

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ТЕРНОПІЛЬСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ ІВАНА ПУЛЮЯ**

Кваліфікаційна наукова праця
на правах рукопису

БЛАЦАК БОГДАН ОЛЕГОВИЧ

УДК 631.332.7

**ОБҐРУНТУВАННЯ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ
ПАРАМЕТРІВ УНІВЕРСАЛЬНОЇ КАРТОПЛЕСАДЖАЛКИ**

133 – Галузеве машинобудування

13 – Механічна інженерія

Подається на здобуття ступеня доктора філософії

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання чужих ідей, результатів і текстів мають посилання на відповідне джерело

 Б.О. Блацак

Науковий керівник **БАБІЙ Андрій Васильович**,
доктор технічних наук, професор

Тернопіль – 2026

АНОТАЦІЯ

Блащак Б.О. Обґрунтування конструктивно-технологічних параметрів універсальної картоплесаджалки. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття ступеня доктора філософії за спеціальністю 133 Галузеве машинобудування. Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя МОН України, Тернопіль, 2026.

У дисертаційній роботі науково обґрунтовано та експериментально підтверджено ефективність універсальної картоплесадильної машини зі смуговим фрезеруванням ґрунту, дискретним припосадковим внесенням мінеральних добрив і садильним апаратом барабанного типу, що забезпечує підвищення якості посадки та енергоефективність технологічного процесу.

У **вступній частині** дисертаційної роботи виконано обґрунтування актуальності обраної теми, визначено мету роботи та сформульовано основні завдання дослідження. Розкрито наукову новизну роботи, її практичну цінність, а також окреслено особистий внесок здобувача в отриманні результатів. Наведені дані щодо апробації результатів отриманих у ході формування дисертаційної роботи, а також відомості про структуру та обсяг роботи.

Для реалізації мети дисертаційного дослідження у роботі поставлені та вирішені наступні завдання: на основі аналізу сучасних технологій посадки картоплі та конструкцій картоплесадильних машин обґрунтовано технологічну схему універсальної картоплесадильної машини, що поєднує смугове фрезерування ґрунту, формування посадкового ложа, дискретне внесення добрив і садіння картоплі з поетапним утворенням гребеня; розроблено теоретичну модель взаємодії ножів фрезерного барабана з ґрунтом та обґрунтовано його раціональні кінематичні параметри для смугового фрезерування за критеріями енергоефективності й формування ґрунтової стружки оптимальної товщини; досліджено кінематику руху

грунтової стружки та процес її взаємодії з направляючим кожухом фрезерного барабана, обґрунтовано форму та положення кожуха для забезпечення первинного присипання насіння картоплі; розроблено математичну модель процесу роботи садильного апарату барабанного типу з урахуванням стохастичного розподілу розмірів бульб і контактної взаємодії та обґрунтовано геометричні параметри комірок за умов мінімального травмування насіннєвого матеріалу; обґрунтовано конструкцію та параметри апарата дискретного припосадкового внесення твердих мінеральних добрив і досліджено умови його кінематичної та технологічної синхронізації з садильним апаратом; розроблено програму та методику проведення лабораторних і польових експериментальних досліджень універсальної картоплесадильної машини; встановлено раціональні параметрів механізмів універсальної картоплесаджалки та оцінено її економічну ефективність при впровадженні у виробництво.

Об'єктом дослідження є технологічний процес механізованої посадки картоплі при поєднанні смугового фрезерування ґрунту, дискретного припосадкового внесення мінеральних добрив та посадки бульб робочими органами універсальної картоплесадильної машини.

Предметом дослідження є конструктивно-кінематичні параметри робочих органів універсальної картоплесадильної машини та закономірності їх взаємодії з ґрунтом, насіннєвими бульбами та мінеральними добривами в процесі посадки картоплі.

Виконані наукові дослідження підвищують якість, енергетичну та технологічну ефективність процесу посадки картоплі через отримання нових теоретичних залежностей, на основі яких обґрунтовано конструктивно-кінематичні та технологічні параметри робочих органів універсальної картоплесадильної машини.

На цій основі, вперше розроблено математичну модель руху ґрунтової стружки та її взаємодію з направляючим кожухом фрезерного барабана, що дозволило обґрунтувати його форму для підвищення якості заробляння

насіння; розроблено теоретичну модель роботи садильного апарату барабанного типу з внутрішнім розміщенням комірок з урахуванням стохастичного розподілу розмірів бульб і контактної взаємодії, на основі якої обґрунтовано раціональні параметри комірок; розвинуто наукові положення процесу взаємодії ножів фрези із ґрунтом на основі розробки залежностей, які функціонально поєднують кінематичні параметри фрезерного барабана, товщину ґрунтової стружки та енерговитрати процесу; набули подальшого розвитку теоретичні положення механізованого припосадкового внесення мінеральних добрив шляхом обґрунтованого принципу дискретного дозування та синхронізації роботи садильного та тукового апаратів; за результатами експериментальних досліджень побудовано регресійні залежності впливу конструктивно-кінематичних параметрів картоплесаджалки на якісні показники процесу садіння, що дозволило науково обґрунтувати та визначити їх раціональні значення за заданими критеріями ефективності.

У **першому розділі** виконано системний аналіз сучасного стану виробництва картоплі в Україні та світі, особливостей її вирощування у фермерських і підсобних господарствах, а також рівня механізації технологічних операцій посадки.

Розглянуто біологічні та агротехнічні вимоги культури до формування посадкового ложа, структури ґрунту, глибини закладання бульб і локалізації елементів живлення. Проаналізовано основні способи посадки картоплі та обґрунтовано доцільність застосування гребеневого способу в механізованих технологіях. Наведено класифікацію та детальний аналіз конструкцій картоплесадильних машин і садильних апаратів, виявлено їх основні конструктивно-технологічні недоліки.

На основі аналізу літературних джерел, серійних і перспективних конструкцій запропоновано технологічну схему універсальної картоплесадильної машини зі смуговим фрезеруванням ґрунту, дискретним внесенням мінеральних добрив і садильним апаратом барабанного типу. За

результатами розділу сформульовано актуальність теми, мету та основні завдання дисертаційного дослідження.

Другий розділ присвячено теоретичному обґрунтуванню конструктивно-технологічних параметрів основних робочих органів універсальної картоплесадильної машини. Розроблено математичні моделі взаємодії фрезерного барабана з ґрунтом, які дозволили встановити зв'язок між кінематичними параметрами роботи ножів, товщиною ґрунтової стружки та енергетичними витратами при смуговому фрезеруванні. Встановлено, що при поступальній швидкості агрегату 0,833 м/с – 1,389 м/с частота його обертання повинна складати 211,3 об/хв – 253,3 об/хв, що забезпечує грудкуватість поверхні поля 10-30 мм, при цьому значення показника кінематичного режиму роботи складе 5,3-4,5.

Досліджено траєкторії руху ґрунтової стружки та розроблено модель її взаємодії з направляючим кожухом фрезерного барабана, що дозволило обґрунтувати форму та положення кожуха для забезпечення первинного присипання насіння картоплі.

Розроблено математичну модель роботи садильного апарату барабанного типу з урахуванням стохастичного розподілу розмірів бульб і контактної взаємодії, на основі якої обґрунтовано геометричні параметри комірок і допустимі кінематичні режими: радіус кривизни комірки мінімальний – 0,046 мм, середній – 0,053 мм, максимальний – 0,061 мм; кількість комірок вичерпуючого барабана – 14; при застосуванні колеса змінного діаметру забезпечуються кроки посадки картоплі – 0,218 мм, 0,242 мм, 0,267 мм, 0,291 мм; при поступальній швидкості агрегату 1 м/с вичерпуючий барабан обертатиметься з частотами: 19,6 об/хв, 17,7 об/хв, 16,1 об/хв, 14,7 об/хв; кут встановлення обмежувача випадання картоплі: мінімальний – $97,4^{\circ}$, максимальний – $100,8^{\circ}$; зазор між обмежувачем та вершиною комірок – 8-12 мм.

Також отримано аналітичні залежності для опису процесу умовно дискретного припосадкового внесення мінеральних добрив катушковим

апаратом і встановлено умови його кінематичної та технологічної синхронізації з садильним апаратом. Визначено: діаметр котушки – 130 мм, співвідношення ширини жолобка та перемички між жолобками – 0,4:0,6; кількість жолобків – 7; робоча довжина котушки – 0,08 м; ефективна площа жолобка – $290 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2$.

У **третьому розділі** розроблено програму та методику експериментальних досліджень універсальної картоплесадильної машини і її основних робочих органів. Наведено конструктивну схему дослідного зразка машини та описано умови проведення лабораторних і польових випробувань.

Обґрунтовано вибір незалежних факторів і діапазонів їх варіювання для дослідження роботи фрезерного модуля, садильного апарату барабанного типу й апарата дискретного внесення мінеральних добрив. Запропоновано методи вимірювання технологічних показників та показників якості посадки, а також параметрів формування гребеня.

Описано схеми планування експерименту та методи статистичної обробки результатів, що забезпечують відтворюваність і достовірність експериментальних даних та дозволяють перевірити адекватність отриманих теоретичних моделей.

