦІЯ СЕПАРАТОРІВ КАРТОПЛЯНОГО ВОРОХУ



КЛАСИФІКАЦІЯ СЕПАРАТОРІВ КАРТОПЛЯНОГО ВОРОХУ ПРОСІВАЮЧОГО ТИПУ



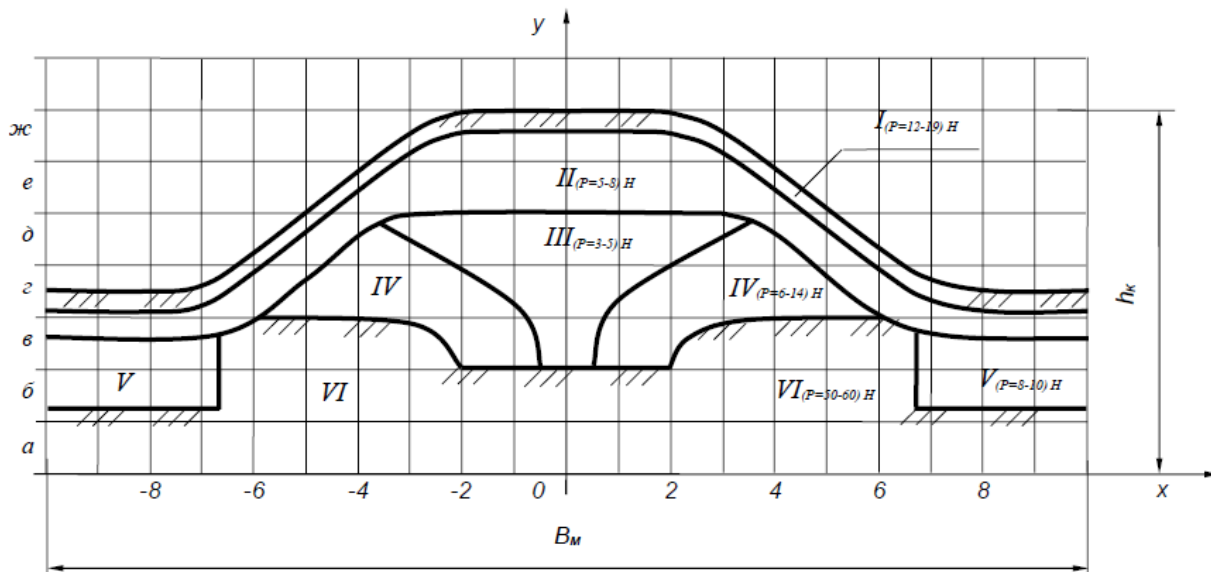
МЕХАНІКО-ТЕХНОЛОГІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ КАРТОПЛЯНОГО ВОРОХУ



Залежність руйнівних зусиль грудок і бульб від їх класів по товщині ($W = 15,1\%$) (за даними І.М. Полуночєва)

- 1, 2 – відповідно середнє і найменше зусилля руйнування бульб;
3, 4 – відповідно середнє і найбільше зусилля руйнування грудок.

МЕХАНІКО-ТЕХНОЛОГІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ КАРТОПЛЯНОГО ВОРОХУ

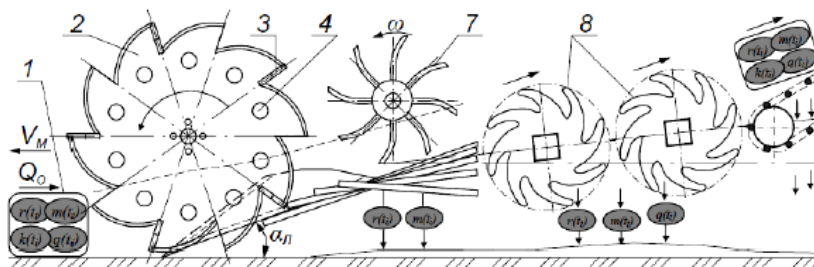


Розташування зон міцності шарів у профілі картопляної грядки
на середньосуглинковому ґрунті (за Н.М. Кандауловим)

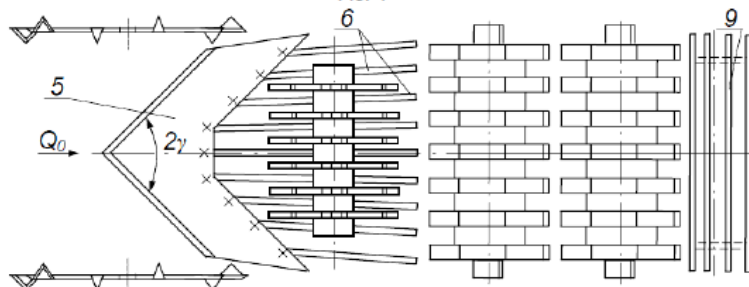
I – поверхнева зона; *II* – пухка зона; *III* – перехідна зона;
IV – щільна зона; *V* – зона міжрядь; *VI* – зона найбільшої щільності.

РОТОРНА КОРЕНЕБУЛЬБОЗБИРАЛЬНА МАШИНА

АВТОРИ: ІВАНИШИН В.В., ГРУШЕЦЬКИЙ С.М., РУДЬ А.В., ПАВЕЛЬЧУК Ю.Ф., КОРЧАК М.М., ЗАЯЦЬ В.Л.



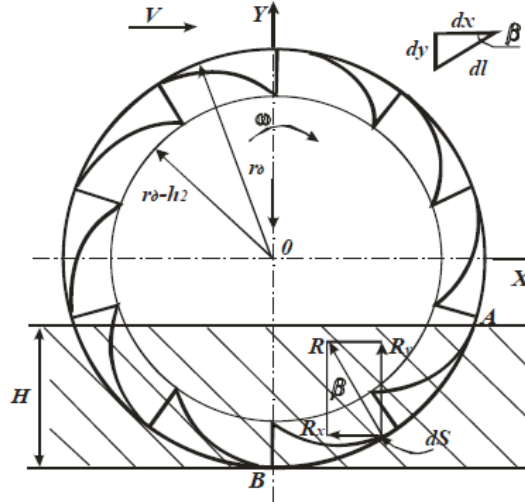
Фіг. 1



Фіг. 2

на фіг. 1 – вид збоку при збиранні картоплі; V_m – швидкість машини; ω – колова швидкість; Q_0 – подача загальної кількості вороху до якого входить $r(t)$ – кількість дрібних частинок ґрунту в момент часу t , $k(t)$ – кількість бульб в момент часу t , $m(t)$ – кількість рослинних залишок в момент часу t , $q(t)$ – кількість крупних грудок в момент часу t , α_p – кут нахилу циліндроїдального леміша до горизонту, фіг. 2 – вид зверху роторної коренебульбозбиральної машини; γ – кут скосу ковзання скиби з підкопанним кушем бульб по лезу.

