МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ПОЛІСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет інженерії та енергетики
Кафедра агроінженерії та технічного сервісу

Кваліфікаційна робота
на правах рукопису

ОПАНАСЮК ІВАН ОЛЕКСАНДРОВИЧ

УДК 633.1:632.3

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ЗБИРАННЯ ЦУКРОВИХ БУРЯКІВ З МОДЕРНІЗАЦІЄЮ КОРЕНЕЗБИРАЛЬНОЇ МАШИНИ

208 “Агроінженерія”
Подається на здобуття освітнього ступеня бакалавр

Кваліфікаційна робота містить результати власних розробок. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело
_____І. О. Опанасюк

Керівник роботи
Грабар І. Г.
доктор технічних наук, професор

Житомир – 2026

АНОТАЦІЯ

Опанасюк Іван Олександрович. Удосконалення технологічного процесу збирання цукрових буряків з модернізацією коренезбиральної машини. – *Кваліфікаційна робота на правах рукопису.*

Кваліфікаційна робота на здобуття першого освітнього ступеня бакалавр зі спеціальності 208 «Агроінженерія». – *Поліський національний університет, Житомир, 2026.*

Робота присвячена удосконаленню технологічного процесу збирання цукрових буряків шляхом модернізації конструкції коренезбиральної машини з метою підвищення ефективності виконання технологічного процесу.

У роботі проведено аналіз сучасних технологій вирощування та збирання цукрових буряків, досліджено конструкції існуючих коренезбиральних машин і викопувальних робочих органів, визначено їх переваги та недоліки. На підставі проведеного аналізу обґрунтовано напрям удосконалення технологічного процесу та розроблено модернізовану конструкцію коренезбиральної машини.

Виконано конструктивні, технологічні та експлуатаційні розрахунки модернізованого вузла, визначено основні параметри його роботи та оцінено вплив запропонованих змін на показники ефективності технологічного процесу. Проведено розрахунок операційно-технологічних показників машинно-тракторного агрегату, продуктивності та питомих витрат енергії під час виконання збиральних робіт.

Виконано техніко-економічне обґрунтування запропонованого технічного рішення, яке підтвердило доцільність впровадження модернізованої конструкції.

***Ключові слова**: цукрові буряки, технологічний процес збирання, коренезбиральна машина, викопувальний робочий орган, модернізація, продуктивність, втрати коренеплодів, машинно-тракторний агрегат, техніко-економічна ефективність.*

ABSTRACT

Ivan Opanasiuk. Improvement of the Technological Process of Sugar Beet Harvesting through the Modernization of a Root Harvesting Machine. – *Qualification Thesis Manuscript*.

Qualification thesis submitted for obtaining the Bachelor's degree in Specialty 208 "Agroengineering". – *Polissia National University, Zhytomyr, 2026.*

The thesis is devoted to the improvement of the technological process of sugar beet harvesting through the modernization of a root harvesting machine in order to increase the efficiency of the harvesting process.

The study includes an analysis of modern technologies for sugar beet cultivation and harvesting, as well as an investigation of the designs of existing root harvesting machines and digging working bodies, identifying their advantages and disadvantages.

Based on the conducted analysis, the direction for improving the harvesting process was substantiated, and a modernized design of a root harvesting machine was developed.

Design, technological, and operational calculations of the modernized unit were performed. The main operating parameters were determined, and the influence of the proposed modifications on the efficiency indicators of the technological process was evaluated. Operational and technological parameters of the machine-and-tractor unit, productivity, and specific energy consumption during harvesting operations were calculated.

A technical and economic assessment of the proposed engineering solution was carried out, confirming the feasibility of implementing the modernized design.

Keywords: *sugar beet, harvesting technological process, root harvesting machine, digging working body, modernization, productivity, root crop losses, machine-and-tractor unit, technical and economic efficiency.*

ЗМІСТ

ВСТУП

1. АНАЛІЗ СУЧАСНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ТА КОНСТРУКЦІЙ КОРЕНЕЗБИРАЛЬНИХ МАШИН

1.1. Сучасні технології збирання цукрових буряків……...7

1.2. Аналіз конструкцій гичкозрізувальних апаратів…….…8

1.3. Аналіз викопувальних робочих органів……...9

1.4. Порівняльний аналіз сучасних коренезбиральних комбайнів…..….14

1.5. Огляд наукових досліджень у галузі механізації збирання цукрових буряків за 2020–2025 рр…….16

Висновки до розділу 1……..19

2.ОБГРУНТУВАННЯ ПАРАМКТРІВ ЗАПРОПОНОВАНОГО КОПАЧА КОРЕНЕПЛОДІВ

2.1 Обґрунтування робочих органів для викопування цукрових буряків в виробничих умовах ……21

2.2 Розрахунок технологічних параметрів копача……22

2.3 Розрахунки на міцність елементів конструкції……..28

Висновки до розділу 2……31

3. РОЗРОБКА ОПЕРАЦІЙНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ КОМБАЙНОВОГО ЗБИРАННЯ ЦУКРОВИХ БУРЯКІВ

3.1 Технології збирання та агротехнічні вимоги до них……33

3.2. Регулювання МТА…….….37

3.3 Підготовка поля до роботи……39

3.4. Робота агрегатів у загінці……..40

3.5 Розрахунок експлуатаційних показників МТА……...41

Висновки до розділу 3…….…46

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ…….…...48

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ……..…49

ВСТУП

Ефективність виробництва цукрових буряків значною мірою залежить від рівня механізації технологічних процесів, особливо під час збирання врожаю, коли втрати коренеплодів та пошкодження можуть суттєво впливати на економічні показники господарств.

Сучасні технології збирання цукрових буряків базуються на використанні високопродуктивних бурякозбиральних машин, які виконують комплекс операцій з викопування, очищення, транспортування та навантаження коренеплодів. Проте експлуатація існуючих технічних засобів показує, що їх робочі органи не завжди забезпечують належну якість виконання технологічного процесу в різних ґрунтово-кліматичних умовах. Це призводить до підвищення втрат коренеплодів, їх механічного пошкодження, збільшення енерговитрат та зниження продуктивності машинно-тракторних агрегатів.

Одним із напрямів підвищення ефективності збирання цукрових буряків є удосконалення конструкції викопувальних робочих органів коренезбиральних машин. Модернізація таких вузлів дозволяє покращити процес підкопування та вилучення коренеплодів із ґрунту, зменшити їх пошкодження, забезпечити стабільність роботи машини та підвищити її техніко-економічні показники.

У зв’язку з цим актуальним є проведення досліджень по вдосконаленню технологічного процесу збирання цукрових буряків шляхом модернізації коренезбиральної машини та обґрунтування параметрів її робочих органів.

Метою роботи є підвищення ефективності технологічного процесу збирання цукрових буряків шляхом модернізації конструкції коренезбиральної машини.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

– провести аналіз сучасних технологій та конструкції існуючих коренезбиральних машин, виявити основні недоліки існуючих технічних рішень; модернізувати конструкцію коренезбиральної машини;

– виконати конструктивно-технологічні розрахунки модернізованого вузла;

– визначити операційно-технологічні показники роботи машинно-тракторного агрегату.

Об'єктом роботи є технологічний процес збирання цукрових буряків.

Предметом роботи є конструктивно-технологічні параметри збиральної машини та їх вплив на ефективність виконання збиральних робіт.

Практичне значення роботи полягає в розробленні модернізованої конструкції коренезбиральної машини, що сприятиме підвищенню продуктивності збиральних агрегатів, зменшенню втрат і пошкоджень коренеплодів, зниженню енерговитрат та техніко-економічних показників виробництва цукрових буряків.

Методи дослідження: використовувалися методи аналізу та узагальнення науково-технічної літератури, патентної та нормативної документації, інженерного проєктування конструктивних параметрів технічних засобів.

Перелік публікацій автора за темою роботи:

1. Опанасюк І. О. Модель роторного очисника коренеплодів цукрових буряків. Студентські читання–2025: матер. наук.-практ. конф. Житомир: Поліський національний університет, 2025. Т2. С. 17-20.
2. Опанасюк І. О. Обгрунтування будови експериментального зразка навісної 3-х рядної коренезбиральної машини Зб. Тез *XII Всеукраїнської науково-практичної конференції* «Перспективи і тенденції розвитку конструкцій та технічного сервісу сільськогосподарських машин і знарядь» Житомир: ЖАТФК, 2026. С.73-75.

Структура та обсяг роботи. Кваліфікаційна робота складається зі вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел з 25 найменувань. Загальний обсяг роботи становить 50 сторінок комп'ютерного тексту, 15 рисунків, 1 таблиця.

1. АНАЛІЗ СУЧАСНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ТА КОНСТРУКЦІЙ КОРЕНЕЗБИРАЛЬНИХ МАШИН

1.1. Сучасні технології збирання цукрових буряків

Цукрові буряки є однією з найважливіших технічних культур, що забезпечують сировиною цукрову промисловість. Ефективність виробництва цукрових буряків значною мірою залежить від якості та своєчасності виконання технологічних операцій, серед яких найбільш складним і відповідальним є процес збирання врожаю.[1,2]

За останні десятиліття технології збирання буряків зазнали суттєвих змін. Від використання простих причіпних машин та роздільного способу збирання виробники перейшли до високопродуктивних самохідних комбайнів, які виконують весь комплекс технологічних операцій за один прохід. Сучасні бурякозбиральні комплекси поєднують у собі системи автоматичного керування, електронного контролю технологічного процесу, супутникової навігації та автоматичного водіння. [2]

Основними напрямами розвитку сучасних коренезбиральних машин є: [1,3]

- підвищення продуктивності;
- зменшення втрат урожаю;
- зниження пошкодження коренеплодів;
- зменшення енергоємності процесу;
- зниження ущільнення ґрунту;
- автоматизація технологічних операцій;
- впровадження елементів точного землеробства.

На сучасному ринку найбільш поширеними є самохідні комбайни компаній Holmer, Ropa, Grimme та Kleine, які забезпечують продуктивність до 3…4 га/год і здатні збирати понад 150…250 т коренеплодів за годину роботи. [4]

1.1.2 Технологічний процес збирання цукрових буряків

Технологічний процес роботи сучасного бурякозбирального комбайна включає декілька взаємопов'язаних операцій.

