

НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ АГРАРНИХ НАУК УКРАЇНИ

НАЦІОНАЛЬНИЙ НАУКОВИЙ ЦЕНТР
«ІНСТИТУТ МЕХАНІЗАЦІЇ ТА ЕЛЕКТРИФІКАЦІЇ
СІЛЬСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА

РИХЛІВСЬКИЙ ПЕТРО АНТОНОВИЧ



УДК631.356.2

**ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ РОБОЧИХ ОРГАНІВ МАШИН
ДЛЯ ЗБИРАННЯ СТОЛОВИХ КОРЕНЕПЛОДІВ**

05.05.11 – машини і засоби механізації
сільськогосподарського виробництва

АВТОРЕФЕРАТ
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидат технічних наук

Глеваха – 2021

Дисертацією є рукопис

Робота виконана в Національному науковому центрі «Інститут механізації та електрифікації сільського господарства» Національної академії аграрних наук України

Науковий керівник: кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, **Савченко Ігор Феодосійович**
Національний науковий центр «Інститут механізації та електрифікації сільського господарства», завідувач відділу науково-технічних засобів виробництва біоенергетичних культур та овочів

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор,
член кореспондент Національної академії аграрних наук України
Головач Іван Володимирович, Національний університет біоресурсів і природокористування України, професор кафедри механіки


кандидат технічних наук, доцент
Фірман Юрій Петрович, Подільський державний аграрно-технічний університет, доцент кафедри транспортних технологій та засобів АПК

Захист відбудеться «14» травня 2021 р. о 13⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д27.358.01 в Національному науковому центрі «Інститут механізації та електрифікації сільського господарства» за адресою: 08631, Київська обл., Васильківський р-н, смт. Глеваха, вул.. Вокзальна 11, к.613

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Національного наукового центру «Інститут механізації та електрифікації сільського господарства»:
08631, Київська обл., Васильківський р-н, смт. Глеваха, вул.. Вокзальна 11

Автореферат розісланий «10» квітня 2021 р.

Учений секретар
спеціалізованої ради
канд. техн. наук



М. І. Грицишин

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

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 агрегування 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.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Робота пов'язана з тематичним планом НДР Національного наукового центру «Інститут механізації та електрифікації сільського господарства» на 2011-2013 рр: шифр 33.01.00.12.П «Відпрацювати механізовані технології вирощування та збирання столових коренеплодів із застосуванням вітчизняних експериментальних машин і робочих органів», на 2014-2015 рр: шифр 33.01.00.50П «Розробити і перевірити в умовах с.-г. підприємства дослідні зразки машин до тракторів кл. 1,4 для енергоощадних технологій вирощування і збирання столових коренеплодів»

Мета і задачі досліджень. Зменшення витрат енергії на збирання довгоплідних столових коренеплодів шляхом обґрунтування параметрів робочих органів і створення технічного засобу для малоенергоємного викопування довгоплідних столових коренеплодів.

Відповідно до поставленої мети визначено такі завдання досліджень:

- проаналізувати відомі технічні рішення для механізації викопування довгоплідних столових коренеплодів;
- визначити шляхи зменшення затрат на деформацію шару ґрунту зі довгоплідними столовими коренеплодами;
- провести теоретичні дослідження процесу малоенергоємного викопування довгоплідних столових коренеплодів з використанням активних робочих органів;
- обґрунтувати конструкційно-технологічну схему деблокуючих робочих органів для викопування довгоплідних столових коренеплодів;
- дослідити вплив параметрів робочих органів і режимів роботи на енергетичні показники процесу викопування довгоплідних столових коренеплодів;

- розробити і виготовити експериментальну установку з активними робочими органами для викопування довгоплідних столових коренеплодів;
- провести лабораторно-польові дослідження процесу викопування довгоплідних столових коренеплодів;
- обґрунтувати раціональні параметри і режими роботи деблокуючого робочого органа з активним приводом для викопування довгоплідних столових коренеплодів.

Об'єкт дослідження – процес викопування коренеплодів та деблокуючі робочі органи для викопування довгоплідних столових коренеплодів.

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

У процесі досліджень використовували сукупність методів: аналітичний, статистичний, абстрактно-логічний, монографічний, графічний, розрахунково-конструкційний та регресійного аналізу результатів експериментальних досліджень.

Наукова новизна одержаних результатів полягає у такому:

уперше:

- отримано розрахункові моделі обертального руху деблокатора в ґрунті і встановлено залежність потужності, споживаної активним робочим органом, від фази взаємодії зуба деблокатора з ґрунтом та кутової швидкості;
- отримано нові експериментальні дані про залежність потужності на привод деблокуючого робочого органа при викопуванні довгоплідних столових коренеплодів від швидкості поступального руху, глибини роботи та кутової швидкості робочого органа нового конструкційного рішення;
- розроблено нове технічне рішення двоярусного робочого органа копача коренеплодів, використання якого забезпечує підвищення якості процесу збирання довгоплідних столових коренеплодів, зменшення витрати пального на виконання робочого процесу та втрат урожаю.

Практичне значення одержаних результатів. На основі аналізу та узагальнення відомих конструкцій робочих органів для викопування столових коренеплодів і теоретичних розрахунків розроблено нову конструкцію робочого органа для викопування довгоплідних столових коренеплодів.

Обґрунтовано параметри робочого органа і конструкційно-технологічну схему технічного засобу для викопування довгоплідних столових коренеплодів. Виготовлено експериментальний зразок технічного засобу, який випробувано в польових умовах у фермерських господарствах «Світанок» та «Зоря степу» Фастівського р-ну, Київської обл. Результати досліджень передано ТОВ «АЗТЕХ-Україна» для впровадження у виробництво.

Особистий внесок здобувача. Основні теоретичні та експериментальні дослідження за темою дисертаційної роботи виконані здобувачем особисто та за участю наукового керівника, зокрема:

- обґрунтовано актуальність досліджень та проаналізовано зміст публікацій і патентної інформації за обраною темою;
- розроблено наукову гіпотезу, сформульовано мету і задачі досліджень;

- аналітично досліджено технології збирання столової моркви, технічні засоби та робочі органи для викопування коренеплодів;
- розроблено конструкцію і виготовлено робочий орган та експериментальну установку для дослідження процесу викопування довгоплідних столових коренеплодів;
- теоретично обґрунтовано та експериментально підтверджено параметри робочого органа для викопування довгоплідних столових коренеплодів;
- розроблено методику і проведено експериментальні дослідження процесу викопування довгоплідних столових коренеплодів з використанням експериментальної установки з деблокуючим робочим органом;
- проведено статистичну обробку та аналіз результатів досліджень;
- здійснено економічну оцінку ефективності технічного засобу з новим робочим органом.

У розробленні експериментальної установки з новим робочим органом для викопування довгоплідних столових коренеплодів і проведенні експериментальних досліджень особистий внесок автора близько 90 %.

Постановку завдань, аналіз і трактування одержаних результатів виконано разом із науковим керівником і частково зі співавторами публікацій. У наукових публікаціях за темою дисертації, що написані у співавторстві, особистий внесок здобувача становить від 40 % до 60 %.

Результати досліджень, викладені в дисертації, доповідались на науково-технічних та науково-практичних конференціях і на конкурсі молодих учених:

- XXII Міжнародна науково-технічна конференція «Технічний прогрес у сільськогосподарському виробництві» та IX Всеукраїнська конференція-семінар аспірантів, докторантів та здобувачів у галузі аграрної інженерії, що відбулася 21-23 травня 2014 року у ННЦ «ІМЕСГ», у доповіді «Дослідження параметрів робочих органів для викопування глибокосидячих столових коренеплодів»;
- XXIII Міжнародна науково-технічна конференція «Технічний прогрес у сільськогосподарському виробництві, що відбулася 26-28 листопада 2015 року у ННЦ «ІМЕСГ», у доповіді «Нові робочі органи для викопування глибокосидячих столових коренеплодів з мінімальними затратами енергії»;
- III Міжнародна науково-практична конференція «Овочівництво і баштанництво: історичні аспекти, сучасний стан, проблеми і перспективи розвитку», яка відбулася у рамках II наукового форуму «Науковий тиждень у Крутах – 2017» 13-14 березня 2017р., у доповіді «Механізація роздільного способу збирання глибокосидячої столової моркви»;
- XXV Міжнародна науково-технічна конференція «Технічний прогрес у сільськогосподарському виробництві, що відбулася 4-7 липня 2017 року у ННЦ «ІМЕСГ», у доповіді «Економічна ефективність робочих органів для викопування глибокосидячих столових коренеплодів з мінімально-достатніми затратами енергії»;
- XVII Міжнародна наукова конференція «Сучасні проблеми землеробської механіки», що відбулася 4-7 липня 2017 року у м. Кам'янці-Подільському, присвячена 117 річниці від дня народження Петра Мефодійовича Василенка, у

доповіді «Дослідження динаміки взаємодії деблокатора з пластом кореневмісного шару ґрунту в процесі викопування глибокосидячих коренеплодів»;

- II тур конкурсу доповідей молодих учених «За кращу наукову доповідь молодого ученого НААН з фундаментальних та прикладних досліджень», що відбувся 19 жовтня 2017 року у приміщенні НААН, з доповіддю «Розроблення робочих органів для викопування глибокосидячих столових коренеплодів».

