

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

Допущено до захисту
“ _____ ” _____ 2023р.
Зав. кафедри к.т.н., доцент
(науковий ступінь, вчене звання)
А.В. Войтік
(підпис) (ініціали, прізвище)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА (дипломний проект)
магістр
(назва освітнього ступеня)

тема роботи **«Обґрунтування параметрів робочих органів машин для збирання столових коренеплодів»**

Виконав: студент 2 курсу, групи 22м-ім
освітньої програми магістр
спеціальності 208 «Агроінженерія»
Музика І.А.
(прізвище та ініціали)

Керівник доктор філософії доцент Шевчук М.В.
(науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

м. Умань – 2023 рік

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
РОЗДІЛ 1 СТАН ПИТАННЯ І ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	7
1.1 Аналіз розвитку машин для збирання столових коренеплодів	7
1.2 Тенденції створення конструкцій робочих органів для викопування довгоплідних столових коренеплодів	16
1.3 Висновки	22
РОЗДІЛ 2 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА ПАРАМЕТРІВ РОБОЧОГО ОРГАНА ДЛЯ ВИКОПУВАННЯ ДОВГОПЛІДНИХ СТОЛОВИХ КОРЕНЕПЛОДІВ	23
2.1 Моделювання і проектування деблокувального робочого органа	23
2.2 Обґрунтування технологічної схеми та конструкційних параметрів робочого органа	30
2.3 Моделювання і проектування підрізувального лемеша копача	32
2.4 Опис конструкції експериментальної установки.....	40
2.5 Лабораторно-польові дослідження.....	41
2.6 Результати лабораторно-польових досліджень	42
2.7 Висновки.....	45
РОЗДІЛ 3 ОХОРОНА ПРАЦІ.....	46
3.1 Організація умов та заходів з охорони праці при роботі на бурякозбиральній машині	46
3.2 Моделювання процесів виникнення травм при роботі на бурякозбиральних машинах	47
3.3 Висновки по роботі	47

РОЗДІЛ 4	ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА	ЕФЕКТИВНІСТЬ
ЗАСТОСУВАННЯ НОВИХ РОБОЧИХ ОРГАНІВ ПРИ ВИКОПУВАННІ		
ДОВГОПЛІДНИХ СТОЛОВИХ КОРЕНЕПЛОДІВ		49
4.1. Виробнича перевірка експериментальної машини для викопування		
довгоплідних столових коренеплодів.....		49
4.2 Економічна ефективність впровадження технологічного процесу		
викопування довгоплідних столових коренеплодів		51
4.3. Висновки		58
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ		59
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ		60

РЕФЕРАТ

Вдовиченко Р.П. Обґрунтування структури та параметрів системи моніторингу вологості зерна на етапі його збирання (Дипломний проект, Уманський національний університет садівництва, 2023: пояснювальна записка на 65 сторінках, у т.ч. 4 розділів, 22 рисунки, 8 таблиць, 36 джерела літератури).

У дипломному проекті вирішується актуальне питання зменшення витрат енергії та підвищення ефективності викопування довгоплідних столових коренеплодів (далі ДСК).

За результатами проведених досліджень обґрунтовано доцільність механізованого збирання ДСК роздільним способом, особливо в період приморозків, із застосуванням розробленого нового робочого органа з метою зменшення витрат енергії на процес викопування.

Мета роботи – Зменшення витрат енергії на збирання ДСК шляхом обґрунтування параметрів робочих органів і створення технічного засобу для малоенергоємного викопування ДСК.

Об'єкт досліджень – процес викопування коренеплодів та деблокувальні робочі органи для викопування ДСК

Предмет досліджень – взаємодія робочих органів із середовищем і залежність якості роботи та витрат енергії на викопування ДСК від конструкційних параметрів робочих органів з активним приводом і режимів роботи.

Ключові слова: СТОЛОВІ КОРЕНЕПЛОДИ, РОЗДІЛЬНИЙ СПОСІБ ЗБИРАННЯ, ДВОЯРУСНИЙ РОБОЧИЙ ОРГАН, РІЖУЧЕ-ДЕФОРМУЮЧА ПОВЕРХНЯ, ДЕБЛОКАТОР, ДОДАТКОВЕ КРИШЕННЯ ҐРУНТУ.

ВСТУП

Актуальність теми. Науково-обґрунтованою річною нормою споживання овочів однією людиною в Україні за розрахунками Міністерства охорони здоров'я має бути 161 кг, з них 15,5 кг столової моркви. За останній період 86 % овочів вирощують дрібнотоварні виробники.

Така ситуація зумовлює необхідність створення технічних засобів для агрегаткування з тракторами малої потужності, які використовуються в дрібнотоварних господарствах, що спеціалізуються на виробництві овочів.

У виробництві столової моркви найбільш трудомісткою операцією є збирання урожаю. Частка затрат праці на збирання урожаю в структурі затрат становить близько 70 %. На викопуванні використовують картоплекопачі, бурякопідіймачі, скоби, які є енергоємними і пошкоджують коренеплоди столової моркви особливо довгоплідних сортів і гібридів.

Відсутність відповідних технічних засобів призводить до різкого зростання затрат ручної праці, і як наслідок, – скорочення посівних площ столової моркви.

У зв'язку з цим розроблення малоенергоємних технічних засобів для викопування столових коренеплодів, використання яких забезпечить зменшення витрат енергетичних ресурсів і пошкодження коренеплодів, є актуальною науково-технічною проблемою.

РОЗДІЛ 1

1 СТАН ПИТАННЯ І ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕНЬ

1.1 Аналіз розвитку машин для збирання столових коренеплодів

Для зменшення затрат ручної праці на виробництво сільськогосподарської продукції було розроблено систему машин для комплексної механізації сільськогосподарського виробництва. Перша система почала працювати в 1955-1965 рр. В 1961-1964 рр. науковими працівниками і спеціалістами сільськогосподарського виробництва була розроблена система машин на 1966-1970 рр. яка дала можливість досягти в порівнянні з попередніми роками більш позитивних результатів у комплексній механізації сільського господарства. Однак ще багато машин для механізації сільського виробництва не було створено, багато галузей залишалось слабо механізованими, в тому числі і овочівництво [19].

У комплекс машин для механізації сільськогосподарського виробництва 1971-1975 рр. були включені навісні бурякопідіймачі до тракторів кл. 0,6-1,4 – СНУ-3С, СНС-2М для часткового механізованого збирання столових коренеплодів, а до самохідних шасі кл. 0,6 – знаряддя ОПКШ-1,4 для підкопування столових коренеплодів. Якщо на підкопування столових коренеплодів лопатами вручну затрачалось до 15 люд. днів/га, то застосування вищеперерахованих знарядь скоротило затрати праці до 0,1-0,2 люд. днів [6].

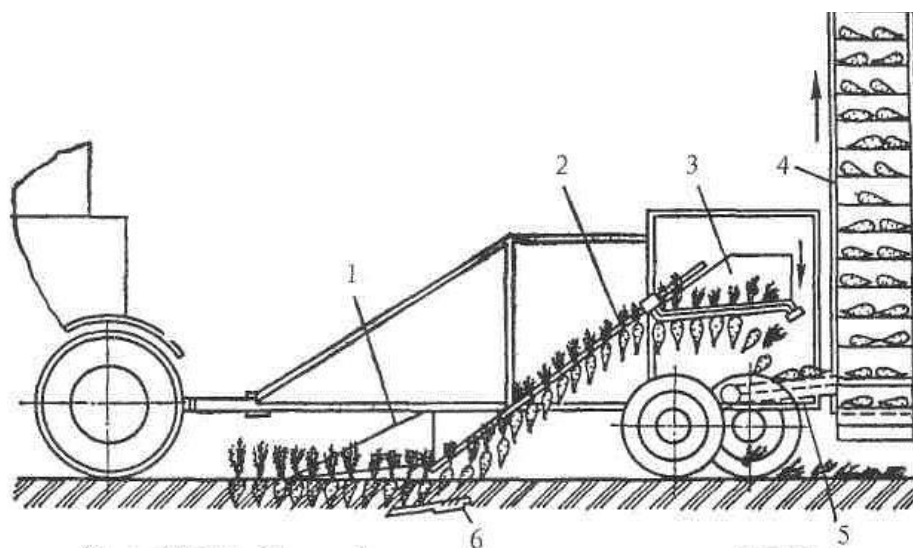
В системі машин на 1976-1980 рр. були скомплектовані комплекси машин для збирання столових коренеплодів [20]. Застосування машини ЕМ-11 дало можливість механізувати підкопування коренеплодів, транспортувати їх до апарата, який відминав гичку і транспортував коренеплоди в транспортний засіб. Машина ЕМ-11 задовільно працювала на полях з легким ґрунтом і при збиранні коренеплодів з добре розвиненою гичкою (рис. 1.1). Оскільки в Україні столові коренеплоди вирощують здебільшого на важких ґрунтах і коренеплоди мають слаборозвинену гичку, яка до того ж дуже часто пошкоджується ранніми приморозками, тому були проблеми з широким застосуванням цих машин.

У період 1981-1990 рр. для збирання столових коренеплодів промисловість освоїла виробництво вітчизняних однорядних машин ММТ-1 (рис. 1.2) [21, 22]. Вони мали замінити машину ЕМ-11 виробництва НДР.

Основними енергетичними засобами для агрегування із спеціалізованими машинами в овочівництві на період 1981-1985 рр. передбачували трактори кл. 1,4, а на період 1986-1995 рр. – кл. 1,4-2. Частина машин для збирання овочевих культур розроблялися самохідними (потужність двигуна 78-110 кВт) [22, 23].



Рисунок 1.1 – Загальний вигляд машини для збирання столових коренеплодів на рівній поверхні з обрізуванням гички, очисткою та завантаженням коренеплодів у транспортний засіб ЕМ-11



1 – стеблопідіймач; 2 – бральний апарат; 3 – гичковідокремлювальний апарат; 4 – вивантажувальний елеватор; 5 – поздовжній конвеєр; 6 – підкопувальний ніж

Рисунок 1.2 – Функціональна схема машини ММТ-1

У таблиці 1.1. наведено порівняльні характеристики машин, які створювалися в період із 1971 до 1995 року [6].

Таблиця 1.1 – Порівняння технічних характеристик машин для викопування столових коренеплодів за системами машин для комплексної механізації сільськогосподарського виробництва різних років

№ п/п	Система машин гр.	Назва машин	Марка	Трактор кл. тяги і привод, кВт	Продуктивність, га/год	Кількість обслуговуючого персоналу	Стан з виробництвом
1	1971-1975	Бурякопідіймач начіпний з підкопуючими лапами та широкозахватною скобою для широкополосних посівів	СНУ-3С	0,6-1,4	0,7	1	В
2		Бурякопідіймач начіпний	СНС-2М	0,6	0,37	1	В
3		Знаряддя для підкопування коренеплодів на каменистих ґрунтах	ОПКШ-1,4	0,6	0,6	1	В
4	1976-1980	Знаряддя для підкопування коренеплодів на кам'янистих ґрунтах (модифікація ОПКШ-1,4)	-	Самохідне шасі	1,1	1	Н
5		Машина для збирання столових коренеплодів на рівній поверхні з обрізуванням гички, очисткою та завантаженням коренеплодів у транспортний засіб	ЕМ-11	1,4	0,2-0,35	2	В
6	1981-1990	Машина для збирання столових коренеплодів	ММТ-1	1,4	0,07-0,2	2	В
7		Машина дворядна для збирання столових коренеплодів	Е-825	1,4-2	0,27-0,45	2	1981-ДВ 1986- В 1990- В
8		Машина багаторядна для збирання столових коренеплодів	-	Самохідна 74-110 кВт (100-150к.с.)	0,63	2	1981-Н 1986-Р 1990- В
9	1986-1995	Машина для збирання столових коренеплодів	Е-825	1,4-2	0,27-0,45	2	В
10		Копач-завантажувач коренеплодів	КПК-3	1,4	0,34-0,68	1	1986-Н 1991-Р 1995- В
11		Машина для збирання столових коренеплодів	МУК-1,8	74-110 кВт	0,5-0,7	2	1986-ДВ 1991- В 1995- В
12		Машина для збирання столових коренеплодів	МУК-1,8-01	74-110 кВт	0,5-0,7	2	1986-Н 1991- В 1995- В
13		Машина для збирання столових коренеплодів	МУК-1,8-02	74-110 кВт	0,54-0,72	2	1986-Н 1991- В 1995- В

* В – було налагоджено виробництво і серійно випускалось;

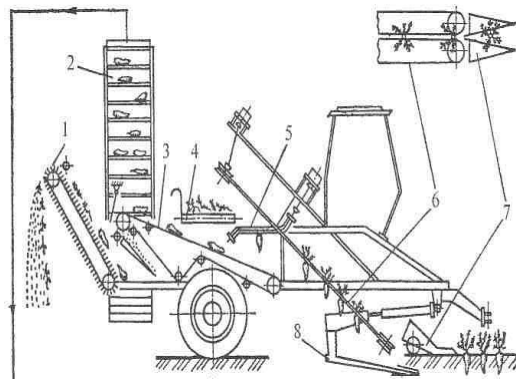
Н – була нова розробка;

ДВ – проводились державні випробування;

Р – рекомендувалось до постановки на виробництво.

У системі машин до 1995 року для збирання столових коренеплодів було передбачено організувати випуск дворядних машин брального типу Е-825 (до тракторів кл. 1,4-2), але ввезені із НДР ці машини залишились в одиничних зразках [6].

Коренезбиральну машину Е-825 використовували для збирання двох рядків моркви, столових буряків та інших коренеплодів. Вона складається з гичкопідіймача 7 (рис. 1.3), підкопувальних лемешів 8, брального апарата 6, гичковідокремлювального апарата 5, позовжнього конвеєра 3, пальчастого стрічкового конвеєра 1, поперечного конвеєра 4, вивантажувального елеватора 2, опорних коліс, рами, механізмів привода, кабіни з органами керування та причіпного пристрою [22].

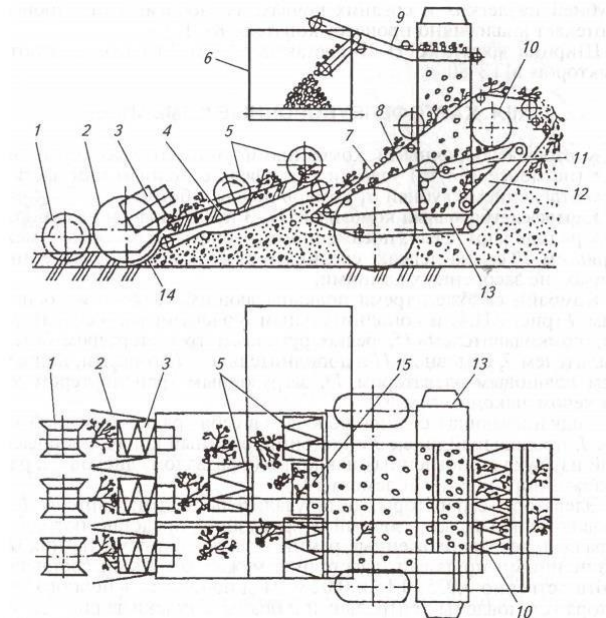


1 – пальчастий конвеєр; 2, 4 – конвеєр; 3 – сепарувальний елеватор; 5, 6 – гичковідокремлювальний і бральний апарати; 7 – гичкопідіймач, 8 – лемеш

Рисунок 1.3 – Схема коренезбиральної машини Е-825

Під час руху машини вздовж рядків гичкопідіймачі 7 піднімають і спрямовують гичку до бральних апаратів 6, які являють собою клинозубчасті паси. Внутрішні ланки цих пасів захоплюють коренеплоди за гичку. Одночасно коренеплоди підкопуються лемешами 8. Бральні апарати витягують коренеплоди з ґрунту і переміщують їх до гичковідокремлювального апарата 5, де гичка відривається і попадає на конвеєр 4, коренеплоди падають на конвеєр 3. Останній переміщує коренеплоди на пальчастий конвеєр 1, який виділяє залишки гички, грудочки та інші домішки, а коренеплоди попадають на елеватор 2 і завантажуються у транспортний засіб.

У системі машин до 1995 р. з'явилися нові розробки потужних машин: копач-завантажувач коренеплодів КПК-3 до тракторів кл. 1,4 (рис. 1.4, 1.5), самохідні трирядні машини МУК-1,8 для збирання на рівній поверхні, МУК-1,8-01 для гряд, МУК-1,8-0,2 для гребенів потужністю двигуна 78–110 кВт (рис. 1.6) [22].