Четвертий розділ містить результати експериментальних досліджень основних робочих органів універсальної картоплесадильної машини в лабораторних і польових умовах. Досліджено вплив кінематичних параметрів фрезерного барабана та швидкості руху агрегату на якість смугового фрезерування ґрунту, якість процесу посадки. Експериментально підтверджено ефективність направляючого кожуха фрезерного барабана щодо первинного присипання насіння картоплі ґрунтовою стружкою. Наведено результати досліджень роботи садильного апарату барабанного типу, які характеризують рівномірність кроку посадки, стабільність захоплення та транспортування бульб.

Встановлено, що для досягнення середньої грудковатості 19 мм при мінімальній поступальній швидкості агрегату 0,833 м/с частота обертання

фрезерного барабана складає 225 об/хв, коефіцієнт варіації глибини обробітку при цьому 8 %. Розбіжність таких частот, що знайдені аналітично та із експерименту – 6,2 %;

досліджувані параметри роботи садильного апарату лежать в межах агротехнічних вимоги:

для заданого кроку посадки 0,267 м відносні відхилення – до 7,5%;

максимальне відсоткове значення пропусків – до 3,0%;

наявність двійників у гнізді – 2,6%.

Раціональні рекомендовані параметри режимів роботи садильного апарата: швидкість агрегату – 1,30 м/с; кут установки обмежувача – 96° .

Оцінено ефективність дискретного припосадкового внесення мінеральних добрив та підтверджено узгоджену роботу тукового й садильного апаратів. Експериментальні результати підтвердили адекватність теоретичних моделей.

У п'ятому розділі виконано узагальнення результатів теоретичних та експериментальних досліджень і обґрунтовано раціональні параметри та режими роботи механізмів універсальної картоплесадильної машини. Визначено оптимальні налаштування фрезерного модуля, садильного апарату та апарата внесення добрив, що забезпечують стабільну роботу машини в польових умовах.

Досліджено синхронізацію роботи садильного та тукового апаратів і підтверджено можливість стійкого умовно дискретного внесення добрив. Встановлено, що для кроку посадки картоплі 0,267 мм зона розсівання добрив під гніздом складає 107 мм, момент випадання туків по відношенню до моменту випадання картоплі потрібно змістити із «запізненням» на 33° .

На основі розроблених інженерних методик обґрунтовано раціональні параметри та виготовлено дослідний зразок універсальної картоплесаджалки, що захищена двома патентами на корисні моделі. Машина має такі основні параметри: безступеневе регулювання ширини міжрядь, мм – 600-700; глибина заробляння насіння, мм – 60-120; об'єм бункерів для насіння, м^3 –

2x135; об'єм тукового ящика, м³ – 0,05; крок посадки, мм – 218, 242, 267, 291; продуктивність за годину основного часу, га/год – 0,18-0,375.

Отримані результати дисертаційного дослідження впроваджено на ПАП «Маяк» та у навчальний процес в ТНТУ.

За результатом розрахунку економічної ефективності встановлено, що річний економічний ефект складатиме 8850 грн/рік на одну машину. Розрахунковий термін окупності додаткових капіталовкладень – 0,45 роки.

Ключові слова: процес, модель, параметри, швидкість, добрива, продуктивність, структурно-технологічна схема, напруження, навантаження робочого органу, бункер, посадка насіння картоплі, ґрунт, технологія, криволінійна поверхня, транспортування.

ABSTRACT

Blashchak B.O. Substantiation of Design and Technological Parameters of a Universal Potato Planter. – Qualifying scientific work on the rights of a manuscript.

Dissertation submitted for the degree of Doctor of Philosophy in Specialty 133 Industrial Machinery Engineering. – Ternopil Ivan Puluj National Technical University, Ministry of Education and Science of Ukraine, Ternopil, 2026.

The thesis scientifically substantiates and experimentally confirms the efficiency of a universal potato planting machine featuring strip soil milling, discrete near-seed mineral fertilizer application, and a drum-type planting unit, which ensures improved planting quality and energy efficiency of the technological process.

The introductory part of the thesis provides a substantiation of the relevance of the chosen topic, defines the aim of the work, and formulates the main objectives of the research. The scientific novelty of the work, its practical value, and the personal contribution of the applicant to obtaining the results are disclosed.

Data on the approbation of the results obtained during the formation of the thesis, as well as information on the structure and scope of the work, are presented.

To achieve the aim of the dissertation research, the following tasks were set and solved in the work: based on the analysis of modern potato planting technologies and designs of potato planting machines, the technological scheme of a universal potato planting machine was substantiated, combining strip soil milling, planting bed formation, discrete fertilizer application, and potato planting with step-by-step ridge formation; a theoretical model of the interaction between the rotary tiller blades and the soil was developed, and its rational kinematic parameters for strip milling were substantiated according to the criteria of energy efficiency and the formation of soil slices of optimal thickness; the kinematics of soil slice movement and the process of its interaction with the guide shroud of the milling drum were investigated, and the shape and position of the shroud were substantiated to ensure primary covering of potato seeds; a mathematical model of the operation process of the drum-type planting unit was developed, taking into account the stochastic distribution of tuber sizes and contact interaction, and the geometric parameters of the cells were substantiated under the conditions of minimal damage to the seed material; the design and parameters of the unit for discrete near-seed application of solid mineral fertilizers were substantiated, and the conditions for its kinematic and technological synchronization with the planting unit were investigated; a program and methodology for conducting laboratory and field experimental studies of the universal potato planting machine were developed; rational parameters of the mechanisms of the universal potato planter were established, and its economic efficiency during implementation into production was evaluated.

The object of the study is the technological process of mechanized potato planting combining strip soil milling, discrete near-seed mineral fertilizer application, and tuber planting by the working parts of the universal potato planting machine.

The subject of the study is the structural and kinematic parameters of the working parts of the universal potato planting machine and the regularities of their interaction with the soil, seed tubers, and mineral fertilizers during the potato planting process.

The conducted scientific research increases the quality, energy, and technological efficiency of the potato planting process by obtaining new theoretical dependencies, on the basis of which the structural, kinematic, and technological parameters of the working parts of the universal potato planting machine are substantiated.

On this basis, for the first time, a mathematical model of soil slice movement and its interaction with the guide shroud of the milling drum was developed, allowing the substantiation of its shape to improve the quality of seed covering; a theoretical model of the operation of a drum-type planting unit with internal cell placement was developed, taking into account the stochastic distribution of tuber sizes and contact interaction, on the basis of which rational cell parameters were substantiated; scientific provisions of the process of interaction between rotary tiller blades and soil were developed based on the elaboration of dependencies that functionally combine the kinematic parameters of the milling drum, soil slice thickness, and energy consumption of the process; theoretical provisions of mechanized near-seed mineral fertilizer application were further developed through the substantiated principle of discrete dosing and synchronization of the planting and fertilizer units; based on the results of experimental studies, regression equations of the influence of the structural and kinematic parameters of the potato planter on the quality indicators of the planting process were constructed, which allowed scientific substantiation and determination of their rational values according to the specified efficiency criteria.

In the first chapter, a systems analysis of the current state of potato production in Ukraine and the world, the specifics of its cultivation on farms and household plots, as well as the level of mechanization of planting technological operations was performed.

The biological and agrotechnical requirements of the culture for planting bed formation, soil structure, tuber planting depth, and localization of nutrients were considered. The main methods of potato planting were analyzed, and the feasibility of using the ridge method in mechanized technologies was substantiated. A classification and detailed analysis of the designs of potato planting machines and planting units were provided, and their main structural and technological deficiencies were identified.

Based on the analysis of literature sources, serial, and promising designs, a technological scheme of a universal potato planting machine with strip soil milling, discrete mineral fertilizer application, and a drum-type planting unit was proposed. Based on the results of the chapter, the relevance of the topic, the aim, and the main objectives of the dissertation research were formulated.

The second chapter is dedicated to the theoretical substantiation of the structural and technological parameters of the main working parts of the universal potato planting machine. Mathematical models of the interaction between the milling drum and the soil were developed, which allowed establishing the connection between the kinematic parameters of the blades' operation, soil slice thickness, and energy consumption during strip milling. It was established that at an operating speed of the machine unit of 0,833 m/s – 1,389 m/s, its rotation speed should be 211,3 rpm – 253,3 rpm, which ensures a field surface soil cloddiness of 10-30 mm, while the value of the kinematic operation mode indicator will be 5,3-4,5.

The trajectories of soil slice movement were investigated, and a model of its interaction with the guide shroud of the milling drum was developed, allowing the substantiation of the shape and position of the shroud to ensure primary covering of potato seeds.

A mathematical model of the operation of the drum-type planting unit was developed, taking into account the stochastic distribution of tuber sizes and contact interaction, on the basis of which geometric parameters of the cells and permissible kinematic regimes were substantiated: minimum cell radius of curvature – 0,046

mm, average – 0,053 mm, maximum – 0,061 mm; number of cells of the discharging drum – 14; when using a variable diameter wheel, potato planting steps of 0,218 mm, 0,242 mm, 0,267 mm, 0,291 mm are provided; at an operating speed of the machine unit of 1 m/s, the discharging drum will rotate at frequencies of: 19,6 rpm, 17,7 rpm, 16,1 rpm, 14,7 rpm; the installation angle of the potato drop limiter: minimum – $97,4^{\circ}$, maximum – $100,8^{\circ}$; the clearance between the limiter and the top of the cells – 8-12 mm.