Публікації. Основні положення та результати досліджень опубліковано у 13 наукових працях, з яких 6 статей у наукових фахових виданнях України, одна у виданні, що індексується в науково-метричній базі SCOPUS, одна стаття в іншому виданні; опубліковано чотири тези доповідей. Конструкція робочого органа захищена патентом України на винахід.

Структура та обсяг дисертації. Дисертація складається із вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел із 112 найменувань та 11 додатків. Основна частина викладена на 131 сторінках тексту, містить 9 таблиць, 77 рисунки. Повний обсяг роботи становить 208 сторінок.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У першому розділі «Стан питання і задачі досліджень» виконано огляд та аналіз відомих способів збирання довгоплідних столових коренеплодів. Сформульовано основні вимоги до технологічного процесу і машин для збирання довгоплідних столових коренеплодів. Аналіз відомих технічних засобів для збирання довгоплідних столових коренеплодів, показав, що основним їх недоліком є висока енергоємність процесу збирання, забрудненість вороху рослинними рештками і ґрунтом, мають значні втрати і пошкодження коренеплодів при збиранні через недосконалість викопуючих робочих органів.

Питаннями удосконалення конструкцій викопуючих робочих органів для збирання коренеплодів, присвячені роботи Г. М. Сінеокова, М. Ф. Діденка, В. А. Хвостова, В. М. Булгакова, І. В. Головача, Л. В. Погорілого, А. С. Павлоцького, В. І. Корабельського, В. М. Барановського, Р. Б. Гевка, В. В. Брея, Ю. П. Фірмана та інших вчених.

У результаті аналізу відомих робочих органів, які використовуються в конструкціях технічних засобів для викопування коренеплодів, встановлено їх основні недоліки і визначено напрями їх удосконалення.

Автори Булгаков В. М. і Головач І. В. встановили причини великих витрат енергії і запропонували використовувати вібрацію робочих органів для зменшення витрат енергії і підвищення якості робочого процесу.

Павлоцький А. С. і Корабельський В. І. запропонували напрям зменшення витрат енергії через удосконалення геометрії робочих органів.

Сінеоков Г. М., Діденко М. В., Погорілий Л. М., Брей В. В. досліджували взаємодію робочих органів з ґрунтом і вплив деформації ґрунту на витрати енергії.

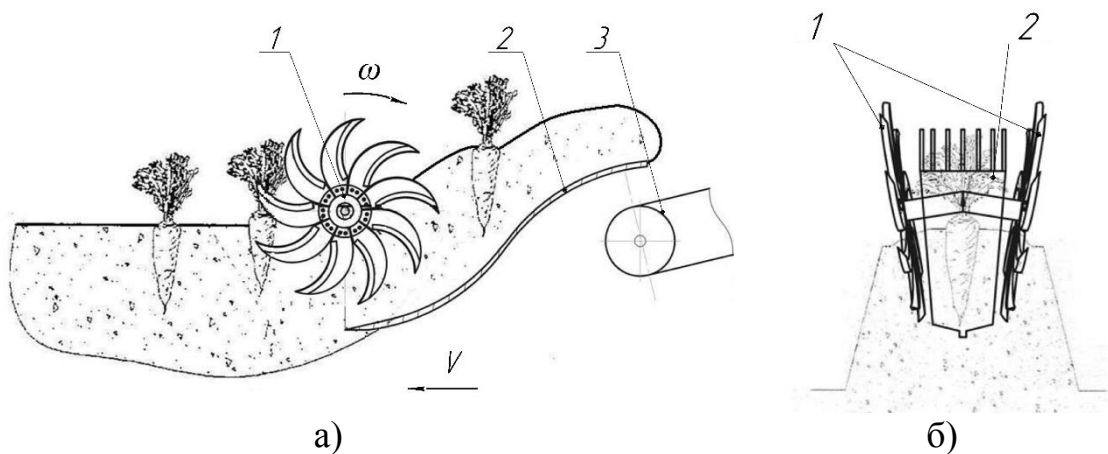
Відомо, що тяговий опір є основним чинником, що зумовлює витрати енергії. Академік В. П. Горячкін дійшов висновку, що на опір плуга впливають три основні

сили: сили тертя робочого органа об ґрунт, сили на деформацію ґрунту і сили на відкидання скиби ґрунту вбік, який описав це виразом:

$$P_{заг} = K_{лез} \cdot v + K_{деф} \cdot v \cdot h + v \cdot h \cdot l \cdot \gamma \cdot tg(\alpha + \varphi) + \frac{v \cdot h}{g} V_m^2 \cdot \gamma \cdot \sin \alpha \cdot tg(\alpha + \varphi)$$

З даних досліджень відомо, що найбільший тяговий опір створює другий член формули, який виражає опір, зумовлений деформацією скиби висотою h і шириною b . Отже, однією із причин високої енергоємності процесу викопування довгоплідних столових коренеплодів є великі витрати енергії на відокремлення масиву і деформація ґрунту з коренеплодами.

В результаті аналізу причин, які зумовлюють витрати енергії і якість робочого процесу викопування коренеплодів, запропоновано структурно-функціональну схему нового робочого органа двоярусного типу, у якого перший ярус складається спареного деблокатора дискового типу з активним приводом, другий – підкопувачий леміш. Деблокатор відділяє смугу ґрунту з коренеплодами від масиву, завдяки чому зменшуються витрати енергії на підкопування рядка лемішем (рис. 1). Особливістю цього робочого органа є ріжуче-деформуючі ножі з активним приводом. При русі деблокуючого робочого органа в ґрунті напрям вектора їх кутової швидкості у нижній частині збігається з напрямом руху копача. Одночасно у ґрунт на глибину залягання коренеплодів заглиблюється леміш. Робочі поверхні деблокатора і леміша концентрують елементарні сили взаємодії з ґрунтом в зоні коренеплодів, в результаті чого відбувається розпушення ґрунту, піднімання скиби з коренеплодами і відокремлення їх від ґрунту.



а – вид збоку; б – вид спереду

Рисунок 1 – Схема загального вигляду викопуючого робочого органа двоярусного типу: 1 – дисковий деблокатор; 2 – підкопувачий леміш; 3 – сепаруючий конвеєр

Наведені аргументи зумовили вибір теми дисертації та основні задачі досліджень.

У другому розділі «Теоретичне дослідження і обґрунтування основних параметрів робочого органа для викопування довгоплідних столових коренеплодів» обґрунтовано параметри та режими роботи робочого органа двоярусного типу.

Для вирішення поставленої задачі у робочому органі перший ярус виконано у вигляді дводискового зубчатого деблокатора. Робоча поверхня кожного зуба деблокатора описана поверхнею торса дотичних, ребром звороту якого слугує ріжуча крайка зуба, що виконана у формі кривої подвійної кривини (рис. 2).