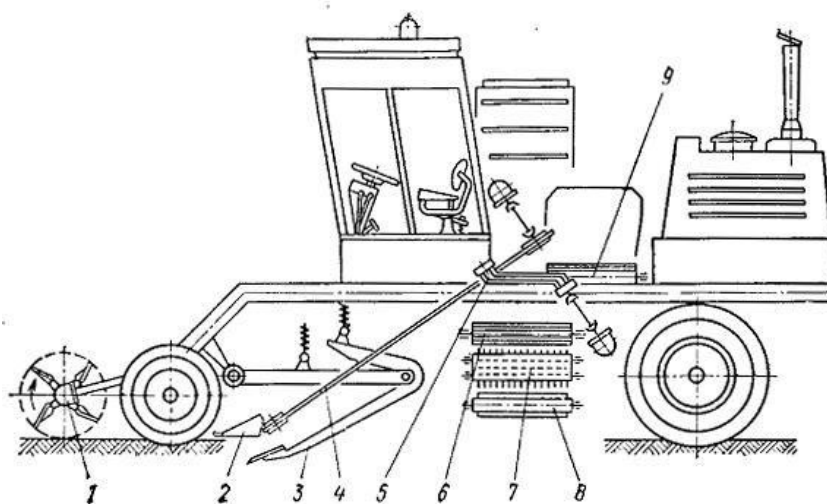
1 – котки опорні; 2 – диски викопувальні; 3, 5, 10 – шнеки; 4, 8 – елеватори-сепаратори; 6 – бункер накопичувач; 7 – рідкопрутковий конвеєр; 9 – завантажувальний конвеєр; 11, 12 – гірки; 13 – підйомний ковшовий елеватор; 14 – леміш; 15 – грудкороздавлювач

Рисунок 1.4 – Принципова схема картоплезбирального трьохрядного комбайна КПК-3

Широко використовували і виконували роздільний спосіб збирання столової моркви в дослідному господарстві ННЦ «ІМЕСГ» «Мар'янівка», де використовували картоплезбиральний комбайн Е-665 з пристосуванням ПУМ-2. У ДП ДГ «Оленівське» ННЦ «ІМЕСГ» до останнього часу використовувалось роздільне збирання столової моркви косаркою-подрібнювальною роторною КІР-1,5Б, очисником ОГД-6 і трирядним картоплезбиральним комбайном Е-684 [22].



Рисунок 1.5 – Загальний вигляд картоплезбирального трьохрядного комбайна КПК-3



1 – прокошувач міжрядь; 2 – гичкопідіймач; 3 – підкопуючий пристрій; 4 – бральний механізм; 5 – роторно-планчатий гичковідділяючий механізм; 6 – сепарувальний прутковий конвеєр; 7 – пальчаста гірка; 8 – навантажувальний конвеєр; 9 – конвеєр для відведення бадилля

Рисунок 1.6 – Схема картоплезбирального трьохрядного комбайна КПК-3

На даний час в Україні починають здійснюватись наміри щодо відновлення сільськогосподарського машинобудування, що дасть змогу впроваджувати нові розробки робочих органів і машин для збирання столових коренеплодів. У новій системі машин 2012 року для збирання столових коренеплодів пропонують універсальну машину для збирання столових коренеплодів та цибулі-ріпки [3].

У залежності від призначення вирощуваної продукції, парку машин збиральної техніки використовують різні способи механізованого збирання моркви. Перший спосіб – збирання машинами з робочими органами брального типу (морква, призначена для реалізації в торговельну мережу, підприємства харчування, тобто там, де користуються попитом коренеплоди з видовженою формою) [27].

При збиранні машинами брального типу не вимагається попереднього видалення бадилля, а при збиранні комбайнами необхідно проводити попереднє видалення бадилля. В обох випадках необхідно забезпечити чистоту посівів від бур'янів. В особливій мірі чистота від бур'янів має бути при роботі машин брального типу, тому що дані машини працюють в автоматичному режимі відстеження рядка рослин, і при наявності бур'янів копір рядка може відхилитися в сторону [23].

Збирають столові коренеплоди, в основному, машинами спеціального призначення вибірковим, суцільним і комбінованим способами. Для збирання цибулі застосовують копачі ЛКГ-1,4 і ЛКП-1,8. Моркву і столові буряки збирають відповідно машинами УКМ-2, УКМ-1, МСІС-1, ММТ-1М, ЕМ-11 і Е-825 [25, 26].

Машини ММТ-1М і ЕМ-11-1 призначені для збирання одного рядка моркви, столової моркви та інших коренеплодів і навантаження їх у транспортні засоби [25, 26].

Із вітчизняних машин для викопування ДСК поширений комбайн «Веста» (рис. 1.7).

Із заграничних комбайнів брального типу часто зустрічаються машини фірми Asa-Lift, яка випускає начіпні, напівначіпні та причіпні комбайни для збирання моркви (рис. 1.8). Комбайн для збирання моркви Asa-Lift збирає моркву

з одночасним вивантаженням на транспортний засіб (елеваторного типу), або з накопиченням в бункер місткістю від 2 т до 4 т, або в контейнера, встановлені на майданчику [51].

Вибір комбайна для збирання моркви залежить від обсягів збирання і можливості господарств по вивезенню продукції. Також поширений випуск машин інших зарубіжних та вітчизняних фірм: комбайн для збирання моркви Алина, машина для збирання моркви фірми Dewulf VeconRVL-WR2C, морквозбиральний комбайн Grimme Varitron 270, комбайни для збирання моркви фірми SIMON, машина фірми EUROPA та ін [11].

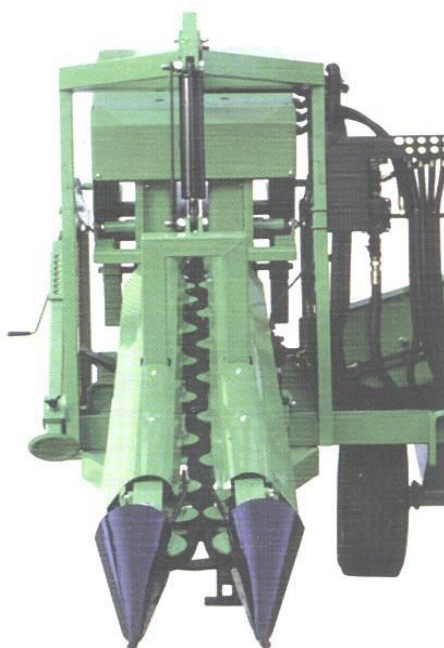


Рисунок 1.7 – Загальний вигляд комбайна для збирання моркви Веста-1



Рисунок 1.8 – Загальний вигляд комбайна для збирання моркви Asa-Lift

Друга технологія збирання моркви виконуєтьсяз допомогою підкопувальних приставок на картоплезбиральних комбайнах (короткі коренеплоди з потовщеною формою типу Шантане для промислового перероблення).

Картоплезбиральні комбайни мають більшу продуктивність, однак завдають більше пошкодження коренеплодам.

Здорова високоякісна морква може бути отримана тільки при дотриманні принципів інтегрованої організації виробництва, суворого дотримання всіх аспектів вирощування моркви. Чіткий контроль за станом ґрунту, добір сортів, догляд за посівами, контроль за бур'янами, шкідниками та хворобами – всі ці заходи лежать в основі збереження якісної продукції. Збирання моркви здійснюється в стадії повної зрілості, оскільки в цей час морква менш чутлива до потемніння, викликаного кисневим надлишком [33-36].



Рисунок 1.9 – Загальний вигляд копалки для молодшої картоплі, моркви, столового буряка PYRUS II

Копалка (рис. 1.10) призначена для викопування картоплі та інших кореневих культур (буряк, морква, цибуля тощо) з одного ряду.

Найбільший ефект роботи досягається за умови чистого від бур'янів та каміння поля, на м'яких та щільних ґрунтах. Агрегатується з тракторами потужністю понад 10 кН, які мають триточковий пристрій кріплення, а також стандартизований ВВП.

Викопувальні робочі органи (далі для стислості - копачі) призначені для вилучення коренеплодів з ґрунту і передачі їх на очисні робочі органи. Під копачами ми тут будемо розуміти тільки викопувальні робочі органи для машин, побудованих за принципом попереднього обрізування бадилля на корені. Підкопувальні лапи застосовувалися тільки на бурякопідіймачах і комбайнах терebilьного типу і мають тільки історичний інтерес, оскільки бурякопідіймачі і бральні комбайни в даний час вже не застосовуються для збирання буряка але застосовуються при збиранні столових коренеплодів, наприклад моркви [12].



Рисунок 1.10 – Загальний вигляд копалки навісної КН-1

1.2 Тенденції створення конструкцій робочих органів для викопування довгоплідних столових коренеплодів

Копачі є найважливішими робочими органами машин для збирання столових коренеплодів. Від якості їх роботи вирішальним чином залежить ефективність конструкції всієї машини, тому до них пред'являються чисельні і досить жорсткі вимоги. Копачі повинні забезпечувати руйнування зв'язку коренеплодів з ґрунтом, вилучення їх з ґрунту без пошкоджень і втрат, передачу на очисні робочі органи машини з можливо меншою кількістю ґрунтових домішок на коренеплодах і у вільному вигляді. Оскільки ці операції пов'язані з великими

витратами енергії, необхідно також добиватися її мінімізації. Обов'язковими є також вимоги високої технічної та технологічної надійності в різних природно-виробничих умовах – сухі і вологі ґрунти різного механічного складу, засмічених полів і т. п. Окрім конструкційних особливостей копачів, ефективність їх роботи істотно залежить від ґрунтово-погодних умов, характеру росту коренеплодів, рівномірності їх розподілу в рядку і вирівняні, розмірних характеристик, а також вибору регульованих параметрів, особливо заглиблення в ґрунт, і режимів руху.

Копачі як і гичкозрізаючі апарати пройшли довгий шлях еволюції і, як ми побачимо далі, процес їх вдосконалення та розвитку ще триває. Не претендуючи на історичну точність, ретроспективне уявлення розвитку вильчасто-лемішних копачів (від ручного копання до знаряддя на кінській робочій силі) нами представлено на рисунку 1.11. Істотна різниця між бурякопідійомниками і копачами з'явилася тоді, коли виникла необхідність одночасно з викопуванням коренеплодів підбирати їх з поверхні поля і передавати на конвеєр-очищувач коренекопача або комбайна [14].

У початковий період довгий час (1930-1960-і роки) широке поширення знаходили зазначені вище різного роду пасивні вильчаті і лемешні копачі. Перший патент на вильчастий коренепідіймач був отриманий у 1878 році. Замкнуті ззаду вилки та лемеші (рис. 1.11) зазвичай закріплювали на несучій рамці за допомогою горизонтальної балки (для багаторядних машин) [14, 18].

Найпростіші копачі відносно надійно працювали в досить сприятливих умовах: на ґрунтах середньої вологості і чистих від бур'янів плантаціях. При відхиленні від таких умов технологічна надійність їх різко знижувалася, в основному через забивання вологим ґрунтом і рослинними залишками (бур'янами і відмерлим бадиллям). Крім того, процес викопування замкнутими ззаду вилками або лемішами при роботі на сухих і твердих ґрунтах супроводжувався обламуванням хвостової частини коренеплодів.

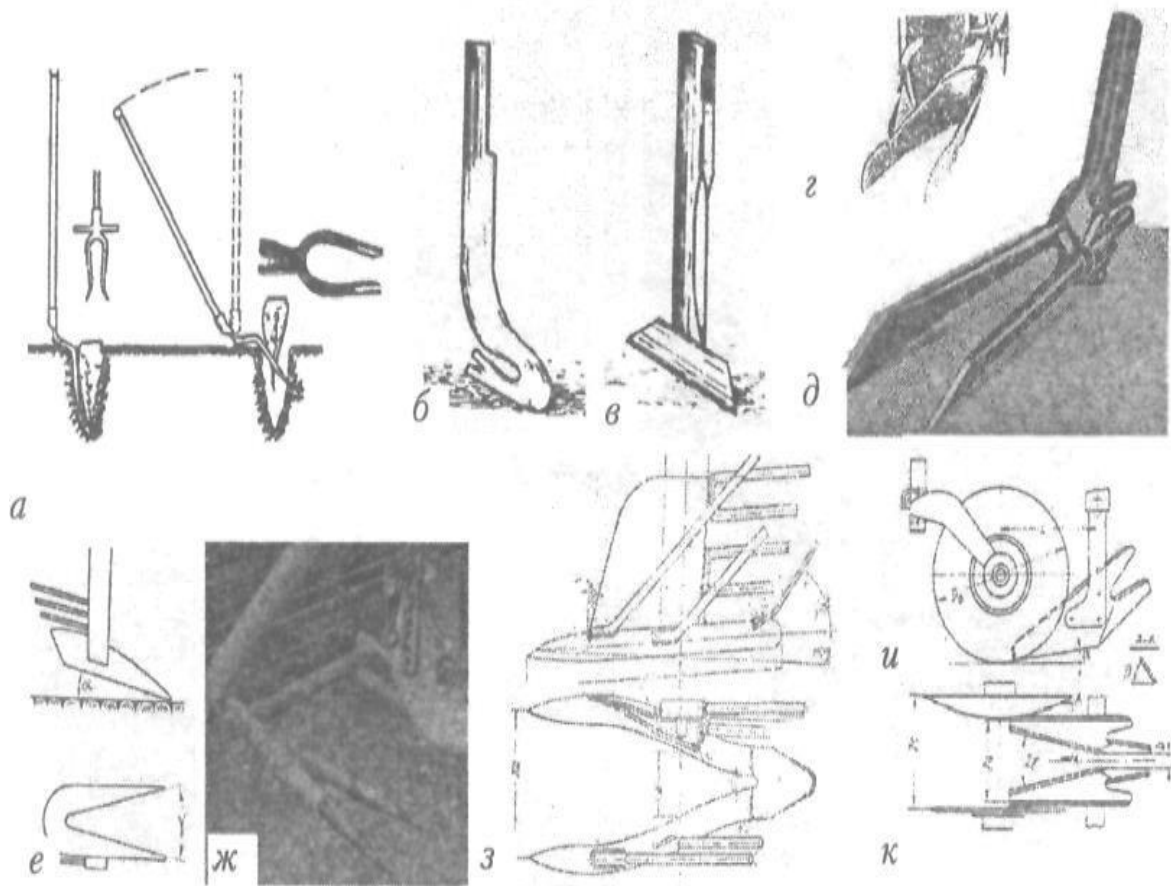


Рисунок 1.11 – Розвиток конструкцій вильчисто-лемішних копачів: *а, б, г, д, ж, з* – еволюція ручного копача у вильчастий копач; *в, е, и, к* – еволюція одностороннього лемішного бурякопідіймача в 2-х лемішний замкнутий (*з*) і роз’ємний (*и*) копач

Пізніше, щоб підвищити технологічну надійність, почали застосовувати розімкнуті лемішні копачі з гострим або тупим кутом входження у ґрунт. Невеликий просвіт між задніми кінцями леміша в таких копача дозволяв вільно проходити хвостовій частині коренеплоду, а також деякої частини ґрунту з рослинними залишками. Затиснений в зоні великого діаметра коренеплід у процесі поступального переміщення копача витягувався з ґрунту. Перед вилками і лемішами встановлювали вертикальні диски для розрізання рослинних залишків і прорізування верхнього шару ґрунту з метою полегшення просування леміша та зниження комкоутворення. На лемішах з тупим кутом входження рослинні залишки менше нависають, тому необхідність в установлених перед копачами

вертикальних дисків тут менша. Щоб подолати ці труднощі і поліпшити розрізування бур'янів та бадилля, передню частину леміша (рис.1.12) забезпечили збільшеними піднятими вгору загостреними передніми частинами, які більш активно розрізають бур'яни і пласт ґрунту та перешкоджають нависанню на його стійках-стовбах рослинних залишків. Для підвищення надійності підбору викопаних коренеплодів і надходження їх на очищувач над лемешем встановлювали активні коренезабірники у вигляді притискних конвеєрів з бічними обмежувальними прутками або бітери з еластичними лопастями. Останнє рішення знаходить широке застосування і в сучасних машинах [14, 18, 19].