Спочатку виконується копіювання рядків та наведення робочих органів на рядок буряків. Далі здійснюється видалення гички, очищення головок коренеплодів та їх викопування із ґрунту. Після цього коренеплоди надходять до системи очищення, де відокремлюються ґрунтові домішки та рослинні рештки. Очищені буряки транспортуються до накопичувального бункера, звідки перевантажуються у транспортні засоби. [4,5]

Якість виконання технологічного процесу оцінюється за такими показниками: [5]

- повнота викопування коренеплодів;
- втрати врожаю;
- ступінь пошкодження коренеплодів;
- чистота вороху;
- продуктивність машини;
- витрати палива.

Найбільший вплив на якість збирання мають конструкція викопувального апарата та система очищення коренеплодів. [6]

1.2. Аналіз конструкцій гичкозрізувальних апаратів

Першою операцією технологічного процесу є видалення листкової маси. Для цього застосовуються різні типи гичкозрізувальних апаратів. [12]

Найбільшого поширення набули роторні гичкозрізувачі з горизонтальним розташуванням робочого органа. Їх принцип роботи полягає у зрізуванні листкової маси швидкообертовими ножами. [13]

Основними перевагами таких апаратів є висока продуктивність та простота конструкції. Водночас вони мають низку недоліків, серед яких нерівномірність зрізу, втрати цукроносної частини головки та підвищений знос ножів. [14]

Для підвищення якості роботи після зрізування гички використовують скальпуючі пристрої, які забезпечують остаточне очищення головок коренеплодів від залишків листків. Проте ефективність їх роботи значною мірою залежить від рівномірності розміщення буряків у рядках та точності налаштування копіювальних механізмів. [12]

1.3. Аналіз викопувальних робочих органів

Викопувальний апарат є основним робочим органом коренезбиральної машини, від якого залежить величина втрат урожаю та пошкодження коренеплодів.[13,14]

У сучасних машинах використовуються три основні типи викопувальних органів: лемішні, дискові та вильчасті.

Лемішні копачі (рис. 1.1.)працюють за принципом підрізання шару ґрунту під коренеплодом із подальшим його підніманням на сепарувальні органи. Такі робочі органи відрізняються простотою конструкції та високою надійністю. Проте вони захоплюють значну кількість ґрунту, що збільшує навантаження на очисну систему та підвищує витрати енергії. [13,14]

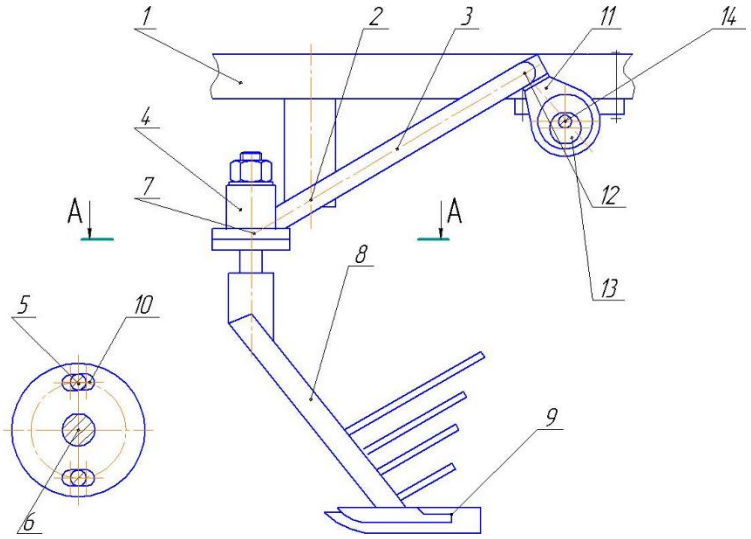


Рис. 1.1. Лемішний вібраційний викопувальний пристрій (патент №2090998).

1 – рама; 2,12 - шарнір; 3 – коромисло; 4,7- флянець; 5 – палець; 6 – вісь; 8 – стовба; 9 – леміш; 10 - паз продовгуватий; 11- важіль; 13- ексцентрик; 14- привідни вал.

Більш досконалими вважаються дискові копачі (рис.1.2.), які набули найбільшого поширення у сучасних комбайнах. Два конічні диски входять у ґрунт по обидва боки рядка, стискають коренеплід і піднімають його на поверхню. Таке рішення дозволяє зменшити тяговий опір та покращити якість викопування. [13,14]

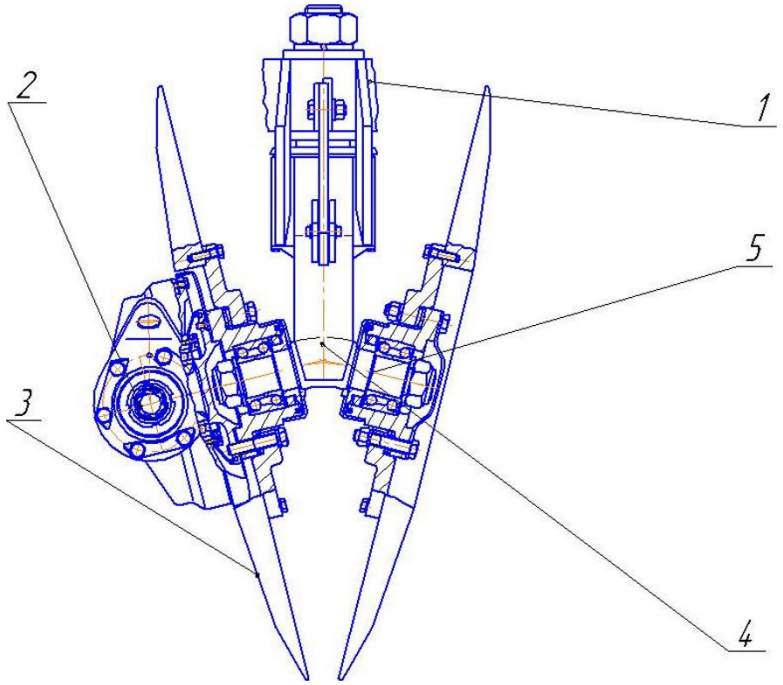


Рис. 1.2. Копач дисковий (патент №483079)

1 – рама; 2 – редуктор; 3 – диск; 4 – стійка; 5 – вісь.

До переваг дискових копачів належать:

- менший тяговий опір;
- висока якість копіювання рядка;
- зменшення пошкодження коренеплодів;
- висока продуктивність.

Разом із тим вони характеризуються значним абразивним зносом робочих поверхонь і потребують точного регулювання. [13,14]

Вильчасті викопувальні органи використовуються переважно на сучасних високопродуктивних машинах (рис. 1.3., 1.4., 1.5.).

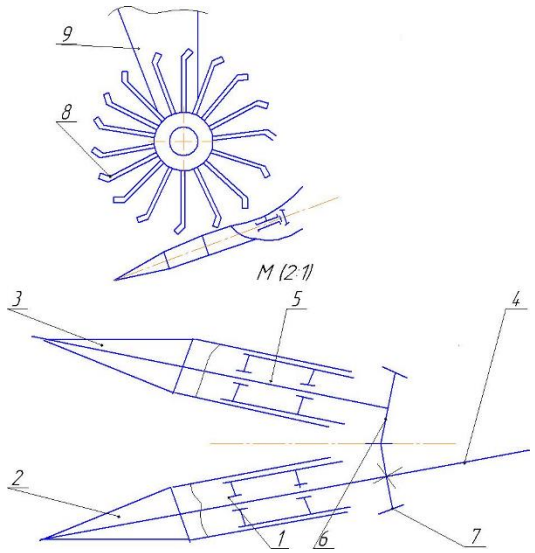


Рис. 1.3 Копач ротаційний конусний (патент №694121).

1 – корпус копача; 2,3 - накінечники; 4 – вал горизонтальний; 5 – вал перехресний; 6,7 – шестерні конічні; 8 – коренезабірник; 9 – стовба.

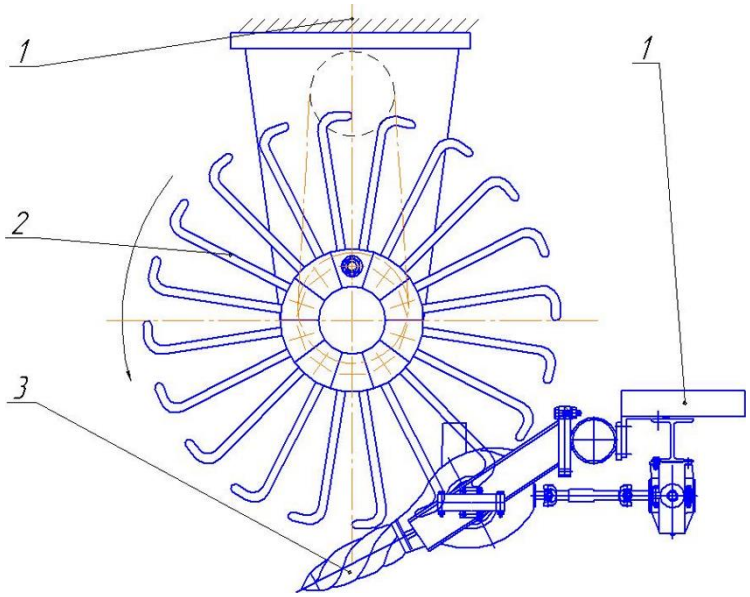


Рис. 1.4. Вилка роторна активна (патент №1134130)

1 – підрамник копача; 2 – ротор-коренезабірник; 3 – вилка активна.