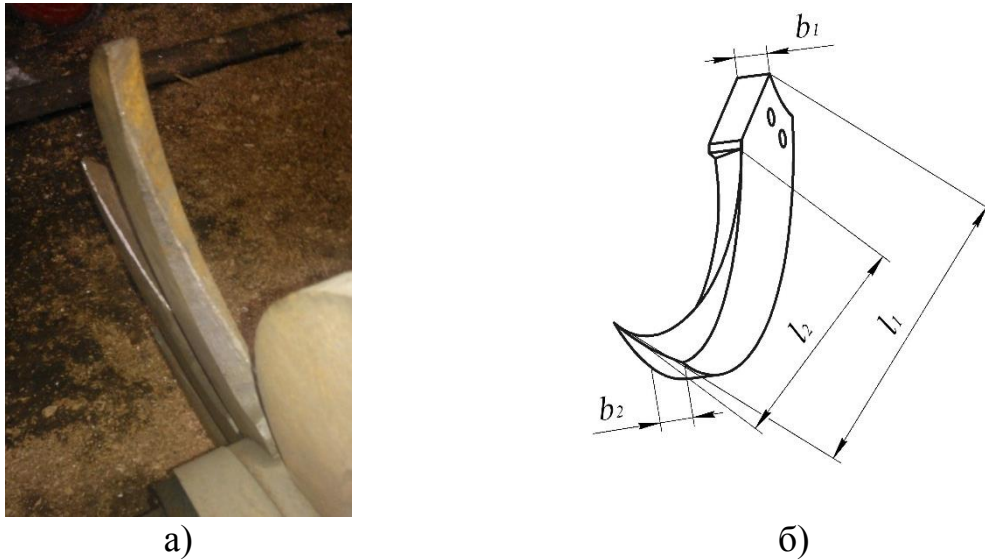


Рисунок 2 – Реалізація конструкції зуба: а – в матеріалі; б – в технології комп'ютерного дизайну

Профіль зуба виконано за формою відрізка трохіоди, а форма зуба визначена за відомими формулами (зустрічного фрезерування):

$$x = \left(\sqrt{2RA - A^2 - R^2} \right) \cos \varphi + (R - A) \sin \varphi, \quad (1)$$

$$y = \left(\sqrt{2RA - A^2 - R^2} \right) \sin \varphi + (R - A) \cos \varphi, \quad (2)$$

де

$$A = a \pm \frac{b \cos \alpha}{2 \sin \left(\alpha + \operatorname{arctg} \frac{x'}{y'} \right)},$$

$$\alpha = \arcsin \frac{R - a}{R},$$

де $\varphi = \omega t$ – кутове переміщення деблокатора; R – радіус деблокатора, м; b – ширина зуба, м; $\lambda = \frac{\omega R}{v}$ – кінематичний параметр; ω – кутова швидкість, рад \cdot с $^{-1}$; v – поступальна (робоча) швидкість, м/с; a – глибина обробітку, м.

Знак плюс – для зовнішньої кривої, що обгинає зуб деблокатора, мінус – для внутрішньої.

Кут загострення при вершині зуба в профілі ($\delta=60-70^\circ$) прийнятий із умови руху зуба в ґрунті з ковзанням, заточка зуба відповідає роботі за принципом скісного клина, який моделює поверхню торса.

Для оцінки енергоефективності роботи деблокатора ґрунтового шару в процесі викопування довгоплідних столових коренеплідів побудовано математичну

модель його функціонування. Розглянуто нерухому систему декартових координат XOY та рухому $X_1O_1Y_1$, зв'язану із центром ротора деблокатора ґрунту, що обертається разом із деблокатором на кут φ (рис. 3)

Коли деблокатор рухається прямолінійно рівномірно із швидкістю $V = \text{const}$ він одночасно обертається навколо своєї осі за законом $\varphi = \omega t$, де $\omega = \text{const}$.

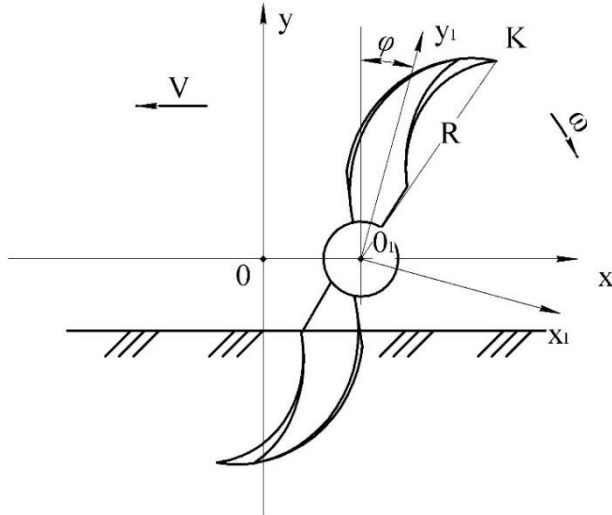


Рисунок 3 – Схема взаємодії деблокатора із шаром ґрунту

Коли робочий орган рухається в ґрунті (рис. 3) точка вершини зуба описує циклоїду (рис. 4), яка, в свою чергу, описується загальновідомими формулами:

$$\begin{aligned} x &= \pm R \cos(\omega t) + Vt, \\ y &= \pm R \sin(\omega t). \end{aligned} \quad (3)$$

Для визначення енергетичних затрат розглянуто залежність потужності, яку споживає деблокатор, від фази взаємодії його зуба з ґрунтом (4):

$$N(t) = M_{кр}(t) \frac{30 \cdot \omega}{\pi}, \quad (4)$$

де $M_{кр}(t)$ – крутний момент на валу ротора деблокатора, Н·м.

Невідому складову $M_{кр}(t)$ визначимо з виразу:

$$M_{кр}(t) = S(t) \cdot P \cdot h(t) \quad (5)$$

де $S(t)$ – динамічна площа перерізу взаємодії зуба із шаром ґрунту м^2 ; $P(t)$ – питомі зусилля деформації ґрунту, $\text{Н} \cdot \text{м}^{-2}$; $h(t)$ – плече еквівалентної сконцентрованої реакції ґрунту, що діє на зуб, м.

У процесі руху деблокатора в ґрунті ріжучі крайки зубів взаємодіють з шаром ґрунту по всій глибині обробітку. Розглянувши випадок, коли попередній зуб заглибився в ґрунт, попередньо видалив шар ґрунту і утворив лінію 1. У першому допущенні прийняли, що ділянка зуба, яка взаємодіє з ґрунтом, має пряму форму. В цьому випадку (рис. 4) площу взаємодії зуба з шаром ґрунту визначали за залежністю:

$$S(t) = bk. \quad (6)$$

де b – ширина зуба, м; k – величина проникнення зуба в ґрунт – товщина стружки, м.

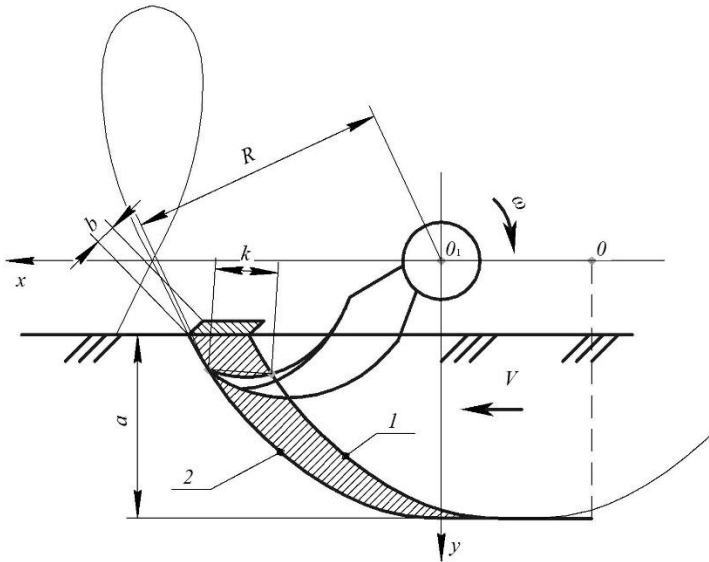


Рисунок 4 – Схема до визначення площі взаємодії ножа деблокатора з шаром ґрунту: 1 – траєкторія попереднього зуба деблокатора; 2 – траєкторія робочого зуба деблокатора

Виходячи з конструкційних міркувань в кожен момент часу із ґрунтом може контактувати два зуби. Тоді робота, виконана одним зубом, подвоїться.

Величину k знайдемо як відстань між двома точками на площині за відомими формулами з курсу аналітичної геометрії:

$$M_1M_2 = k = \sqrt{(x_{M_1} - x_{M_2})^2 + (y_{M_1} - y_{M_2})^2}, \quad (7)$$

Оскільки аналітичне вираження координат точки M_2 пов'язане із вирішенням трансцендентних рівнянь та не виражається в елементарних функціях визначали їх чисельним методом за допомогою програми Kompas 3D.

Із схеми (рис. 5) бачимо, що плече еквівалентної сконцентрованої реакції ґрунту h , яка діє на зуб, рівне відрізку AB і паралельне відрізку M_1M_2 . AC – відрізок, що сполучає центр ротора деблокатора із точкою прикладання сконцентрованої реакції ґрунту. Тоді відрізок AB – це плече вказаної реакції, α – кут між відрізком AC та плечем AB , M_1M_2 – це точки дотику бічної поверхні деблокатора з ґрунтом.