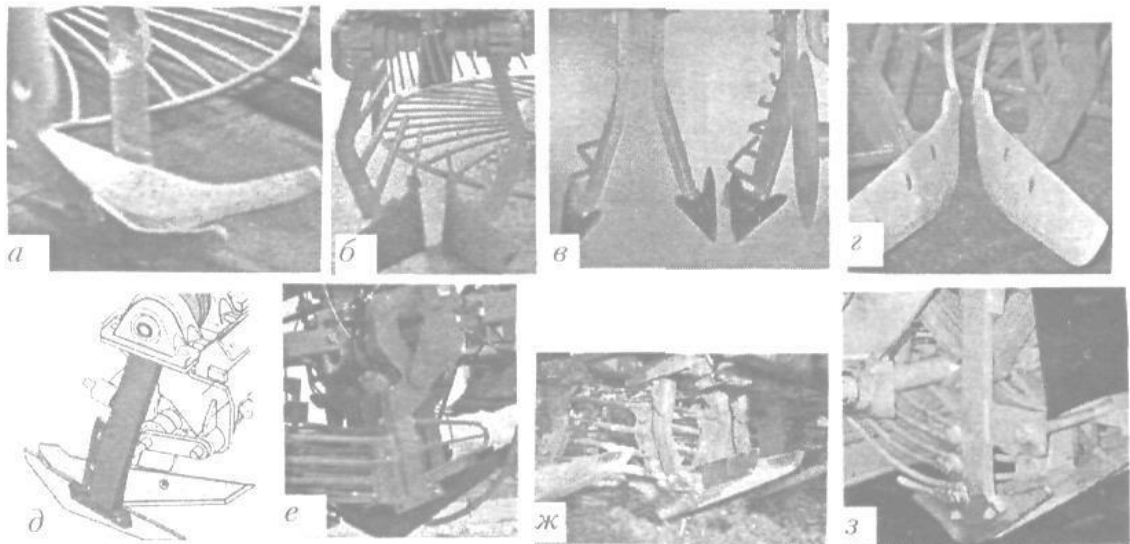


Рисунок 1.12 – Розвиток конструкцій лемішного копача європейського типу: *а* – пасивний копач; *б-д* – коливально-лемішні копачі; *е, з* – копачі з додатковим пристроєм; *і* – копач фірми "Рона" (ФРН) з підпружиненими лемешами і опорними колесами

Конструкції дискових копачів розвивалися як альтернатива лемішним копачам (які давали помітні втрати обламаними хвостами і високу засміченість вороху грудками) для роботи як на твердих ґрунтах (променеві, США), так і з суцільним ободом (згодом приводні) для більш вологих європейських ґрунтів (рис. 1.13 а-г).

У Франції з переважаючими легкими та середніми суглинками і вологими умовами в період збирання був створений копач з одним пасивним, поставленим під кутом до напрямку руху диском і пасивним полозком-лижею (рис. 1.13 д-ж).

Цей простий копач набув широкого поширення в різних конструкційних варіантах під назвою "євродиск". Такі копачі встановлюються на багаторядних машинах таким чином, щоб у роботі вся рамка з копачами могла вільно спиратися на ґрунт і обмежено переміщатися в поперечному напрямку, слідуючи напрямку рядків. При цьому лижі служать одночасно обмежувачами глибини ходу копачів і направляють копач уздовж рядків коренеплодів. Однак на сухих і твердих ґрунтах ці копачі малоприсадибні для використання, тому що сприяють обламуванню хвостової частини і засміченню грудками ґрунту.

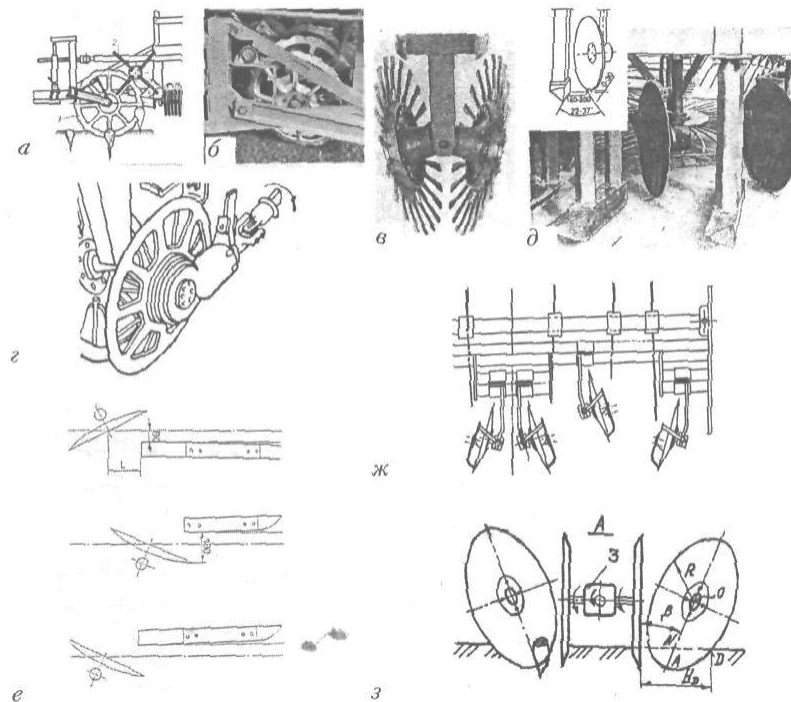


Рисунок 1.13 – Розвиток конструкцій дискових копачів: а, б – конструкція пасивних дискових копачів з бітером; в – дисковий променевої копач (США); г – приводний дисковий копач; д, ж – комбінований дисково-полозовий копач ("євродиск"); з – комбінований дисковий копач (Р. Гевко)

Ще одне істотне джерело втрат пов'язане з поперечним відхиленням коренеплоду в момент його викопування від осі симетрії копача. Причинами відхилень є помилки в управлінні копачами по рядках коренеплодів і природні зміщення коренеплодів від осі рядка (± 5 см), які носять випадковий характер. Для ослаблення впливу цього чинника в Голландії в 1970-ті роки лемішні копачі були забезпечені механізмом поперечної самоустановки щодо направлення до рядка

коренеплодів (рис. 1.14 а). Рамка з лемішами була встановлена на несучій рамі викопувального пристрою з можливістю обмеженого зсуву в поперечному напрямку по полозках або валу з двостороннім підпружуванням.

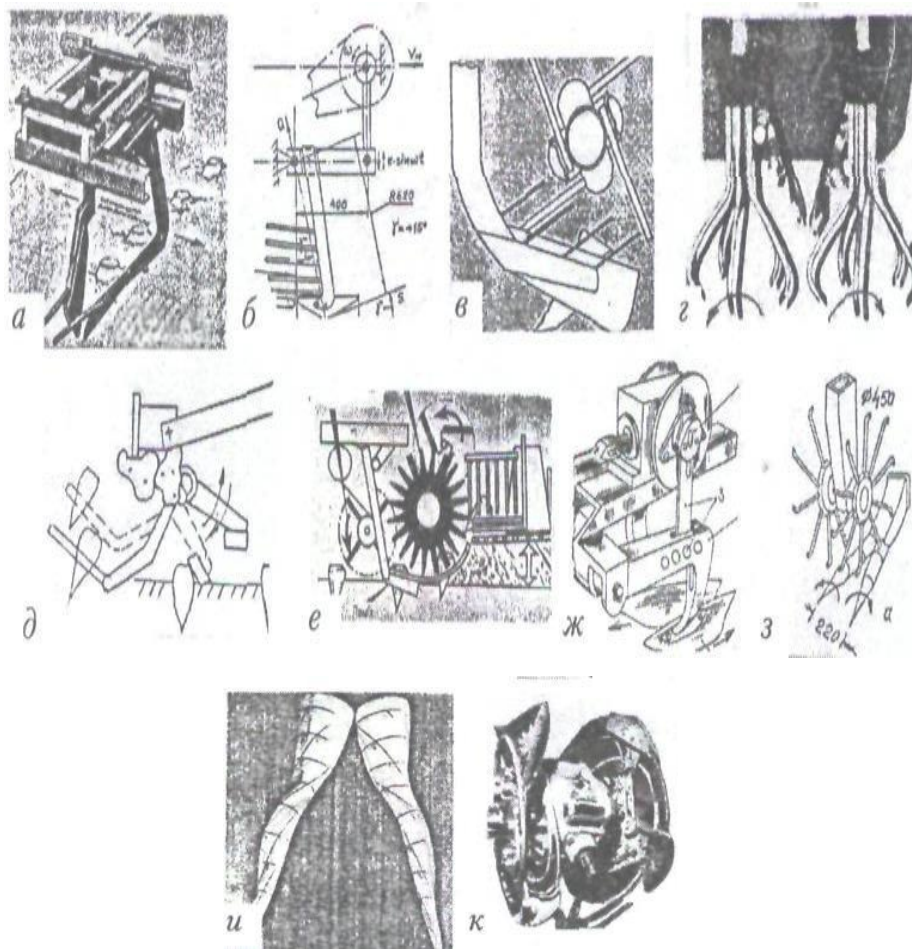


Рисунок 1.14 – Технічні способи активації в конструкціях копачів: а – лемішний копач з поперечним пристосованим для запобігання відхіленню коренеплодів від лінії рядка ("Flugelchar"), б, в – лемішно-коливальний копач з позитивним ($\gamma = +15$) ("Аесуре", Іспанія) і вертикальним нахилом стійки і подаючим бітером ("Кляйне", ФРН); г-з – з протифазним коливанням лемішків і ротаційними забірниками-доочисниками ("Холмер", ФРН); д – коливальний з ударним механізмом; е-з – з протифазним коливанням лемішків (патент США № 3433928 "Роталіфт"); е-з – з прогумованим коренезбірником (патент фірм "Мерседес" і "Штоль"); з – (ротаційно-вильчатий) копач з активними металевими забірниками; и – рогоподібні вилки копача (В. Корабельський); к – ротаційний копач фірми "Вікон" (Голандія)

Подальше збільшення активності копачів (виконуюче зусилля для кращого руйнування грудок, зниження тягового опору і підвищення повноти викопування) було надалі досягнуто за рахунок створення діючих на коренеплід активних витягаючих сил за допомогою приведення копачів в низькочастотний коливальний рух (рис.1.13., 1.14.). При цьому частота коливань завдяки вдосконаленню привідних механізмів зросла за останні 45 років з 2,5-3,0 Гц до 10-12 Гц. В сучасних західноєвропейських бурякозбиральних машинах найбільшого поширення отримали активні ("рюттельшар") лемішні копачі, в яких здійснюються низькочастотні (~ 10 Гц) коливання з амплітудою 10-20 мм упоздовжньо-вертикальній площині з різною кінематикою (рис. 1.13., 1.14) .

1.3 Висновки

1. Більше 80 % столових коренеплодів в Україні виробляється малими господарствами із невеликими посівними площами, які не забезпечені технічними засобами для виробництва овочевих культур по причині високої вартості зарубіжної техніки, а вітчизняна техніка застаріла і потребує оновлення.

2. Визначено перспективність дослідження технологічного процесу роздільного збирання столових коренеплодів довжиною до 35 см.

3. Для зменшення втрат під час збирання урожаю ДСК довжиною до 35 см, особливо в період після заморозків, ефективним є механізоване збирання роздільним способом із застосуванням технічних засобів з перспективними робочими органами запропонованої нами конструкції.

4. Обґрунтовано вибір конструкційної схеми робочого органа для викопування ДСК.

РОЗДІЛ 2

АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА ПАРАМЕТРІВ РОБОЧОГО ОРГАНА ДЛЯ
ВИКОПУВАННЯ ДОВГОПЛІДНИХ СТОЛОВИХ КОРЕНЕПЛОДІВ2.4 Моделювання і
проектування
деблокувального
робочого органа

В якості первинної основи системного моделювання форми робочих поверхонь виконавчих органів приймаються синергетичні дослідження самоорганізації структури для біологічних систем природного походження як об'єктів, що безпосередньо спостерігаються і описуються взаємопов'язаними логічними елементами (рис. 2.1, 2.2).

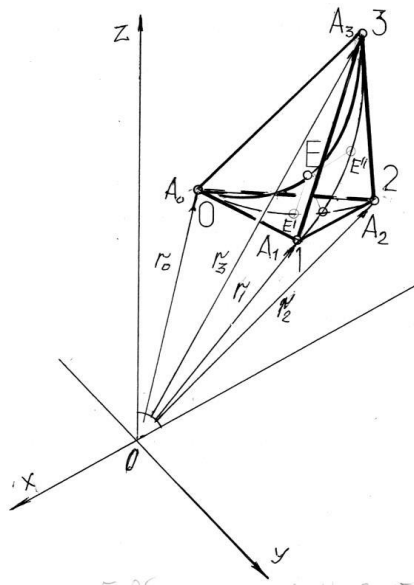


Рисунок 2.1 – Обернена модель системи «всієї геометрії» (проективний координатний тетраедр 0123 в афінному просторі, зокрема в евклідовому Oxyz)

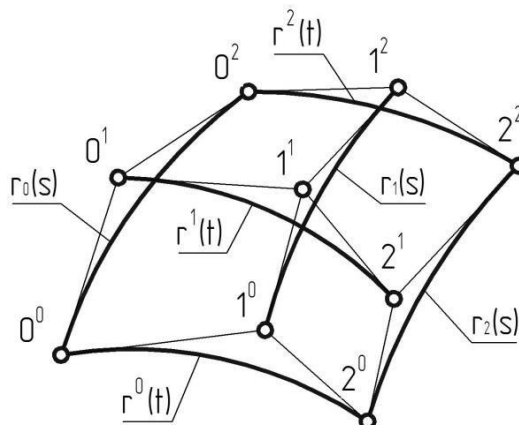


Рисунок 2.2 –Приклад конструювання простого «куска» поверхні,

визначаючих поверхню простих дуг кривих, кожна із яких має три базові

У залежності від точки зору на предмет математики та її методи, в основному, можна поділити на змістовну, формальну і прикладну. Змістовна математики вивчає системи абстрактних об'єктів, що наділені конкретним змістом і названих конструктами, яким може бути множинімірний симплекс, де множини можна представити відповідно точкою, відрізком, трикутником і тетраедром, відображуючи одноелементні підмножини вершинами, двоелементні – ребрами, триелементні – гранями і чотириелементні – геометричним тілом (тетраедром), який може слугувати синергетичною моделлю біологічної системи – насінини соняшника, об'єм якої формувався умовами ліній ковзання (логарифмічними спіралями) в середовищі, обмеженому уповільненим зростанням головки у порівнянні з ростом насінини і приймається як об'ємна проективна координата [7-10, 14].

Загальні принципи моделювання дозволяють звести дослідження реального «нематематичного» об'єкта землеробської механіки до розв'язку математичної задачі.

Приклад концептуального моделювання і конструювання (з базами знань) виконавчих органів як агрегаційних систем землеробської механіки [7-10, 14]. Так, *K*-модель або метаопис задається рівнянням:

$$r = \frac{r_0(s) + a_1 t r_1(s) + a_2 t^2 r_2(s)}{1 + a_1 t + a_2 t^2}, \quad (2.1)$$

де t, s – змінні параметри поверхні,

$$r_i(s) = \frac{r_i^0 + a_1 s r_i^1 + a_2 s^2 r_i^2}{1 + a_1 s + a_2 s^2},$$

$i = 0, 1, 2$

Якщо в рівнянні 2.9 надати $s = 0$ і $s = \infty$, то отримаємо відповідно рівняння кривих $r^0(t)$ і $r^2(t)$ (рис. 2.7), до яких можуть бути введені фізичні характеристики. Тоді маємо рівняння критеріальної *K*-моделі або метаопису емпіричних показників:

$$\sigma_{відр}^{ve} = \sigma_{відр}^{(0)} (1 + k v_e \sin \alpha), \quad (2.2)$$

де, $\sigma_{відр}^{v_e}$ – тимчасовий опір відриву як деякої відносної швидкості прикладення навантаження – v_e ;

$\sigma_{відр}^0$ – тимчасовий опір відриву для швидкості $v_e = 0$.

З іншого боку в якості моделі цієї ж теорії можна розглядати деякі абстрактні множини з відношеннями фізико-механічного характеру (силову характеристику робочих поверхонь виконавчих органів), що описуються К-моделями або метаописами співвідношень фізичної механіки і приймаються як функціональна модель:

$$R_x = \rho_0 v_e^2 \left(\sin 2\alpha + \frac{\sin 2\alpha}{2} \operatorname{tg} \varphi \right), \quad (2.3)$$

$$R_y = \rho_0 v_e^2 \left(\frac{\sin 2\alpha}{2} - \sin 2\alpha \operatorname{tg} \varphi \right), \quad (2.4)$$

де ρ_0 – початкова щільність ґрунту, $\text{г}\cdot\text{см}^{-3}$; v_e – відносна швидкість руху по поверхні, $\text{м}/\text{с}$; α – характеристичний кут деформації, рад; φ – кут зовнішнього тертя, рад.

Наведені моделі однаково втілюють в собі одну теорію, але мають принципову різницю – вони існують в різних значеннях (математичному, аналітичному, фізичному і механічному) і складають універсальну К-модель або метаопис.

Модель ґрунтового середовища, яка б мала достатньо високий ступінь адекватності і лягла б в основу моделювання і конструювання функціональної форми робочих поверхонь виконавчих органів за допомогою ЕОМ, можна побудувати тільки шляхом урахування повного комплексу визначаючих характеристик. Для ґрунтового середовища такі характеристики не піддаються формалізації і, як правило, можуть бути описані тільки логіко-евристичним шляхом, який започатковують наведені К-моделі або метаописи [7-10, 14].