Analytical dependencies were also obtained to describe the process of conditionally discrete near-seed application of mineral fertilizers by a feed-roll unit, and the conditions for its kinematic and technological synchronization with the planting unit were established. The following were determined: feed roll diameter – 130 mm, ratio of the groove width to the land between the grooves – 0,4:0,6; number of grooves – 7; working length of the feed roll – 0,08 m; effective groove area – $290 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$.

In the third chapter, a program and methodology for experimental studies of the universal potato planting machine and its main working parts were developed. The structural layout of the machine prototype was presented, and the conditions for conducting laboratory and field tests were described.

The selection of independent factors and their variation ranges for studying the operation of the milling module, the drum-type planting unit, and the discrete mineral fertilizer application unit was substantiated. Methods for measuring technological and planting quality indicators, as well as ridge formation parameters, were proposed.

Experiment design schemes and methods of statistical processing of results were described, ensuring the reproducibility and reliability of experimental data and allowing verification of the adequacy of the obtained theoretical models.

The fourth chapter contains the results of experimental studies of the main working parts of the universal potato planting machine under laboratory and field conditions. The influence of the kinematic parameters of the milling drum and the operating speed of the machine unit on the quality of strip soil milling and the

quality of the planting process was investigated. The efficiency of the guide shroud of the milling drum regarding the primary covering of potato seeds with soil slices was experimentally confirmed. The results of studies on the operation of the drum-type planting unit are presented, characterizing the uniformity of the planting step, as well as the stability of tuber gripping and transportation.

It was established that to achieve an average cloddiness of 19 mm at a minimum operating speed of the machine unit of 0,833 m/s, the rotation speed of the milling drum is 225 rpm, while the coefficient of variation of the tillage depth is 8%. The discrepancy between these frequencies found analytically and experimentally is 6,2%;

the investigated operating parameters of the planting unit lie within the limits of agrotechnical requirements:

for a specified planting step of 0,267 m, the relative deviations are up to 7,5%;

the maximum percentage value of skips is up to 3,0%;

the presence of doubles in a hill is 2,6%.

Rational recommended parameters of the operating modes of the planting unit are: machine unit speed – 1,30 m/s; limiter installation angle – 96° .

The efficiency of discrete near-seed mineral fertilizer application was evaluated, and the coordinated operation of the fertilizer and planting units was confirmed. The experimental results confirmed the adequacy of the theoretical models.

In the fifth chapter, a generalization of the results of theoretical and experimental studies was performed, and the rational parameters and operating modes of the mechanisms of the universal potato planting machine were substantiated. The optimal settings of the milling module, the planting unit, and the fertilizer application unit, ensuring the stable operation of the machine under field conditions, were determined.

The synchronization of the planting and fertilizer units was investigated, and the possibility of stable conditionally discrete fertilizer application was confirmed.

It was established that for a potato planting step of 0,267 m the fertilizer scattering zone under the hill is 107 mm, and the fertilizer discharge timing needs to be phase-delayed by 33° relative to the potato drop.

Based on the developed engineering methodologies, rational parameters were substantiated, and a prototype of the universal potato planter, protected by two utility model patents, was manufactured. The machine has the following main parameters: stepless adjustment of row spacing, mm – 600-700; seed covering depth, mm – 60-120; volume of seed hoppers, m^3 – 2x135; volume of the fertilizer box, m^3 – 0,05; planting step, mm – 218, 242, 267, 291; productivity per hour of main time, ha/h – 0,18-0,375.

The obtained results of the dissertation research have been implemented at the Private Agricultural Enterprise (PAE) "Mayak" and into the educational process at TNTU.

Based on the economic efficiency calculation, it was established that the annual economic effect will amount to 8850 UAH/year per machine. The estimated payback period of additional capital investments is 0,45 years.

Keywords: *process, model, parameters, speed, fertilizers, productivity, structural and technological scheme, stress, working part loading, hopper, potato seed planting, soil, technology, curved surface, transportation.*

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Публікації, які відображають основні наукові результати дисертації

1. Блащак Б.О., Бабій А.В. Обґрунтування окремих конструктивно-технологічних параметрів картоплепосадочної машини. Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки. Том 1, випуск 10(41), 2024. С.192-199. DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2024.10\(41\).1.192-199](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2024.10(41).1.192-199). *(Здобувач провів аналіз технологічних схем картоплесадильних машин та запропонував нову принципову схему універсальної картоплесаджалки, науковий керівник провів систематизацію матеріалів та сформулював загальні висновки).*

2. Babii A., Blashchak B. Justification of the parameters of the soil preparation module of the potato planting machine. Central Ukrainian Scientific Bulletin. Technical Sciences. No. 12(43), 2. 2025. Pp. 165-174. DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2025.12\(43\).2.165-174](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2025.12(43).2.165-174). *(Здобувач розробив методику для визначення форми кожуха фрезерного барабана з метою осадження ґрунтових частинок для первинного присипання насіння, науковий керівник провів аналіз результатів та інтерпретував їх у графічних залежностях).*

3. Babii A., Blashchak B. Study of the performance efficiency parameters of a potato planting machine. Scientific Journal of TNTU (Tern.), vol 118, no 2, 2025. Pp. 117–127. https://doi.org/10.33108/visnyk_tntu2025.02.117. *(Здобувач запропонував нову конструкцію вичерпуючого апарату барабанного типу, для якого обґрунтував конструктивно-кінематичні параметри, науковий керівник сформував загальні висновки).*

4. Babii A., Blashchak B., Valiashek V., Broshchak I., Malevych N. Substantiation of the parameters of a dosing mechanism for granular fertilizer application during potato planting. Scientific Journal of TNTU (Tern.), vol 120, no

4, 2025. Pp. 10–20. https://doi.org/10.33108/visnyk_tntu2025.04.010. (Здобувач розробив нову конструкцію катушки для умовно дискретного внесення мінеральних гранульованих добрив, для якої обґрунтував конструктивні параметри, Бабій А.В. – провів аналіз результатів моделювання; Валяшек В.Б. – підготував 3-D модель для практичного виготовлення катушки; Броцак І.С. та Малевич Н.Ю. – підготували вихідні дані щодо норм внесення мінеральних добрив).

Публікації, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації

5. Блащак Б.О., Бабій А.В. Дослідження ефективності роботи картоплепосадочних апаратів. Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції «Процеси, машини та обладнання агропромислового виробництва: проблеми теорії та практики». Тернопіль 29-30 вересня 2022. С.68-69. (Здобувач провів огляд картоплесадильних машин, їх вичерпуючих апаратів, виділив основні недоліки та перспективні напрямки розвитку таких конструкцій).

6. Блащак Б.О., Бабій А.В. Багатофункціональна мінікартоплепосадочна машина. Матеріали V Міжнародної науково-практичної конференції "Підвищення надійності і ефективності машин, процесів і систем. Improving the reliability and efficiency of machines, processes and systems", 19-21 квітня 2023 р. Кропивницький : ЦНТУ, 2023. С.155. (Здобувач запропонував концептуальне рішення конструкції вичерпуючого апарату).

7. Завінський П.А., Головецький І.В., Блащак Б.О. Використання інноваційних підходів при сільськогосподарському виробництві задля збереження ґрунту. Інноваційні технології в АПК: збірник тез доповідей ІХ Міжнародної науково-практичної конференції, 7-8 червня 2023 р., м. Луцьк : ЛНТУ, 2023. С.66-67. (Здобувач вказав на доцільності використання

комбінованих агрегатів, які поєднують кілька технологічних операцій задля збереження родючості ґрунту).

8. Блащак Б.О.; Бабій А.В. Спосіб утворення борозенки та зароблення насіння картоплі при гребневому способі посадки. Актуальні задачі сучасних технологій : зб. тез доповідей XII міжнар. наук.-практ. конф. Молодих учених та студентів, (Тернопіль, 6-7 грудня 2023) / М-во освіти і науки України, Терн. націон. техн. ун-т ім. І. Пулюя [та ін.]. Тернопіль: ФОП Паляниця В. А., 2023. С.94-95. *(Здобувачем запропоновано конструктивно-функціональну схему нової картоплесадильної машини).*

9. Блащак Б.О., Гамрач В.О. Передумови до обґрунтування конструктивних та кінематичних параметрів картоплесаджалки. Збірник матеріалів VI Міжнародної науково-практичної конференції, 17 – 19, квітня 2024 р. «Підвищення надійності і ефективності машин, процесів і систем». Кропивницький: ЦНТУ. 2024. С. 12-13 *(Здобувачем проаналізовано та сформовано основні критерії для побудови принципової схеми картоплесаджалки).*

10. Блащак Б.О., Бабій А.В., Жук Н.В., Бабій В.А. Колесо змінного діаметру. Актуальні задачі сучасних технологій : зб. тез доповідей XIII міжнар. наук.-практ. конф. Молодих учених та студентів, (Тернопіль, 11-12 грудня 2024) / М-во освіти і науки України, Терн. націон. техн. ун-т ім. І. Пулюя [та ін.]. Тернопіль: ФОП Паляниця В. А., 2024. С.78-79. *(Здобувачем запропоновано конструкцію колеса змінного діаметру та обґрунтовано його основні елементи).*