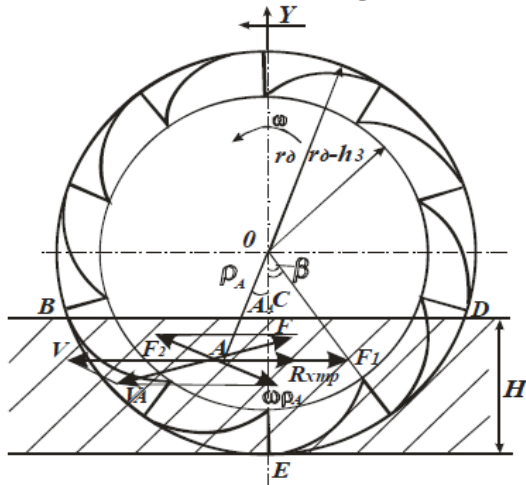
СХЕМА ДО ВИЗНАЧЕННЯ ТЯГОВОГО ОПОРУ ДИСКА З ГРУНТОЗАЧЕПАМИ



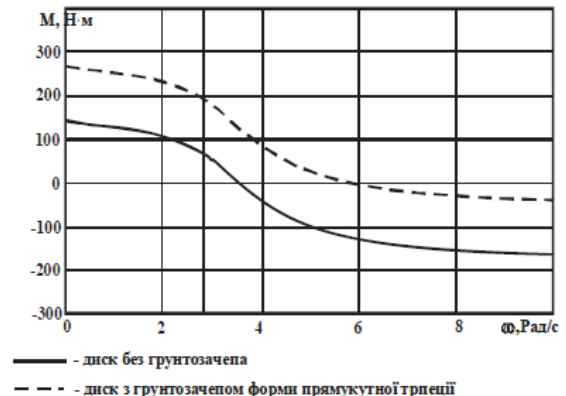
Після перетворення вираз для визначення тягового опору диска з логарифмічно зубчастою ріжучою кромкою і ґрунтозачепами без урахування сил тертя буде мати вигляд:

$$R_x = \frac{Q_{z.n} \left(b_\delta \cdot H + \sum_{i=Z} S_n \cdot \cos \beta_i \right)}{2 \cdot Z \cdot b_\delta \cdot r_0 \left(\psi + \frac{2k_n}{r_0} - 1 + e^{vcgr} \left[1 + \frac{1}{\cos \tau} \right] \right) \cdot \left(\pi - 2 \arcsin \frac{r_\delta - H}{r_\delta} \right) + \sum_{i=Z} S_n \cdot \sin \beta_i}$$

РОЗРАХУНКОВА СХЕМА СИЛ, ЩО ДІЮТЬ НА ДИСК, ЯКИЙ ПРАЦЮЄ В ПАСИВНОМУ РЕЖИМІ



Теоретична залежність крутного моменту зубчастого диска від кутової швидкості при твердості ґрунту в зоні ґрунтозачепа 10 Н/см²



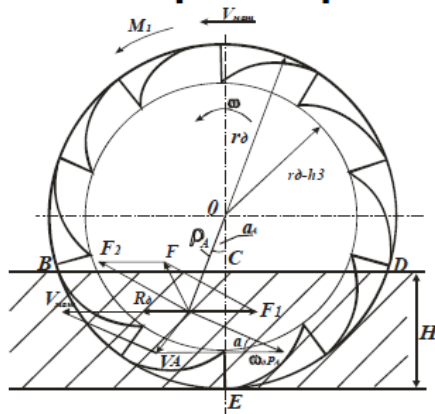
Елементарний момент сил тертя в нескінченно малому елементі площі точки А диска рівний

$$dM_{тер} = 2 \cdot p \cdot f_{mp} \cdot p_A^2 \cdot dp_A \cdot da_A \frac{V \cdot \cos \alpha_A - \omega \cdot p_A}{\sqrt{\omega \cdot p_A (\omega \cdot p_A \cdot V \cdot \cos \alpha_A) + V^2}}$$

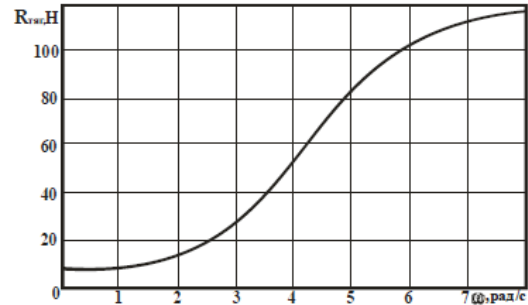
Сумарний момент, створюваний ґрунтозачепами і самим диском, після перетворення рівний:

$$M_{общ} = M_{диск} + M_{спч} = 2 \cdot p \cdot f_{mp} \int_{a=0}^{\arccos \frac{r-H}{p}} \int_{p=r-h/2}^p (V \cdot \cos \alpha - \omega \cdot p) \cdot p^2 \cdot dp \cdot da + \left(r_\delta - \frac{h_n}{2} \right) \cdot N_c \cdot \sum_{i=Z} S_n$$

СХЕМА ДО ВИЗНАЧЕННЯ МОМЕНТУ СИЛ ТЕРТЯ НА ДИСКУ, ЩО ПРАЦЮЄ В АКТИВНОМУ РЕЖИМІ



Теоретична залежність тягового зусилля, створюваного на активному диску силами тертя, від кутової швидкості.



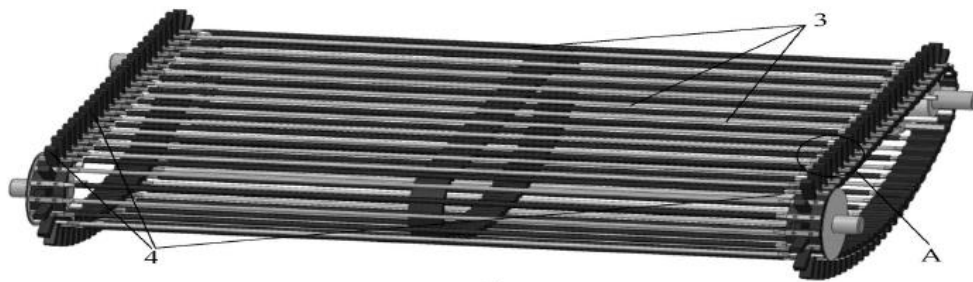
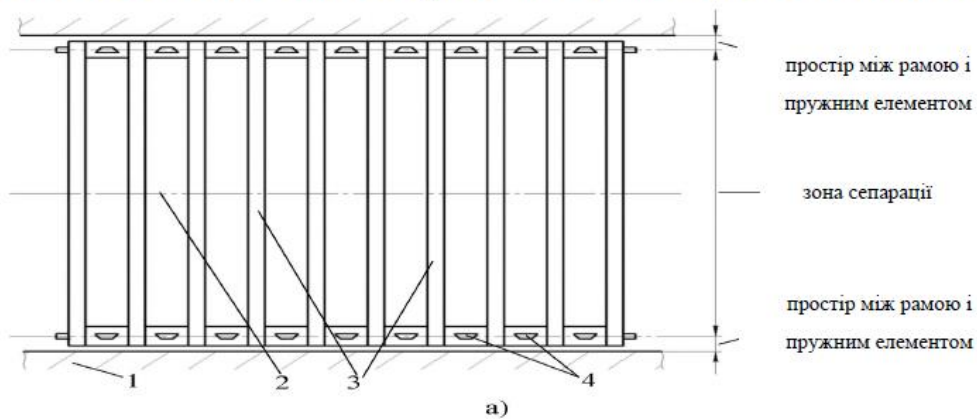
$N = \frac{M_{a\delta}}{r_{\delta}}$ – проінтегрувавши вираз отримуємо тягове зусилля диска без урахування опору ґрунту:

$$N_x = \int_{a_0}^{a_x} \int_{p_0}^{p_A} \frac{M_{a\delta}}{P_A} \cdot \cos a \cdot dp_A \cdot da_A$$