Приклад концептуального моделювання і конструювання (з базами знань) мінімальноенергодостатнього робочого органа копача коренеплодів двоярусного типу за допомогою ЕОМ наведено далі.

В якості прикладу застосування наведеної вище методики на рисунках 2.3, 2.4 приведені результати проектування зубів деблокатора, які мають робочих поверхні у вигляді торсу дотичних з ребром звороту, а криволінійний леміш у вигляді поверхні переносу. Ці робочі поверхні конструюються в комп'ютерній технології за допомогою раціональних алгебраїчних функцій [7, 8, 9, 10, 14].

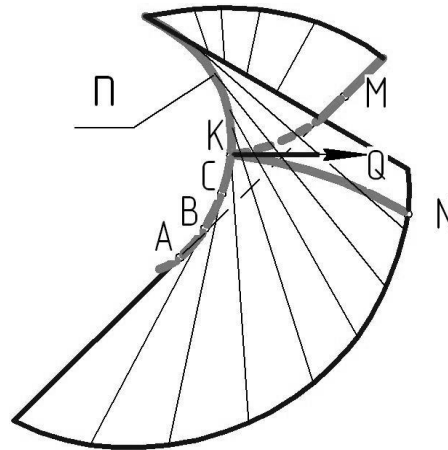


Рисунок 2.3 – Поверхня торсу дотичних з ребром звороту та її переріз площиною, перпендикулярною до ребра звороту – Q

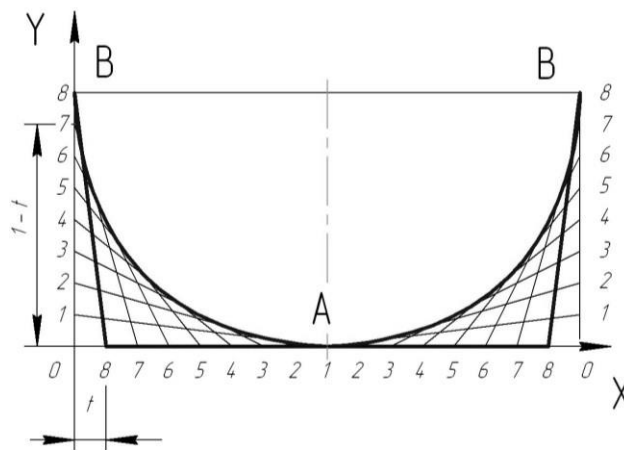
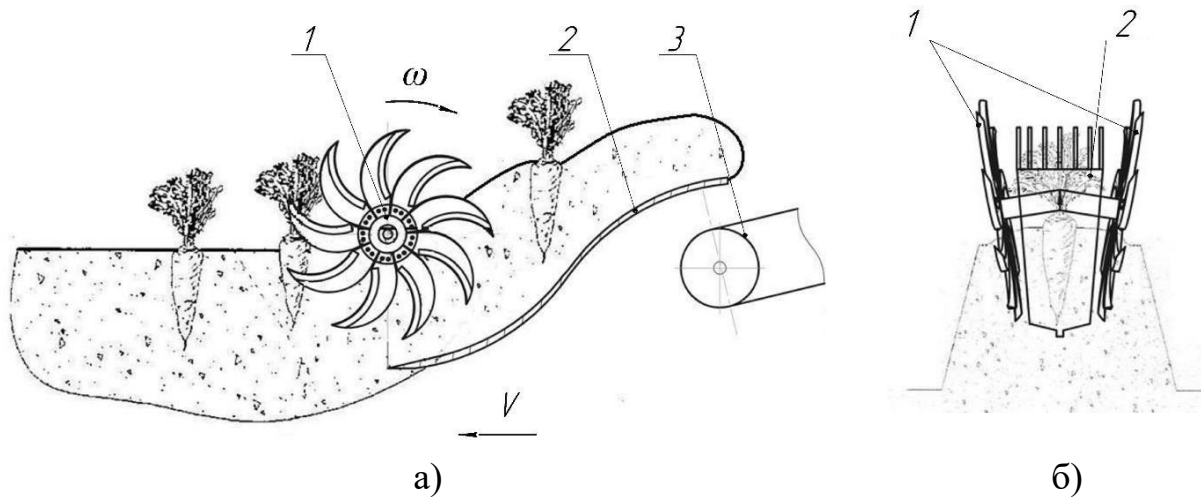


Рисунок 2.4 – Поверхня переносу криволінійного лемеша. Поперечний переріз – побудова пропорційної кривої за допомогою відрізків прямих

Зазначене дозволить при конструкційному виконанні технологічного скибовиділяючого вузла у вигляді дискового деблокатора, розташованих по обидва боки від осі рядка коренеплодів, отримати загальну деформуючу поверхню тиску, дія якою охоплює з двох боків рядок коренеплодів.

При нарізанні канавок робочим органом у вигляді зустрічно-спарених під деяким кутом дисків методом сідлання ряду коренеплодів поверхня різання і деформації утворюються в шарі ґрунту в результаті двох відносних рухів, а саме – поступального і обертального. Поступальний рух здійснює робочий орган копача, а обертальний – дисковий деблокатор (рис. 2.5) [17].



а – вид збоку; б – вид спереду

Рисунок 2.5 – Схема загального вигляду викопувального робочого органа двоярусного типу: 1 – дисковий деблокатор; 2 – підкопуючий леміш; 3 – сепарувальний конвеєр

Геометрія поверхні різання і деформації при виконанні канавок залежить від геометрії різальної крайки зубів деблокатора (стичні площини просторової кривої з одного боку або з різних боків зубів деблокатора), форми деформувальної (торсової) поверхні та напрямку руху робочого органа і обертання деблокатора по відношенню до тіла шару ґрунту, що обробляється. Якщо напрям руху робочого органа збігається з напрямом обертання зубів деблокатора в зоні різання і деформації – маємо супутнє фрезерування (рис. 2.6), яке характеризується найкращими умовами врізання зубів деблокатора в масив питомої енергомісткості (бо маємо деформації розриву, які спрямовані в бік найменшого опору вільної поверхні ґрунту). Траєкторія руху точок зубів деблокатора має вигляд стиснутої циклоїди [7-10, 14].

Якщо напрям обертання деблокатора протилежний напрямку руху робочого органа, то має місце зустрічне фрезерування. В цьому випадку робочий орган поліпшує умови підрізання тіла шару ґрунту пасивним лемешем знизу і при різально-деформувальній поверхні зубів у формі торса сприяє подаванні коренеплодів у середину русла копача і на леміш. Така схема виявляється більш енергомісткою.

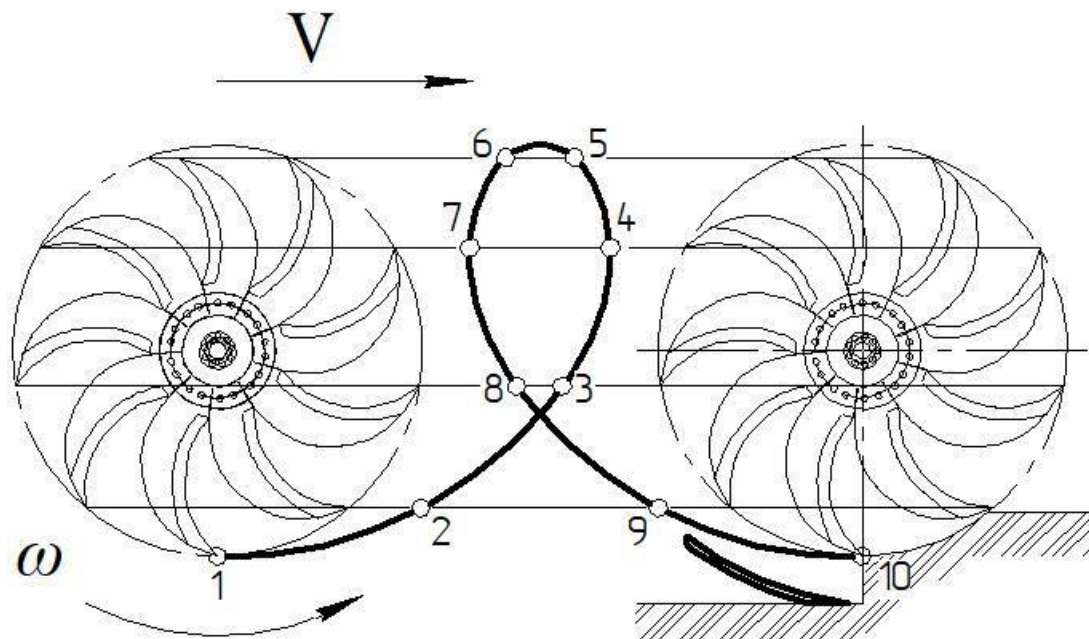


Рисунок 2.7 – Траєкторія руху точок зубів деблокатора у вигляді стислої циклоїди (супутнє фрезерування)

Зустрічне фрезерування має перевагу на щільних, важких ґрунтах при недостатності вологості, а також, при потребі, в додатковому рушії. Траєкторія руху точок зубів деблокатора має вигляд дзеркального відображення стиснутої циклоїди, яка зміщується на 180° .

Як варіант для експериментальних досліджень може мати місце супутно-зустрічне фрезерування, коли деблокатор має різні напрямки обертання.

З метою забезпечення оптимальних умов подальшого виділення лемешем тіла шару (підрізання знизу), воно повинно мати в поперечному напрямку форму трапеції з меншою основою в нижній частині шару, яка поступово збільшується в

напрямку розбухання шару. Це призведе до зменшення внутрішнього тертя при розбуханні шару.

Більш детальна інформація на новий робочий орган міститься в заявці на винахід.

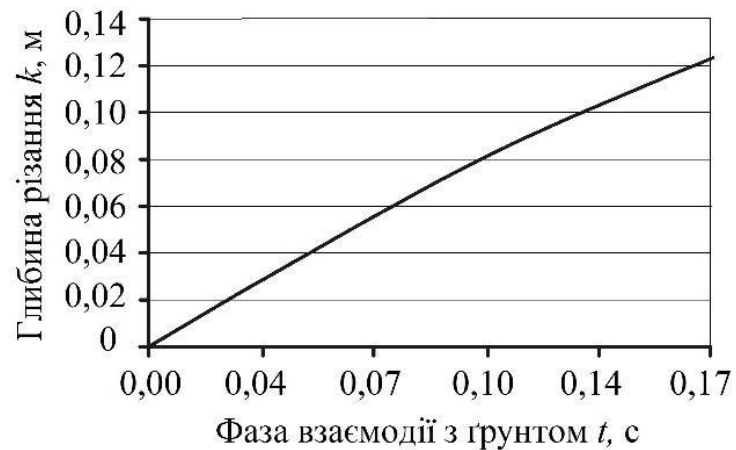


Рисунок 2.8 – Залежність глибини різання зуба деблокатора відносно фази взаємодії його з ґрунтом

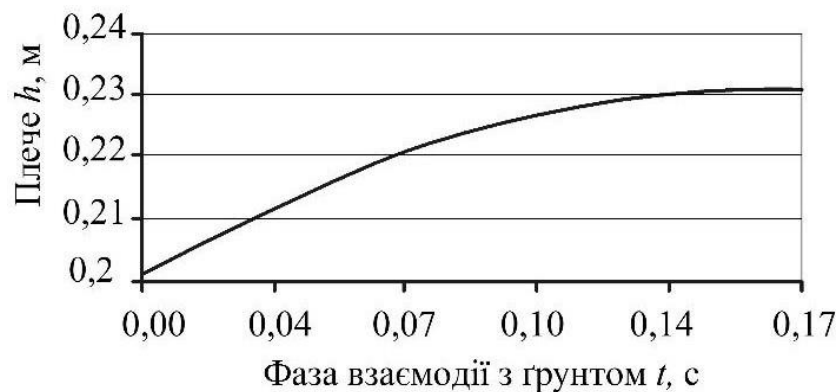


Рисунок 2.9 – Залежність рівнодійної сили різання зуба деблокатора відносно фази взаємодії його з ґрунтом

При цьому питомий опір ґрунту на розтяг приймали рівним $6700 \text{ Н}\cdot\text{м}^{-2}$. У результаті моделювання побудовано поверхню відгуку, яка відображає залежність споживаної потужності зубом деблокатора від його кутової швидкості ω та фази взаємодії з ґрунтом у момент t від початку контакта з ґрунтом до його виходу з ґрунту [4, 11, 16, 17].

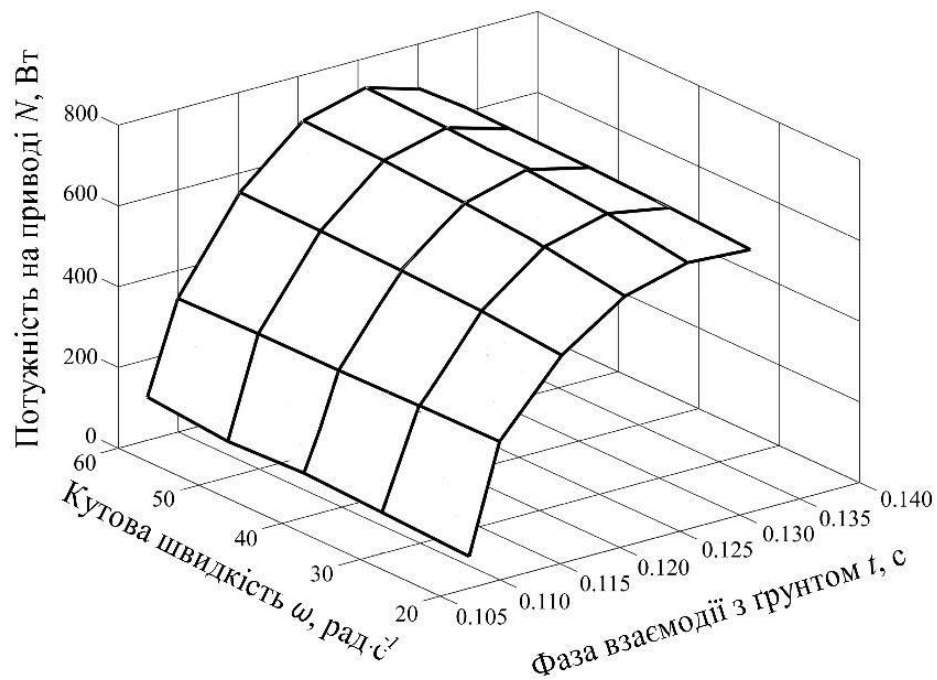


Рисунок 2.10 – Залежність потужності N , споживаної зубом, від фази взаємодії зуба з ґрунтом в момент t і кутової швидкості ротора деблокатора ω

З рисунку 2.10 видно, як із поворотом зуба від вертикалі зростає споживана потужність, що пояснюється збільшенням величини проникнення зуба в ґрунт та, відповідно, об'єму ґрунту, з яким взаємодіє його поверхня. Зниження потужності в кінці перед виходом зуба із робочої зони зумовлене зменшенням плеча сили реакції ґрунту на зуб. Із збільшенням кутової швидкості з $20 \text{ рад} \cdot \text{с}^{-1}$ до $60 \text{ рад} \cdot \text{с}^{-1}$ потужність на привод деблокатора зростає з 600 Вт до 700 Вт. Для визначення усередненої потужності деблокатора визначили добуток інтегралу функції $N(t)$ на кількість зубів в ґрунті, а також дослідили зміну споживаної потужності залежно від кута нахилу робочої зони зуба до радіального напрямку [4].

2.5 Обґрунтування технологічної схеми та конструкційних параметрів робочого органа

На рисунку 2.11 представлена схема двохярусного робочого органа для викопування ДСК. Перший ярус – довгозубий деблокатор, який вирізає канали з

боків рядка, що забезпечує зменшення зусилля на відрив пласту ґрунта. Другий ярус – підкопувальний леміш, який підкопує рядок коренеплодів і подає на просіювальний конвеєр.