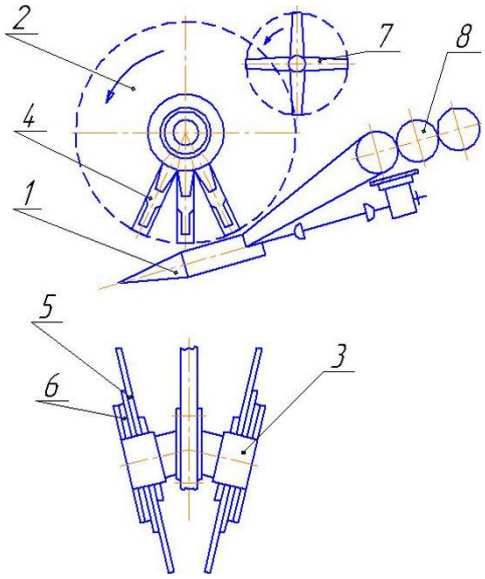


Рис. 1.5 Викопуючий пристрій (патент №793455)

1 – копач вилковий; 2 – диск коренезабірний; 3 – маточина; 4 – диск захоплювач; 5 – смуга гнучка; 6 – кільце пружне; 7 – відбійний бітер; 8 – шнековий транспортер.

Вони забезпечують найвищу повноту викопування та мінімальні втрати врожаю, проте відзначаються складністю конструкції та високою вартістю виготовлення.

1.3.1 Аналіз очисних систем коренезбиральних машин

Після викопування коренеплоди разом із ґрунтом і рослинними рештками надходять до очисної системи. Ефективність очищення суттєво впливає на якість продукції та навантаження на транспортні засоби. [11,13,14]

У сучасних комбайнах використовуються такі типи очисних органів:

- пруткові транспортери;
- турбіни очищення;
- роликові сепаратори;
- бітери;

- шнекові сепаратори.

Пруткові транспортери виконують первинне очищення шляхом просіювання ґрунту через проміжки між прутками. Основною їх перевагою є простота конструкції. Недоліком є зниження ефективності роботи на вологих ґрунтах. [14]

Турбіни очищення забезпечують інтенсивне відокремлення ґрунту та рослинних домішок завдяки обертанню лопатей. Проте надмірна інтенсивність очищення часто призводить до пошкодження коренеплодів. [15]

Для остаточного очищення застосовують роликові сепаратори, які ефективно видаляють залишки гички та грудки ґрунту. Однак такі системи є досить складними та дорогими у виробництві.

1.3.2 Аналіз ходових систем сучасних комбайнів

Однією з головних проблем сучасних бурякозбиральних машин є їх велика маса. Маса самохідного комбайна без завантаження становить 25…35 т, а з повним бункером може перевищувати 50 т.

Велика маса призводить до:

- ущільнення ґрунту;
- погіршення його структури;
- зменшення водопроникності;
- погіршення умов розвитку кореневої системи наступних культур.

Для зниження негативного впливу виробники застосовують широкопрофільні шини низького тиску та системи автоматичного регулювання тиску в шинах. Деякі моделі оснащуються гусеничними рушіями, які забезпечують краще розподілення навантаження на поверхню поля. [15]

Незважаючи на це, проблема ущільнення ґрунту залишається актуальною і потребує подальшого вдосконалення конструкцій ходових систем.

1.4. Порівняльний аналіз сучасних коренезбиральних комбайнів

Провідні світові виробники використовують подібні технологічні схеми роботи. Основні відмінності полягають у конструкції систем очищення, місткості бункера, потужності двигуна та рівні автоматизації.

Сучасні машини забезпечують високу продуктивність, однак їх експлуатація пов'язана зі значними капітальними та енергетичними витратами. Зі збільшенням продуктивності зростає маса машин, що негативно впливає на агрофізичні властивості ґрунту.

Проведений аналіз сучасних конструкцій коренезбиральних машин (табл.1.1.) дозволив встановити ряд недоліків, які обмежують ефективність їх використання. Наведені моделі є найбільш поширеними у країнах Європи та використовуються як еталонні зразки сучасної бурякозбиральної техніки. Дані узагальнені за матеріалами виробників. [6,7,8,9]

Таблиця 1.1

№	Модель комбайна	Виробник	Кількість рядків	Потужність двигуна, к.с.	Об'єм бункера, м³	Маса, т	Тип викопувального органа	Особливості конструкції
1	Terra Dos 5-40	Holmer	6	652	45	32–34	Вібро-лемішний	Автоматичне водіння, телеметрія, низький тиск на ґрунт
2	Terra Dos 5-30	Holmer	6	652	30	27–29	Вібро-лемішний	Полегшена двовісна конструкція (Holmer Maschinenbau GmbH)
3	Tiger 6S	Ropa	6	768	43	33–35	Дисковий	Висока продуктивність, система R-Concept
4	Panther 2S	Ropa	6	700	30	27–29	Дисковий	Компактна конструкція
5	Maus 6	Ropa	—	354	0	21	—	Самохідний перевантажувач буряків

6	Rexor 6300	Grimme	6	653	45	32,5	Дисковий (Oppel)	7 очисних вальців, система Speedtronic (products.grimme.com)
7	Rexor 6200	Grimme	6	653	30	30–31	Дисковий	Менша маса, висока маневровість (products.grimme.com)
8	Maxtron 620	Grimme	6	530	20	24–26	Вильчасто-дисковий	Універсальна машина для коренеплодів
9	SF 10-2	Kleine	6	625	40	31–33	Вібро-лемішний	Потужна система очищення
10	RL 200 MF	Kleine	6	600	30	28–30	Дисковий	Висока якість очищення
11	Beet Eater 6250	Agrifac	6	625	28	25–27	Дисковий	Чотириколісне керування
12	Beet Eater 5300	Agrifac	6	530	24	24–25	Вібро-лемішний	Економічна модель
13	Rootster 604	Vervaet	6	550	32	28–30	Дисковий	Шарнірно-зчленована рама
14	Q-616	Vervaet	6	610	35	30–32	Дисковий	Висока прохідність
15	Euro Tiger V8-4	Ropa	8	796	43	35–38	Дисковий	Найвища продуктивність серед серійних машин

Порівняльний аналіз показує, що провідними виробниками бурякозбиральної техніки є компанії Holmer, Ropa, Grimme, Kleine, Agrifac та Vervaet. Більшість сучасних комбайнів мають шестирядне виконання, потужність двигунів 500–800 к.с. та бункери місткістю 30–45 м³. Основним типом викопувального органа залишаються дискові копачі, які забезпечують мінімальні втрати врожаю та високу якість викопування.

Порівняльна характеристика сучасних самохідних бурякозбиральних комбайнів

До основних технологічних недоліків належать:

- втрати коренеплодів під час викопування;
- обламування хвостової частини коренеплодів;
- пошкодження поверхні буряків;
- залежність якості роботи від стану ґрунту;
- зниження ефективності очищення за підвищеної вологості.

Конструктивними недоліками є:

- складність викопувальних апаратів;
- значна кількість рухомих елементів;
- інтенсивний абразивний знос деталей;
- висока матеріалоємність конструкцій.

До енергетичних недоліків належать:

- високі витрати палива;
- значні витрати енергії на сепарацію вороху;
- необхідність використання двигунів великої потужності.

Експлуатаційні недоліки включають:

- високу вартість машин;
- значні витрати на ремонт і сервіс;
- складність налаштування робочих органів;
- потребу у висококваліфікованому персоналі.
-

1.5. Огляд наукових досліджень у галузі механізації збирання цукрових буряків за 2020–2025 рр.

Упродовж 2020–2025 років дослідження в галузі механізації збирання цукрових буряків були спрямовані на підвищення якості викопування коренеплодів, зменшення їх механічного пошкодження, удосконалення систем очищення та впровадження цифрових технологій контролю технологічного процесу. Значна увага приділялася питанням адаптації коренезбиральних машин

до різних ґрунтово-кліматичних умов, підвищенню енергоефективності та зниженню негативного впливу техніки на ґрунт.[1,15,16]

Одним із перспективних напрямів сучасних досліджень є удосконалення процесу видалення гички перед викопуванням коренеплодів. У роботах українських та європейських учених було досліджено параметри роторних гичкозрізувальних апаратів і вплив їх кінематичних характеристик на якість зрізування головок буряків. Встановлено, що стабілізація положення робочого органа та зменшення його вертикальних коливань дозволяє підвищити точність зрізування та знизити втрати цукроносної частини коренеплодів. Особливу увагу приділено дослідженню динаміки фронтально навішених гичкозбиральних машин, для яких обґрунтовано раціональні параметри підвіски та опорних коліс.

Важливим напрямом досліджень залишається вдосконалення викопувальних робочих органів. Науковцями встановлено, що ефективність викопування значною мірою залежить від фізико-механічних властивостей коренеплодів, глибини їх залягання та вологості ґрунту. Проведені експериментальні дослідження показали, що збільшення вологості ґрунту призводить до зростання кількості налиплого ґрунту на поверхні коренеплодів, що погіршує роботу сепараційних систем і підвищує енерговитрати процесу збирання. Встановлено також залежності між геометричними параметрами коренеплодів та ефективністю роботи дискових і комбінованих копачів.[16,17]

Суттєва кількість наукових робіт присвячена проблемі механічного пошкодження коренеплодів під час збирання. Доведено, що навіть незначні пошкодження поверхні буряків можуть призводити до інтенсивних втрат цукру під час зберігання, розвитку мікробіологічних процесів та погіршення технологічних показників сировини. Дослідження показали, що ступінь пошкодження коренеплодів залежить як від налаштувань комбайна, так і від фізіологічного стану рослин та вологості тканин коренеплодів. Встановлено, що

за підвищеної вологості коренеплоди є більш чутливими до ударних навантажень і механічних деформацій.

Одним із найбільш перспективних напрямів сучасної науки є використання технологій комп'ютерного зору та штучного інтелекту для контролю якості збирання. У 2021 році було запропоновано систему автоматичного виявлення механічних пошкоджень цукрових буряків на основі згорткових нейронних мереж. Результати досліджень показали високу точність класифікації пошкоджень, що створює передумови для автоматизованого моніторингу роботи коренезбиральних машин у реальному часі. Такий підхід дозволяє оперативно виявляти відхилення технологічного процесу та коригувати режими роботи комбайна без втручання оператора.[18,19]

Подальший розвиток цифрових технологій пов'язаний із застосуванням систем машинного навчання для оцінювання стану коренеплодів після збирання та під час зберігання. У 2025 році було представлено спеціалізований набір даних SemanticSugarBeets та методику автоматизованої оцінки пошкоджень, забруднення ґрунтом і рослинними рештками на поверхні коренеплодів. Розроблені алгоритми забезпечують високі показники точності розпізнавання та можуть бути використані при створенні інтелектуальних систем контролю якості продукції на бурякоприймальних пунктах і цукрових заводах.