Тяговий опір (зусилля) активного диска в ґрунті:

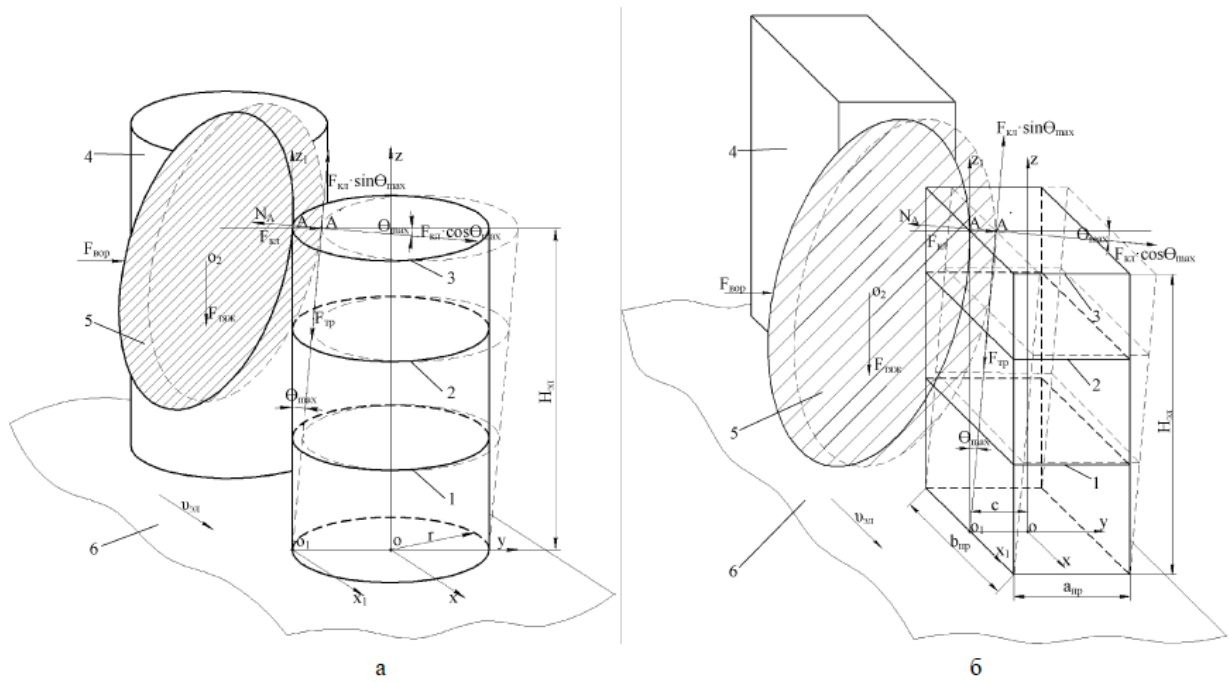
$$R_{\delta} = R_{x,нр} - N_x = 2 \cdot p \cdot f_{нр} \int_{a=0}^{\arccos \frac{r-h}{p}} \int_{p-r-h}^{p-r-h/2} \frac{(V - \omega \cdot p \cdot \cos a) \cdot p \cdot dp \cdot da}{\sqrt{(\omega \cdot p)^2 + V^2 - 2\omega \cdot p \cdot \cos a}} - \int_{a=0}^{\arccos \frac{r-h}{p}} \int_{p-r-h}^{p-r-h/2} \frac{M_{a\delta}}{P_A} \cdot \cos a \cdot dp_A \cdot da_A$$

РОБОЧИЙ ОРГАН СЕПАРАЦІЇ КАРТОПЛЕЗБИРАЛЬНИХ МАШИН



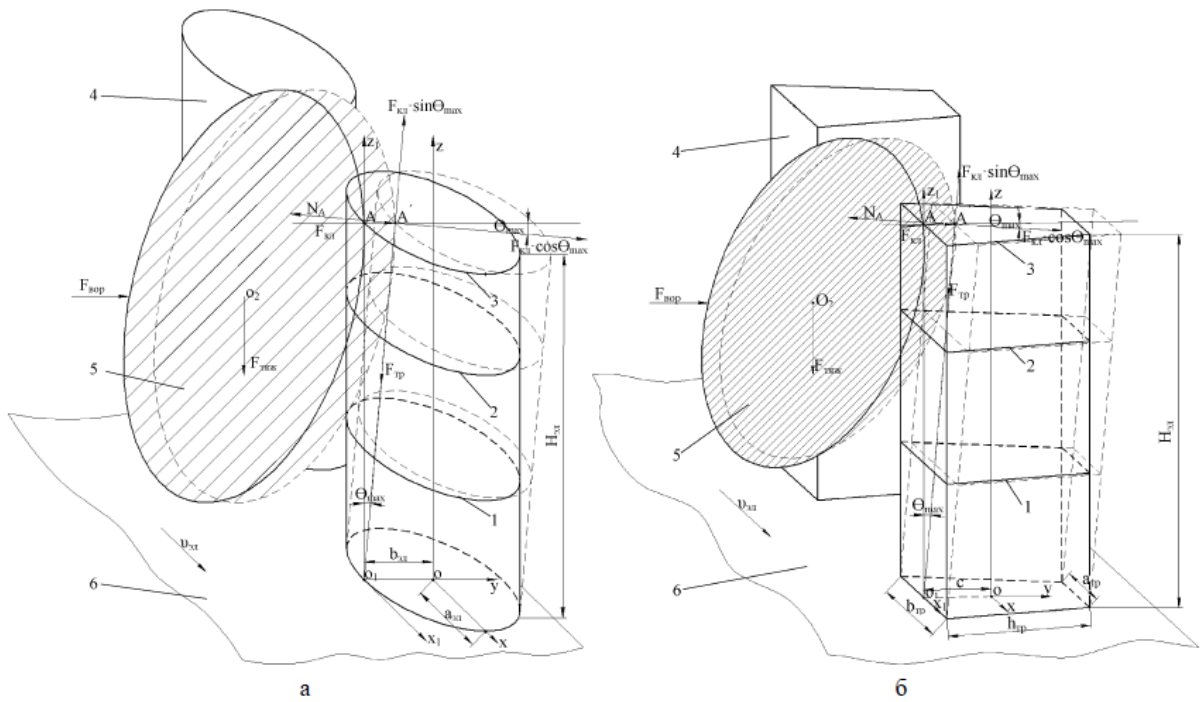
а) технологічна схема; б) тривимірний модель; 1 - боковини рами; 2 - полотно елеватора; 3 - прутки елеватора; 4 - пружні елементи

УПРУГИЙ ЕЛЕМЕНТ З ПЕРЕРІЗОМ У ФОРМІ КОЛА (а) І ПРЯМОКУТНИКА (б)