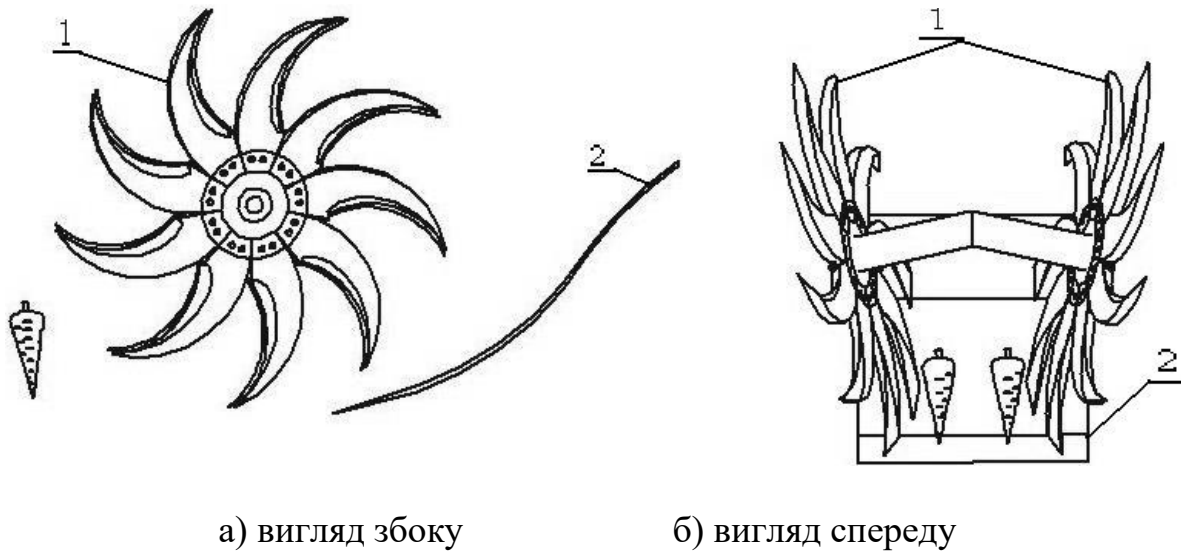


Рисунок 2.11 – Конструкційна схема робочого органа для викопування довгоплідних столових коренеплодів: 1 – довгозубий деблокатор; 2 – криволінійний підкопувальний леміш

Діаметр спарених деблокаторів з рвзально-деформувальними зубами вибраний рівний 700 мм для того, щоб розрихлити ґрунт збоків скиби ДСК на глибину їх залягання.

2.5.1 Визначення кількості зубів на динаміку процесу деформації кореневмісного шару ґрунту

Кількість зубів Z при вибраному кінематичному параметрі λ та подачі S визначено за виразом:

$$Z = \frac{2\pi R}{\lambda S_0},$$

де S_0 – подача на один зуб, м;

З розрахунків даного виразу кількість зубів на одному із спарених деблокаторів прийнято дев'ять штук.

Відношення колової швидкості деблокатора до її поступальної (робочої) швидкості дорівнює 1,4-1,5 [11, 16, 17].

2.5.2 Визначення розвалу та сходження двох дисків на робочому органі, та їх вплив на деформацію ґрунту

Досліджувався вплив на керованість викопувального агрегата робочих дискових деблокаторів, заглиблених до 25 см. Встановлено, що на щільних ґрунтах керованість агрегата погіршується із зміщенням від прямолінійного руху на 10 см на перших десяти метрах шляху.

З конструктивних міркувань було встановлено розвал і сходження 5 °, що забезпечило керованість агрегата.

2.6 Моделювання і проектування підрізувального лемеша копача

Умови раціонального деформування ґрунтового шару на основі агротехнічних вимог знаходяться в розподілі операцій вирізання шару ґрунту, кришення в напівблокованому стані та рихлення за місцем його залягання [7-10, 14].

Для конструювання вирізальної частини робочої поверхні скоби наперед заданими умовами являються:

- доведення пластичних деформацій в ґрунті на лінії різання до руйнування з мінімальними деформаціями всього об'єму шару;
- одержання мінімальної поверхні тертя шару, що обробляється, по робочій поверхні;
- додержання принципу найменшого опору руху при вирізанні всього шару ґрунту.

Геометричною моделлю перших двох заданих умов є:

1. Дія в поздовжньовертикальній площині системи елементарних сил із змінним кутом відхилення від вертикалі;
2. Мінімальний периметр поперечного перерізу шару.

Третя умова геометрично інтерпретується наступним чином: різальна крайка повинна мати форму лінії найменшого опору: якою на робочій поверхні буде геодезична лінія або пряма на розгортці, якщо робочою поверхнею є прямий круговий циліндр.

Отже, різальна крайка циліндричної вирізувальна частини робочої поверхні повинна бути виконана по гвинтовій лінії, яка виникає в перетині основного циліндра допоміжним синусоїдальним циліндром з віссю, перпендикулярною площині напрямку руху скоби.

Процес деформації ґрунту з розділом операцій різання і кришення є перспективним, можна чекати, що різальний елемент, відділений від основної робочої поверхні і висунутий вперед на зону активного впливу елемента поверхні, що кришить, буде давати менший опір при роботі в ґрунті.

Через зміну знаку кривизни робочої поверхні на початковій і кінцевій ділянках при русі скоби утворюється динамічна дія, що значно збільшує загальну зону деформації ґрунту в області змінних напрямків нормалей до поверхні.

Сучасні коренезбиральні машини комплектуються здебільшого копаками з плоскими формами робочих поверхонь спроможні якісно розпушувати ґрунт на значній глибині з малими енерговитратами. Ґрунт на робочій поверхні криволінійної форми рухається із змінною швидкістю, при цьому окремі шари ґрунтової маси взаємодіють між собою, отже, і переміщаються по-різному. Це і спричиняє ефективну дію механізму деформації ґрунту та інтенсивність руйнування внутрішніх зав'язків у ньому. Особливо ефективно діє механізм деформації при змінному знаку кривини робочої поверхні, яку можна класифікувати як ґрунтодеформуючу агротехнологічну поверхню (АТП).

«Функціональну» геометрію поверхонь можна одержати, зв'язавши геометричний принцип формоутворення з технологічним принципом її взаємодії із ґрунтом. Наприклад, відомо, що ґрунтова маса m рухається під дією змінної сили $R(t)$ на робочій поверхні з уповільненням (тобто відносна швидкість V_e прямує до нуля), тому виходячи з другого закону Ньютона, маємо:

$$V(t) = \frac{1}{m} \int_{t_0}^{t_1} R(t) dt, \quad (2.6)$$

де: t – час;

m – маса ґрунту.

Це може привести до нагромадження ґрунту на робочій поверхні та раптове порушення (розриву) технологічного процесу (стрибку). Вказане вище явище можна описати аналітично за допомогою розривної функції $e(x)$ яка має стрибок, а коли $x=0$. Отже, графік цієї функції – східець, бо якщо $x<0$, маємо $e(x)=0$, а якщо $x>0$, то $e(x)=1$. Звідки інша назва цієї функції – одинична.

Знайдемо аналітичний опис розривної (одиничної) функції за допомогою дельта-функції, яка є математичним аналітичним аналогом змінної сили $R(t)$, що має характер удару:

$$e(x) = \int_{-\infty}^x \delta(x) dx, \quad (2.7)$$

Ця функція дозволяє перетворення: збільшення висоти в n – разів при одночасному зменшенні ширини в стільки ж разів. Тобто, якщо взяти:

$$\Phi(x) = \frac{1}{\pi} \frac{p}{1+(px)^2}, \quad (2.8)$$

де Φ_1 – дельта-функція наближеного представлення як математичний аналог змінної сили $R(t)$;

p – коефіцієнт, який змінюється від 1 до 5.

То одержимо:

$$e(x) = \int_{-\infty}^x \frac{1}{\pi} \frac{p}{1+(px)^2} dx = \frac{1}{\pi} \arctg px = \frac{1}{\pi} \arctg px + \frac{1}{2}, \quad (2.9)$$

Графік цього інтеграла (рис. 10а) можна використати для моделювання форми координатної кривої, яка відображає певні технологічні якості через змінний параметр і може бути використана у геометричному моделюванні форми ґрунтодеформувальної поверхні як крива-параметроносій.

Залежно від властивостей ґрунту та швидкостей руху робочого органа описану «технологічну» криву було використано для знаходження геометричних рішень основних функціональних елементів при проектуванні різних робочих органів для інтенсивних і енергозберігальних технологій обробітку ґрунту. Проведені польові випробування засвідчили, що нова форма робочої поверхні сприяє зниженню тягового опору робочих органів та до інтенсифікації технологічного процесу обробітку ґрунту. Це особливо важливо при створенні фермерських машин для викопування ДСК, які агрегатуються з малопотужними енергозасобами кл. 0,6 та 0,9 кН.

Далі зазначена крива була використана як направляльна для розроблення геометричних рішень ґрунтодеформувальних поверхонь нульової кривизни, що дало змогу одержати поверхні з новим принципом дії за рахунок простого знакозмінного вигинання ґрунту при викопуванні коренеплодів. Таке геометричне рішення ґрунтодеформувальної поверхні забезпечує змінне за її висотою значення дотичних сил, що дає можливість одержати відносну швидкість V_e руху ґрунту в довільній точці поверхні, яка дорівнює або вища за її швидкість у початковій точці поверхні. При цьому рушійна сила R буде перемінною або зростатиме по висоті поверхні. Проведені дослідження засвідчують: що форма робочої поверхні значною мірою зумовлює напругу в ґрунті, що виникає в зоні його взаємодії з поверхнею. Щоб зменшити цю напругу, необхідно змінювати кут постановки дотичної площини до робочої поверхні відносно дна борозни. Ця зміна виконується в межах від мінімального значення до величини, яка забезпечує потрібну дію на ґрунт. Описана форма «технологічної» кривої геометрично моделює таку дію.

Розподіл нормального тиску по робочій поверхні можна розглядати як функцію впливу або моделювальну функцію тиску:

$$Y = G(x', \xi) = L[\delta(x' - \xi)], \quad (2.10),$$

де G – функція Гріна;

x', ξ – параметри функції.

Тоді за функцією відгуку є можливість моделювати поздовжній переріз оброблюваним ґрунтом.

Наслідком знакозмінного вигинання ґрунту в поздовжньому напрямку на робочій поверхні нульової кривизни є додаткова його деформація в напрямку, що йде впоперек і від якої зростає величина зони деформації. Для підвищення дії механізму деформації ґрунту в цьому напрямку необхідно певним чином змінювати форму кривої поперечного перерізу робочої поверхні і перейти до поверхні більш складної форми з додатною або від'ємною кривизною. Форма такої поверхні буде цілком відповідати динамічному характеру обробітку ґрунту, має хвилеподібний вигляд і спричиняє інтенсивні деформації, які сприяють зниженню енерговитрат.

Таким чином, концепція ґрунтодеформувальної форми робочої поверхні дає можливість реалізувати два шляхи зниження енерговитрат на виконання технологічного процесу. Перший – за рахунок використання змінного кута постановки робочої поверхні до дна борозни і другий – за рахунок використання змінної форми кривої поздовжнього перерізу робочої поверхні (за напрямком і величиною кривизни), а також змінної форми кривої поперечного перерізу від вгнутої в зоні функції підрізання до опуклої в зоні дії функцій рихлення і сепарації коренеплодів (рис. 2.13 – 2.15).

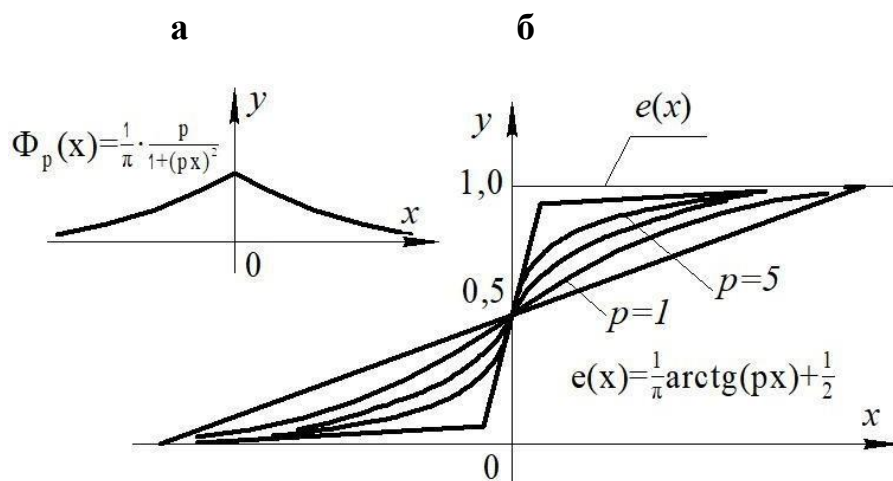


Рисунок 2.13 – Математичні функції та інтегральні криві як вираз деякого диференціального рівняння: а – розривна (одинична функція $e(x)$) і інтегральні криві $E(x)$; б – дельта-функція як математичний аналог змінної сили P

Обґрунтовано параметри викопувального робочого органа коренезбиральної машини, що закріплений на рамі і має коритоподібну форму з підігнутою вверх передньою частиною по формі параболічної кривої, виконаний у вигляді решітки, яка складається із з'єднаних між собою поздовжніх та поперечних прутів, причому поперечні пруту містять встановлені з можливістю обертання втулки, які розташовані поміж поздовжніми прутами, поперечні пруту виконані вгнутими у початковій частині робочого органа та рівними у кінцевій його частині, а поздовжні пруту виконані вгнутими у його початковій та в основній частинах, та плавно вигнутими у кінцевій частині, при цьому робочий орган має кут атаки α менше 5° до горизонталі, а в основній частині кут підйому маси β більше 40° [58-70].

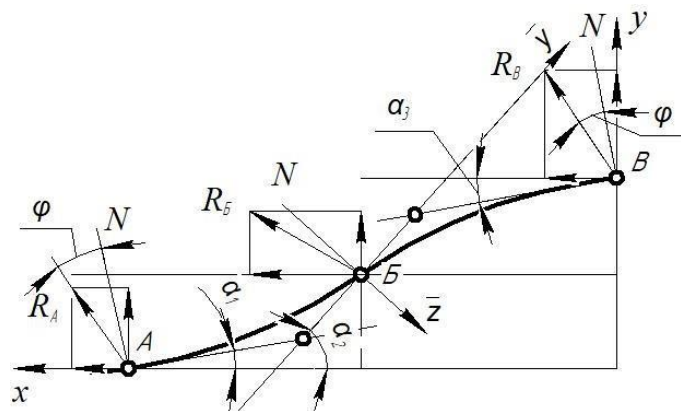


Рисунок 2.14 – Координатна крива агротехнологічної поверхні як носій параметрів, що визначені інтегральною кривою

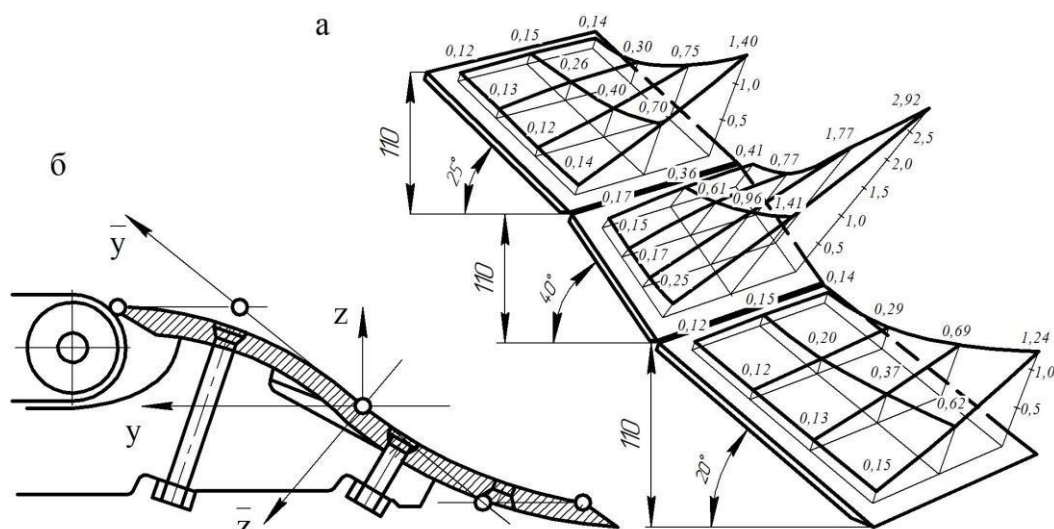


Рисунок 2.15 – Проектне рішення агротехнологічної поверхні (геометрична модель) як конструктивне оформлення технологічного принципу дії: а – фізична модель функціональної структури; б – конструкційна схема агротехнологічної поверхні

Викопувальний робочий орган коренезбиральної машини має вигляд зварених прутів у формі решітки з втулками на поперечних прутах, та змінні форми поперечних прутів в початковій та кінцевій частинах відповідно від вгнутої до рівної, дає можливість деформації ґрунту на самому робочому органі, що сприяє просіванню ґрунту повз робочий орган, зменшуючи при цьому лобовий опір та легше відділення коренеплодів від ґрунту. Плавний перехід конструкції пруткового робочого органа у повздовжній площині від малого кута атаки, (менше 5° у початковій його частині) до кута, більше 40° відносно горизонту у основної його частини, дає можливість заглиблювати робочий орган у ґрунт на глибину більше 35 см. На робочий орган отримано патент України на винахід [13].