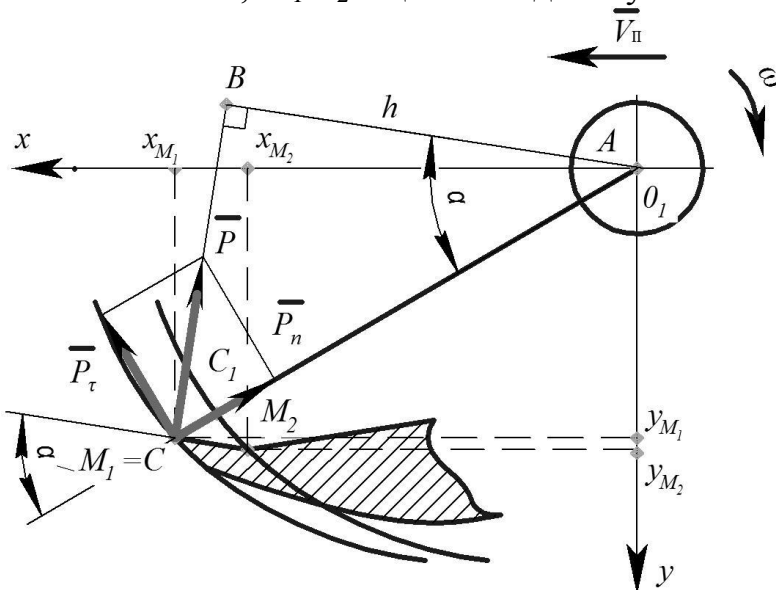


Рисунок 5 – Схема визначення плеча сили реакції різання ґрунту на зуб

Оскільки відрізки AB і M_1M_2 паралельні, можемо стверджувати, що кут α рівний куту α' (рис. 5) і може бути знайдений як кут між двома направляючими векторами прямих, що містять відрізки AC і M_1M_2 :

$$\alpha = \arccos \left(\frac{x_{ac} \cdot x_{m1m2} + y_{ac} \cdot y_{m1m2}}{\sqrt{x_{ac}^2 + y_{ac}^2} \cdot \sqrt{x_{m1m2}^2 + y_{m1m2}^2}} \right), \quad (9)$$

де x_{ac} , y_{ac} та x_{m1m2} , y_{m1m2} відповідно координати направляючих векторів прямих відрізків AC і M_1M_2 .

Величину відрізка AB визначали за виразом:

$$AB = \cos \alpha \cdot AC. \quad (8)$$

Для знаходження координат цих векторів знайдемо координати точки C за наступними формулами:

$$x_c = x_{m1} + x_{m2}, \quad (10)$$

$$y_c = y_{m1} + y_{m2}. \quad (11)$$

Тоді координати направляючого вектора прямої, що містить відрізок AC рівні:

$$x_{ac} = x_c - v \cdot t, \quad (12)$$

$$y_{ac} = y_c - r. \quad (13)$$

Враховувавши попередні вирази (12, 13), перепишемо:

$$x_{ac} = x_{m1} + x_{m2} - v \cdot t, \quad (14)$$

$$y_{ac} = y_{m1} + y_{m2} - r. \quad (15)$$

Координати направляючого вектора прямої, що містить відрізок M_1M_2 будуть рівні:

$$x_{m1m2} = x_{m2} - x_{m1}, \quad (16)$$

$$y_{m1m2} = y_{m2} - y_{m1}. \quad (17)$$

Далі визначимо довжину відрізка AC

$$AC = \sqrt{(vt - x_c)^2 + (r - y_c)^2}. \quad (18)$$

Після цього напишемо вираз для визначення величини плеча h :

$$AB = h = \frac{((x_{m1} + x_{m2}) - V \cdot t) \cdot (x_{m2} - x_{m1}) + ((y_{m1} + y_{m2}) - R) \cdot (y_{m2} - y_{m1})}{\sqrt{((x_{m1} + x_{m2}) - V \cdot t)^2 + ((y_{m1} + y_{m2}) - R)^2}} \times$$

$$\times \frac{\sqrt{[V \cdot t - (x_{m1} + x_{m2})]^2 \cdot [R - (y_{m1} + y_{m2})]^2}}{\sqrt{(x_{m2} - x_{m1})^2 + (y_{m2} - y_{m1})^2}}. \quad (19)$$

Підставивши вираз 19 у вираз 4, отримали рівняння для визначення потужності на привод деблокатора:

$$N = bk \cdot P \cdot \frac{((x_{m1} + x_{m2}) - V \cdot t) \cdot (x_{m2} - x_{m1}) + ((y_{m1} + y_{m2}) - R) \cdot (y_{m2} - y_{m1})}{\sqrt{((x_{m1} + x_{m2}) - V \cdot t)^2 + ((y_{m1} + y_{m2}) - R)^2}} \times$$

$$\times \frac{\sqrt{[V \cdot t - (x_{m1} + x_{m2})]^2 \cdot [R - (y_{m1} + y_{m2})]^2}}{\sqrt{(x_{m2} - x_{m1})^2 + (y_{m2} - y_{m1})^2}} \cdot \frac{30 \omega}{\pi}. \quad (20)$$

Аналітичним методом знайдено подачу на зуб (товщину стружки) k та плече h рівнодійної сили різання P відносно осі деблокатора (рис. 6 і 7).

Викладена вище методика визначення потужності реалізована у вигляді розрахункової моделі в програмному середовищі Octave 4.0 (Рис. 8).

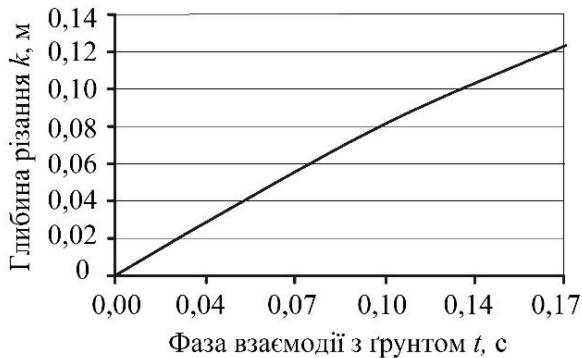


Рисунок 6 – Залежність глибини різання зуба деблокатора відносно фази взаємодії його з ґрунтом

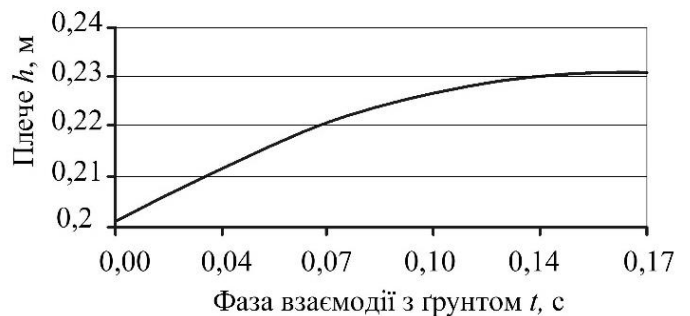


Рисунок 7 – Залежність рівнодійної сили різання зуба деблокатора відносно фази взаємодії його з ґрунтом

При цьому питомий опір ґрунту на розтяг приймали рівним $6700 \text{ Н} \cdot \text{м}^{-2}$. В результаті моделювання побудовано поверхню відгуку, яка відображає залежність споживаної потужності зубом деблокатора від його кутової швидкості ω та фази взаємодії з ґрунтом в момент t від початку контакту з ґрунтом аж до його виходу з ґрунту.

З рис. 8 видно, що 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. Зменшення 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 збільшується 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.

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

$$Z = \frac{2\pi R}{\lambda S_0}, \quad (21)$$

де S_0 – подача на один зуб, м.