11. Блащак Б., Онофрюк В. Обґрунтування ефективності посадочного апарата барабанного типу. Матеріали VIII Міжнародної студентської науково-технічної конференції / Тернопіль: Тернопільський національний технічний університет ім. І.Пулюя (м. Тернопіль, 24-25 квітня 2025 р.), 2025. С. 26-27. *(Здобувачем обґрунтовано конструктивні та технологічні переваги садильного апарату барабанного типу).*

12. Блащак Б.О., Бабій А.В., Вовк І.В. Визначення параметрів взаємодії ґрунтової стружки з направляючим кожухом фрезерного модуля. Актуальні задачі сучасних технологій : зб. тез доповідей XIV міжнар. наук.-техн. конф. молодих учених та студентів, (Тернопіль, 11-12 грудня 2025) / М-во освіти і науки України, Терн. націон. техн. ун-т ім. І. Пулюя [та ін]. Тернопіль : ФОП Паляниця В.А., 2025. С.52-54. *(Здобувачем розроблено математичну модель взаємодії ґрунтової стружки із захисним кожухом фрезерного барабана).*

Публікації, які додатково відображають результати дисертації

13. Бабій А.В., Блащак Б.О., Валяшек В.Б. Спосіб закладання насіння картоплі при посадці. Патент на корисну модель 158112, Україна. МПК А01С 23/02 (2006.01). № u2024 01975; заявл. 15.04.2024; опубл. 01.01.2025, Бюл.1. *(Здобувач запропонував принципову схему закладання насіння картоплі при посадці).*

14. Бабій А.В., Блащак Б.О., Бабій М.В., Долінська І.Я. Опорно-привідне колесо змінного діаметра. Патент на корисну модель 160993, Україна. МПК А01С 19/04 (2006.01). № u 2025 00183; заявл. 16.01.2025; опубл. 9.10.2025, Бюл. № 44. *(Здобувач сформував ідею та описав принцип роботи колеса змінного діаметру).*

ЗМІСТ

ВСТУП	22
РОЗДІЛ 1	30
АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ ПРОБЛЕМИ ТА ОБҐРУНТУВАННЯ КОНСТРУКТИВНИХ РІШЕНЬ УНІВЕРСАЛЬНОЇ КАРТОПЛЕСАДЖАЛКИ	30
1.1 Аналіз стану і тенденції виробництва картоплі в Україні та світі...	30
1.2 Огляд основних способів посадки картоплі у технологіях вирощування культури	34
1.3 Аналіз конструктивних особливостей картоплесадильних машин .	43
1.4 Обґрунтування технологічної схеми роботи картоплесадильної машини.....	54
1.5 Висновки, мета та задачі дослідження.....	59
РОЗДІЛ 2	62
ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ КОНСТРУКТИВНО- ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ КАРТОПЛЕСАДИЛЬНОЇ МАШИНИ	62
2.1 Дослідження параметрів модуля підготовки ґрунту картоплесадильної машини	62
2.2 Обґрунтування раціональних кінематичних параметрів фрезерного барабана	76
2.3 Обґрунтування конструктивно-технологічних параметрів комірки вичерпуючого барабана з врахуванням стохастичного розподілу бульб та контактної взаємодії	83
2.4 Теоретична модель дискретного припосадкового внесення добрив дозуючим апаратом котушкового типу	99
2.5 Висновки до 2 розділу	110

РОЗДІЛ 3	112
ПРОГРАМА ТА МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ УНІВЕРСАЛЬНОЇ КАРТОПЛЕСАДЖАЛКИ	112
3.1 Будова та технічна характеристика універсальної картоплесаджалки.....	112
3.2 Програма і методика дослідження картоплесадильної машини	115
3.2.1 Дослідження фрезерного модуля	115
3.2.2 Дослідження висаджуючого апарату барабанного типу	118
3.3 Висновки до 3 розділу	122
РОЗДІЛ 4.....	123
ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ УНІВЕРСАЛЬНОЇ КАРТОПЛЕСАДЖАЛКИ	123
4.1 Побудова плану та проведення польових експериментальних досліджень фрезерного модуля.....	123
4.1.1 Побудова плану експерименту	123
4.1.2 Проведення експериментальних досліджень.....	124
4.1.3 Обробка експериментальних даних при дослідженні роботи фрезерного модуля.....	126
4.2 Побудова плану та проведення польових експериментальних досліджень садильного апарату	132
4.2.1 Побудова плану експерименту	132
4.2.2 Проведення експериментальних досліджень вичерпуючого апарату	134
4.2.3 Обробка експериментальних даних при дослідженні роботи вичерпуючого апарату.....	136
4.3 Експериментальне дослідження ефективності роботи апарату для внесення мінеральних добрив	142
4.4 Висновки до 4 розділу	144

РОЗДІЛ 5	146
ДОСЛІДЖЕННЯ ПРАЦЕЗДАТНОСТІ ТА ОБҐРУНТУВАННЯ РАЦІОНАЛЬНИХ ПАРАМЕТРІВ МЕХАНІЗМІВ УНІВЕРСАЛЬНОЇ КАРТОПЛЕСАДЖАЛКИ	146
5.1 Вибір раціональної частоти обертання фрезерного барабана модуля підготовки ґрунту	146
5.2 Обґрунтування технологічних параметрів для налаштування картоплесадильної машини	153
5.3 Дослідження процесу синхронізації роботи тукового та картоплесадильного апаратів	164
5.4 Розрахунок економічної ефективності від розробки універсальної картоплесаджалки.....	168
5.5 Висновки до 5 розділу	170
ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ РОБОТИ ТА ВИСНОВКИ.....	171
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	174
ДОДАТОК А.....	189
ДОДАТОК Б	197
ДОДАТОК В.....	201
ДОДАТОК Г	205
ДОДАТОК Д.....	211
ДОДАТОК Е	213

ВСТУП

Актуальність теми. Картопля є однією з основних продовольчих культур, що відіграє важливу роль у забезпеченні продовольчої безпеки України. Незважаючи на високі обсяги валового виробництва, переважна частка картоплі вирощується у невеликих фермерських та підсобних господарствах, для яких характерний низький рівень механізації основних технологічних операцій, зокрема передпосадкової підготовки ґрунту та садіння насінневих бульб картоплі. Недотримання агротехнічних вимог при виконанні цих операцій призводить до погіршення умов розвитку рослин, зниження рівномірності сходів і, як наслідок, зменшення урожайності.

Серед існуючих технічних засобів для механізованої посадки картоплі застосовують або прості конструкції з обмеженими технологічними можливостями, або складні багатофункціональні машини, орієнтовані на використання у великих господарствах.

Більшість серійних картоплесадильних машин не забезпечують якісної підготовки ґрунту безпосередньо в зоні розміщення насінневого матеріалу, не реалізують дискретного внесення мінеральних добрив та характеризуються недостатньою стабільністю й точністю роботи садильних апаратів, що призводить до пропусків, подвійного висадження бульб і їх травмування.

Перспективним напрямом удосконалення механізованої технології садіння бульб картоплі є поєднання в одному агрегаті смугового фрезерування ґрунту, дискретного припосадкового внесення мінеральних добрив і безпосередньо саму посадку картоплі. Смугове фрезерування дозволяє сформувати оптимальне посадкове ложе з необхідною грудкуватістю та щільністю ґрунту, а локалізоване внесення добрив у зону картопляного гнізда підвищує ефективність живлення рослин без збільшення загальної норми добрив. Водночас застосування садильних апаратів

барабанного типу створює передумови для підвищення рівномірності кроку посадки та зниження інтенсивності контактної взаємодії з бульбами.

Разом з тим, питання наукового обґрунтування раціональних конструктивно-технологічних параметрів фрезерного модуля, садильного апарату барабанного типу та апарата дискретного внесення добрив, а також їх узгодження роботи у складі універсальної картоплесадильної машини, залишаються недостатньо вивченими.

У зв'язку з цим дисертаційне дослідження, яке спрямоване на розроблення та обґрунтування удосконаленої конструкції універсальної картоплесадильної машини, є актуальним і має важливе наукове та практичне значення.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

Дослідження за темою дисертаційної роботи виконано на кафедрі технічної механіки та сільськогосподарських машин Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя. Проведені наукові дослідження є частиною науково-дослідної роботи кафедри на тему: «Розроблення технічних засобів агровиробництва з покращеними техніко-експлуатаційними параметрами» (№ державної реєстрації 0124U003479).

Мета і завдання досліджень.

Метою дисертаційної роботи є підвищення ефективності операції садіння картоплі шляхом розроблення та обґрунтування раціональних параметрів універсальної картоплесадильної машини зі смуговим фрезеруванням ґрунту, дискретним припосадковим внесенням мінеральних добрив і садильним апаратом барабанного типу.

Для досягнення поставленої мети необхідно розв'язати такі завдання:

1. На основі аналізу сучасних технологій посадки картоплі та конструкцій картоплесадильних машин обґрунтувати технологічну схему універсальної картоплесадильної машини, що поєднує смугове фрезерування

грунту, формування посадкового ложа, дискретне внесення добрив і садіння картоплі з поетапним утворенням гребеня.

2. Розробити теоретичну модель взаємодії ножів фрезерного барабана з ґрунтом та обґрунтувати його раціональні кінематичні параметри для смугового фрезерування за критеріями енергоефективності й формування ґрунтової стружки оптимальної товщини.