Малий кут атаки ($\alpha < 5^\circ$) початковою частиною пруткового робочого органа забезпечує руйнування ґрунтового пласта у зоні розміщення коренеплодів, а лише потім основною частиною робочого органа, що має кут β більше 40° , здійснюється відділення столових коренеплодів від ґрунту. Така послідовність дій забезпечує цілісність коренеплодів під час їх викопування.

Варіант технічного рішення робочого органа коренезбиральної машини зображено на рисунках 2.16–2.18.

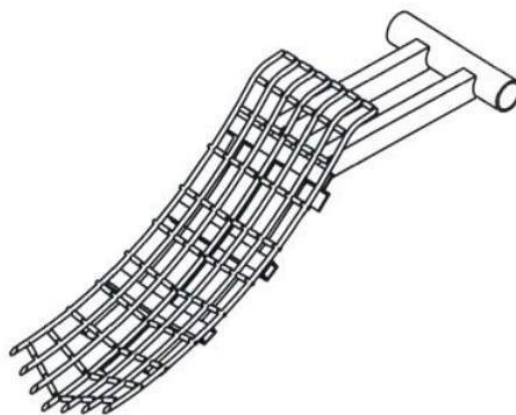


Рисунок 2.16 – Схема викопувального робочого органа

Викопувальний робочий орган коренезбиральної машини включає раму та кронштейн – підрамник, на якому розміщений сам робочий орган, який виконано у вигляді решітки із з'єднаних між собою поздовжніх та поперечних прутів. Поперечні пруті містять втулки, встановлені з можливістю обертання на поперечних прутах та розташовані поміж поздовжніми прутами. Поперечні пруті у початковій частині робочого органа виконані вгнутими, а у кінцевій його частині рівними. Поздовжні пруті виконані вгнутими у його початковій та в основній частинах, та плавно вигнутими у кінцевій частині, що забезпечує робочому органу кут атаки α менше 5° до горизонталі, а в основній частині 10° кут підйому маси β більше 40° .

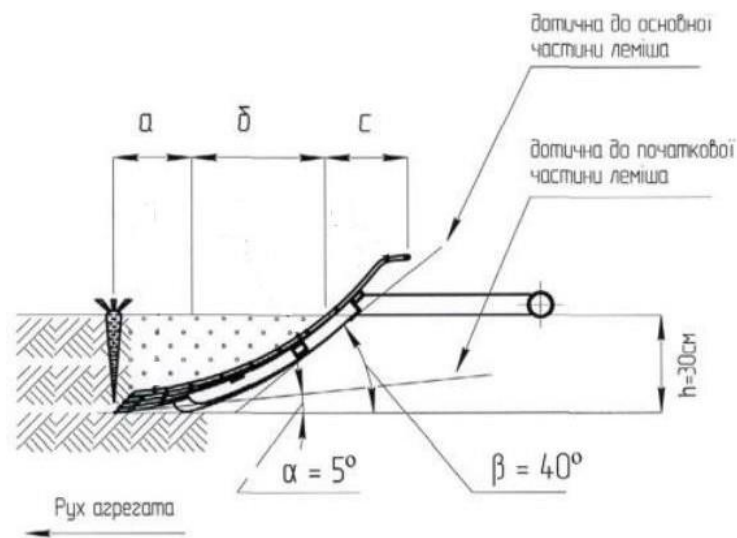


Рисунок 2.17 – Зображення кутів атаки робочого органа

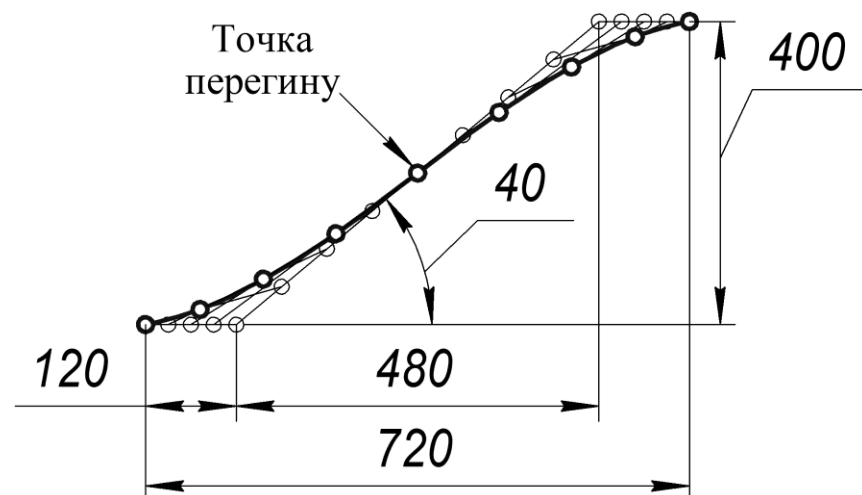
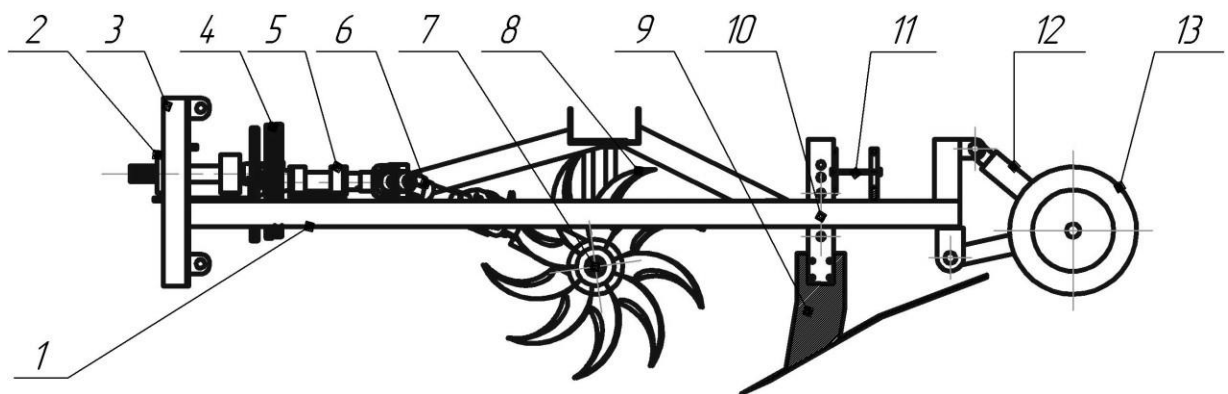


Рисунок 2.18 – Схема конструювання різально-деформувальної поверхні лемеша

Викопувальний робочий орган коренезбиральної машини працює наступним чином. Перед початком роботи, в залежності від агрофізичних характеристик коренеплодів, виставляється глибина ходу робочого органа опорним колесом машини. В процесі роботи робочий орган рухається по осі рядка коренеплодів на глибині, що перевищує глибину розташування коренеплодів на 1-2 см. Просипання ґрунту через решітку робочого органа призводить до зменшення тягового опору викопувального органа коренезбиральної машини.

2.7 Опис конструкції експериментальної установки

Проаналізувавши усі недоліки попередніх конструкцій робочих органів було розроблено та виготовлено польову установку з новими робочими органами для викопування ДСК (рис. 2.19), де передбачено можливість зміни режимів роботи та конструкційно-технологічних параметрів робочого органа.



1 – рама; 2 – варіатор для зміни частоти обертання; 3 – навіска; 4 – зірочки; 5 – пара редукторів; 6 пара карданів; 7 – пара конічних редукторів, 8 – пара дисків з зубчастими робочими органами; 9 – підкопувальний леміш; 10 – отвори для регулювання глибини ходу лемеша; 11 – винт для регулювання кута лемеша; 12 – гідроциліндр; 13- колеса

Рисунок 2.19 – Компонувальна схема експериментальної установки для викопування довгоплідних столових коренеплодів

2.8 Лабораторно-польові дослідження

Характеристика умов проведення польових експериментальних досліджень показників якості процесу викопування ДСК, наведена в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Характеристика посіву столової моркви

Показники	Значення показників
Характеристика культури:	
Відхилення коренеплодів від умовної осі рядка, %	
0	3,4
±10	22,6
±20	43,1
±30	26,4
±40 мм і більше	4,5
Виступання головок коренеплодів над поверхнею ґрунту, %	
від 0 до –5 мм вкл.	0,9
від 0 до +5 мм вкл.	51,3
більше +5 до +10 мм вкл.	32,3
більше +10 до +15 мм вкл.	11,9
більше +15 мм	3,6
Глибина залягання коренеплодів у ґрунті, %	
від 0 до 100 мм вкл.	1,3
від +100 до 150 мм вкл.	9,2
більше +150 до +200 мм вкл.	15,4
більше +200 до +250 мм вкл.	30,7
більше +250 до +300 мм вкл.	27,6
більше +300 мм	15,8
Густота насадження рослин, тис. шт./га	208,3
Біологічна урожайність коренеплодів, т/га	25
Тип ґрунту і його назва за механічним складом	Чорнозем глибокий малогумусний
Схил поля	1
Вологість ґрунту, %: 0-10 см	15

Експериментальна установка для дослідження робочих органів з викопування ДСК складається з основної рами 1, варіатора 2, навісного трикутника 3, ланцюгової передачі 4, двох редукторів (1:1) 5, карданної передачі 6, двох конічних редукторів (1:4) 7, робочого органа 8, підкопувального лемеша 9, регулюючих кріплень підкопувального лемеша 10, кріплення для регулювання ходу підкопувального лемеша 11, гідроциліндра підйому коліс для регулювання ходу робочих органів та лемеша 12, пари коліс 13. Експериментальна установка агрегатується з тракторами, вал відбору потужності яких обертається з частотою 540 хв^{-1} . Зміна частоти обертання деблокувального робочого органа проводиться за допомогою ланцюгової передачі 3, заміною зірочок з більшої кількості на меншу і навпаки. Швидкість поступального руху змінюється шляхом підбору відповідних передач трактора. Регулювання глибини ходу деблокувального робочого органа регулюється висотою підйому трактором навіски 3 та підйомом коліс 13 гідроциліндром 12.

2.9 Результати лабораторно- польових досліджень

Лабораторно-польові дослідження експериментальних робочих органів для викопування ДСК проведено на базі розробленої експериментальної польової установки (рис. 4.3).



Рисунок 2.20 – Проведення експериментальних досліджень установки з експериментальними робочими органами в агрегаті з трактором МТЗ-80

Полеві дослідження викопування ДСК проводились також в агрегуванні з електротрактором ХТЗ-2511Е (рис. 4.4), результати показників датчиків вимірювання тягового зусилля та крутного моменту записувались на комп'ютер через бездротовий зв'язок Bluetooth (рис. 4.5-4.7).



Рисунок 2.21 – Дослідження експериментальної установки в агрегаті з електротрактором ХТЗ-2511Е

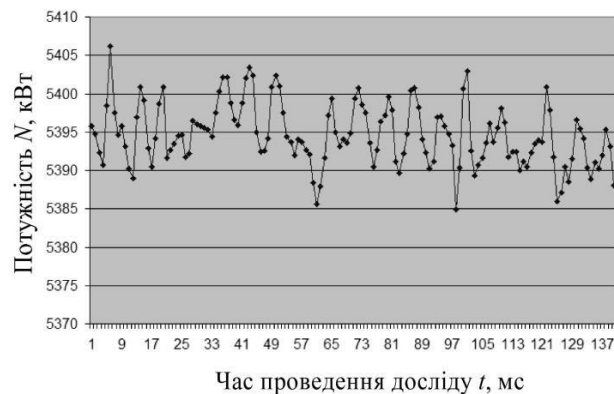


Рисунок 2.2 – Осцилограма експериментальних досліджень деблокувального робочого органа з підкопувальним лемішем при: поступальній швидкості $V=0,9$ м/с і $\omega=40$ рад $\cdot$ с $^{-1}$

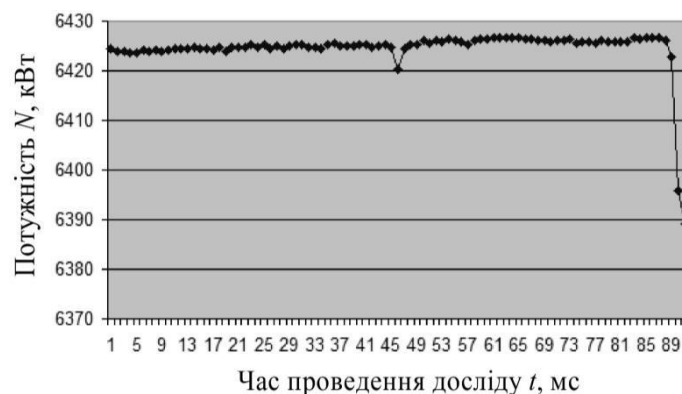


Рисунок 2.23 – Осцилограма експериментальних досліджень деблокувального робочого органа з підкопувальним лемішем при: поступальній швидкості $V=1,1$ м/с і $\omega=60$ рад $\cdot$ с $^{-1}$

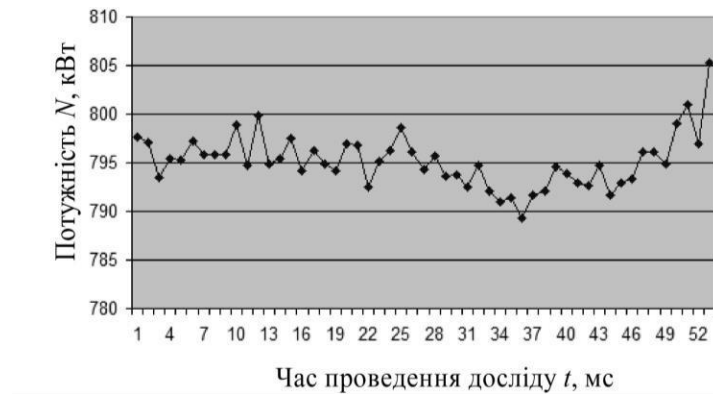


Рисунок 2.24 – Осцилограма експериментальних досліджень деблокувального робочого органа при: поступальній швидкості $V=0,9$ м/с і $\omega=40$ рад $\cdot$ с $^{-1}$ експериментальних досліджень

На рисунку 2.25 представлено процес заглиблення деблокувального робочого органа в ґрунт.



Рисунок 2.25 – Фото зубчатого деблокувального робочого органа в роботі Після процесу викопування проведено підрахунок та заміри столових коренеплодів (рис. 2.26).



Рисунок 2.27 – Викопані коренеплоди після проходження експериментальною установкою

Робочі органи на польовій експериментальній установці налагоджено так, що вона підкопувала 99 % на глибину до 35 см, вивертала на поверхню ґрунту практично всі коренеплоди. При викопуванні коренеплодів отримано 0,9 % механічних пошкоджень (рис. 4.10). За даними досліджень, експериментальний робочий орган відповідає агротехнічним вимогам до машин для механізованого збирання столових коренеплодів.

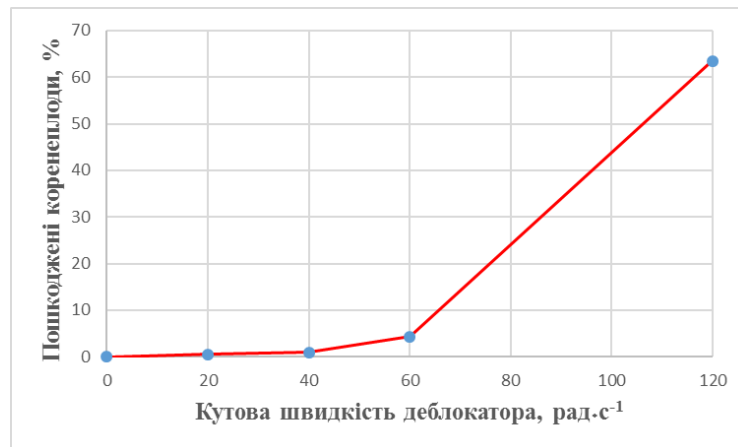


Рисунок 2.28 – Втрати коренеплодів у залежності від зміни кутової швидкості деблокатора

2.10 Висновки

1. Ефективність ґрунтообробних знарядь залежить як від ступеня геометричної досконалості (точності і гладкості) кривих обводів поверхонь, так і від ступеня агротехнічної взаємодії ґрунту з робочою поверхнею.

2. В результаті аналізу складових загального опору викопувального робочого органна встановлено, що найбільші витрати енергії потрібні на подолання опору деформації ґрунту.

3. При проектуванні підкопувального лемеша наперед заданою технологічною умовою для кришильної частини було піддати шар ґрунту, що обробляється, можливо більшій кількості деформацій з різними знаками.