Значна увага в сучасних дослідженнях приділяється впливу коренезбиральної техніки на ґрунт. У роботах німецьких дослідників встановлено, що під час механізованого збирання буряків разом із коренеплодами може виноситися значна кількість ґрунту. Величина таких втрат залежить від типу ґрунту, його вологості та конструкції очисних систем комбайна. Вченими розроблено нові математичні моделі для прогнозування втрат ґрунту при роботі сучасних високопродуктивних бурякозбиральних машин. Отримані результати підтверджують необхідність подальшого вдосконалення сепараційних систем і робочих органів викопування.[1,15]

Упродовж останніх років активно розвиваються дослідження, спрямовані на впровадження елементів точного землеробства у технологію збирання цукрових буряків. Сучасні комбайни обладнуються GPS-навігацією, автоматичними системами ведення по рядках, датчиками контролю глибини викопування та телеметричними комплексами. Це дозволяє підвищити продуктивність машинно-тракторних агрегатів, зменшити втрати врожаю та скоротити витрати палива.[19]

Аналіз наукових публікацій свідчить, що основними напрямами подальших досліджень залишаються удосконалення конструкцій викопувальних робочих органів, зниження пошкодження коренеплодів, підвищення ефективності очищення вороху від ґрунтових домішок, мінімізація ущільнення ґрунту та впровадження інтелектуальних систем керування технологічним процесом.

Висновки до розділу 1.

У результаті проведеного аналізу встановлено, що сучасні коренезбиральні машини забезпечують високий рівень механізації процесу збирання цукрових буряків та характеризуються значною продуктивністю. Найбільш поширеними є самохідні шестирядні комбайни з дисковими викопувальними робочими органами та багатоступеневими системами очищення.

Разом із тим існуючі конструкції мають низку суттєвих недоліків: значні енергетичні витрати, високу масу, інтенсивний знос робочих органів, пошкодження коренеплодів і залежність якості роботи від ґрунтових умов. Найбільш проблемним вузлом залишається викопувальний апарат, від якого безпосередньо залежать втрати врожаю та якість зібраної продукції.

Отже, подальше вдосконалення коренезбиральних машин доцільно спрямовувати на модернізацію викопувальних робочих органів, підвищення

ефективності очищення коренеплодів, зниження енергоємності технологічного процесу та зменшення негативного впливу машин на ґрунт.

Аналіз наукових досліджень 2020–2025 років показав, що розвиток коренезбиральної техніки здійснюється у напрямі підвищення якості викопування коренеплодів, автоматизації процесів контролю та зменшення механічних пошкоджень урожаю. Найбільш перспективними напрямами є модернізація викопувальних робочих органів, використання систем комп'ютерного зору для контролю якості збирання, удосконалення сепараційних систем та зниження негативного впливу техніки на ґрунт. Проведений огляд підтверджує актуальність досліджень, пов'язаних з удосконаленням конструкції викопувального апарата коренезбиральної машини, що дозволить підвищити ефективність технологічного процесу збирання цукрових буряків.

2.ОБГРУНТУВАННЯ ПАРАМКТРІВ ЗАПРОПОНОВАНОГО КОПАЧА КОРЕНЕПЛОДІВ

2.1 Обґрунтування робочих органів для викопування цукрових буряків в виробничих умовах

Процес збирання коренеплодів цукрових буряків здійснюється в складних ґрунтово-кліматичних умовах, які характеризуються підвищеною вологістю ґрунту та значною мінливістю його фізико-механічних властивостей. У виробничих умовах викопування коренеплодів нерідко виконується як на вологих, так і на перезволожених ґрунтах. Недостатня якість підготовки поля до збирання, а також несприятливі погодні умови призводять до зростання енерговитрат і трудомісткості технологічного процесу. При цьому одним із головних критеріїв ефективності роботи коренезбиральної машини є забезпечення мінімального рівня механічного пошкодження коренеплодів під час їх викопування та подальшого транспортування.

Коренекопачі з вильчастими робочими органами ефективно функціонують переважно на легких за механічним складом ґрунтах. За роботи на важких і перезволожених ґрунтах їх продуктивність та якість виконання технологічного процесу істотно знижуються. Водночас даний тип викопувальних органів характеризується відносно низькою енергоємністю та меншим рівнем пошкодження коренеплодів порівняно з дисковими та лемішними конструкціями. Однак з урахуванням ґрунтових умов господарства використання вильчастих коренекопачів є недостатньо ефективним і недоцільним.

Дискові викопувальні робочі органи забезпечують задовільну якість викопування, проте характеризуються підвищеним рівнем механічного впливу на коренеплоди, що спричиняє збільшення їх пошкоджуваності порівняно з конструкціями, оснащеними активними вильчастими механізмами.

З огляду на ґрунтово-кліматичні умови експлуатації та вимоги до надійності технологічного процесу, за прототип доцільно прийняти коренекопач із лемішними викопувальними робочими органами. Практика експлуатації сучасних бурякозбиральних комбайнів, зокрема ROPA та Valtra, свідчить про високу надійність і ефективність лемішних викопувальних систем під час роботи в складних ґрунтових умовах, що обумовлює їх широке застосування у сучасних технологіях збирання цукрових буряків.

2.2 Розрахунок технологічних параметрів копача

2.2.1 Обґрунтування режиму роботи

Для визначення режимів роботи викопуючого пристрою наведемо його схему (рис. 2.1).

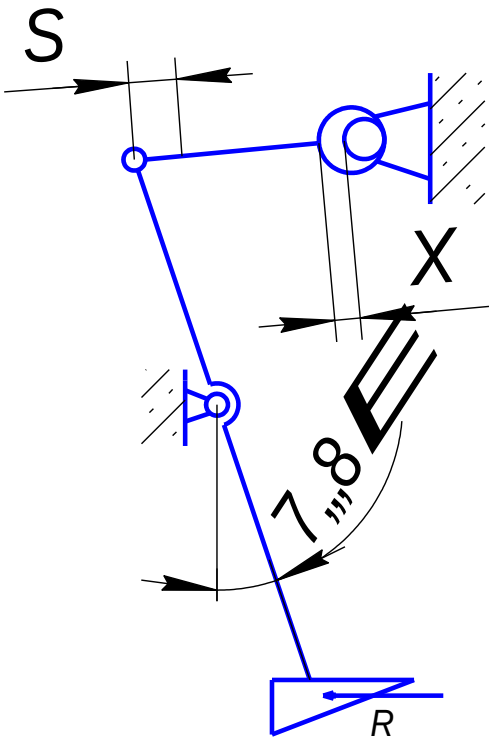


Рис. 2.1 Схема проектованого викопуючого пристрою

Для даного копача до коренезбиральної машини РКС-6 «Обрій» приймаємо параметри з машин-прототипів. Зокрема:

- частота коливань – 5…6$с^{-1}$;
- амплітуда коливань – 7…8º.

Визначимо хід шатуна. Згідно схеми роботи [10]:

$$S=x; \tag{2.1}$$

$$S=x=45мм.$$

Приймемо робоче значення частоти колива 6 коливань/с, тоді частота обертання вала копачів буде рівна:

$$N=n\cdot k; \tag{2.2}$$

$$N=6\cdot 60=360 \text{ об/хв.}$$

$$\omega k = \pi\, nk/30; \tag{2.3}$$

$$\omega k = (3{,}14\cdot 360)/30 = 37{,}68\ с^{-1}.$$

2.2.2 Розрахунок опору руху копачів

Для визначення опору необхідно визначити силу опору на один копач. Наведемо схему пласта ґрунту (рис. 2.2).

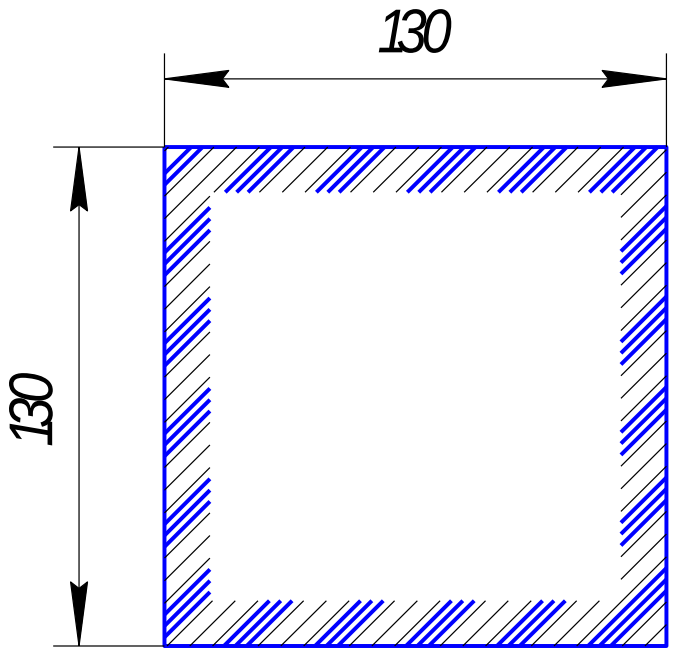


Рис. 2.2. Схема поперечного перерізу пласта ґрунту, що припадає на один леміш в робочому положенні.