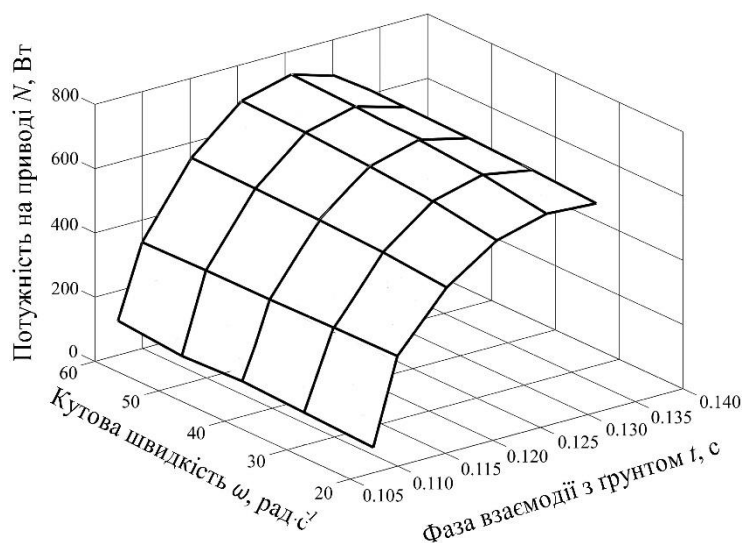


Рисунок 8 – Залежність потужності N , споживаної зубом, від фази взаємодії зуба з ґрунтом в момент t і кутової швидкості ротора деблокатора ω

У третьому розділі «Програма та методика проведення експериментальних досліджень» наведено програму і методику експериментальних досліджень та опис лабораторно-польової установки.

Відповідно до поставленої мети та наукових завдань дисертаційної роботи, а також для перевірки отриманих теоретичних моделей процесу викопування довгоплідних столових коренеплодів розроблено програму експериментальних досліджень, якою передбачалося:

- розробити конструкцію і виготовити експериментальний зразок технічного засобу для викопування довгоплідних столових коренеплодів, програму і методику експериментальних досліджень;

- провести експериментальні дослідження з визначення впливу конструкційних, кінематичних і технологічних параметрів робочого органа на показники якості та енерговитрати на викопування довгоплідних столових коренеплодів;

- провести лабораторно-польові дослідження викопування довгоплідних столових коренеплодів.

Експериментальна установка для дослідження робочих органів для викопування довгоплідних столових коренеплодів (рис. 9) 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, деблокуючого робочого органа 8, підкопуючого лемеша 9, регулюючих кріплень підкопуючого лемеша 10, кріплення для регулювання глибини ходу підкопуючого лемеша 11, гідроциліндра підйому коліс для регулювання ходу робочого органа та лемеша 12, пари коліс 13. Експериментальна установка агрегується з тракторами, ВВП яких

обертається з частотою 540 хв^{-1} . Зміну частоти обертання деблокатора проводили за допомогою варіатора 2. Швидкість поступального руху змінювали шляхом підбору відповідних передач трактора. Регулювання глибини ходу робочого органа здійснювали висотою підйому трактором навіски 3 та підйомом коліс 13 гідроциліндром 12.

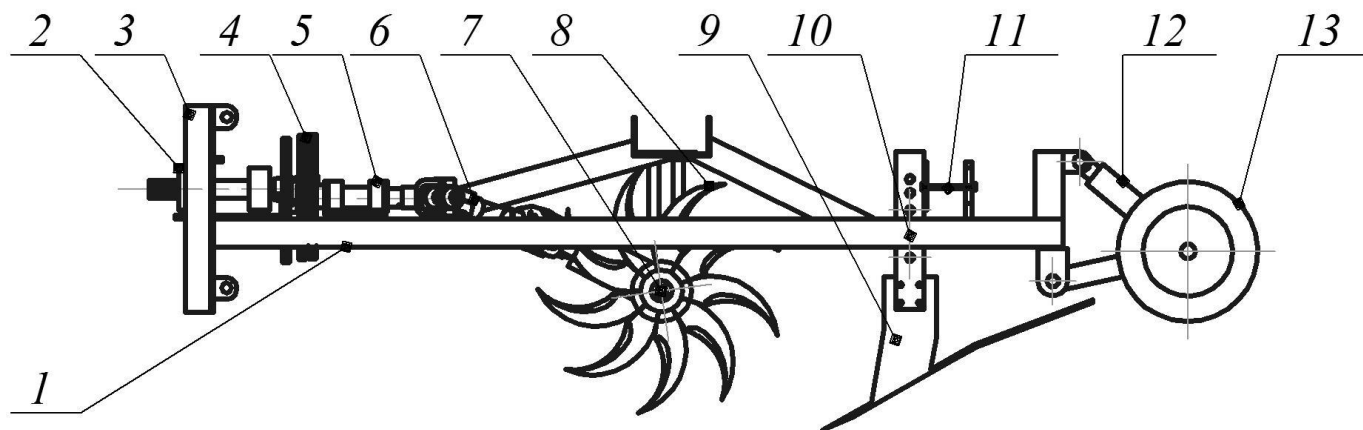


Рисунок 9 – Компонувальна схема експериментальної установки для викопування довгоплідних столових коренеплодів

Для вимірювання і реєстрації результатів досліджень були використані тензодатчики для вимірювання осьового навантаження в напрямку розтягування. Вимірювальним елементом було пружне тіло зі сталі з тензорезисторами. Для реєстрації тягового зусилля на гаку трактора використовували тензодатчик до 1000 кг.

Датчик Холла застосовували для контролю положення механізмів високої швидкодії. Використовувалось два датчики Холла серії SM (0). Один для визначення швидкості руху трактора, а інший для визначення частоти обертання двигуна трактора.

Аналогово-цифровий перетворювач Е14-140(-М) використовували для побудови багатоканальних вимірювальних систем збору аналогових даних, а також цифрового управління і контролю стану зовнішніх пристроїв.

Для вимірювання крутного моменту на валу ВВП використано тензодатчик.

Перед проведенням експериментальних досліджень проведено тарування тензодатчика крутного моменту та тензоланки тягового зусилля на тарувальному стенді. Показники записували на комп'ютер через USB-кабель.

Необхідна повторність дослідів була трикратною, що забезпечувало надійність дослідів 0,95 і похибку $\pm 3 \sigma$. При цьому відносна похибка середнього арифметичного не перевищує 5 %.

У четвертому розділі «**Результати експериментальних досліджень**» представлено аналіз статистичної обробки даних факторних експериментів та аналіз взаємозв'язків між дослідними факторами.

Лабораторно-польові дослідження експериментального робочого органа для викопування довгоплідних столових коренеплодів проведено з використанням розробленої експериментальної установки (рис. 10).



Рисунок 10 – Експериментальні дослідження установки з новими робочими органами в агрегаті з трактором МТЗ-80

За результатами експериментальних досліджень отримано регресійні залежності потужності на приводі робочих органів від глибини викопування довгоплідних столових коренеплодів a , швидкості поступального руху технічного засобу V (1) та кутової швидкості робочого органа деблокатора ω . Побудовано поверхні відгуку (рис. 11, 12) та отримано рівняння регресії залежності потужності на привід робочого органа від означених показників.

У результаті аналізу поверхонь відгуку зроблено висновок про те, що на потужність привода робочого органа має домінуючий вплив фактор глибини ходу робочого органа. За збільшення глибини від 250 мм до 350 мм потужність на привід збільшується з 2,6 кВт до 5,1 кВт. За збільшення швидкості поступального руху від 0,7 м/с до 1,1 м/с потужність привода зростає з 0,7 кВт до 0,8 кВт. За швидкості поступального руху машини 1,1 м/с і глибини ходу робочого органа – 350 мм максимальна потужність на привід деблокуючого робочого органа складала 6,1 кВт. Збільшення витрат енергії на викопування довгоплідних столових коренеплодів пояснюється зростанням кількості взаємодій робочого органа з ґрунтом.

З метою перевірки теоретичної адекватності і моделі було проведено експеримент для визначення потужності, що споживається зубом деблокатора. Графік споживаної потужності зубом залежно від фази взаємодії його з ґрунтом в момент t при кутовій швидкості деблокатора $\omega = 40 \text{ рад} \cdot \text{с}^{-1}$ представлено на рисунку 13. Отримані експериментальні дані порівнювали з теоретичною моделлю. Статистична обробка результатів досліджень з використанням критерію Фішера показала, що теоретична модель адекватно описує реальний процес на рівні значущості 5 %. Характер залежності, як правило, повторює теоретичну модель. Відмінності, що мають місце, зумовлені неврахованим фактором – сили взаємодії бічної поверхні диска деблокатора з ґрунтом.