4. Після проходження деблокувального робочого органу кількість пошкоджених та не викопаних коренеплодів не перевищує допустимих меж у всьому діапазоні зміни факторів: поступальної та кутової швидкостей. Кількість пошкоджених коренеплодів у всіх дослідках не перевищувала 3%, а при необхідних швидкості поступального руху машини до 0,9 м/с і кутовій швидкості ротора до 70 хв⁻¹ – не перевищувала 1%.

РОЗДІЛ 3

ОХОРОНА ПРАЦІ

3.1 Організація умов та заходів з охорони праці при роботі на бурякозбиральній машині

При організації умов праці та заходів з охорони праці діють загальноприйняті вимоги, що наведені нижче:

1. Експлуатація сільськогосподарських машин (сільськогосподарських тракторів, їх причепів і змінних причіпних машин, систем складових частин та окремих технічних вузлів) повинна здійснюватися відповідно до чинного законодавства України.

2. Не дозволяється:

- експлуатація несправних машини та обладнання;
- експлуатація сільськогосподарських тракторів без електростартерного запуску двигуна та з відсутньою або з несправною системою блокування запуску двигуна при включеній передачі.

Під час проведення весняно-польових робіт власники, керівники, головні спеціалісти, працівники служб охорони праці підприємств повинні посилити профілактичну роботу по попередженню виникнення випадків виробничого травматизму.

Враховуючи причин і обставин травматизму та джерел травмування дієвими заходами профілактики в першу чергу мають стати:

- організація інструктування, навчання з охорони праці та професійного відбору;
- забезпечення безпеки виробничого обладнання;
- забезпечення належного контролю та нагляду за охороною праці;
- організації проведення перевірок технічного стану техніки перед початком роботи та усунення усіх виявлених недоліків;
- проведення передрейсових медичних оглядів водіїв та механізаторів;
- організації режиму роботи та відпочинку працівників;
- підвищення рівня трудової та виробничої дисципліни.

З метою запобігання або зменшення травматизму в господарстві необхідно постійно відстежувати місця потенційних небезпек та здійснювати прогнозування можливих наслідків.

Методичні рекомендації не заміняють чинні правила та інструкції з охорони праці, які діють у сільському господарстві при використанні технічних засобів виробництва, у тому числі сільськогосподарської техніки, тому постійно потрібно проводити інструктаж з охорони праці посилаючись на Закон України «Про охорону праці».

3.2 Моделювання процесів виникнення травм при роботі на бурякозбиральних машинах

Метод логічного моделювання потенційних аварій і травм надає можливість розробити досконалу систему управління безпекою життєдіяльності на виробництві, яка базується на оперативному пошуку виробничих небезпек, їх поглибленому логічному аналізі і терміновому прийнятті заходів для усунення потенційних небезпек ще до виникнення травмонебезпечних та аварійних ситуацій.

Аналіз побудованої логічної моделі технологічного процесу дозволяє знайти подію, з якої починається утворення небезпечної ситуації.

Логічні моделі дозволяють виявити причетність окремих осіб до виникнення небажаних подій, а також ступінь вини самого потерпілого.

При побудові логіко-імітаційних схем використовують сукупність небезпечних подій, пов'язаних між собою причинно-наслідковими зв'язками, які у процесі діяльності можуть призвести до виникнення травмонебезпечних та аварійних ситуацій. Головним елементом логічної моделі є поняття про небезпечну ситуацію (НС). тобто випадкове явище, що передуює виникненню травм, аварій, катастроф.

Складовими небезпечної ситуації є:

1. Небезпечна умова (НУ) – умова, за якої існує навіть малоймовірна можливість впливу на людину небезпечного чинника, що може призвести до реальної загрози виникнення аварії або травми. Це сукупність небезпечних

виробничих чинників, недоліки технологічних процесів та обладнання, низький рівень організації виробництва тощо.

2. Небезпечна дія (НД) – це така дія працівника, яка не відповідає науково обґрунтованим нормам професійної діяльності при виконанні конкретного виробничого завдання.

Небезпечна умова НУ може спонукати працівника до допущення ним помилок у процесі роботи НД в наслідок чого виникає небезпечна ситуація НС з наслідками А; Т.

Логіко-імітаційна модель виникнення травм при на культиваторі має вигляд:

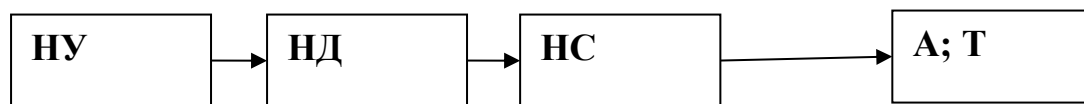


Рисунок 4.1 – Логіко-імітаційна модель виникнення травм при роботі на культиваторі

У процесі роботи були забиті робочі органи машини (НУ), робітник намагається усунути недолік при працюючій машині (НД), це призводить до захоплення руки (НС) та травмуванню (Т) робітника.

3.3 Висновки по роботі

Таким чином, організація роботи охорони праці в господарстві полягає у виборі й формуванні такої структури управління охороною праці на виробництві, яка якнайкраще буде відповідати основній меті – забезпеченню безпеки і здорових умов праці працівників для запобігання виникнення травм та аварій.

РОЗДІЛ 4

ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ЗАСТОСУВАННЯ НОВИХ РОБОЧИХ ОРГАНІВ ПРИ ВИКОПУВАННІ ДОВГОПЛІДНИХ СТОЛОВИХ КОРЕНЕПЛОДІВ

4.1. Виробнича перевірка експериментальної машини для викопування довгоплідних столових коренеплодів

Для проведення польових досліджень розроблено і виготовлено експериментально-польову установку (рис. 4.1), що здійснює викопування ДСК. Установка складається з рами, на якій закріплені: варіатор, навіска, зірочки, пара редукторів, пара карданів, дисковий деблокувальний робочий орган, підкопувальний леміш, гідроциліндр з опорними колесами з стійками для регулювання глибини ходу деблокувального робочого органа.

Частота обертання деблокувального робочого органа регулюється змінними зірочками згідно кінематичного режиму. Пласт ґрунту з коренеплодами деблокується робочим органом, який у подальшому піднімається підкопувальним лемешем. Установка працює під час роздільного способу збирання коренеплодів (після скошування гички на коренеплодах). Машина агрегувалась із трактором кл. 0,6.

Порівняльні дослідження якості роботи експериментальної установки для викопування ДСК та копача коренебульбоплодів КРК-2 були проведені на полях фермерських господарств «Зоря степу» та «Світанок»

Урожайність столової моркви сорту складала 60 т/га, твердість ґрунту – 1,2 МПа, вологість ґрунту – 15%. Збирання столової моркви проводилось у першій половині жовтня.

Деблокувальний робочий орган забезпечив розрив зв'язків в ґрунті і забезпечив необхідне розуцільнення (рис. 4.2, 4.3). Дані динаміки щільності ґрунту досліджувались протягом всього вегетаційного періоду та до і після збирання урожаю (табл. 4.1).



Рисунок 4.1 – Експериментальна установка для викопування довгоплідних столових коренеплодів



Рисунок 4.2 – Стан деблокованої канави після проходу експериментальної установки з новим робочими органами

Таблиця 4.1 – Динаміка щільності ґрунту на дослідній ділянці столової моркви, г/см³

№ п/п	Фази розвитку рослин	Дати	Шар ґрунту, см		
			0-10	10-20	20-30
1.	Поява сходів	20.05	0,90	1,15	1,21
2.	Поява 2-3 листочків	05.06	1,22	1,33	1,38
3.	Поява 7-8 листочків	25.06	1,31	1,37	1,43
4.	Змикання гички міжрядь	25.07	1,38	1,50	1,53
5.	Перед збиранням	04.09.	1,40	1,51	1,55
6.	Після збирання	04.09.	0,98	1,11	1,17

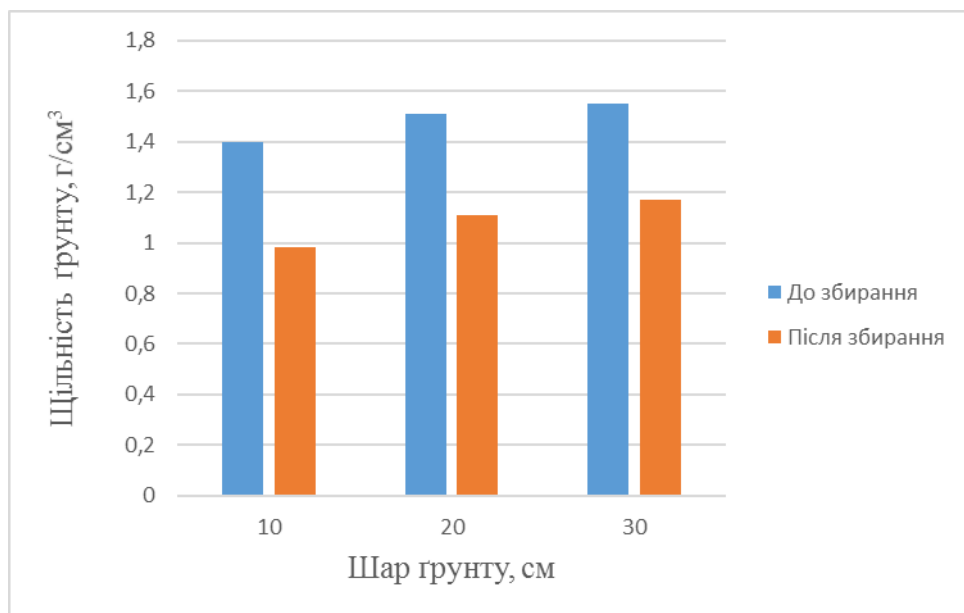


Рисунок 4.3 – Характер зміни щільності ґрунту до і після збирання столової моркви

4.2 Економічна ефективність впровадження технологічного процесу викопування довгоплідних столових коренеплодів

Основними факторами, що визначають економічну ефективність проведених досліджень, є:

- зменшення затрат енергії на викопування ДСК;
- зменшення пошкоджень коренеплодів внаслідок застосування нового робочого органа для відокремлення гички;

– зменшення затрат ручної праці за рахунок збирання з поточним навантаженням в транспортний засіб, що рухається поруч.

Розрахунок економічних показників проведено з визначенням додаткового економічного ефекту від перерахованих вище факторів [5]. Вихідні дані для розрахунку показників техніко-економічної ефективності визначено на основі показників роботи копача коренеплодів СНУ-3С у порівнянні з дослідним зразком. Вихідні дані для розрахунку показників економічної ефективності занесено в таблицю 5.2.

Таблиця 4.2 – Вихідні дані для розрахунку економічної ефективності впровадження технічного засобу для викопування довгоплідних столових коренеплодів

№ п/п	Показники	Варіант	
		базові дані	дослідна машина
1	Робоча швидкість V , м/с	0,9	0,9
2	Годинна продуктивність Π , га/год	0,42	0,42
3	Урожайність столової моркви Q , т/га	60	60
4	Оптова вартість столової моркви $B_{оп.}$, грн/т	3000	3000
5	Оптова вартість пошкодженої столової моркви $B_{оп.п.}$, грн/т	500	500
6	Терміни збирання згідно ДСТУ	20.09.-30.10.	20.09.-30.10.
7	Нормативне річне завантаження, год:		
	• трактора, T_T	1500	1500
	• машини, T_M	120	120
8	Балансова вартість, грн		
	• трактора, B_T	350000	350000
	• машини, B_M	120000	105000
9	Амортизаційні відрахування, %		
	• трактора, a_T	15	15
	• машини, a_M	15	15
10	Відрахування на ТО і ПР, %		
	• трактора, p_T	10	10
	• машини, p_M	9	9
11	Втрати залишеної столової моркви в ґрунті, %	2,5	0,1
12	Пошкоджена столова морква, %	2	0,9

Експлуатаційні видатки на одиницю збільшення продуктивності визначили з виразу:

$$B = Z_o + A + P, \quad (4.1)$$

де Z_o - питома заробітна плата оператора грн/га; A – відрахування на реновацію, грн/га; P – відрахування на ТО і ПР, грн/га.

$$Z_o = t_{\text{год}} / P; \quad (4.2)$$

$$Z_{o.Б.} = 100 / 0,42 = 238 \text{ грн./га};$$

$$Z_{o.Д.} = 100 / 0,42 = 238 \text{ грн./га};$$

Питомі відрахування на реновацію:

$$A = A_{\text{тр}} + A_{\text{м}}, \quad (4.3)$$

де $A_{\text{тр}}$ - питомі витрати на реновацію трактора, грн/га; $A_{\text{м}}$ – питомі витрати на реновацію машини, грн/га.

$$A_{\text{тр}} = B_{\text{т}} \cdot a_{\text{т}} / 100 \cdot P \cdot T_{\text{т}}, \quad (4.4)$$

$$A_{\text{трБ}} = 350000 \cdot 15 / 100 \cdot 0,42 \cdot 1500 = 83,33 \text{ грн/га},$$

$$A_{\text{трД}} = 350000 \cdot 15 / 100 \cdot 0,42 \cdot 1500 = 83,33 \text{ грн/га},$$

$$A_{\text{м}} = B_{\text{м}} \cdot a_{\text{м}} / 100 \cdot P \cdot T_{\text{м}}, \quad (4.5)$$

$$A_{\text{м.Б.}} = 120000 \cdot 15 / 100 \cdot 0,42 \cdot 120 = 357,1 \text{ грн/га};$$

$$A_{\text{м.Д.}} = 105000 \cdot 15 / 100 \cdot 0,42 \cdot 120 = 312,5 \text{ грн/га}.$$

Тоді

$$A_{\text{Б}} = A_{\text{трБ}} + A_{\text{м.Б.}} = 83,33 + 357,1 = 440,43 \text{ грн/га};$$

$$A_{\text{Д}} = A_{\text{трД}} + A_{\text{мД}} = 83,33 + 312,5 = 395,83 \text{ грн/га.}$$

Питомі витрати на поточний ремонт та технічне обслуговування:

$$P = P_{\text{тр}} + P_{\text{м}}; \quad (4.6)$$

$$P_{\text{тр}} = B_{\text{тр}} \cdot P_{\text{т}} / 100 \cdot \Pi \cdot T_{\text{т}}; \quad (4.7)$$

$$P_{\text{трБ}} = 350000 \cdot 10 / 100 \cdot 0,42 \cdot 1500 = 55,6 \text{ грн/га};$$

$$P_{\text{трД}} = 350000 \cdot 10 / 100 \cdot 0,42 \cdot 1500 = 55,6 \text{ грн/га};$$

$$P_{\text{м}} = B_{\text{м}} \cdot P_{\text{м}} / 100 \cdot \Pi \cdot T_{\text{м}}; \quad (4.8)$$

$$P_{\text{мБ}} = 120000 \cdot 9 / 100 \cdot 0,42 \cdot 120 = 214,3 \text{ грн/га};$$

$$P_{\text{мД}} = 105000 \cdot 9 / 100 \cdot 0,42 \cdot 120 = 187,5 \text{ грн/га.}$$

Тоді

$$P_{\text{Б}} = P_{\text{трБ}} + P_{\text{мБ}} = 55,6 + 214,3 = 269,9 \text{ грн/га};$$

$$P_{\text{Д}} = P_{\text{трД}} + P_{\text{мД}} = 55,6 + 187,5 = 243,1 \text{ грн/га.}$$

Експлуатаційні видатки складуть:

$$B_{\text{Б}} = 238 + 440,43 + 269,9 = 948,33 \text{ грн/га};$$

$$B_{\text{Д}} = 238 + 395,83 + 243,1 = 876,93 \text{ грн/га.}$$

Економічний ефект від зниження експлуатаційних видатків визнався за залежністю:

$$E_1 = (B_{\text{Б}} - B_{\text{Д}}), \quad (4.9)$$

де $B_{\text{Б}}$ - експлуатаційні видатки по базовому варіанту, грн/га;

$B_{\text{Д}}$ - експлуатаційні видатки по дослідному варіанту, грн/га.

$$E_1 = 948,33 - 876,93 = 71,4 \text{ грн/га.}$$

Економічний ефект від зменшення втрат столової моркви під час її викопування E_2 визначався за залежністю:

$$E_2 = E_{зал.} + E_{пош.}, \quad (4.10)$$

де $E_{зал.}$ – економічна ефективність від зменшення залишеної столової моркви в ґрунті, грн/га; $E_{пош.}$ – економічна ефективність від зменшення пошкодженої столової моркви, грн/га.