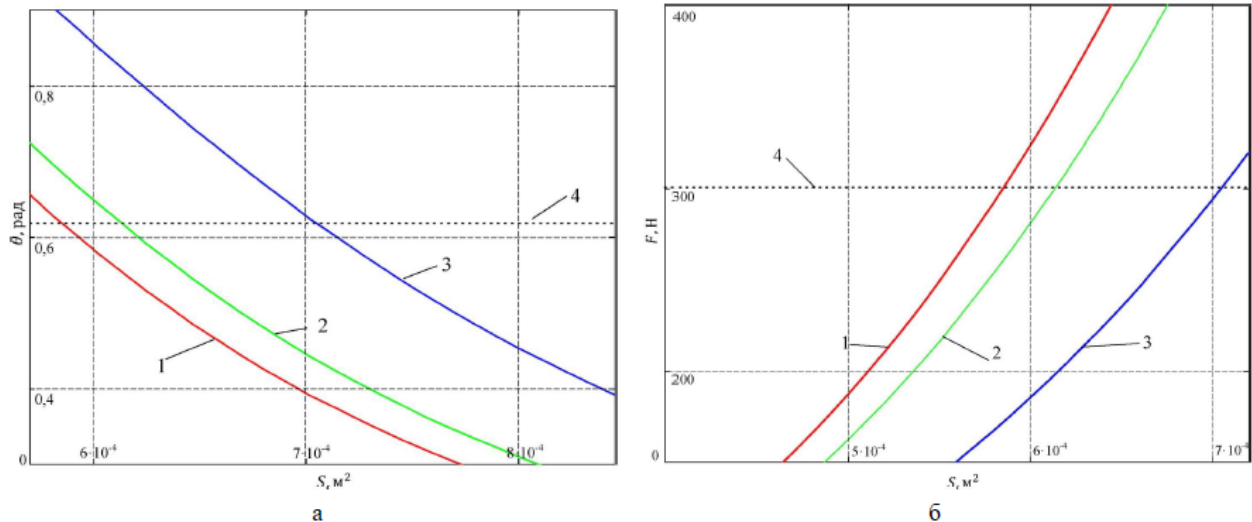
1 - переріз №1; 2 - переріз №2; 3 - переріз №3; 4 - пружний елемент; 5 - бульба; 6 - полотно елеватора

УПРУГИЙ ЕЛЕМЕНТ З ПЕРЕРІЗОМ У ФОРМІ ЕЛІПСА (а) І ТРАПЕЦІЇ (б)



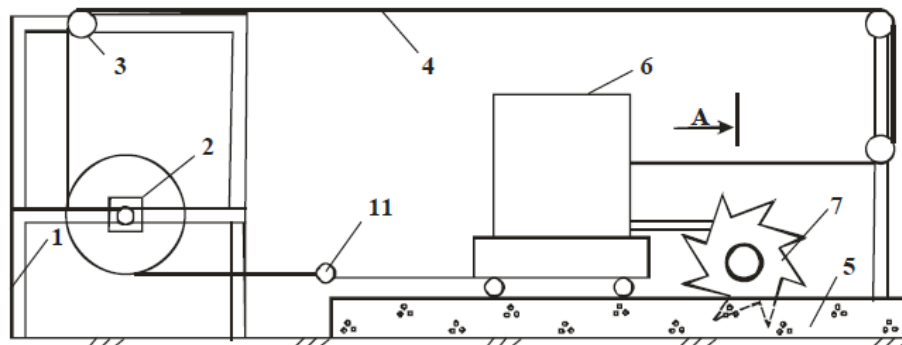
ГРАФІКИ ЗАЛЕЖНОСТІ МАКСИМАЛЬНОГО КУТА ПРОГИНУ ВІД ПЛОЩІ ОСНОВИ ПРУЖНОГО ЕЛЕМЕНТА (а)

І ГРАНИЧНО ДОПУСТИМОГО НАВАНТАЖЕННЯ НА ПРУЖНИЙ ЕЛЕМЕНТ ВІД ПЛОЩІ ЙОГО ОСНОВИ (б)

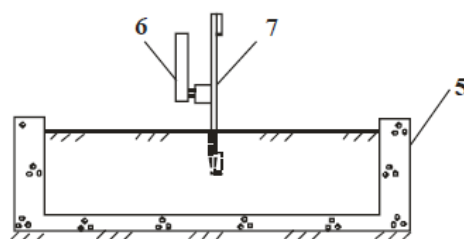


1 - пружний елемент з основою в формі рівнобедреної трапеції; 2 - пружний елемент з основою у формі еліпса; 3 - пружний елемент з основою у формі прямокутника; 4 - максимально допустимий кут прогину елемента (а) і допустиме навантаження на пружний елемент (б).

СХЕМА ЛАБОРАТОРНОЇ УСТАНОВКИ ДЛЯ ПЕРЕВІРКИ РОБОТИ ЗУБЧАТОГО ДИСКА В ПАСИВНОМУ РЕЖИМІ

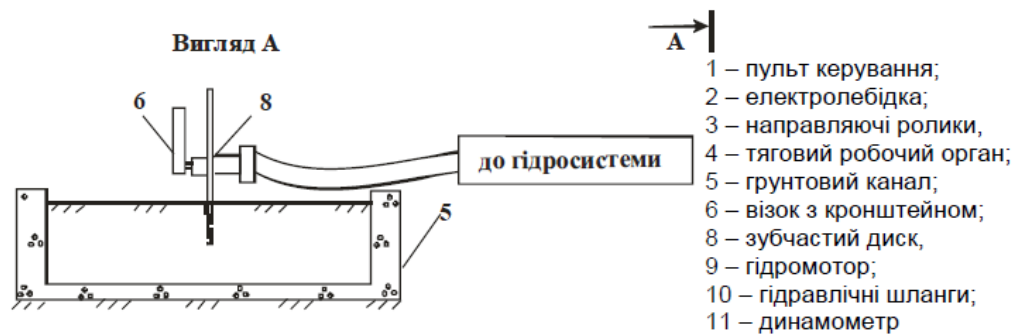
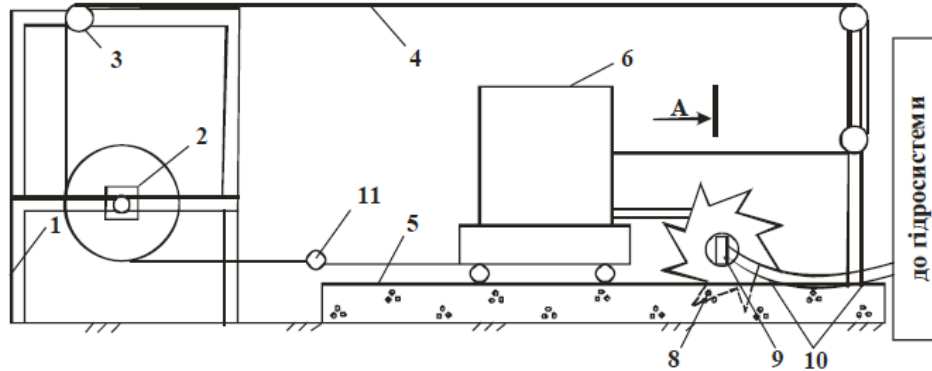