Тоді площа ґрунту складатиме:

$$F=a\cdot b; \quad (2.4)$$

$$F=0.13\cdot 0.13=0{,}017 \text{ м}^2.$$

Визначимо опір копанню:[11]

$$R=k\cdot F; \quad (2.5)$$

де, k – питомий опір ґрунту, кг/м^2;

$$R=3000\cdot 0.017=51 \text{ кг}=499{,}8 \text{ Н}$$

Оскільки на машині встановлено 12 робочих органів, то загальний опір копанню комбайна складатиме:[11]

$$R_{сум}=12\cdot k\cdot F; \quad (2.6)$$

$$R_{сум}=12\cdot 499,8=5997,6 \text{ Н}.$$

2.2.3. Розрахунок потужності на привід копачів

На привід робочих органів необхідно такий крутний момент, який би давав змогу подолати силу опору копанню. Момент знайдемо за формулою [12]:

$$Мкр \geq R_{сум}\cdot L; \quad (2.7)$$

де, L=525мм=0,525м (рис. 2.3).

$$Мкр \geq 5997,6\cdot 0,525 = 3148,7 \text{ Нм}$$

$$М=3148,7\cdot 0,045/0,35=404,83 \text{ Нм}$$

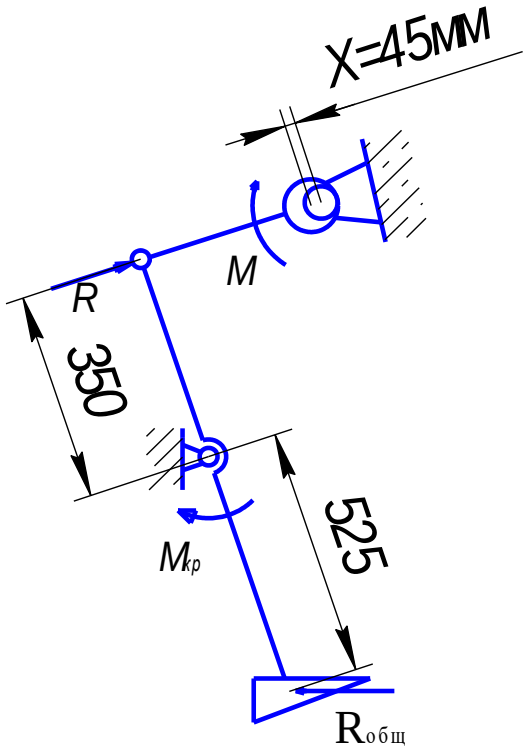


Рис. 2.3 Схема кінематики викопуючого механізму

Потужність на привід визначається з наступних виразів:[10]

$$N=F\cdot V; \quad (2.8)$$

$$F=M/r; \quad (2.9)$$

$$N=M/r\cdot V; \quad (2.10)$$

$$V=\omega\cdot r; \quad (2.11)$$

$$N=M\cdot\omega; \quad (2.12)$$

N=404,83·37,68=15254 Вт=15,254 кВт.

Дане значення забезпечує режими роботи двигуна Д-260 чи Д-240Л.

2.2.4 Розрахунок продуктивності машини

Продуктивність визначимо за довжини гону 1000 м. Робоча ширина захвату складає 2,7 м – 6 рядків, швидкість руху, згідно агровимог, приймаємо 1, 88 м/с, що відповідає швидкості 6,76 км/год [25].

Фактична продуктивність визначається за формулою:[23]

$$W = c_{\omega} \cdot B \cdot V \cdot \xi_{в} \cdot \xi_{v} \cdot \tau; \quad (2.13)$$

де, c_{ω} - коефіцієнт переводу розмірності швидкості руху;

B – робоча ширина захвату комбайна;

V – швидкість руху машини;

$\xi_{в}$ - коефіцієнт використання ширини захвату;

ξ_{v} - коефіцієнт використання швидкості руху;

τ - коефіцієнт використання часу зміни.

Теоретична продуктивність визначаться за формулою:

$$W_m = c_{\omega} \cdot B \cdot V; \quad (2.14)$$

$$W_m = 0.36 \cdot 2.7 \cdot 1.88 = 1.83 \text{ га/год.}$$

Фактична продуктивність агрегату:

$$W = W_m \cdot \tau; \qquad (2.15)$$

$$W = 1.83 \cdot 0.85 = 1.56 \text{ га/год.}$$

2.3 Розрахунки на міцність елементів конструкції

2.3.1. Розрахунок шатуна

Наведемо схему навантажень на шатун копача:

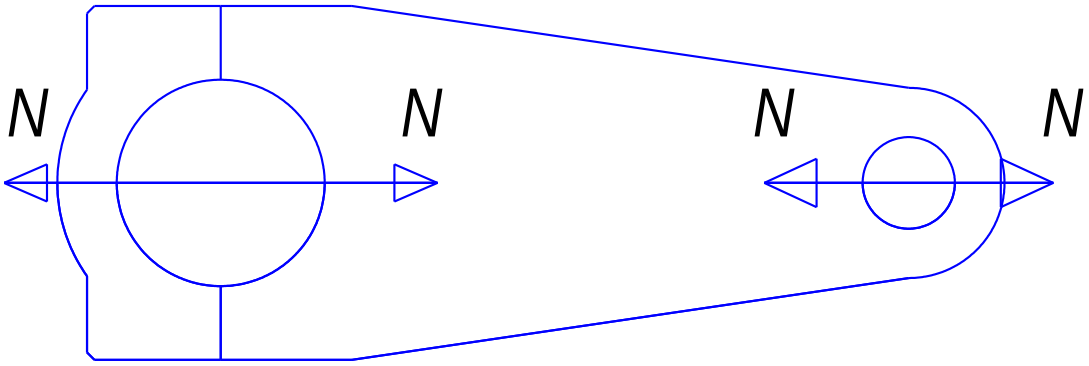


Рис. 2.4 Схема навантажень на шатун.

Навантаження на шатун N, складає [12]:

$$N=499,8 \cdot 525/350 = 749,7 \text{ Н}$$

Напруження на розтяг-стиск визначається за формулою:[11]

$$\sigma = N/A \leq \sigma_{adm}; \quad (2.16)$$

де, А – площа поперечного перерізу.

$$A = a \cdot b; \quad (2.17)$$

$$A = 0{,}055 \cdot 0{,}045 = 0{,}002475 \text{ м}^2.$$

$$\sigma = 749{,}7/0{,}002475 = 0{,}303 \text{ Мпа}$$

$$\sigma \leq \sigma_{adm} = 120 \text{ МПа}.$$

2.3.2 Розрахунок коромисла

Коромисло копача витримує навантаження на згин, величиною N = 749,7 Н.

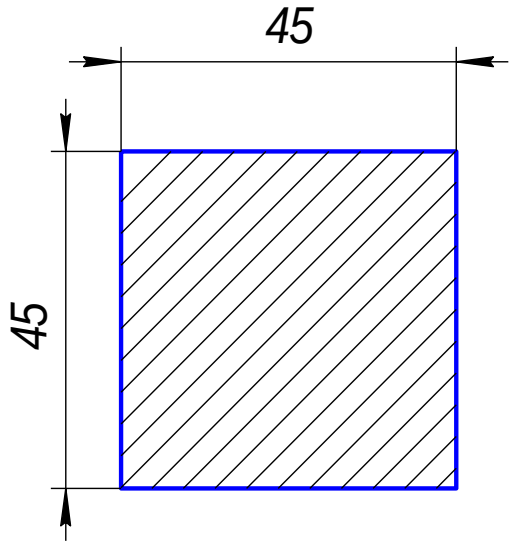


Рис. 2.5 Схема поперечного перерізу коромисла

Напруження визначається за формулою:[12]

$$Ơ_{adm} \geq M_{max}/W = Ơ; \quad (2.18)$$

де, Mmax – максимальне значення згинаючого моменту.

W – полярний момент інерції коромисла [8].

$$M_{max}=N \cdot L; \quad (2.19)$$

$$M_{max}=749,7 \cdot 0.35= 262,4 \text{ Нм};$$

$$W = b \cdot a^2/6; \quad (2.20)$$

де, b=0.045 м; a= 0,045м – розміри поперечного перерізу коромисла.

$$W = 0,045 \cdot 0,045^2/6, 15,2*10^{-6} \text{ м}^3;$$

$$W = 262,4/15,2 \cdot 10^{-6}=17,26\text{Мпа};$$

$$Ơ_{adm} = 120 \text{ МПа}.$$

$$Ơ_{adm} \geq Ơ.$$

2.3.3 Розрахунок зварних швів

В конструкції мають місце зварні з’єднання. Тому необхідно провести розрахунок їх на розтяг. Умова міцності зварного шва має вигляд [13]:

$$Ơ_{adm} \geq Ơ; \quad (2.21)$$

$$Ơ = F/a \cdot b; \quad (2.22)$$

де, a і b – ширина та товщина полоси металу, який зварюється.

$$Ơ = 749,7/0,045 \cdot 0,045 = 370 \text{ МПа.};$$

Отже, умова міцності виконується.

Висновки до розділу 2

У результаті виконаних розрахунків технологічних та конструктивних параметрів викопувального пристрою встановлено основні експлуатаційні показники його роботи в складі коренезбиральної машини.

Обґрунтовано режим роботи викопуючого механізму, визначено частоту обертання робочого вала (360 об/хв) та кутову швидкість (37,68 $с^{-1}$), що забезпечує задані параметри коливального руху робочих органів і відповідає прийнятим агротехнічним вимогам.

Визначено опір копанню ґрунту для одного робочого органу та сумарний опір для машини, який становить 5997,6 Н. Отримані значення використано для подальшого розрахунку силових і енергетичних параметрів приводу.

Розраховано необхідний крутний момент на приводі викопувального механізму (3148,7 Н·м), а також уточнене значення крутного моменту з урахуванням кінематичних параметрів (404,83 Н·м). Встановлено, що необхідна потужність приводу становить 15,254 кВт, що забезпечує можливість використання стандартних дизельних двигунів типу Д-240 або Д-260.

Проведено розрахунок продуктивності машини, який дозволив оцінити її теоретичні та фактичні показники роботи за заданих умов руху та ширини

захвату. Отримані результати підтверджують відповідність конструкції заданим технологічним вимогам.

Виконано перевірочні розрахунки основних елементів конструкції на міцність (шатун, коромисло, зварні з’єднання). Встановлено, що максимальні розрахункові напруження не перевищують допустимих значень для прийнятих матеріалів, що свідчить про достатній запас міцності та надійність конструкції в умовах експлуатаційних навантажень.