3. Дослідити кінематику руху ґрунтової стружки та процес її взаємодії з направляючим кожухом фрезерного барабана, обґрунтувавши форму та положення кожуха для забезпечення первинного присипання насіння картоплі.

4. Розробити математичну модель процесу роботи садильного апарату барабанного типу з урахуванням стохастичного розподілу розмірів бульб і контактної взаємодії та обґрунтувати геометричні параметри комірок за умов мінімального травмування насінневого матеріалу.

5. Обґрунтувати конструкцію та параметри апарата дискретного припосадкового внесення твердих мінеральних добрив і дослідити умови його кінематичної та технологічної синхронізації з садильним апаратом.

6. Розробити програму та методику проведення лабораторних і польових експериментальних досліджень універсальної картоплесадильної машини.

7. Встановити раціональні параметрів механізмів універсальної картоплесаджалки та оцінити її економічну ефективність при впровадженні у виробництво.

Об'єкт дослідження – технологічний процес механізованої посадки картоплі при поєднанні смугового фрезерування ґрунту, дискретного припосадкового внесення мінеральних добрив та посадки бульб робочими органами універсальної картоплесадильної машини.

Предмет дослідження – конструктивно-кінематичні параметри робочих органів універсальної картоплесадильної машини та закономірності їх взаємодії з ґрунтом, насінневими бульбами та мінеральними добривами в

процесі посадки картоплі.

Методи дослідження.

У роботі застосовано теоретичні та експериментальні методи дослідження. Теоретичні дослідження виконано з використанням положень теоретичної механіки, механіки взаємодії робочих органів із ґрунтом, теорії різання ґрунтів та контактної взаємодії, а також методів аналітичного й чисельно-аналітичного моделювання технологічних процесів.

Експериментальні дослідження проведено відповідно до спеціально розробленої програми та методики, що включали лабораторні та польові випробування фрезерного модуля, садильного апарату барабанного типу та апарата дискретного внесення мінеральних добрив. Обробка результатів здійснювалася методами планування експерименту та математичної статистики з використанням критеріїв Кохрена, Стюдента і Фішера; економічну ефективність оцінено методами техніко-економічного аналізу.

Наукова новизна отриманих результатів полягає в отриманні нових теоретичних залежностей, на основі яких обґрунтовано конструктивно-кінематичні та технологічні параметри робочих органів універсальної картоплесадильної машини, що забезпечують підвищення якості посадки, енергетичної та технологічної ефективності роботи.

На цій основі:

– вперше розроблено математичну модель руху ґрунтової стружки та її взаємодію з направляючим кожухом фрезерного барабана, що дозволило обґрунтувати його форму для підвищення якості заробляння насіння;

– вперше розроблено теоретичну модель роботи садильного апарату барабанного типу з внутрішнім розміщенням комірок з урахуванням стохастичного розподілу розмірів бульб і контактної взаємодії, на основі якої обґрунтовано раціональні параметри комірок;

– розвинуто наукові положення процесу взаємодії ножів фрези із

грунтом на основі розробки залежностей, які функціонально поєднують кінематичні параметри фрезерного барабана, товщину ґрунтової стружки та енерговитрати процесу;

– набули подальшого розвитку теоретичні положення механізованого припосадкового внесення мінеральних добрив шляхом обґрунтованого принципу дискретного дозування та синхронізації роботи садильного та тукового апаратів;

– за результатами експериментальних досліджень побудовано регресійні залежності впливу конструктивно-кінематичних параметрів картоплесаджалки на якісні показники процесу садіння, що дозволило науково обґрунтувати та визначити їх раціональні значення за заданими критеріями ефективності.

Практичне значення отриманих результатів.

Практичне значення результатів дисертаційної роботи полягає у тому, що отримані теоретичні положення та інженерні методики на їх основі дозволили обґрунтувати конструктивно-технологічні параметри картоплесаджалки, які рекомендуються для безпосереднього використання при проектуванні та модернізації універсальних картоплесадильних машин. Запропоновані рішення щодо фрезерного модуля, садильного апарату барабанного типу та апарата дискретного внесення мінеральних добрив дозволяють підвищити якість посадки картоплі, знизити енерговитрати та зменшити пошкодження насінневого матеріалу.

За результатами досліджень створено та випробувано дослідний зразок універсальної картоплесадильної машини, підтверджено практичну ефективність розробки; нові технічні рішення захищені патентами на корисні моделі. Запропонована технологічна схема забезпечує скорочення кількості проходів агрегатів по полю, підвищення рівномірності кроку посадки та ефективнішу локалізацію мінеральних добрив у зоні картопляного гнізда без збільшення загальної норми внесення.

Аналітичні залежності, рекомендації з експлуатації та експериментальні результати рекомендовані для використання у конструкторських і науково-дослідних установах, підприємствах аграрної сфери, закладах освіти. Зокрема, результати впроваджено на ПАП «Маяк», а також у навчальному процесі Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя при підготовці фахівців відповідного профілю.

Особистий внесок здобувача.

Усі основні теоретичні та експериментальні результати дисертаційної роботи отримано здобувачем особисто. Формування наукової проблематики, визначення мети та завдань дослідження, аналіз і узагальнення результатів теоретичних та експериментальних досліджень виконано за консультування з науковим керівником.

У працях, опублікованих у співавторстві, здобувачеві належить:

[48], [51], [52] – виконання аналізу технологічних схем картоплесадильних машин та ідея нової принципової схеми універсальної картоплесаджалки.

[3], [49] – розробка методики для визначення форми кожуха фрезерного барабана з метою осадження ґрунтових частинок для первинного присипання насіння.

[4], [45], [46] – ідея нової конструкції вичерпуючого апарату барабанного типу, для якого обґрунтував конструктивно-кінематичні параметри.

[5] – розробка нової конструкції котушки для умовно дискретного внесення мінеральних гранульованих добрив, для якої обґрунтував конструктивні параметри.

[47] – виконання огляду картоплесадильних машин, їх вичерпуючих апаратів, виділення основних недоліків та окреслення перспективних напрямків розвитку таких конструкцій.

[81] – обґрунтування щодо доцільності використання комбінованих агрегатів, які поєднують кілька технологічних операцій задля збереження родючості ґрунту.

[50] – ідея конструктивного рішення для колеса змінного діаметру та обґрунтував виконання його основних елементів.

[39] – виконання патентного пошуку та ідея принципової схеми закладання насіння картоплі при посадці.

[38] – виконання патентного пошуку, ідея та опис принципу роботи колеса змінного діаметру.

Частка особистого внеску здобувача у співавторських публікаціях становить 55-65 %, що підтверджується характером виконаних досліджень і змістом опублікованих матеріалів.

Апробація результатів дисертації.

Ключові положення та результати проведених досліджень були представлені на наукових заходах і дістали схвальну оцінку, зокрема на:

Міжнародній науково-практичній конференції «Процеси, машини та обладнання агропромислового виробництва: проблеми теорії та практики». Тернопіль, 29-30 вересня 2022 р.; V-й Міжнародній науково-практичній конференції "Підвищення надійності і ефективності машин, процесів і систем. Improving the reliability and efficiency of machines, processes and systems", 19-21 квітня 2023 р. Кропивницький : ЦНТУ; IX-й Міжнародній науково-практичній конференції «Інноваційні технології в АПК», 7-8 червня 2023 р., м. Луцьк: ЛНТУ; XII-й міжнародній науково-практичній конференції Молодих учених та студентів, Тернопіль, 6-7 грудня 2023 р., М-во освіти і науки України, Терн. націон. техн. ун-т ім. І. Пулюя; VI-й Міжнародній науково-практичній конференції «Підвищення надійності і ефективності машин, процесів і систем», 17-19 квітня 2024 р. Кропивницький: ЦНТУ; VIII-й Міжнародній студентській науково-технічній конференції, Тернопіль: Тернопільський національний технічний університет ім. І.Пулюя (м.

Тернопіль, 24-25 квітня 2025 р.); XIII-й міжнародній науково-практичній конференції Молодих учених та студентів «Актуальні задачі сучасних технологій», Тернопіль, 11-12 грудня 2024, М-во освіти і науки України, Терн. націон. техн. ун-т ім. І. Пулюя; XIV-й міжнародній науково-технічній конференції молодих учених та студентів «Актуальні задачі сучасних технологій», Тернопіль, 11-12 грудня 2025 р., М-во освіти і науки України, Терн. націон. техн. ун-т ім. І. Пулюя.

Публікації. Основні результати дисертаційної роботи відображено у 14 публікаціях, з них: 4 статті у фахових виданнях України, 8 тез доповідей та 2 патенти України на корисні моделі.

Структура й обсяг дисертації.

Дисертаційна робота складається з анотації, вступу, п'яти розділів, розділів, загальних висновків, списку використаних джерел із 125 найменувань і 6 додатків.

Основні результати роботи викладено на 152 сторінках, де містяться 50 рисунків і 8 таблиць. Загальний обсяг дисертації складає 216 сторінок.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ ПРОБЛЕМИ ТА ОБҐРУНТУВАННЯ КОНСТРУКТИВНИХ РІШЕНЬ УНІВЕРСАЛЬНОЇ КАРТОПЛЕСАДЖАЛКИ

1.1 Аналіз стану і тенденції виробництва картоплі в Україні та світі

Виробництво картоплі у світі залишається одним із актуальних питань для забезпечення продовольчої безпеки населення. Багата вітамінами, вуглеводами, білками та мінералами картопля – є дуже цінним продуктом харчування.