За результатами експериментальних досліджень отримано рівняння регресії залежності споживаної потужності робочим органом N від поступальної швидкості V та глибини викопування коренеплодів a (22), поступальної швидкості V та кутової швидкості деблокатора ω (23):

$$Y = 3,3533 + 0,7828 X_1 + 0,7411 X_2 + + 0,1675 X_1 X_2 \quad (22)$$

$$Y = 4,1000 + 0,9894 X_1 + 0,9772 X_2 \quad (23)$$

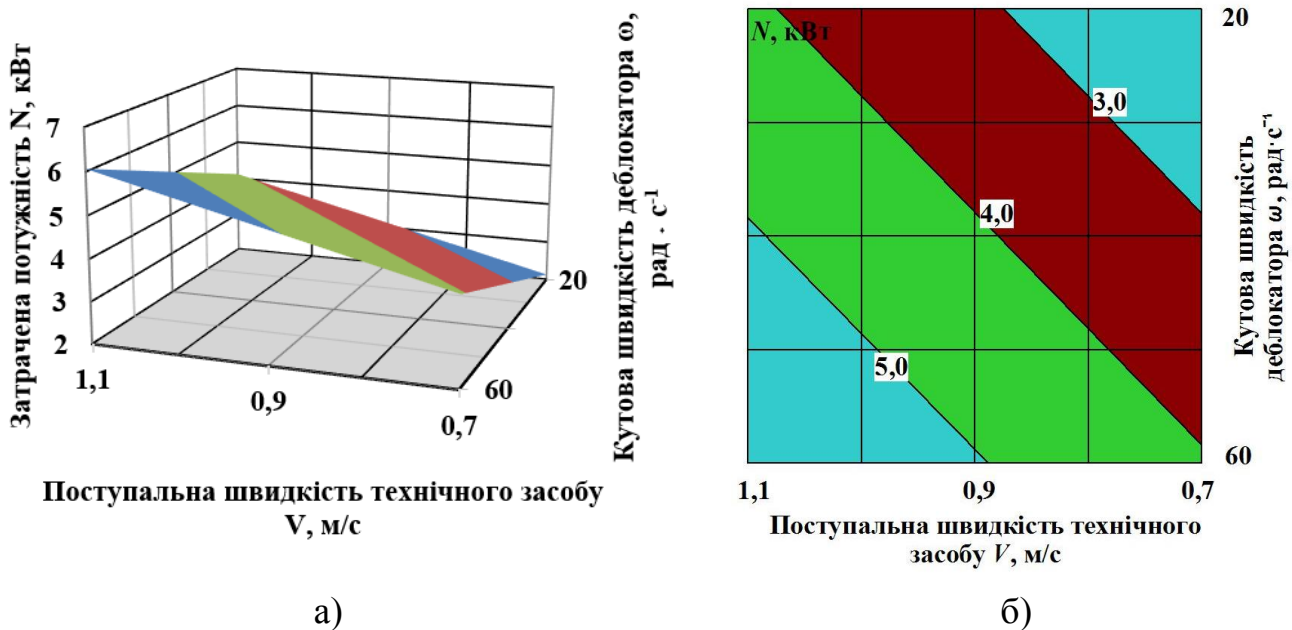
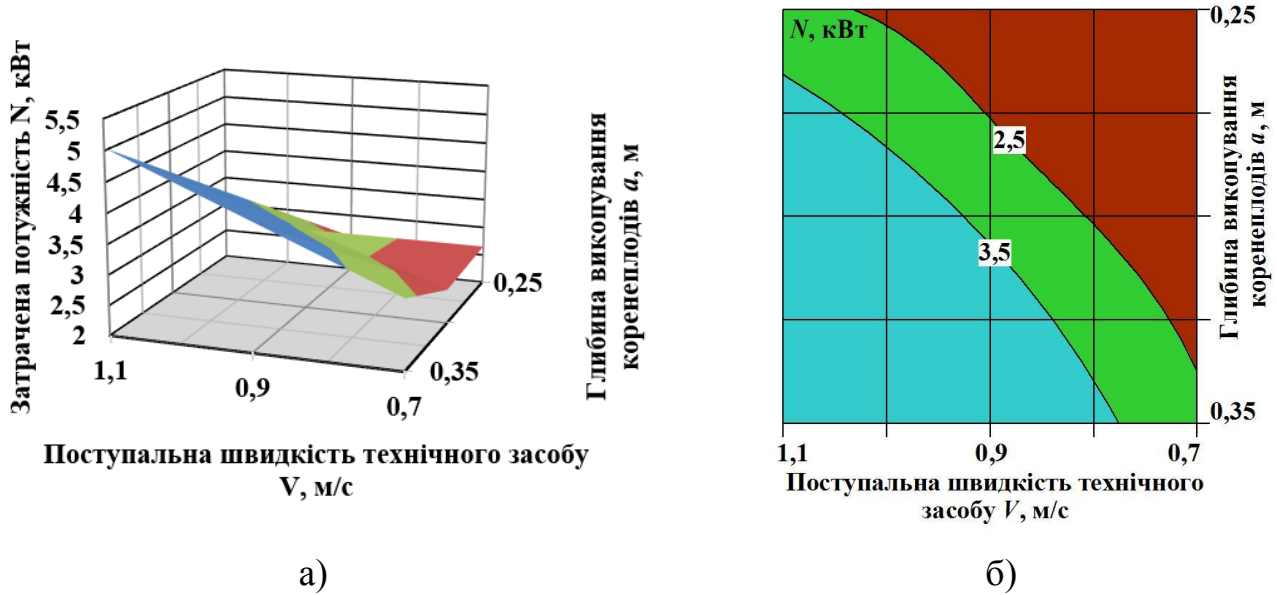


Рисунок 11 – Поверхні відгуку залежності витрат потужності на викопування довгоплідних столових коренеплодів від поступальної швидкості технічного засобу V , глибини викопування коренеплодів a та кутової швидкості деблокатора ω – а та їх двомірні перетини – б

Отримано рівняння регресії залежності споживаної потужності зубом деблокатора N від поступальної швидкості та фази його взаємодії з ґрунтом (24):

$$Y = 0,7084 + 0,0555 X_1 + 0,0448 X_2 \quad (24)$$

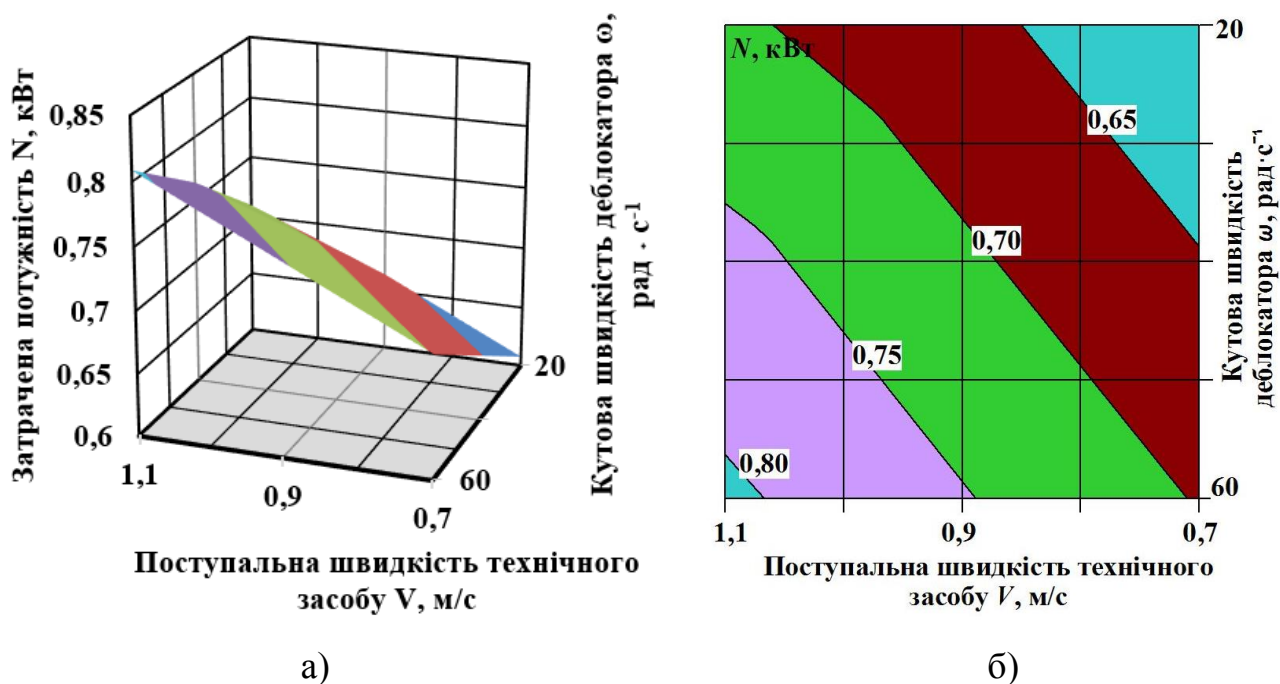


Рисунок 12 – Поверхня відгуку залежності потужності на привід деблокуючого робочого органа від фази взаємодії з ґрунтом – а та її двомірний перетин – б