У цілому результати розрахунків підтверджують працездатність та конструктивну доцільність розробленого викопувального пристрою, а також його придатність до роботи в складних ґрунтових умовах із забезпеченням заданих агротехнічних показників.

3. РОЗРОБКА ОПЕРАЦІЙНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ КОМБАЙНОВОГО ЗБИРАННЯ ЦУКРОВИХ БУРЯКІВ

3.1 Технології збирання та агротехнічні вимоги до них

Збирання цукрових буряків та транспортування коренеплодів до бурякоприймальних пунктів цукрових заводів є завершальною стадією технологічного процесу вирощування даної культури. Ефективність виконання цієї операції значною мірою визначається раціональною організацією використання збиральної техніки та транспортних засобів, від чого залежать рівень втрат урожаю, повнота збирання та якість сировини, що надходить на переробку. [1,2].

Суттєве зниження трудових і матеріальних витрат, а також підвищення якості коренеплодів і загального валового збору досягається за рахунок впровадження потокового, перевалочного та потоково-перевалочного способів збирання, які передбачають відмову від ручної доочистки коренеплодів та одночасне збирання гички.

За потокової технології коренеплоди, зібрані бурякозбиральними машинами, безперервно завантажуються у транспортні засоби під час руху агрегату та доставляються безпосередньо на бурякоприймальні пункти. Бурякова гичка при цьому окремо збирається в тракторні причепи та транспортується до місць силосування або використання на кормові цілі. [18].

Перевалочний спосіб передбачає транспортування коренеплодів із збиральних машин у тракторні самоскидні причепи з подальшим їх вивантаженням у тимчасові польові кагати на спеціально підготовлених майданчиках. Подальше транспортування на переробні підприємства здійснюється за наявності вільного автотранспорту. Навантаження коренеплодів із кагатів виконується буряконавантажувальними машинами.

Потоково-перевалочна технологія є комбінованою та передбачає одночасне використання обох зазначених підходів: частина зібраних

коренеплодів транспортується безпосередньо на бурякоприймальні пункти, тоді як інша частина тимчасово складується у польові кагати на перевалочних майданчиках. Зазначений спосіб є доцільним за умов обмеженої забезпеченості господарств транспортними засобами [12].

Створення тимчасових запасів буряків у кагатах забезпечує підвищення ефективності використання автотранспорту шляхом його рівномірного завантаження протягом доби, особливо в періоди несприятливих погодних умов, коли безпосереднє збирання або транспортування ускладнене.

Крім того, потоково-перевалочна система сприяє підвищенню продуктивності збиральних агрегатів за рахунок оперативного вивезення коренеплодів автотранспортом або їх тимчасового складування при нестачі транспортних засобів. Застосування групового використання машин забезпечує підвищення гнучкості технологічного процесу, покращує можливості оперативного реагування на відмови техніки та дозволяє організувати централізоване технічне обслуговування і ремонт. [12].

Співвідношення між потоковим і перевалочним способами визначається, насамперед, відстанню транспортування коренеплодів до цукрового заводу та рівнем забезпеченості господарства транспортними засобами. При відстані до 15 км переважає потокова технологія з частковим застосуванням перевалочного способу (приблизно 75 % машин працюють у потоці). За відстані 16–20 км застосовується комбіноване використання обох способів у приблизно рівних пропорціях. При відстанях понад 20 км домінує перевалочний спосіб збирання. [18].

3.2. Підготовка трактора для агрегатування з коренезбиральною частиною машини

Перед агрегатуванням трактора ПМЗ-80 / ПМЗ-82 з коренезбиральною частиною машини виконується комплекс демонтажних операцій, спрямованих на забезпечення конструктивної сумісності та безпечної експлуатації агрегату.

Зокрема, здійснюється демонтаж переднього моста з крилами, сошки рульового механізму з вертикального вала гідропідсилювача керма, приводних коліс, зливного трубопроводу гідросистеми гідропідсилювача, гідрофікованого причіпного гака, механізму задньої навіски, нижньої підніжки, а також захисного ковпака і щитка вала відбору потужності.

Виконання зазначених операцій забезпечує необхідну конструктивну підготовку трактора до роботи у складі коренезбирального агрегату та гарантує правильне функціонування вузлів з'єднання і приводу робочих органів.



Рис. 3.1 Схема навісного обладнання та складових частин ПМЗ-82

На рис.3.1 подано загальний вигляд трактора ПМЗ-82 у конструктивному виконанні з деталізацією основних вузлів і елементів навісної системи. Показано заднє та переднє колеса, механізм навіски, кронштейни, тягові елементи, причіпні пристрої та плити для встановлення агрегатів. Конструктивні елементи відображені у вигляді окремих вузлів із їх функціональним призначенням, що забезпечує уявлення про компонування та взаємодію складових частин трактора під час роботи з навісним і причіпним обладнанням.

Трактор установлюють на основну раму з використанням спеціальних опор і фіксують у передній частині за допомогою осі з фіксуючими кільцями та шплінтом, а в задній частині — болтовими з'єднаннями.

Далі на трактор монтують розподільний редуктор 4 (рис. 3.2), який закріплюють на шпильках кришки та з’єднують із хвостовиком заднього валу відбору потужності (ВВП). Після цього виконують підключення гідравлічних систем: вихід «опускання» силового гідроциліндра трактора з’єднують із маслопроводом циліндра механізму вмикання планетарного редуктора; ліві задні гідровиводи трактора — з маслопроводами 7 гідроциліндрів навантажувального транспортера; праві гідровиводи — з маслопроводами 2 гідроциліндрів підйому копачів і копірів автомата водіння.

Гідросистему рульового керування машини інтегрують із гідропідсилювачем кермового керування трактора. При цьому неправильне підключення клапана 2 може спричинити підвищення тиску в системі понад допустимі значення та призвести до виходу з ладу елементів гідропідсилювача трактора. Аналогічно, помилкове з’єднання гідроциліндра 4 керованих коліс і золотника 3 може викликати пошкодження важільного механізму рульового керування машини [13].

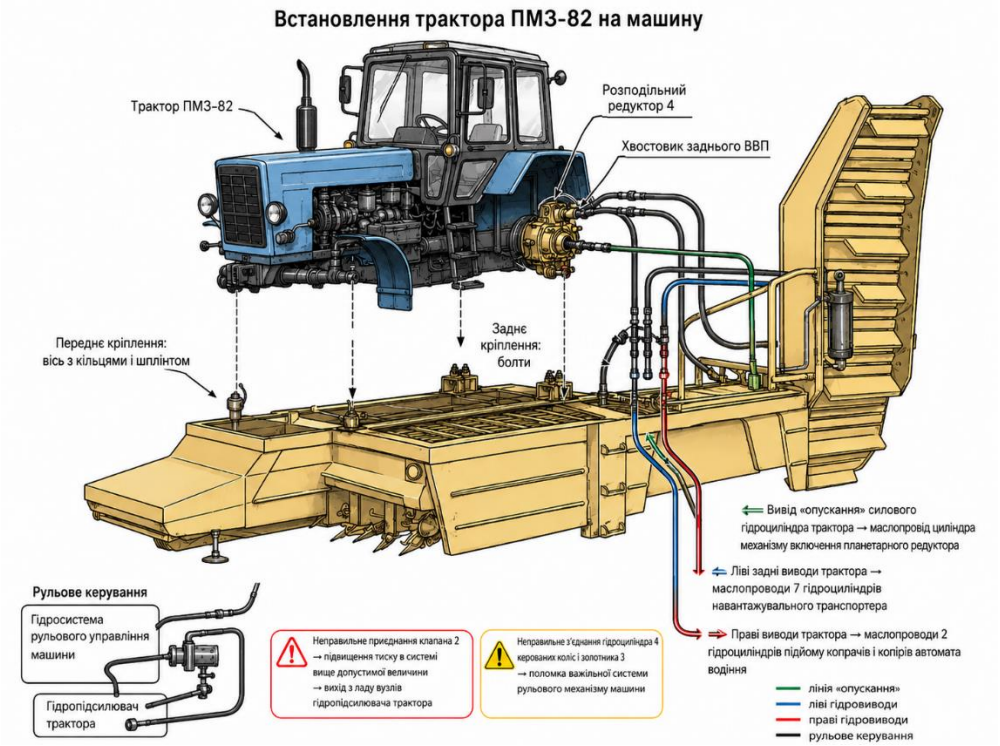


Рис. 3.2 Монтажна схема трактора на комбайн

1 – рульовий механізм; 2 – гідролінії підйому копачів; 3 – вісь; 4 – розподільчий редуктор; 5 –роз'єм; 6 – ведуча зірочка; 7 – гідролінії приводу вивантажувального транспортера.

Закріплення механізму рульового керування 1 здійснюють на вертикальному валу гідропідсилювача трактора за допомогою фланцевого з'єднання з конічним шліцьовим отвором (рис. 3.1). Зірочки ланцюгового приводу заднього моста агрегатованої машини встановлюють на маточинах ведучих коліс трактора. Після цього монтують приводні ланцюги та захисні кожухи огородження. Електрообладнання машини під'єднують до електросистеми трактора через штепсельний роз'єм 5. Додатково виконують монтаж та підключення систем автоматичного контролю. [13].

3.2. Регулювання МТА

Ширину колії встановлюють на рівні 1800 мм відносно поздовжньої осі машини. Кут сходження керованих коліс визначають шляхом вимірювання; його значення повинно становити 4…8 см. Для регулювання сходження послаблюють контргайки рульових тяг, після чого шляхом обертання лівої та правої тяг забезпечують їх однакову довжину. [13].

Копіри системи автоматичного водіння налаштовують відповідно до рівня врожайності та стану агрофону. Положення копірних елементів фіксують у затискних механізмах, а зазор між суміжними копірними перами встановлюють напроти відповідних вилок. Відхилення співвісності не повинно перевищувати 10 мм. [14].

Глибину ходу робочих органів встановлюють залежно від умов експлуатації за допомогою регулювання положення кронштейнів ведучих коліс. За нормальних умов роботи глибина становить приблизно 10 см.