Вигляд А

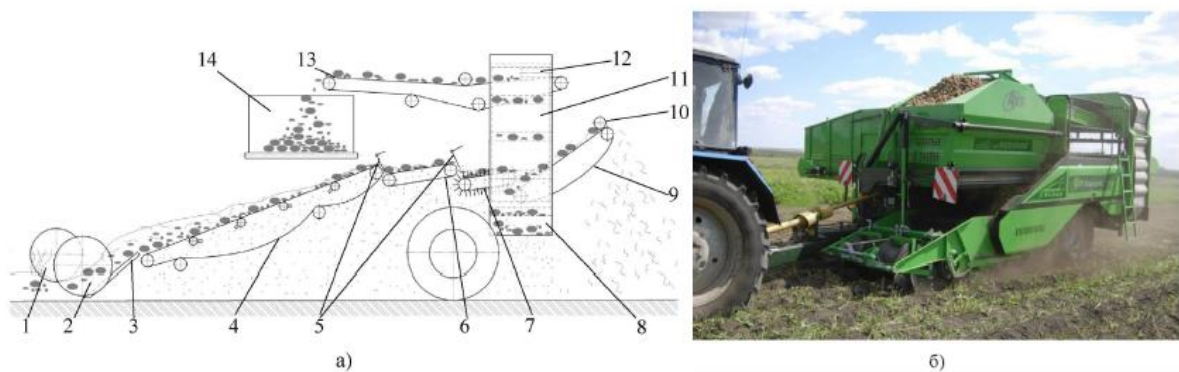


- 1 – пульт керування;
- 2 – електролебідка;
- 3 – направляючі ролики,
- 4 – датковий робочий орган;
- 5 – ґрунтовий канал;
- 6 – візок з кронштейном;
- 7 – зубчатий диск з ґрунтозачепами;
- 11 – динамометр.

СХЕМА ЛАБОРАТОРНОЇ УСТАНОВКИ ДЛЯ ПЕРЕВІРКИ РОБОТИ ЗУБЧАТОГО ДИСКА В АКТИВНОМУ РЕЖИМІ



ТЕХНОЛОГІЧНА СХЕМА І ЗАГАЛЬНИЙ ВИГЛЯД ВДОСКОНАЛЕНОГО КАРТОПЛЕЗБИРАЛЬНОГО КОМБАЙНА AVR 220



а) технологічна схема; б) загальний вигляд: 1 – катки; 2 – вертикальні диски; 3 – леміш; 4 – основний елеватор; 5 – бульбовідокремлювач; 6 – каскадний елеватор; 7 – вдосконалений елеватор; 8 – ковшовий транспортер; 9 – гірка; 10 – відбійні елементи; 11 – підтримуюча стрічка; 12 – вал; 13 – перебиральний стіл; 14 – бункер

ЕКОНОМІЧНИЙ ЕФЕКТ ВІД ЗНИЖЕННЯ ПОШКОДЖЕНЬ БУЛЬБ

№ з/п	Статті витрат	Картоплезбиральний комбайн DR 1500	Картоплезбиральний комбайн AVR 220
1	Річний економічний ефект від зниження експлуатаційних витрат E_p : - на одиницю виробітку, грн./га - загальний, грн.	- 252,83 - 10113,26	- 249,82 - 9992,74
2	Економічний ефект від зниження пошкоджених бульб $E_{пощ.}$: - на одиницю виробітку, грн./га - загальний, грн.	1235,4 49416	1680 67200
3	Сумарний річний економічний ефект $E_{сум.}$: - на одиницю виробітку, грн./га - загальний, грн.	982,57 39302,74	1430,18 57207,26

**АПРОБАЦІЯ РЕЗУЛЬТАТІВ РОБОТИ**

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАКЛАД ВИЩОЇ ОСВІТИ «ПОДІЛЬСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ»
ІНЖЕНЕРНО-ТЕХНІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ
КАФЕДРА АГРОІНЖЕНЕРІ І СИСТЕМОТЕХНІКИ
ІМЕНІ МЕДВЕДІА САМОКІШИЧА



Наукова робота

на тему:
ОБГРУНТУВАННЯ КОНСТРУКЦІЇ І ПАРАМЕТРІВ
ПІДКОПУЮЧИХ РОБОЧИХ ОРГАНІВ
КОРЕНЕБУЛЬБОЗБИРАЛЬНИХ МАШИН

здобутий вищої освіти освітнього ступеня «Магістр»
освітньо-професійної програми «Агроінженерія»
спеціальності 208 «Агроінженерія» даної форми навчання
ДЛАМЧУК Олександр Миколайович
ГАНЦІВЛЮК Максим Анатолійович

Науковий керівник:
кандидат технічних наук, доцент
ГРУШЕВСЬКИЙ Сергій Миколайович

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ І РЕКОМЕНДАЦІЇ

1. З аналізу технологічного процесу встановлено, що для підвищення ефективності використання картоплекопача, необхідно в підкопувачній частині використовувати вертикальні відрізані зубчасті диски з ґрунтозачепами. Для більш енергоємних збиральних машин і умов роботи раціональним являється застосування зубчастих дисків з активним приводом.

2. Проведено аналіз існуючих робочих органів сепарації, за результатами якого запропонована оригінальна конструктивно-технологічна схема пруткового елеватора, оснащеного обмежувачами контакту бульб з боковинами рами картоплезбиральної машини, виконаними з пружного матеріалу з основою у формі рівнобедреної трапеції, причому більшою основою направлено в сторону центру елеватора.

3. Отримано аналітичні вирази для визначення основних параметрів дискових елементів з ґрунтозачепами. Результатами теоретичних і експериментальних досліджень встановлено, що для зубчастого дискового елемента з ґрунтозачепами раціональною формою є прямокутна трапеція. Дисковий елемент повинен мати наступні параметри: висоту зуба і ґрунтозачепа $0,1$ м, число зубів 10 , ширину ґрунтозачепа $0,011$ м.

При поступальній швидкості руху 3 км/год, частота обертання диска в активному режимі має складати $48,6$ хв⁻¹.

4. Встановлено, що ґрунтозачепа розробленого пасивного дискового елемента дають надбавку в моменті, що крутить від $91,5$ до $274,5$ Н·м, надійно забезпечують обертання диска без буксування та перерізання рослинності і бадилля робочою кромкою зубів і ґрунтозачепів.

5. Встановлено теоретичним шляхом, що при однаковій площі основи пружні елементи з поперечним профілем у формі рівнобедреної трапеції здатні при дотриманні АТП сприймати навантаження на $49,1\%$ більше прямокутної і на $57,7\%$ більше еліптичної, що дає передумови до підвищення експлуатаційної продуктивності машини в цілому. Були визначені наступні конструктивні параметри пружних елементів робочого органу сепарації: висота $H_{ел} = 0,06$ м, розміри основи $b_{тр} = 0,028$ м, $h_{тр} = 0,033$ м, $a_{тр} = 0,008$ м.