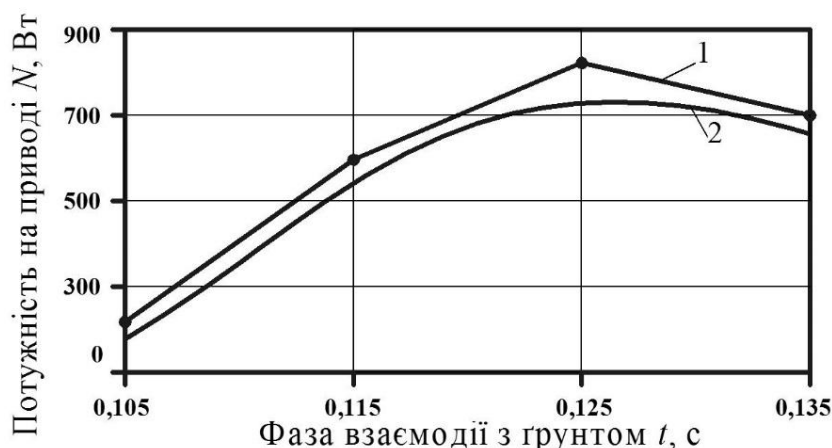


Рисунок 13 – Експериментальна та теоретична залежності споживання потужності N за кутової швидкості ротора деблокатора $\omega = 40$ рад \cdot с $^{-1}$: 1 - експериментальна залежність; 2 - теоретична залежність

У п'ятому розділі «Техніко-економічна ефективність від застосування деблокуючих робочих органів при викопуванні довгоплідних столових коренеплодів» визначено економічну ефективність впровадження технологічного процесу викопування довгоплідних столових коренеплодів з використанням розробленого технічного рішення.

Річний економічний ефект застосування модулів з експериментальним робочим органом для викопування довгоплідних столових коренеплодів, 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.

Результати теоретичних та експериментальних досліджень передано ТОВ «АЗТЕХ-Україна» для впровадження у виробництво.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі наведено теоретичне узагальнення та нове вирішення наукової задачі, що полягає в обґрунтуванні технологічного процесу і параметрів деблокуючого робочого органа для викопування довгоплідних столових коренеплодів, яке забезпечило зменшення витрат енергії та підвищення якості виконання процесу викопування довгоплідних столових коренеплодів.

1. Встановлено, 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. Встановлено, 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 деформуючу поверхню тиску, дія якої охоплює з двох боків рядок коренеплодів і забезпечує умови врізання зубів деблокатора в масив з малою питомою енергоємністю.

5. Розроблено математичну модель для визначення енергоємності взаємодії зуба деблокатора із шаром ґрунту, яка описує залежність крутного моменту $M_{кр}(t)$ від площі перерізу в момент взаємодії зуба із шаром ґрунту (m^2), питоме зусилля деформації ґрунту ($H \cdot m^{-2}$), плече еквівалентної сконцентрованої реакції ґрунту, що діє на ґрунт (m), з потужністю необхідною для приводу деблокатора. Використовуючи отримані залежності, обґрунтовано раціональні значення параметрів деблокатора, а саме: радіус деблокатора $R=0,35$ м, поступальна швидкість $V=0,9$ м/с та кутова швидкість $\omega = 40$ рад \cdot с $^{-1}$.

6. За результатами проведених лабораторно-польових досліджень робочого органа для викопування довгоплідних столових коренеплодів встановлено можливість виконання технологічного процесу зі швидкістю поступального руху машини до 0,9 м/с і кутовій швидкості ротора деблокатора до 40 рад \cdot с $^{-1}$.

7. Експериментальними дослідженнями підтверджено правильність теоретичного обґрунтування основних конструкційно-технологічних параметрів робочого органа, за яких забезпечується якісне виконання технологічного процесу: діаметр деблокуючого робочого органа – 0,7 м, довжина зуба робочого органа – 0,28 м, кількість зубів на одній стороні деблокуючого робочого органа – 9 шт.

8. Після проходження деблокуючого 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 дослідах не перевищувала 3 %.

9. 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 ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Публікації у фахових виданнях України:

1. Рихлівський П. А. Аналіз розроблення машин для збирання столових коренеплодів. *Механізація та електрифікація сільського господарства : міжвідомчий темат. наук. зб. / ННЦ «ІМЕСГ»*. Глеваха, 2013. Вип. 97. Том 1. С. 424-431. (Здобувачем наведено аналіз розроблення машин для збирання столових коренеплодів).

2. Землеробська механіка сучасного рівня сільськогосподарської техніки (інженерний комп'ютерний дизайн кривих і поверхонь) / В. О. Надолинний, А. С. Павлоцький, П. А. Рихлівський та ін. *Механізація та електрифікація сільського господарства : міжвідомчий темат. наук. зб./ ННЦ «ІМЕСГ»*. Глеваха, 2014. Вип. 99. Том 1. С. 432-445. (Здобувач брав активну участь у побудові моделі поверхонь робочих органів для землеробської механіки).

3. Сучасний математичний апарат землеробської механіки / В. О. Надолинний, А. С. Павлоцький, П. А. Рихлівський та ін. *Механізація та електрифікація сільського господарства : міжвідомчий темат. наук. зб./ ННЦ «ІМЕСГ»*. Глеваха, 2014. Вип. 99. Том 1. С. 446-462. (Здобувач брав активну участь у розробці інженерного способу конструювання ґрунтодеформуючих поверхонь землеробської механіки).

4. 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. наук. пр. / ННЦ «ІМЕСГ»*. Глеваха, 2015. Вип. 2(101). С. 58-65. (Здобувач брав активну участь у моделюванні і конструюванні робочих органів копачів столових коренеплодів).

5. Наукове та інженерне розроблення енергоощадних ґрунтообробних поверхонь / А. С. Павлоцький, І. Ф. Савченко, П. А. Рихлівський та ін. *Механізація та електрифікація сільського господарства : загальнодерж. зб. наук. пр. / ННЦ «ІМЕСГ»*. Глеваха, 2016. Вип. 4(103). С. 145-154. (Здобувач брав активну участь у розробленні робочої поверхні копача коренезбиральної машини).

6. Рихлівський П. А. Розроблення робочих органів для викопування глибокосидячих столових коренеплодів. *Механізація та електрифікація сільського господарства : загальнодерж. зб. наук. пр. / ННЦ «ІМЕСГ»*. Глеваха, 2018. Вип.

8(107). С. 114-119. (Здобувачем проведено дослідження робочих органів для викопування столових коренеплодів).

Публікації у наукових періодичних виданнях інших держав:

7. Bulgakov V., Ivanovs S., Safchenko I., Boris A., Rykhlivskiy P. Theoretical Research of the Design and Technological Parameters of a Device for Lifting of Deep-Seated Table Root Crops. *Acta Technologica Agriculturae*. 2019, vol.22, issue 3. Pp. 99–103. (Здобувач брав активну участь у розробці та експериментальному дослідженні робочого органа для викопування столових коренеплодів).

Статті у інших виданнях:

8. Савченко І. Ф., Рихлівський П. А., Кусайко В. С., Гузік І. М. Двофазне збирання моркви. *Плантатор*. 2017. №5(35). С. 129-130. (Здобувач брав активну участь у дослідженні процесу роздільного способу збирання столової моркви).

Патенти та авторські свідоцтва:

9. Викопуючий робочий орган коренезбиральної машини : пат. на винахід № 106342, Україна (UA), 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; ННЦ «ІМЕСГ». № (а)201315207; заявл. 25.12.2013; опубл. 11.08.2014, Бюл. № 15. (Здобувач запропонував нову форму робочого органа для викопування столових коренеплодів).