Регулювання механізму розвантаження копачів здійснюють шляхом переміщення ланцюга по кронштейну рами або перестановки хомута пружини у ланцюгових ланках.

За умов підвищеної вологості ґрунту, коли використання копіювальних коліс ускладнене, застосовують регулювальну тягу замість пружинного елемента регулювального механізму. У цьому випадку глибину ходу змінюють шляхом регулювання довжини тяги різьбовою муфтою та переміщенням ланцюга по кронштейну з пазами. Опорні колеса при цьому демонтують.

Запобіжну муфту редуктора приводу копачів регулюють шляхом підтискання гайки на валу приводу на 3–4 грані, що забезпечує збільшення зусилля притискання фрикційних елементів муфти. [13].



Рис. 3.3. Схема регулювання планетарного редуктора

Механізм планетарного редуктора підлягає регулюванню у випадках порушення стабільності роботи транспортера. Для виконання регулювальних операцій важіль вмикання планетарного редуктора встановлюють у вертикальне положення, після чого за допомогою регулювальних гайок 3 і 5 здійснюють коригування натягу гальмівної стрічки барабана (рис. 4.3) шляхом зменшення її обхвату.

Під час контрольного провертання механізму необхідно забезпечити рівномірність і плавність роботи поперечного та розвантажувального транспортерів, при цьому не допускається самовільне обертання барабана редуктора, що є ознакою правильного налаштування системи [13].

3.3 Підготовка поля до роботи

Ширина поворотної смуги приймається рівною чотирьом захватам сівалки SST-12B і становить 21,6 м.

З метою раціональної організації руху збиральних агрегатів поле розбивається на загінки по 240 рядків. Межі загінок повинні проходити строго по стикових міжряддях, що забезпечує мінімальні втрати та оптимальні умови роботи техніки. Для забезпечення безперешкодного розвороту агрегатів на поворотних смугах формуються розворотні майданчики розміром 25×30 м (рис. 3.4).

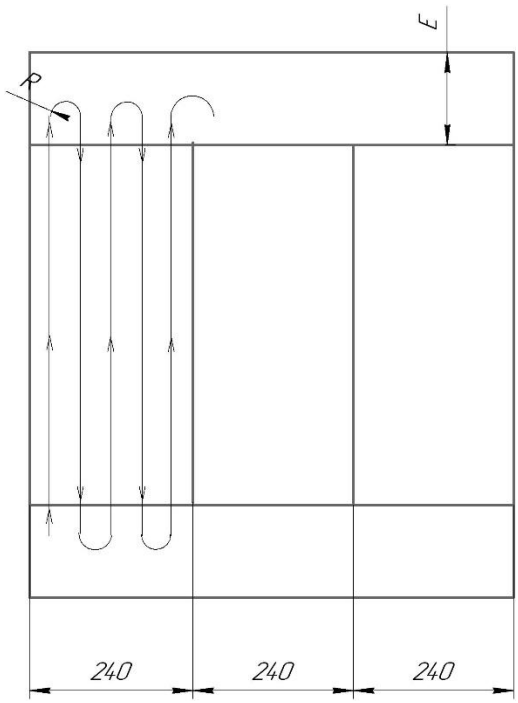


Рис. 3.4 Схема розбивки поля

Під час збирання коренеплодів перевалочним або потоково-перевалочним способом продукція укладається на спеціально підготовлені майданчики.

Ділянки попередньо очищають, вирівнюють за допомогою бульдозерів або скреперів, після чого розпушують великі ґрунтові грудки дисковими боронами.

Після завершення підготовчих операцій визначають технологічну послідовність збирання ділянок. Насамперед обробляють найбільш віддалені від польових доріг площі, а також ділянки ранніх строків сівби, біологічно стиглі посіви та поля з підвищеним ураженням хворобами [25].

3.4. Робота агрегатів у загінці

На початковому етапі агрегати виводять на поворотну смугу. Швидкісний режим роботи встановлюють відповідно до оптимального завантаження двигуна в межах 5…7 км/год. На поворотних смугах збирання коренеплодів здійснюється за перевалочною технологією.

Для цього поворотну смугу розділяють по стикових міжряддях на дві частини, кожна з яких відповідає двом проходам сівалки.

Після проходу гичкозбирального МТА в роботу включається коренезбиральна машина РКС-6, яка викопує коренеплоди та завантажує їх у тракторний транспортний агрегат, що рухається поруч. Другий трактор виконує аналогічний цикл із запізненням, що забезпечує безперервність роботи комбайна та мінімізує простої.

Після завершення робіт на поворотних смугах збирання коренеплодів на міжзагінних проходах здійснюється перевалочним способом. З кожного боку загінки обробляють по шість рядків. Коренеплоди, зібрані з поворотних смуг і міжзагінних проходів, у день збирання транспортуються на цукровий завод.

За інтенсивного ведення збиральних робіт застосовується потоково-перевалочна технологія (рис. 3.5). Усі агрегати працюють на одному полі, проте кожен у межах своєї загінки. Спочатку викопується приблизно 2/3 рядків у кожній загінці з рухом комбайна «в розгін» за годинниковою стрілкою. Невикопані центральні рядки збирають одночасно з двох суміжних загінок із

рухом комбайнів «в склад» у протилежних напрямках (за та проти годинникової стрілки) (рис. 3.5).

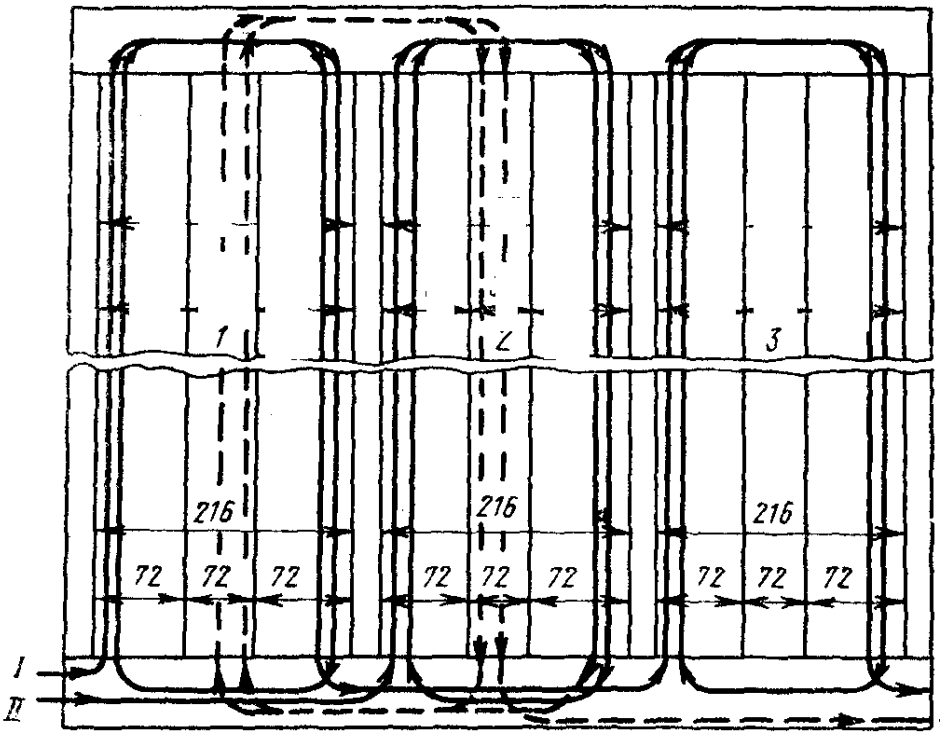


Рис. 3.5 Схема роботи МТА на полі

I, II – номери збиральних агрегатів

Результати розроблення операційної технології відображено в операційно-технологічній карті, яка є складовою графічної частини дипломного проєкту. Нормативні показники виробітку та витрат палива для машин, що забезпечують функціонування збирального комплексу спільно з комбайном, встановлено на підставі типових галузевих норм виробітку та витрачання палива [13].

3.5 Розрахунок експлуатаційних показників МТА

Попереднє значення продуктивності машинно-тракторного агрегату було визначене у другому розділі дипломної роботи і становить 1,8 га/год. Для уточнення експлуатаційних показників виконаємо додаткові розрахунки відповідно до методики, наведеної в джерелі [25].

Уточнену робочу швидкість руху агрегату визначаємо за формулою:

$$v_P = 0.377\frac{rn}{i_T}1-\frac{\delta}{100}; \quad (3.1)$$

де, r - радіус ведучого колеса МТА, м;

n - номінальні оберти двигуна;

i_T - передаточне число трансмісії;

δ - величина буксування, %.

Приймемо рух комбайна на 4-й передачі. Теоретична швидкість складає 7,85 км/год, коефіцієнт буксування 9 %, питомі витрати пального – 12,4 кг/год. Передаточне число трансмісії складає 68/90. [25]

$$v_P = 0.377\frac{0,71\cdot 2200}{90}1-\frac{9}{100} = 6,0 \ км/год.$$

Знайдемо чистий час роботи агрегату за зміну [25].

$$T_P = \frac{Tзм-(Tпз+Tобс+Tвоп)}{1+\tau_{пов}+\tau_{ТО}+\tau_{пер}}; \quad (3.2)$$

де, $Tзм, Tпз, Tобс, Tвоп$ - час зміни, підготовчо-заключних робіт, організаційно-технологічного обслуговування агрегату, відпочинку та особистих потреб оператора;

$\tau_{пов}$ - коефіцієнт поворотів;

$\tau_{ТО}$ - коефіцієнт технологічного обслуговування агрегату;

$\tau_{пер}$ - коефіцієнт переїздів.

Витрати часу $Tпз, Tобс, Tвоп$ належать до регламентованих нормованих простоїв і наведені в Типових нормах виробітку [25].

Коефіцієнт поворотів визначимо:

$$\tau_{пов} = t_{пов} \frac{v_P}{3.6 L_P}; \quad (3.3)$$

де, $t_{пов}$ - тривалість повороту, с;

L_P - довжина гону, м.