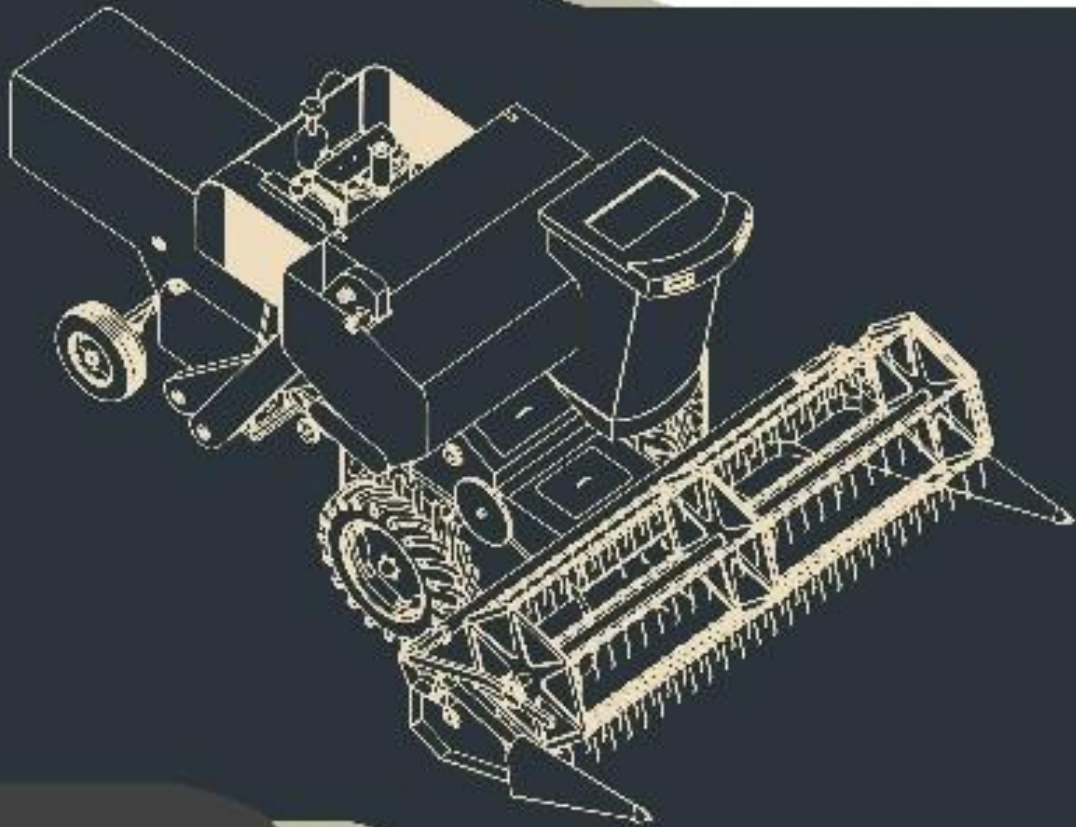
6. Встановлено взаємозв'язок ушкоджень бульб з конструктивними параметрами вдосконаленого робочого органу сепарації, врожайністю картоплі і експлуатаційною швидкістю експериментальної машини, а також уточнено діапазон значень площі основи пружних елементів в межах від $5,34$ см² до $6,86$ см² (розбіжність з результатами теоретичних досліджень склало $2,69\%$).

7. Застосування вдосконаленого робочого органу сепарації на картоплезбиральних комбайнах DR-1500 і AVR 220 знижує пошкодження бульб на $47,5\%$ (з $6,1$ до $3,2\%$) і на $40,7\%$ (з $8,6$ до $5,1\%$) при підвищенні продуктивності машин на $0,04$ і $0,03$ га/год. відповідно.

8. Сумарний річний економічний ефект від використання вдосконаленого робочого органу сепарації в конструкціях картоплезбиральних машин склав: для комбайна DR-1500 – $39302,74$ грн. ($982,57$ грн. на 1 га); для комбайна AVR 220 – $57207,26$ грн. ($1430,18$ грн. на 1 га).



International Science Group
Journal
ISG-JOURNAL.COM



**INTERNATIONAL SCIENCE JOURNAL
OF ENGINEERING & AGRICULTURE**

ISSN 2720-6319

2025

VOL. 4, ISSUE 1

Лабораторні випробування розробленого робочого органу картоплезбиральної машини для підкопування та сепарації

Сергій Грушецький

Кафедра агроінженерії і системотехніки імені Михайла Самокиша, Заклад вищої освіти «Подільський державний університет», м. Кам'янець-Подільський, Україна

ORCID 0000-0002-0487-6152

Олександр Адамчук

Кафедра агроінженерії і системотехніки імені Михайла Самокиша, Заклад вищої освіти «Подільський державний університет», м. Кам'янець-Подільський, Україна

ORCID 0000-0002-0487-6152

Для цитування цієї статті:

Грушецький Сергій, Адамчук Олександр. Лабораторні випробування розробленого робочого органу картоплезбиральної машини для підкопування та сепарації. *International Science Journal of Engineering & Agriculture*. Vol. 4, No.X, 2025, pp. XX-XX.

doi: 10.46299/j.isjea.2024xxxx.xx.

Надійшла до редакції: 10 січня 2025 р.; **Схвалено:** xx xxxxx 2025 р.;

Опубліковано: xx xxxxx 2025 р.

Анотація: У статті представлені результати лабораторних випробувань розробленого підкопуваючо-сепаруючого робочого органу картоплезбиральної машини. Метою дослідження було оцінити ефективність та функціональність робочого органу, який поєднує підкопування картоплі з ґрунту та сепарацію коренеплодів від домішок (каміння, бур'янів та інших часток). У ході випробувань були проаналізовані основні параметри конструкції органу, динамічні характеристики, ефективність сепарації, а також вплив різних типів ґрунтів на якість роботи. Особливу увагу приділено енерговитратам та зносостійкості матеріалів. Результати досліджень дозволяють зробити висновки про доцільність використання запропонованого робочого органу в реальних умовах експлуатації, а також визначити необхідні напрямки для подальшого вдосконалення його конструкції.

Ключові слова: лабораторні випробування, робочий орган, картоплезбиральна машина, підкопування, сепарація, ефективність, механічні пошкодження, енерговитрати, зносостійкість, сепарація домішок, ґрунт, картопля, втрати продукції, конструкція робочого органу, польові випробування.

1. Вступ

Картопля є однією з найбільш поширених культур в Україні, її виробництвом займається переважна більшість вітчизняних господарств – від населення до великих агрофірм. Причому, близько 95% виробленої картоплі припадає на присадибні господарства, для яких характерні широке використання ручної праці на більшості технологічних операцій збирання та низька механізація процесу збирання загалом.

Збирання залишається найбільш ресурсозатратним процесом у виробництві картоплі, адже на сьогодні, як відомо, частка енерго- та працезатрат процесів збирання складає відповідно 50-60% та 60-70%. [1].

Як свідчать вітчизняні статистичні дані та ФАО, Україна практично щороку потрапляє у

16 Грушецький Сергій та ін.: Лабораторні випробування розробленого робочого органу картоплезбиральної машини для підкопування та сепарації

15) Hutsol, T., Firman, Ju., Komarnitsky, S. (2017). Modelling of the separation process of the potato stack. *Agricultural Engineering : czasopismo. Polskie Towarzystwo Inżynierii Rolniczej*, vol. 21. № 4, 27-35. <https://doi.org/10.1515/agriceng-2017-0033>.