Матеріали і тези доповідей конференцій:

10. 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 ХХ Міжнародної наук.-техн. конфер. та VII Всеукраїнської конфер.-семінару аспірантів, докторантів і здобувачів у галузі аграрної інженерії (22-24 травня 2012р., смт. Глеваха) / ННЦ «ІМЕСГ». Глеваха, 2012. С. 60-61. (Здобувач брав активну участь у системній побудові лемішно-полицевих поверхонь з використанням ПК).*

11. Рихлівський П. А. Механізація роздільного способу збирання глибокосидячих столових коренеплодів: матеріали III Міжнародної наук.-практ. конфер. (у рамках II наукового форуму «Науковий тиждень у Крутах – 2017») (13-14 березня 2017р., с. Крути). Крути, 2017. Том 1. С. 234-238. (Здобувачем проведено дослідження процесу роздільного способу збирання столових коренеплодів).

12. 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. праць XVIII Міжн. наук. конф. (16-18 жовтня 2017р., м. Кам'янець-Подільський)*. Тернопіль: Крок, 2017. С. 184-188. (Здобувачем проведено дослідження динаміки взаємодії деблокатора з пластом кореневмісного шару ґрунту в процесі викопування столових коренеплодів).

13. Рихлівський П. А. Розроблення робочих органів для викопування глибокосидячих столових коренеплодів. *Технічний прогрес у сільськогосподарському виробництві : матеріали ХХVI Міжнародної наук.-техн. конфер. та XVIII Всеукраїнської конфер.-семінару аспірантів, докторантів і*

здобувачів у галузі аграрної інженерії (4-5 липня 2018р., смт. Глеваха). / ННЦ «ІМЕСГ». Глеваха, 2018. С. 52-54. (Здобувачем проведено дослідження робочих органів для викопування столових коренеплодів).

АНОТАЦІЯ

Рихлівський П. А. Обґрунтування параметрів робочих органів машин для збирання столових коренеплодів. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.05.11 – машини і засоби механізації сільськогосподарського виробництва. – Національного наукового центру «Інститут механізації та електрифікації сільського господарства», Глеваха. 2021.

Дисертацію присвячено вирішенню актуальних питань зменшення витрат енергії та підвищенню ефективності викопування довгоплідних столових коренеплодів.

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

У дисертаційній роботі розроблена математична модель процесу викопування довгоплідних коренеплодів, яка описує залежність крутного моменту $M_{кр}(t)$ від площі перерізу в момент взаємодії зуба деблокатора із шаром ґрунту (m^2), питоме зусилля деформації ґрунту ($H \cdot m^{-2}$), плече еквівалентної сконцентрованої реакції ґрунту, що діє на ґрунт (m), з потужністю необхідною для приводу деблокатора.

Розроблено методику визначення енергетичних показників та проведені лабораторно-польові дослідження нового робочого органа, що дозволило розрахувати залежність потужності привода від поступальної швидкості технічного засобу $V=0,7...1,1$ м/с та частоти обертання деблокуючого робочого органа $\omega = 20...60$ рад \cdot с $^{-1}$.

За результатами науково-дослідних і дослідно-конструкторських робіт було виготовлено технічну документацію на змінний модуль з робочим органом двоярусного типу (перший ярус – зубчатий деблокатор, а другий – підкопуючий леміш) для викопування столових коренеплодів, яку передано для впровадження у виробництво у ТОВ «АЗТЕХ-Україна»

Ключові слова: столові коренеплоди, роздільний спосіб збирання, двоярусний робочий орган, математична модель, ріжуче-деформуєча поверхня, деблокатор, додаткове кришення ґрунту.

АННОТАЦИЯ

Рыхливский П. А. Обоснование параметров рабочих органов машин для уборки столовых коренеплодов. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.05.11 – машины и средства механизации сельскохозяйственного производства. – Национального научного центра «Институт механизации и электрификации сельского хозяйства», Глеваха. 2021.

Диссертация посвящена решению актуальных вопросов уменьшения затрат энергии и повышению эффективности выкапывания длинноплодных столовых корнеплодов.

По результатам проведенных теоретических и экспериментальных исследований обоснована целесообразность механизированной уборки длинноплодных столовых корнеплодов отдельным способом, особенно в период заморозков, с применением разработанного нового рабочего органа, с целью уменьшения затрат энергии на процесс выкапывания.

В диссертационной работе разработана математическая модель процесса выкапывания длинноплодных корнеплодов, которая описывает зависимость крутящего момента $M_{кр}$ (t) от площади сечения в момент взаимодействия зуба деблокатора со слоем почвы (m^2), удельное усилие деформации грунта ($H \cdot m^{-2}$), плечо эквивалентной сконцентрированной реакции почвы, действующей на грунт (m), с мощностью необходимой для привода деблокатора.

Разработана методика определения энергетических показателей и проведены лабораторно-полевые исследования нового рабочего органа, что позволило рассчитать зависимость мощности привода от поступательной скорости технического средства $V = 0,7 \dots 1,1$ м/с и частоты вращения деблокирующего рабочего органа $\omega = 20 \dots 60$ рад \cdot с⁻¹.

По результатам научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ была изготовлена техническая документация на сменный модуль с рабочим органом двухъярусного типа (первый ярус - зубчатый деблокатор, а второй – подкапывающий лемех) для выкапывания столовых корнеплодов и передана для внедрения в производство в ООО «АЗТЕХ-Украина».

Ключевые слова: столовые корнеплоды, отдельный способ уборки, двухъярусный рабочий орган, математическая модель, режущее-деформирующая поверхность, деблокатор, дополнительное измельчения грунта.

ANNOTATION

Rykhivskiy P. A. Substantiation of parameters of working bodies of machines for harvesting root crops. - On the rights of the manuscript.

The dissertation on competition of a scientific degree of the candidate of technical sciences on a specialty 05.05.11 – machines and means of mechanization of agricultural production. - National Scientific Center "Institute of Agricultural Engineering and Electrification", Glevakha. 2021.

The dissertation is devoted to the solution of topical issues of reducing energy costs and increase the efficiency of the removal of long-term root crops.

According to the results of theoretical and experimental studies, the expediency of mechanized collection of long-term root crops is substantiated in a separate way, especially during the period of frozen, with the use of a developed new working body, in order to reduce energy consumption on the process of digging.

Based on the synthesis of research results, a choice of structural scheme of the working body is substantiated for the removal of long-term root crops up to 35 cm in length and tested to determine the optimal parameters and operating modes.

In the dissertation, a mathematical model of the process of digging long-term root crops, which describes the dependence of the torque of $M_{kp}(t)$ from the section of the cross section at the time of the interaction of the deblocked drive with a layer of soil (m^2), the specific force of soil deformation ($H \cdot m^{-2}$), the shoulder of the equivalent focused the soil reaction acting on the soil (m), with a power required for a deblocked drive.

It has been established that with the turn of the tooth from the vertical grows the power consumption, which is explained by an increase in the value of penetration of the tooth into the soil and, accordingly, the volume of soil, which interacts its surface. Reducing power at the end before the release of the tooth from the working area is due to a decrease in the shoulder of the soil reaction to the tooth. With an increase in angular velocity with 30 to 60 $rad \cdot s^{-1}$ capacity on the discharge drive increases from 600 to 700 W. Before the release of the tooth from the soil, the power decreases, which is due to a decrease in the shoulder of the soil reaction force on the tooth.

Experimental studies confirmed the theoretical substantiation of the main structural and technological parameters of the working body, namely: the radius of the deblocked drive $R=0,35$ m, the translational speed $V=0,9$ m / s and the angular velocity $\omega = 40$ рад · с⁻¹, qualitative implementation of the technological process and the scientific and technical preconditions received for the development of digging workers with minimal-sufficient energy costs.

The method of determination of energy indicators and laboratory tests of a new working body, which allowed to calculate the dependence of the drive power from the translational speed of the technical means $V=0,7...1,1$ m / s and the rotational speed of the deblocked working organ $\omega = 20...60$ рад · с⁻¹

The effectiveness of the developed drive module for the removal of long-term root crops is confirmed by tests in production conditions Farm "Star Steppe" and Farm "Dawn" economic effect by reducing fuel consumption is about 43 UAH / ha.

According to the results of research and research and development work, technical documentation was manufactured on a variable module with a two-tier type (first tier - a toothed deblocked drive, and the second one - a substitute share) to dig a root crops that are transferred to the introduction into production in LLC "A3TECH-Ukraine".

Key words: root crops, separate method of collecting, two-tier working body, mathematical model, cutting-deforming surface, deblocked drive, additional soil crush.

Підписано до друку 01.04.21 Формат 60x84\16
Ум. друк. арк. 1,4
Наклад 100 прим. Зам. № 210211

Віддруковано у редакційно-видавничому відділі НУБіП України
вул. Героїв Оборони, 15, Київ, 03041

тел.: 527-81-55