Картоплю використовують як для продовольчих цілей, так і у промисловості, фармації і т.д. Її охрестили у народі «другим хлібом», бо насправді це так і є.

За даними видання [89] харчова цінність 100 г картоплі складає у грамах, рис. 1.1.

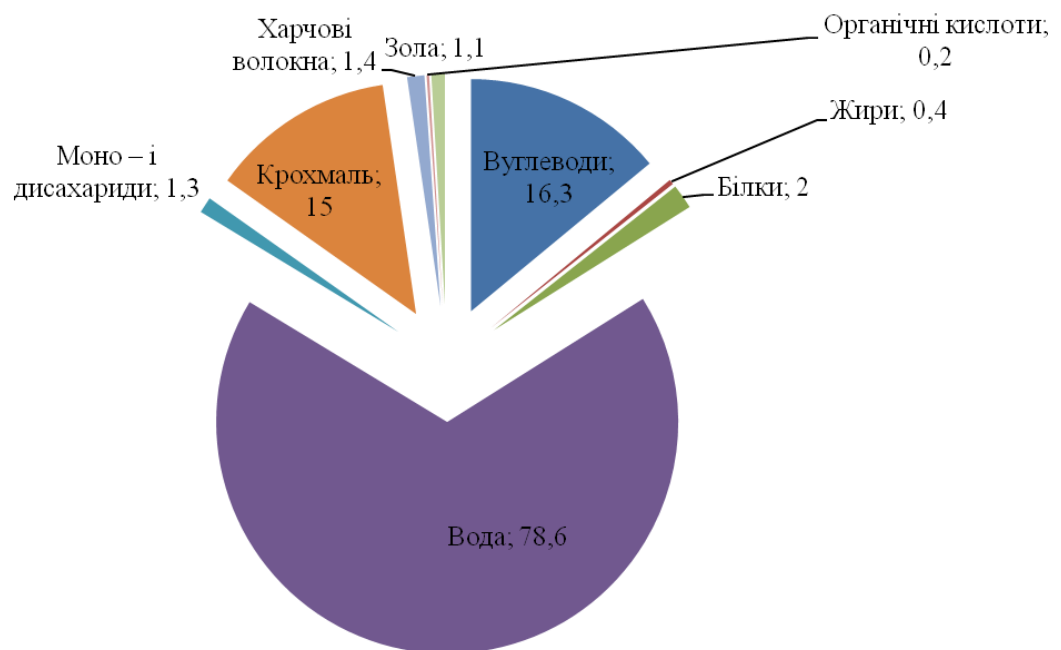


Рисунок 1.1 – Харчова цінність картоплі

Вміст вітамінів (мг) у розрахунку на 100 г продукту, за джерелом [89],
рис. 1.2.

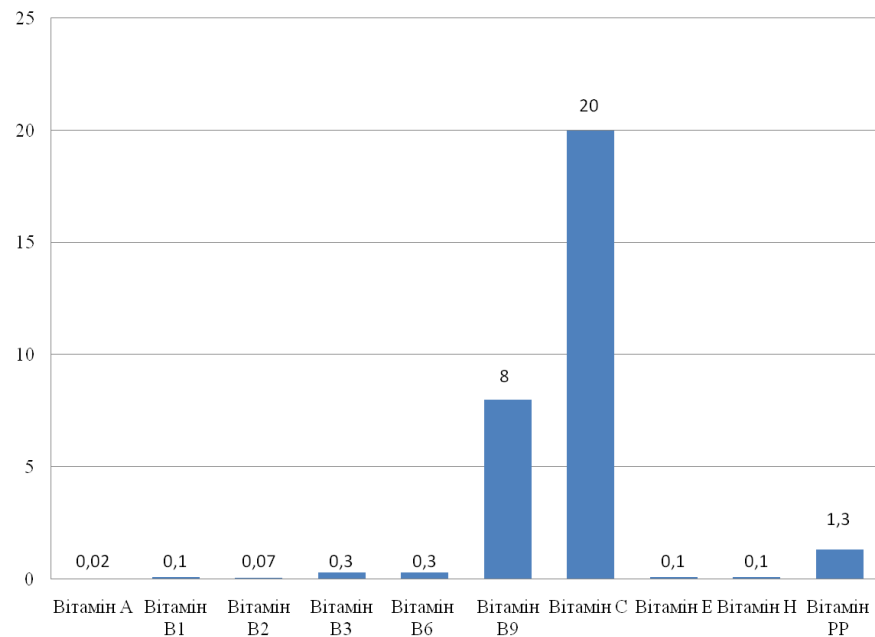


Рисунок 1.2 – Вміст вітамінів

Також у картоплі міститься багато мікро- та макроелементів.

Виробництво картоплі у світі засвідчує те, що ця культура залишається одним із основних продуктів харчування для людей. Україна, не зважаючи на військові дії у державі, залишається у лідерах світових виробників. За даними журналу Global Potato Production [16], Україна посідає у світовому рейтингу виробників картоплі третє місце з валовим збором 21358630 т, поступаючись тільки Індії та Китаю, де ці показники відповідно сягають 60142000 т та 93491818 т, рис. 1.3.

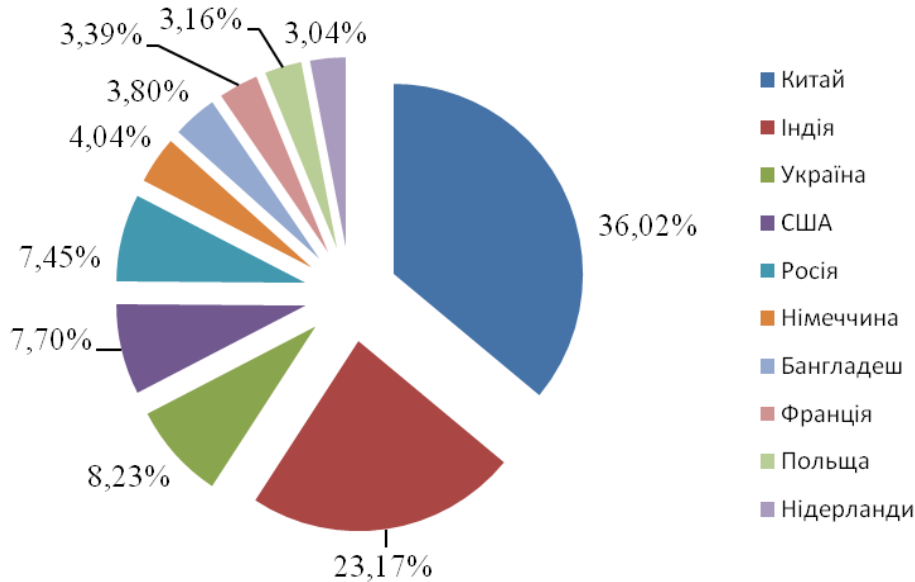


Рисунок 1.3 – Валові збори картоплі у країнах світу (2023 рік) [16]

Але певний парадокс полягає в тому, що основна кількість картоплі виробляється у підсобних чи малих фермерських господарствах. Якщо взяти статистичні дані [72] та згідно результатів, що наведені у роботах [40, 64], наприклад у 2022 році у таких малих господарствах з наділами до 5 га було вирощено майже 98 % всього валового збору картоплі. Автор [64] наводить дані про площі під вирощуванням картоплі для господарств населення та господарств інших категорій в областях нашої держави, рис. 1.4.

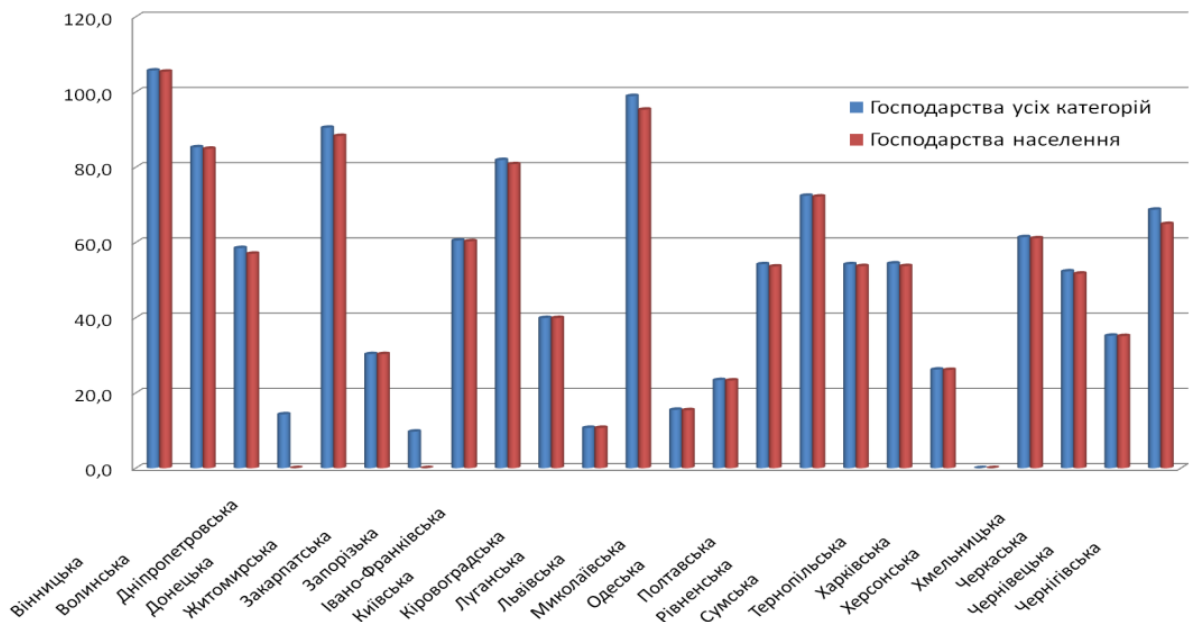


Рисунок 1.4 – Площі (тис.га) у 2022 році, що задіяні під посадку картоплі в областях України [64]

Також у роботі [64] було зроблено вибірку, за статистикою 2022 року, про такий розподіл у західному регіоні України, рис. 1.5.