Довжину гонів визначимо за формулою: [25]

$$L_P = L - 2E; \quad (3.4)$$

де, L - довжина поля;

E - ширина поворотної смуги.

Розміри поля 1600*625м. Тоді:

$$L_P = 1600 - 2 \cdot 21{,}6 = 1556{,}8 \ м.$$

$$\tau_{пов} = 155 \frac{6}{3.6 \cdot 1556{,}8} = 0{,}16.$$

Коефіцієнт технологічного обслуговування визначимо по формулі: [25]

$$\tau_{TO} = t_{TO} \frac{W_\Gamma U}{60 V \rho \psi}; \quad (3.5)$$

де, t_{TO} - тривалість однієї технологічної зупинки, хв.;

$W_Г$ - годинна продуктивність агрегату;

U - урожайність, кг/га;

V - об’єм бункера, м^3;

ρ - об’ємна маса урожаю, кг/м^3;

ψ - коефіцієнт використання об’єму бункера.

Враховуючи відсутність у комбайна бункера для накопичення продукції та здійснення розвантаження в процесі робочого руху, тривалість технологічного обслуговування визначається часом заміни транспортних агрегатів. Як розрахунковий обсяг технологічного обслуговування приймається корисна місткість причепа, у який здійснюється перевантаження зібраної маси.

$$\tau_{ТО} = 1{,}7\frac{1{,}62 \cdot 50000}{60 \cdot 5 \cdot 700 \cdot 0{,}9} = 0{,}42.$$

Коефіцієнт переїздів визначимо по формулі: [25]

$$\tau_{пер} = (t_{пп} + \frac{l_{пер}}{v_{пер}})\frac{W_Г n_{агр}}{F}; \qquad (3.6)$$

де, $t_{пп}$ - тривалість підготовки агрегату до переїзду, год;

$l_{пер}$ - середня відстань переїзду, км;

$v_{пер}$ - середня швидкість переїзду, км/год;

$n_{агр}$ - кількість агрегатів, які одночасно працюють на загінці;

F - площа поля, га.

$$\tau_{пер} = (0.25 + \frac{1}{7})\frac{1.62 \cdot 1}{100} = 0.006.$$

Тоді, чистий час зміни складе:

$$T_P = \frac{420-(24+17.5+45)}{1+0.16+0.42+0.06} = 203{,}3 = 3{,}4 \ \ год.$$

Змінна продуктивність становитиме:

$$Тзм = 3{,}4 \cdot 1{,}62 = 5{,}51 \ \ га.$$

Витрати пального на одиницю роботи (га): [25]

$$g = \frac{GpTp + GxTx + GззT}{Wзз}; \qquad (3.7)$$

де, $Gp, Gx, Gз$ - відповідно годинні витрати палива при робочому ході, холостому ході (повороти) та зупинках з працюючим двигуном, кг/год;

$Tp, Tx, Tз$ - відповідно тривалість чистого робочого часу, поворотів та зупинок з працюючим двигуном, год.

Виначимо час холостого руху: [25]

$$Tx = \tau_{пов} Tp; \qquad (3.8)$$

$$Tx = 0{,}16 \cdot 3{,}4 = 0{,}54 \ \ год.$$

Тривалість зупинок з працюючим двигуном становить:

$$Tз = T_{ТО} + 0{,}5T_{ЩТО}; \qquad (3.9)$$

$$Тз = 1{,}7 + 0{,}5 \cdot 25 = 14{,}2 \ \ хв = 0{,}23 \ \ год.$$

$$g = \frac{12{,}2 \cdot 3{,}4 + 6 \cdot 0{,}54 + 1{,}4 \cdot 0{,}23}{5{,}51} 8{,}28 \ \ кг / га.$$

Висновки до розділу 3

У розділі розроблено операційну технологію комбайнового збирання цукрових буряків із застосуванням коренезбиральної машини РКС-6. Проведено аналіз сучасних способів збирання культури та встановлено, що найбільш ефективним за умов інтенсивного виробництва є потоково-перевалочний спосіб, який забезпечує раціональне використання збиральної та транспортної техніки, зменшення простоїв машин і втрат урожаю.

Розглянуто технологію підготовки трактора ПМЗ-82 до агрегатування з коренезбиральною машиною, наведено порядок монтажу основних вузлів та підключення гідравлічних, механічних і електричних систем. Визначено основні регулювання робочих органів машини, що забезпечують стабільність технологічного процесу та дотримання агротехнічних вимог під час збирання коренеплодів.

Розроблено заходи з підготовки поля до роботи збиральних агрегатів, обґрунтовано параметри поворотних смуг, розміри загінок та схему організації руху машин. Запропонована схема роботи агрегатів дозволяє забезпечити безперервність технологічного процесу та ефективне використання транспортних засобів.

Виконано розрахунок експлуатаційних показників машинно-тракторного агрегату. За результатами розрахунків встановлено, що уточнена годинна продуктивність агрегату РКС-6 становить 1,62 га/год, а питомі витрати палива — 8,28 кг/га. Отримані показники підтверджують можливість ефективного

використання агрегату для збирання цукрових буряків із забезпеченням необхідної продуктивності та економічності виконання робіт.

Результати розробки операційної технології використано при складанні операційно-технологічної карти, яка входить до графічної частини дипломного проєкту та є основою для подальшого техніко-економічного обґрунтування запропонованого технологічного рішення.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. У результаті аналізу сучасних коренезбиральних машин встановлено, що основними напрямами їх удосконалення є підвищення якості викопування коренеплодів, зменшення втрат урожаю, зниження енергоємності процесу та підвищення надійності робочих органів.
2. Визначено опір копанню ґрунту для одного робочого органу та сумарний опір для машини, який становить 5997,6 Н. Отримані значення використано для подальшого розрахунку силових і енергетичних параметрів приводу.
3. Розраховано необхідний крутний момент на приводі викопувального механізму (3148,7 Н·м), а також уточнене значення крутного моменту з урахуванням кінематичних параметрів (404,83 Н·м). Встановлено, що необхідна потужність приводу становить 15,254 кВт, що забезпечує можливість використання стандартних дизельних двигунів.
4. Розроблено операційну технологію комбайнового збирання цукрових буряків із використанням коренезбиральної машини РКС-6. Встановлено, що продуктивність агрегату становить 1,62 га/год, а питомі витрати палива — 8,28 кг/га.
5. Отримані результати підтверджують технічну доцільність запропонованої модернізації та можливість підвищення ефективності технологічного процесу збирання цукрових буряків.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Адамчук В. В., Булгаков В. М., Надикто В. Т. Сучасні тенденції розвитку агроінженерії. Київ : Аграрна наука, 2020. 412 с.
2. Булгаков В. М., Головач І. В. Інженерні основи механізації збирання цукрових буряків. Київ : НУБіП України, 2016. 248 с.
3. Погорілий Л. В. Випробування та сертифікація сільськогосподарської техніки. Київ : Аграрна наука, 2013. 296 с.
4. Адамчук В. В., Булгаков В. М., Нілов В. І. Механізація та автоматизація сільськогосподарського виробництва. Київ : Аграрна наука, 2012. 560 с.
5. Українська сільськогосподарська енциклопедія. Бурякозбиральний комбайн : електронний ресурс.
6. Holmer Maschinenbau GmbH. Terra Dos 5. Technical Data and Product Information. Germany, 2024.
7. ROPA Fahrzeug- und Maschinenbau GmbH. ROPA Tiger 6S. Product Catalogue. Germany, 2024.
8. GRIMME Landmaschinenfabrik GmbH & Co. KG. Rexor 6300 Platinum. Technical Brochure. Germany, 2024.
9. Kleine GmbH. Sugar Beet Harvesting Technology. Germany, 2023.
10. Заїка П. М. Теорія сільськогосподарських машин. Харків : Око, 2001. Т. 1. 444 с.
11. Заїка П. М. Теорія сільськогосподарських машин. Харків : Око, 2002. Т. 2. 412 с.
12. Погорілий Л. В., Брей В. В. Сільськогосподарські машини та технології їх застосування. Київ : Фенікс, 2007. 296 с.
13. Барановський В. М. Транспортно-технологічні системи викопувальних робочих органів адаптованої коренезбиральної машини // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. 2012. Вип. 42, ч. 2. С. 79–86.
14. Hevko R. B., Tkachenko I. G., Synii S. V., Flonts I. V. Development of design and investigation of operation processes of small-scale root crop and potato harvesters // INMATEH – Agricultural Engineering. 2016. Vol. 49, No. 2. P. 53–60.

15. Коберник М. В. Ergonomic of smart technologies of control of machine use of self-propelled beet harvesters // Крамаровські читання : зб. тез доп. Київ : НУБіП України, 2024. С. 196–200.
16. Рихлівський П. А., Коновал О. О. Конструкційна схема робочого органа коренезбиральної машини // Матеріали наукових досліджень НУБіП України. Київ, 2022.
17. Булгаков В. М., Головач І. В. Теорія технологічних процесів збирання коренеплодів. Київ : НАУ, 2022. 198 с.
18. Мельник І. І., Ружило З. В. Машини та обладнання для агропромислового виробництва. Київ : Аграрна освіта, 2024. 558 с.
19. Голуб Г. А., Марус О. А. Інженерія аграрного виробництва. Київ : НУБіП України, 2025. 420 с.
20. ДСТУ 2989-95. Техніка сільськогосподарська. Терміни та визначення понять. Київ : Держстандарт України, 1995.
21. ДСТУ 2391-94. Сільськогосподарська техніка. Методи визначення експлуатаційно-технологічних показників. Київ : Держстандарт України, 1994.
22. ДСТУ EN ISO 12100:2016. Безпечність машин. Загальні принципи конструювання. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2016.
23. Булгаков В. М., Головач І. В., Адамчук В. В. Механіко-технологічні основи збирання коренеплодів. Київ : НУБіП України, 2014. 276 с.
24. Паламарчук І. П. Машини для рослинництва : навчальний посібник. Вінниця : ВНАУ, 2017. 344 с.
25. Мельник І. І., Бондар С. М. Експлуатація машинно-тракторного парку. Київ : Кондор, 2018. 520 с.

ДОДАТКИ