Економічний ефект від зменшення залишеної столової моркви в ґрунті під час її викопування $E_{зал.}$ визначається за залежністю:

$$E_{зал.} = \frac{Q \cdot (p_{б.з.} - p_{д.з.})}{100} \cdot B_{оп.}, \quad (4.11)$$

де Q – урожайність столової моркви, $Q=60$ т/га; $p_{б.з.}$ – залишена морква в ґрунті в процесі її викопування базовим технічним засобом, %; $p_{д.з.}$ – залишена морква в ґрунті в процесі її викопування дослідним технічним засобом, %; $B_{оп.}$ – оптова вартість столової моркви, $B_{оп.}=3000$ грн/т.

$$E_{зал.} = \frac{60 \cdot (0,5 - 0,1)}{100} \cdot 3000 = 720 \text{ грн/га.}$$

Економічний ефект від зменшення пошкодженої столової моркви під час її викопування $E_{пош.}$ визначався за залежністю:

$$E_{пош.} = \frac{Q \cdot (p_{б.п.} - p_{д.п.})}{100} \cdot B_{оп.}, \quad (4.12)$$

де $p_{б.п.}$ – пошкоджена столова морква в процесі її викопування базовим технічним засобом, %; $p_{д.п.}$ – пошкоджена столова морква в процесі її викопування дослідним технічним засобом, %.

$$E_{пош.} = \frac{60 \cdot (2 - 0,9)}{100} \cdot 3000 = 1980 \text{ грн/га.}$$

$$E_2 = 720 + 1980 = 2700 \text{ грн/га.}$$

Економічний ефект від зменшення витрат енергії під час викопування столової моркви E_3 визначався за залежністю:

$$E_3 = G_B - G_D, \quad (4.13)$$

де G_B – вартість витраченого пального під час викопування столової моркви базовою машиною брального типу, грн/га; G_D – вартість витраченого пального під час викопування столової моркви дослідним технічним засобом, грн/га

Затрати енергії на викопування трьох рядків ДСК (моркви) при поступальній швидкості – 0,9 м/с та кутовій швидкості – 40 рад · с⁻¹ становила 25 кВт, проти 50 кВт з існуючою у виробництві технологією збирання машинами брального типу. Економія затрати потужності на викопування ДСК склала 25 кВт (34 к.с.), у два рази менше від базової технології у виробництві. Продуктивність склала 0,42 га/год.

Вартість витраченого пального під час викопування столової моркви на 1 га визначалося з виразу:

$$G_B = N \cdot k_{БП} \cdot B \cdot k_{П} \cdot C, \quad (4.14)$$

де N – потужність, $N_B=28$ кВт(38к.с.) і $N_D=25$ кВт(34к.с.); $k_{БП}$ – витрати пального трактора кл. 1,4 (МТЗ-80), $k_{БП}=0,22$ кг/к.с.; B – продуктивність, $B_B=B_D=2,38$ год/га; $k_{П}$ – коефіцієнт переведення пального, $k_{П}=0,85$ кг/л; C – середня ринкова ціна пального в Україні становить 24 грн/л.

$$G_B = N_B \cdot k_{БП} \cdot B_B \cdot k_{П} \cdot C = 38 \cdot 0,22 \cdot 2,38 \cdot 0,85 \cdot 24 = 405,9 \text{ грн/га},$$

$$G_D = N_D \cdot k_{БП} \cdot B_D \cdot k_{П} \cdot C = 34 \cdot 0,22 \cdot 2,38 \cdot 0,85 \cdot 24 = 363,17 \text{ грн/га},$$

$$E_3 = 405,9 - 363,13 = 42,77 \text{ грн/га},$$

Загальна економія дизельного пального, витраченого на збір врожаю в гривневому еквіваленті, становила 42,77 грн/га.

Сумарний економічний ефект від усіх факторів складе:

$$E = E_1 + E_2 + E_3 \quad (4.15)$$

$$E = 71,4 + 2700 + 42,77 = 2814,17 \text{ грн}$$

Основні показники економічної ефективності записано в таблицю 4.3.

Таблиця 4.3 – Показники економічної ефективності впровадження технологічного процесу викопування довгоплідних столових коренеплодів

Показник	Значення показника	
	базова	дослідна
Годинна продуктивність, га/год	0,42	0,42
Заробітна плата, грн./га	238	238
Питомі витрати на реновацію, грн./га	440,43	395,83
Питомі відрахування на поточний ремонт і технічне обслуговування, грн./га	269,9	243,1
Прямі експлуатаційні видатки, грн./га	948,33	876,93
Економічний ефект від зменшення втрат коренеплодів, грн/га.	-	2700
Економічний ефект від зменшення втрат енергії на процес викопування коренеплодів, грн/га.	-	42,77
Загальний економічний ефект на 1 га, грн.	-	2814,17
Термін окупності – 1 рік		

Доцільно було б використати робочий орган для викопування ДСК на іноземній однорядній машині фірми Simon.



Рисунок 4.4 – Машина іноземного зразка з дисковими деблокаторами для викопування столових коренеплодів призначена для роботи на легких ґрунтах

За результатами виробничих випробувань та розрахункового економічного ефекту розроблено проект механізованого технологічного процесу виробництва довгоплідної столової моркви в системі органічного землеробства.

4.3. Висновки

Річний економічний ефект застосування модулів з експериментальним робочим органом для викопування ДСК, що реалізує технологічний процес роздільного збирання столових коренеплодів, отримано завдяки зменшенню витрати пального склав близько 42,8 грн./га, а загальний економічний ефект за нормативного річного завантаження – 2500-2700 грн.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Установлено, що більше 80 % столових коренеплодів в Україні виробляється малими господарствами, де в основному використовуються трактори кл. 0,6 та 0,9, але для їх агрегування потрібні технічні засоби з малоенергоємними робочими органами для викопування довгоплідних столових коренеплодів.

2. Установлено, що для зменшення втрат під час збирання урожаю довгоплідних столових коренеплодів, особливо в період після заморозків, ефективним є механізоване збирання роздільним способом із застосуванням технічних засобів з перспективними робочими органами запропонованої нами конструкції.

3. Доведено, що для створення малоенергоємних робочих органів до тракторів малої потужності в їх конструкції доцільно використовувати деблокатори ґрунту з обох бокових сторін лемеша.

4. Робоча поверхня ножів деблокатора, виконана у вигляді торсу дотичних за ребром звороту, дозволяє отримати загальну деформувальну поверхню тиску, дія якої охоплює з двох боків рядок коренеплодів і забезпечує умови врізання зубів деблокатора в масив з малою питомою енергоємністю.

5. Після проходження деблокувального робочого органа кількість пошкоджених та не викопаних коренеплодів не перевищує допустимих меж в діапазоні факторів: поступальна швидкість $V = 0,9$ м/с та кутова швидкість $\omega = 40$ рад $\cdot$ с⁻¹. Кількість пошкоджених коренеплодів у всіх дослідках не перевищувала 3 %.

6. Річний економічний ефект від застосування технічного засобу з експериментальним робочим органом для викопування довгоплідних столових коренеплодів, що реалізує технологічний процес роздільного збирання довгоплідних коренеплодів, досягається завдяки зменшенню витрати пального і становить близько 42,8 грн/га, а загальний економічний ефект за нормативного річного завантаження –2500-2700 грн.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Стан проектування і виготовлення в Україні сільськогосподарських машин сучасного технічного рівня / І. В. Гриник, В. В. Адамчук, Г. М. Калетнік та ін. *Механізація та електрифікація сільського господарства*: міжвідомч. темат. наук. / ННЦ «ІМЕСГ». Глеваха, 2014. Вип. 99, т.1. С. 34-39.
2. Савченко І. Ф. Механизация уборки столовых корнеплодов. *Овощеводство*. 2009. №8. С.60-61.
3. Система техніко-технологічного забезпечення виробництва продукції рослинництва / за ред. В. В. Адамчука, М. І. Грицишина. К.: Аграр. наука, 2012. С. 366-369.
4. Bulgakov V., Ivanovs S., Safchenko I., Boris A., Rykhlivskyi P. Theoretical Research of the Design and Technological Parameters of a Device for Lifting of Deep-Seated Table Root Crops. *Acta Technologica Agriculturae*, 2019, pp. 99–103.
5. Грицишин М. І. Наукові основи формування та оновлення техніко-технологічної бази аграрних підприємств. К.: СПД Блохін О. А., 2018. 312 с.
6. Рихлівський П. А. Аналіз розроблення машин для збирання столових корнеплодів. *Механізація та електрифікація сільського господарства* : міжвідомч. наук. зб. / ННЦ «ІМЕСГ». Глеваха, 2013. Вип. 97, т. 1. С. 424-431.
7. Землеробська механіка сучасного рівня сільськогосподарської техніки (інженерний комп'ютерний дизайн кривих і поверхонь) / В. О. Надолинний, А. С. Павлоцький, В. А. Вознюк та ін. *Механізація та електрифікація сільського господарства* : міжвідомч. темат. наук. зб. / ННЦ «ІМЕСГ». Глеваха, 2014. Вип. 99, т. 1. С. 432-445.
8. Сучасний математичний апарат землеробської механіки / В. О. Надолинний, А. С. Павлоцький, В. А. Вознюк та ін. *Механізація та електрифікація сільського господарства* : міжвідомч. темат. наук. зб. / ННЦ «ІМЕСГ». Глеваха, 2014. Вип. 99, т. 1. С. 446-462.
9. Павлоцький А. С., Вознюк В. А., Савченко І. Ф., Рихлівський П. А. Енергодостатні виконавчі органи землеробської механіки: моделювання і конструювання за допомогою комп'ютера. *Механізація та електрифікація*

сільського господарства : загальнодерж. зб. / ННЦ «ІМЕСГ». Глеваха, 2015. Вип. 2(101). С. 424-431.

10. Павлоцький А. С., Борис А. М., Савченко І. Ф., Рихлівський П. А. Наукове та інженерне розроблення енергоощадних ґрунтообробних поверхонь. *Механізація та електрифікація сільського господарства* : загальнодерж. зб. / ННЦ «ІМЕСГ». Глеваха, 2016. Вип. 4(103). С. 145-154.

11. Рихлівський П. А. Розроблення робочих органів для викопування глибокосидячих столових коренеплодів. *Механізація та електрифікація сільського господарства* : загальнодерж. зб. / ННЦ «ІМЕСГ». Глеваха, 2018. Вип. 8(107). С. 114-119.

12. Савченко І. Ф., Рихлівський П. А., Кусайко В. С., Гузік І. М. Двофазне збирання моркви. *Плантатор*. 2017. №5(35). С. 129-130.

13. Викопуючий робочий орган коренезбиральної машини : пат. України № 106342, МПК А01D 25/00. / О. О. Коновал, В. І. Дешко, І. Ф. Савченко, П. А. Рихлівський, І. М. Гузік, В. В. Курочкін, А. С. Павлоцький. № (а)2013 15207; заявл. 25.12.2013; опубл. 11.08.2014, Бюл. № 15.

14. Павлоцький А. С., Вознюк В. А., Савченко І. Ф., Рихлівський П. А. Системна аналітика і системна побудова з використанням ПК лемішно-полицевих поверхонь. *Технічний прогрес у сільськогосподарському виробництві* : матеріали XX Міжнародної науково-технічної конференції» та VII Всеукраїнської конференції-семінару аспірантів, докторантів і здобувачів у галузі аграрної інженерії (22-24 травня 2012р., смт. Глеваха) / ННЦ «ІМЕСГ». Глеваха, 2012. С. 60-61.

15. Рихлівський П. А. Механізація роздільного способу збирання глибокосидячих столових коренеплодів. *Науковий тиждень у Крутах – 2017* : матеріали III Міжнародної науково-практичної конференції (у рамках II наукового форуму «Науковий тиждень у Крутах – 2017», 13-14 березня 2017р., смт. Крути). Крути, 2017. Том 1. С. 234-238.

16. Савченко І. Ф., Рихлівський П. А. Дослідження динаміки взаємодії деблокатора з пластом кореневмісного шару ґрунту в процесі викопування

глибокосидячих коренеплодів. *Сучасні проблеми землеробської механіки*: зб. наук. пр. XVIII Міжн. наук. конф. (16-18 жовтня 2017р., м. Кам'янець-Подільський). Тернопіль : Крок, 2017. С. 184-188.

17. Рихлівський П. А. Розроблення робочих органів для викопування глибокосидячих столових коренеплодів. *Технічний прогрес у сільськогосподарському виробництві* : матеріали XXVI Міжнародної наук.-техн. конф. та XVIII Всеукраїнської конференції-семінару аспірантів, докторантів і здобувачів у галузі аграрної інженерії. (4-5 липня 2018р., смт. Глеваха) / ННЦ «ІМЕСГ». Глеваха, 2018. С. 52-54.

18. Довідник з механізації овочівництва / І. Ф. Савченко, О. М. Гринь, О. Р. Шумер та ін. К.: Урожай, 1986. 232 с.

19. Система машин для комплексной механизации сельскохозяйственного производства / Министерство сельск. хоз-ва СССР; редкол.: Н.А. Сороко [и др.]. Ч. I. Растениеводство. М., 1970. С. 3-6, 125-127.

20. Система машин для комплексной механизации сельскохозяйственного производства на 1976-1980 гг. / Министерство сельск. хоз-ва СССР; редкол.: Н.М. Беляев [и др.]. Ч. 1. Растениеводство. М., 1976. С. 143-155, 354-371. 125-127.

21. Система машин для комплексной механизации сельскохозяйственного производства на 1981-1990 гг. / Министерство сельск. хоз-ва СССР; редкол.: Н.А. Столбушкин [и др.]. Ч. I. Растениеводство. М., 1982. С. 506-539.

22. Савченко И. Ф. Механизация уборки столовых корнеплодов. *Овощеводство*. 2009. №9. С.74-76.

23. Система машин для комплексной механизации сельскохозяйственного производства на 1986-1995гг. / Министерство сельск. хоз-ва СССР; редкол.: В.И. Черноиванов[и др.]. Ч. I. Растениеводство. М., 1988. С. 516-541.

24. Системний апарат теорії ґрунтодеформуючої поверхні / А. С. Павлоцький та ін. *Механізація та електрифікація сільського господарства* : міжвідомчий тематичний науковий збірник / ННЦ «ІМЕСГ». Глеваха, 2011. Вип. 95. С. 72-80.

25. Робочий орган копача коренеплодів: патент № 100803 Україна, МПК

A01D 25/04. / А. С. Павлоцький, В. А. Вознюк, І. Ф. Савченко, В. А. Іваненко. № (а) 2011 10958; заявл. 13.09.2011; опубл. 25.01.2013, Бюл. № 2.

26. Вібраційний викопуючий робочий орган: патент № 76588 Україна, МПК A01D 25/04. / В. М. Булгаков, І. В. Головач. № (а) 2004 0705488; заявл. 07.07.2004; опубл. 15.08.2006, Бюл. № 8.

27. Вібраційний копач: патент № 76827 Україна, МПК A01D 25/04. / І. В. Головач. № (а) 2004 0907222; заявл. 02.09.2004; опубл. 15.09.2006, Бюл. № 9.

28. Вібраційний викопуючий робочий орган: патент № 85442 Україна, МПК A01D 25/04. / В. М. Булгаков, І. В. Головач. № (а) 2007 03859; заявл. 06.04.2007; опубл. 26.01.2009, Бюл. № 2.

29. Пристрій для активної сепарації бульбоносної маси : патент № 34335А Україна, МПК A01D 17/00, A01D 21/00. / М. І. Самокиш, П. І. Роздорожнюк, І. М. Бендера, Ю. П. Фірман, Р. В. Ганушкевич. № (а) 99 063613; заявл. 25.06.1999; опубл. 15.02.2001, Бюл. № 1.

30. Шатковский А. Морковь на капельном орошении: особенности технологий. *Овощеводство*. 2011. №2. С. 40-44.

31. Сыч З., Ободовский М. Культура древняя, а технологии новые. *Овощеводство*. 2011. №5. С.22-28.

32. Непорошная Е. Капризная морковь. *Овощеводство*. 2011. №10. С. 74-77.

33. Морква: вирощування і догляд в Україні. Кращі сорти URL: <https://howtogrow.news/8-gorod/344-morkov-vyrashchivanie-i-ukhod-v-ukraine-luchshie-sorta/ua> (дата звернення: 30.04.2020).

34. Вирощування моркви у різних ґрунтово-кліматичних зонах України URL: <https://www.pro-of.com.ua/viroshhuvannya-morkvi-u-riznix-gruntovo-klimatichnix-zonax-ukra%20ni/> (дата звернення: 15.09.2020).

35. Технологія вирощування моркви URL: <https://semena.cc/uk/blogicnews/tekhnologiyi-virosshuvannya/tekhnologiya-virosshuvannya-morkvi> (дата звернення: 17.04.2020).

36. Технологія вирощування моркви URL: https://agroukraine.at.ua/index/tekhnologija_viroshhuvannja_morkvi/0-22 (дата звернення: 23.05.2020).