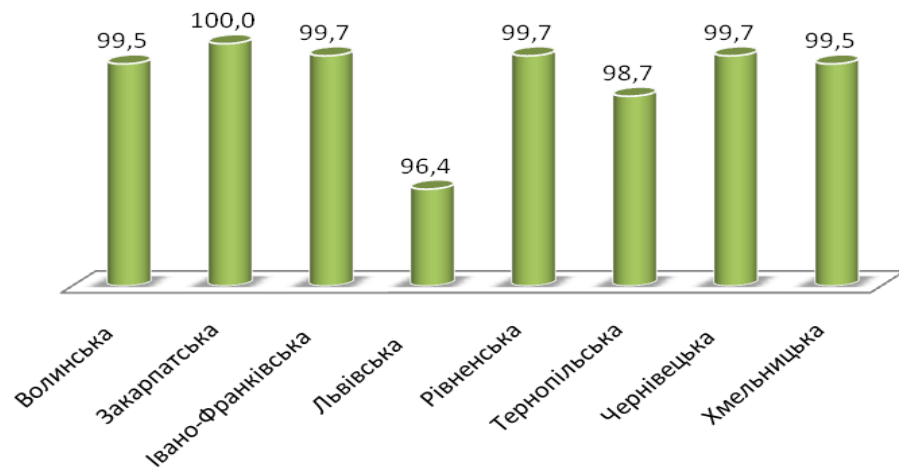


Рисунок 1.5 – Відсотковий розподіл зібраної картоплі у господарствах населення від загального по областях [64]

Тенденція переважного виробництва картоплі у підсобних господарствах спостерігається і по той час.

Наведена статистика вказує на те, що в цьому процесі задіяно велику кількість виробників, які вирощують картоплю на невеликих площах. Однією з проблем, що прослідковується при такому виробництві є низький рівень механізації технологічного процесу вирощування даної культури. А це, в свою чергу, тягне за собою низький рівень технології виробництва, що в кінцевому результаті впливає на урожайність культури. Серед трудомістких технологічних операцій при вирощуванні культури є передпосадкова підготовка ґрунту та сама посадка. Ці дві операції взаємопов'язані між собою та мають суттєвий вплив на «старт» та подальший розвиток рослини.

Сучасний ринок сільськогосподарської техніки забезпечений окремими взірцями посадочних машин, але їх умовно можна поділити на дві категорії – складні професійні та надто прості (примітивні) [53, 57, 58, 59]. Що стосується першої категорії, то немає необхідності і вони надто вартісні, щоб їх придбати і використовувати на невеликих площах. Такі машини у підсобному господарстві ніколи не окупляться. Тому варто вдосконалювати

більш прості картоплесадильні машини для підвищення їх ефективності та забезпечення нормативних показників при посадці картоплі.

1.2 Огляд основних способів посадки картоплі у технологіях вирощування культури

Перш ніж розглядати способи посадки картоплі, зокрема ті, що найбільш поширені та підходять для невеликих площ та з мінімальним технічним забезпеченням таких процесів, потрібно з біологічної точки зору окреслити вимоги самої культури до ефективного зростання.

В першу чергу, картопля як культура більш продуктивна у пухкому ґрунті. Дослідження [55] вказують на те, що близько половини коренів розвиваються на глибині орного шару ґрунту, решту проникають глибше. Оптимальна щільність ґрунту, яка повинна спостерігатися у продовж періоду вегетації, має складати приблизно 1,10–1,17 г/см³. Така щільність дозволяє у достатній мірі бульби наситити киснем. У протилежному випадку вони будуть розвиватися з певною затримкою та неповноцінно, що вплине на кінцевий урожай.

Проростання бульб розпочнеться, якщо ґрунт матиме температуру не нижче 3-5 °С. Температура 6-8 °С сприятиме більш активному проростанню. При збільшенні температури до 20-25 °С – проростання буде прискореним.

Практика позує, якщо бульби не витримати у період підготовки у хоча би періодично у теплом середовищі для проростання, тобто непрогріті бульби висадити у холодний ґрунт, то сходів може взагалі і не бути. З біологічної точки зору, за таких умов сама бульба за рахунок власних поживних речовин утворить нові маленькі бульби і потреба у надземних органах відпаде. Зрозуміло, що розвиток такої рослини непродуктивний. На противагу цьому, якщо температура буде більше 25 °С і ґрунт буде надмірно сухим, то може відбутися подібний процес з бульбами. При оптимальній

вологості ґрунту, його температура повинна бути в межах 17-21 °С. Саме вплив на прогрівання ґрунту має форма поперечного перетину бульбоносного пласта через площу нагрівання.

Що стосується вологи, то вимоги у рослини у різні періоди вегетації відмінні [55]. У період садіння-сходів необхідна вологість ґрунту повинна складати не менше 65-70 %; у фазі бутонізації і цвітіння – 75-85 %; решту до завершення вегетації – 60–65 %. Для забезпечення рослини вологою також відіграє роль вологість повітря, з якого рослини через листя живиться водою.

Ще один критерій ефективного розвитку картоплі як рослини є наявність світла. Картоплю можна позиціонувати як світлолюбиву культуру. Це культура «довго» дня. Вплив світла на вирощені бульби дозволяє утворити алкалоїд соланін – антисептичну речовину, яка у період зберігання сприяє утриманню насіння від проростання та розвитку різних хвороб.

У весняний період – прогрівання та проростання бульб на світлі сприяє утворенню міцних та здорових паростків. Такі паростки утворять більше вузлів, ніж ті, що проростали без світла, і які є тонкими і ламкими, а це дозволить сформувати більше стolonів, де будуть розвиватися бульби. Знову ж таки, кількість світла, при решту рівних умовах, залежить від профілю рядка та ширини міжрядь для подальшого розвитку рослини.

Не менш важливим чинником при рості картоплі є її дихання. Для розвитку рослини вміст ґрунтового повітря повинен складати не менше 20-25 %, а в ньому кисню не менше 18 %. Це досягається забезпеченням оптимальної грудковатості картопляної грядки. Крім того, цей процес пов'язаний із вологістю ґрунту, а точніше з ущільненням ґрунту при надмірній його вологості. Наприклад, якщо рівень кисню у зволоженому чи задернілому після зволоження ґрунті зменшиться до 2-3%, а відповідно стрімко зросте вміст діоксиду вуглецю, то рослина фактично «задиhaється». Крім того, навіть близькі процеси до описаного мають негативний вплив на рослину – зниження врожайності, надмірне гниття бульб, знижені показники зберігання. Для усунення цього недоліку у технології вирощування

передбачають технологічні операції для підтримання раціональної щільності ґрунту на рівні 1,0-1,2 г/см³. Такий підхід дозволить забезпечити потрібний газо- і теплообмін між кореневою системою та навколишнім середовищем.

Досягнути високих урожаїв картоплі можна, витримавши зазначені критерії щодо щільності ґрунту, наявності вологи, світла, тепла тощо та, звичайно ж, живлення рослини такими основними елементами як азот, фосфор і калій [81].

Розуміючи біологічні потреби рослини, на їх основі вибудовують технології вирощування культури.

Будь-яка з таких технологій передбачає підготовку ґрунту та посадку культури. Картопля досить вибаглива і потребує якісної підготовки ґрунту.

За типовою технологією вирощування картоплі виконують осінню глибоку оранку (30-35 см) та вживають заходів, якщо в орному шарі наявна плужна підшва. Навесні першою операцією є збереження вологи через її закриття боронуванням. Передпосадкова підготовка ґрунту передбачає глибоку культивування (15-18 см) з одночасним боронуванням. У залежності до погодних-кліматичних умов та фізичного стану ґрунту, особливо у західному регіоні України, такої підготовки може бути недостатньо. Специфікою даного регіону є те, що у період дозрівання ґрунту він має надмірну вологість, а у період передпосадкової підготовки різко зростає температура навколишнього середовища, що сприяє утворенню ґрунтової кірки, яка досить важко розробляється лапами культиватора та зубами борін. Як наслідок – поверхня ґрунту може мати досить високу грудкуватість, що позначається на погіршенні та рівномірності сходів, а також процесах бульбоутворення.

Для реалізації самого процесу посадки спочатку потрібно виконати підготовку посадкового матеріалу.