16) Bonchik, V.S., Fedirko, P.P. (2015). Rezul'taty jeksperimental'nyh issledovaniy geometricheskikh parametrov kartofel'noj grjadki pri rabote kartofeleuborochnyh mashin. [The results of experimental studies of the geometric parameters of the potato beds during the work of potato harvesters]. *Motrol. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture*. vol. 17. № 5, 3-6.

17) Bulgakov, V., Nikolaenko, S., Adamchuk, V., & Olt, J. (2018). Theory of impact interaction between potato bodies and rebounding conveyor. *Agronomy Research*, 16(1), 52-63. <https://doi.org/10.15159/AR.18.037>.

18) Pascuzzi, S., Bulgakov, V., Santoro, F., Sotirios, A., Anifantis, Olt, J., & Nikolaenko, S. (2019). Theoretical study on sieving of potato heap elements in spiral separator. *Agronomy Research*, 17(1), 33-48. DOI: 10.15159/AR.19.073. 14(63) №. 1. <https://doi.org/10.31926/but.fwiafe.2021.14.63.1.12>.

Laboratory tests of the developed working body of a potato harvester for digging and separation

Sergii Hrushetskyi

Department of Agricultural Engineering and Systems Engineering named after Mykhailo Samokys, Institution of Higher Education "Podilskyi State University", Kamianets-Podilskyi, Ukraine

ORCID 0000-0002-0487-6152

Oleksandr Adamchuk

Department of Agricultural Engineering and Systems Engineering named after Mykhailo Samokys, Institution of Higher Education "Podilskyi State University", Kamianets-Podilskyi, Ukraine

ORCID 0000-0002-0487-6152

Abstract: The article presents the results of laboratory tests of the developed digging-separating working body of a potato harvester. The purpose of the study was to assess the efficiency and functionality of the working body, which combines digging potatoes from the soil and separating root crops from impurities (stones, weeds and other particles). During the tests, the main parameters of the body design, dynamic characteristics, separation efficiency, as well as the influence of different types of soils on the quality of work were analyzed. Special attention was paid to energy consumption and wear resistance of materials. The results of the studies allow us to draw conclusions about the feasibility of using the proposed working body in real operating conditions, as well as to identify the necessary directions for further improving its design.

Keywords: laboratory tests, working body, potato harvester, digging, separation, efficiency, mechanical damage, energy consumption, wear resistance, separation of impurities, soil, potatoes, product losses, working body design, field tests.

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАКЛАД ВИЩОЇ ОСВІТИ «ПОДІЛЬСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ»
ІНЖЕНЕРНО-ТЕХНІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ ЗВО «ПДУ»
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ВЕТЕРИНАРНОЇ МЕДИЦИНИ ТА БІОТЕХНОЛОГІЙ
ІМЕНІ С.З. ГЖИЦЬКОГО
ТОВАРИСТВО З ОБМЕЖЕНОЮ ВІДПОВІДАЛЬНІСТЮ «КОМПАНІЯ ЛАН»
ТОВАРИСТВО З ОБМЕЖЕНОЮ ВІДПОВІДАЛЬНІСТЮ «БОСАЛ УКРАЇНА»

ХІХ ВСЕУКРАЇНСЬКА НАУКОВО-ПРАКТИЧНА КОНФЕРЕНЦІЯ СТУДЕНТІВ ТА МОЛОДИХ НАУКОВЦІВ

«Перші наукові кроки – 2025»

17 квітня 2025 р.



*Кам'янець-Подільський
2025*

КЛАСИФІКАЦІЯ СЕПАРАТОРІВ КАРТОПЛЯНОГО ВОРОХУ ПРОСІВАЮЧОГО ТИПУ

Адамчук О.М. – здобувач вищої освіти спеціальності 208 «Агроінженерія»
Керівник – канд. техн. наук, доцент Грушецький С.М.

Заклад вищої освіти «Подільський державний університет»



Процес сепарації ґрунтових домішок характеризується руйнуванням однорідного шару ґрунту, що подається на сепаруючі робочі органи картоплезбиральних машин, і просіванням частинок крізь зазори. Просівання можливе за умови, якщо розмір просіваючих частинок менший, ніж розмір зазорів сепаруючих робочих органів. Руйнування шару ґрунту і грудок ґрунту на дрібні частинки протікає добре на ґрунтах, які мають оптимальну вологість, а особливо на піщаних і супіщаних. Глинисті і суглинисті ґрунти характеризуються тим, що при підвищеній або пониженій вологості утворюються міцні земляні грудки.

Простою конструкції відзначаються сепаратори картопляного вороху просіваючого типу (рис. 1). Питаннями вивчення цих сепараторів займалися такі вчені [1, 2] та інші.

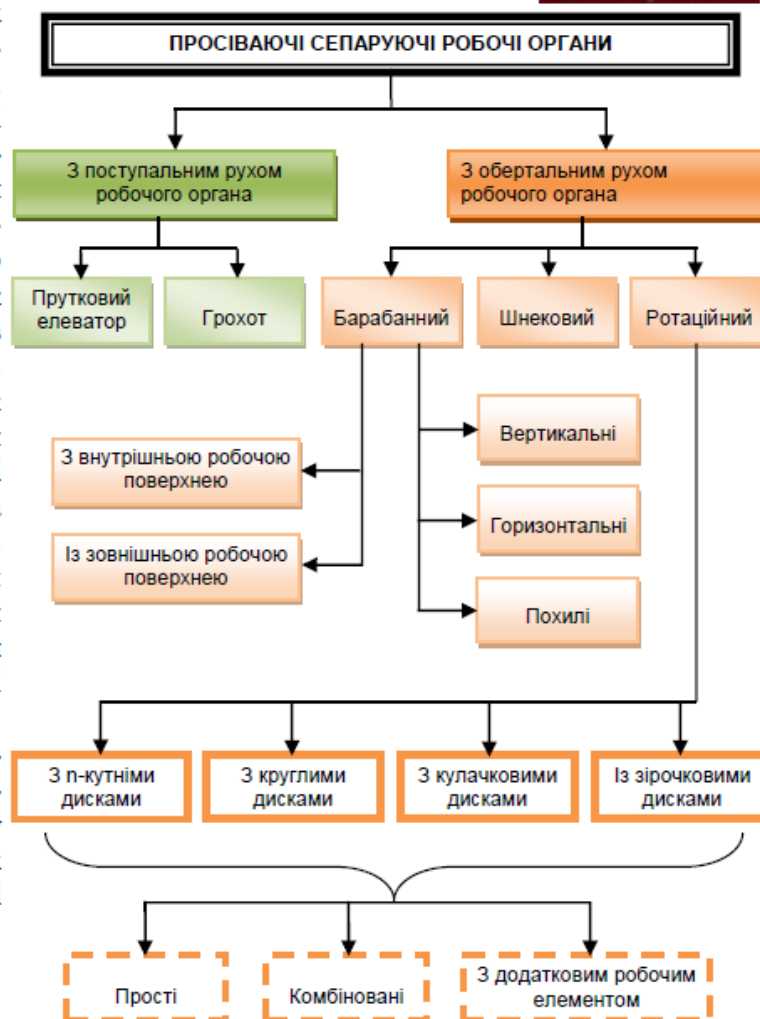


Рис. 1. Класифікація сепараторів картопляного вороху просіваючого типу

Висновки. Проведений аналіз конструкцій сепараторів картопляного вороху просіваючого типу підтвердив необхідність проведення досліджень щодо їх вдосконалення.

Список використаних джерел

1. Грушецький С.М., Яропуд В.М., Бабин І.А. Дослідження якості сепарації картопляного вороху підкопувальними робочими органами картоплезбиральної машини. *Журнал «Вібрації в техніці та технологіях»* № 1 (96). Вінниця, 2020. С. 125-140.
2. Грушецький С.М., Підлісний В.В. Способи активізації сепарації картопляного вороху. *«Механізація сільськогосподарського виробництва»* Випуск 179. Харків : ХНТУСГ ім. П. Василенка, 2020. С. 61-74.

КЛАСИФІКАЦІЯ СЕПАРУЮЧИХ РОБОЧИХ ОРГАНІВ КАРТОПЛЕЗБИРАЛЬНИХ МАШИН

Адамчук О.М. – здобувач вищої освіти спеціальності 208 «Агроінженерія»
Керівник – канд. техн. наук, доцент Грушецький С.М.



Заклад вищої освіти «Подільський державний університет»

В нашій країні, на жаль, вирощування картоплі у багатьох випадках здійснюється за старою, традиційною технологією. Потрібно негайно оновлювати техніку, що морально застаріла та вкрай зношена. Також постає проблема удосконалення існуючих та винайдення нових перспективних робочих органів картоплезбиральної техніки.

В даний час всі сепаруючі пристрої діляться на дві основні групи: органи первинної сепарації і органи вторинної сепарації (виносної сепарації). Органи первинної сепарації [1, 2] діляться на дві групи, призначені для відділення бульб від сухого, дрібного, сипучого ґрунту і відділення ґрунтових і рослинних домішок (видаляють бадилля). Органи вторинної сепарації – це в основному пальчаті гірки, різних конструкцій, які використовують-ся для доочистки бульб від дрібних ґрунтових і рослинних домішок. Схема класифікації органів сепарації представлена на рис. 1.

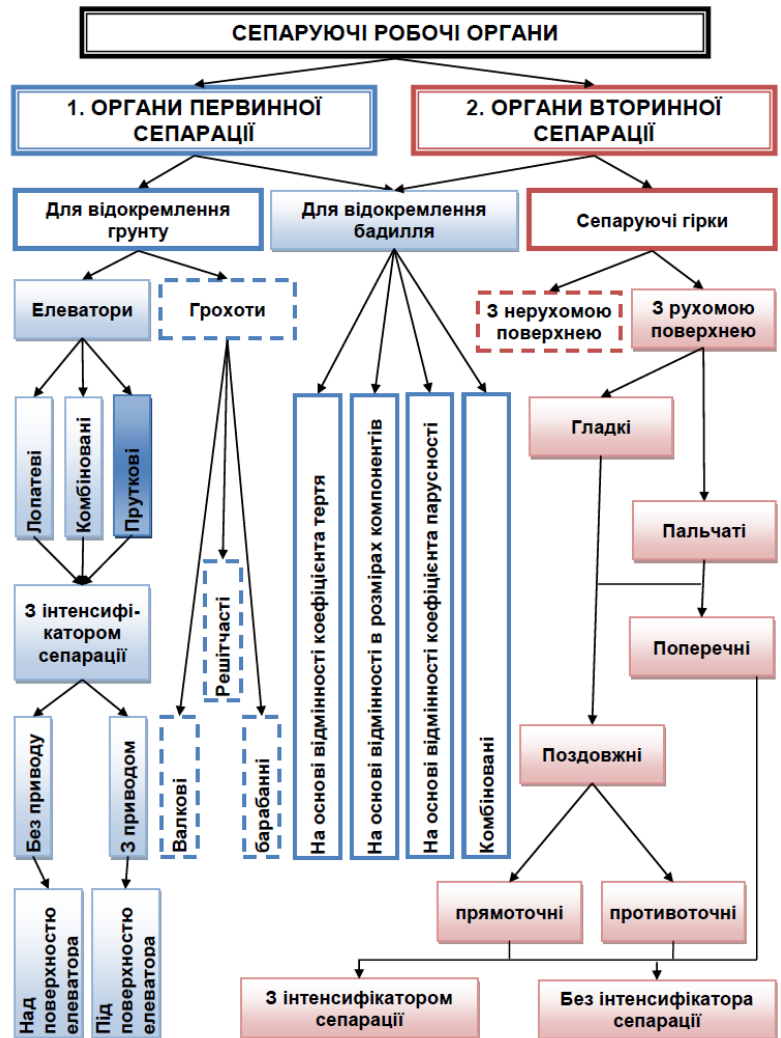


Рис. 1. Класифікація сепаруючих робочих органів картоплезбиральних машин

Висновки. Перспективним шляхом зниження пошкоджень бульб на робочому органі сепарації є впровадження в його конструкцію пружних елементів обмеження контакту картопляного вороху з пошкоджуючими поверхнями збиральних машин.

Список використаних джерел

1. Hrushetskyi S., Yaropud V., Kupchuk I., Semenushena R. The heap parts movement on the share-board surface of the potato. *Harvesting machine bulletin of the Transilvania university of Braşov series II: forestry wood Industry agricultural food engineering*. Transilvania, 2021. S. 127-140. Vol. 14(63) №. 1.
2. Грушецький С.М., Підлісний В.В. Аналіз конструкцій та результати досліджень сепараторів картопляного вороху. *Сучасний рух науки: тези доп. VI міжнародної науково-практичної інтернет-конференції журналу «WayScience», 4-5 квітня 2019 р. Дніпро, 2019. С. 274-282.*

ВІДОМОСТІ
про автора та наукового керівника наукової роботи
«KARTOPLEKOPACH»

Автор

Науковий керівник

1. Прізвище Адамчук
2. Ім'я (повністю) Олександр
3. По батькові Миколайович
4. Повне найменування та місцезнаходження вищого навчального закладу, у якому навчається автор Заклад вищої освіти «Подільський державний університет», вул. Шевченка, 12, м. Кам'янець-Подільський, Хмельницька область, 32316
5. Факультет інженерно-технічний
6. Курс (рік навчання) 1 магістр
7. Результати роботи подано:
 1. 2024р. Заявка на патент № u202401497 «Роторна коренебульбозбиральна машина»;
 2. 2025р. Laboratory tests of the developed working body of a potato harvester for digging and separation. Engineering & Agriculture.
 3. 2025р. Класифікація сепараторів картопляного вороху просіваючого типу. ЗВО «ПДУ».
8. Результати роботи впроваджено:
 1. 2024р. ТзОВ «Адамівка Агро» Хмельницького району Хмельницької області.
9. Телефон, e-mail тел. м. 068-561-68-23

1. Прізвище Грушецький
2. Ім'я (повністю) Сергій
3. По батькові Миколайович
4. Місце роботи, телефон, e-mail Заклад вищої освіти «Подільський державний університет», тел. м. 067-931-65-62 e-mail g.sergiy.1969@gmail.com
5. Посада доцент
6. Науковий ступінь к.т.н.
7. Вчене звання доцент

Науковий керівник

(підпис)

Сергій ГРУШЕЦЬКИЙ

Автор роботи

(підпис)

Олександр АДАМЧУК