Наведемо основні вимоги до насіння:

- бульби після зберігання необхідно розсортувати за фракціями;
- якщо є великі паростки після зберігання, їх обламують. Це негативне

явище, що знижує репродуктивну властивість бульб;

– насіння прогрівають з одночасним пророщенням, причому, розраховують так, щоб закінчення періоду проростання співпадало з початком періоду посадки.

Для отримання готового насінневого матеріалу повинні бути забезпечені такі чинники: відповідна плюсова температура, доступ повітря та світла. Кількісне співвідношення цих чинників характеризує різні способи яровизації насіння бульб [55]: пророщування на світлі; у темряві; у вологому середовищі; комбіноване.

Ключовим питання нашого дослідження є технологічна операція посадки картоплі, тому необхідно спочатку розглянути способи посад, які використовуються на практиці.

На даний час Інститут картоплярства Національної академії аграрних наук України пропонує найбільш універсальну технологію вирощування картоплі [118].

Виділимо з наведених рекомендацій ті параметри процесу, які будуть застосовані про проектуванні картоплесадильної машини.

Гладкий спосіб посадки. При такому способі посадки поверхні поля залишається вирівняною, гладкий спосіб забезпечує краще збереження вологи у ґрунті, але він поширений, в основному, на невеликих картопляних грядках. Для застосування даного способу посадки найбільш підходять посушливі зони та легкі піщані ґрунти.

Основним способом посадки картоплі у господарствах залишається гребневий спосіб, який виконують з міжряддями 70 см, 75 см або навіть 90 см. Тут наводиться також рекомендація, що можна картоплю висаджувати зі змінними міжряддями 60-80 см, враховуючи кратність та ширину колії трактора.

Що стосується глибини посадки при гребневому способі, то маємо наступні рекомендації [118]:

– супіщані дерево-підзолисті ґрунти – 8-10 см;

– чорноземи – 6-8 см.

Густота посадки бульб залежить від багатьох чинників: призначення картоплі; періоду її вегетації; розміру та маси садивних бульб.

Рекомендовано при міжряддях 70 см – крок посадки 20-25 см (за умови достатнього зволоження) і 30-35 см (менш вологозабезпечених районах). Це буде відповідати відповідно 60-70 тис.шт./га і 45-50 тис.шт./га.

При міжряддях 75 см: Полісся – 55-65 тис.шт./га.; Лісостеп – 55-60 тис.шт./га.; Степ (при зрошенні) – 50-55 тис.шт./га.

В іншій публікації Інституту картоплярства [117] наголошено на тому, що перед посадкою картоплі потрібно відкалібрувати на дрібну (<30 мм), середню (30-60 мм) та велику (>60 мм). Потім цей посадковий матеріал потрібно прогріти та проростити з озелененням відомими способами. Це дозволить більш точно застосувати критерії густоти посадки, глибини зароблення насіння та отримання рівномірних дружніх сходів.

Фахівці у переважній більшості схиляються до думки і рекомендують посадку картоплі гребневим способом, рис. 1.6.



Рисунок 1.6 – Гребневий спосіб посадки картоплі [117]

До суттєвих переваг даного способу належить пришвидшене

прогрівання через збільшену площу поверхні, оптимальніші умови для розвитку бульб та догляду за ними у період проростання, оскільки рядки є сформованими.

Зазначені рекомендації відображають головні аспекти технології вирощування культури і їх візьмемо за основу та при формуванні технічного завдання на проєктовану машину.

Аналізуючи публікацію [119], авторами розглядаються три способи посадки картоплі: гребневий із формуванням їх висоти в межах 18-20 см; гладкий, що рекомендований для посушливих районів вирощування картоплі; гребнево-стрічковий, що призначається для механізованого збирання.

Градація глибини закладання бульб наведена з врахуванням типу ґрунтів:

супіщані – 8-10 см;

чорноземи – 6-8 см;

важкі глинисті – 5-6 см.

Густота посадки.

Рекомендована густота посадки бульб на 1 га вирізняється на основі сортів, що висаджуються. Наприклад, для ранніх сортів цей параметр складає 60-70 тис.шт./га; для середньої стиглості сортів – 50-60 тис.шт./га; пізньостиглі – 45–50 тис.шт./га.

Дані параметри є вихідними даними для розрахунку кроку посадки культури при врахуванні ширини міжрядь.

За матеріалами, де діляться досвідом вирощування картоплі у фермерському господарстві «Аделаїда» виділимо наступні ключові моменти [103]. Що стосується способів посадки картоплі, то тут виділено такі основні. Мова йде про невеликі ділянки і тому не можна виключати ручний спосіб посадки із шириною міжрядь 50-60 см. При механічному способі посадки рекомендовані міжряддя – 70-75 см. Ширина міжрядь залежить від можливості використовувати рослиною зони живлення, а також можливості

подальшого механізованого обробітку. Рекомендований крок посадки тут зазначається як 20-30 см, але може бути і 15-35 см. Оптимальна кількість бульб при посадці на 0,01 га складає 500-700 шт. Автори матеріалів наводять рекомендаційні дані щодо густоти посадки бульб, рис. 1.7.

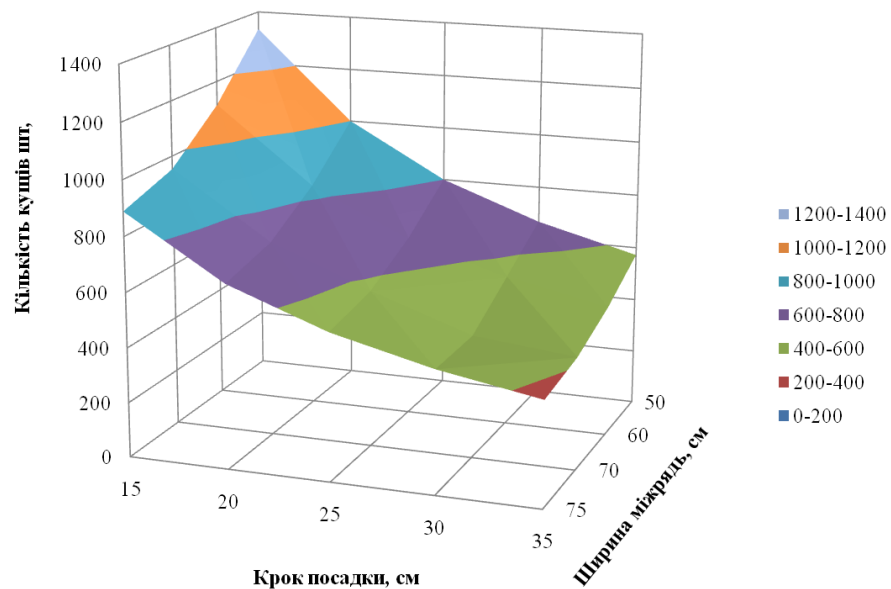


Рисунок 1.7 – Кількість кущів картоплі на ділянці 0,01 га

Глибина зароблення картоплі визначається механічним складом ґрунту: на легких ґрунтах її збільшують, тоді як на важких, навпаки, зменшують. Під глибиною посадки розуміють відстань від верхньої частини бульби до поверхні ґрунту; у разі садіння в гребені цю величину відраховують не до вершини гребеня, а до умовного рівня поверхні поля. Оптимальною вважається глибина 6–8 см, а на легких піщаних ґрунтах її доцільно збільшувати до 10 см. Важливе значення має й розмір посадкових бульб: дрібні висаджують на 2–3 см мілкіше, тоді як великі – на таку ж величину глибше. Надто поверхневе загортання може призвести до позеленіння бульб, що негативно впливає на врожайність і якість продукції, оскільки бульби з зеленими плямами стають непридатними для використання.

Далі виділяють спосіб посадки картоплі в борозни, попередньо нарізаних гребенів, рис. 1.8.



Рисунок 1.8 – Спосіб посадки картоплі у борозни гребенів

Цей спосіб полягає в тому, що попередньо з допомогою окучників та в агрегаті з міні-трактором чи мотоблоком нарізають гребені, які чергуються з своїми борознами. Тоді вручну у борозни з кроком посадки розкладають бульби, може бути варіант з одночасним внесенням мінеральних добрив у рядок. Наступним кроком є зароблення утворених борозен. Цю частину технологічної операції – засипання можна виконувати вручну або механізованим способом, розгортаючи розпушені гребені. В кінцевому результаті будемо мати гладкий спосіб посадки.

Ще одним способом посадки картоплі – це є посадка під солому [103].

Це один із нетрадиційних, але ефективних способів вирощування картоплі, який найчастіше застосовують за умов підвищеної вологості ґрунту. Попередньо пророщені бульби розміщують безпосередньо на поверхні ґрунту. За можливості їх присипають тонким шаром торфу та накривають соломою, товщина якої має становити щонайменше 30 см.

Після появи сходів, у міру ущільнення та осідання соломи, додають ще один шар завтовшки 15–20 см. Упродовж усього періоду вегетації необхідно контролювати вологість, оскільки пересихання за таких умов є небажаним. Перевагою цього способу є спрощене збирання врожаю: для цього достатньо

відсунути солому та зібрати сформовані бульби, рис. 1.9.



Рисунок 1.9 – Посадка картоплі під соломою [56]

Технологія та строки садіння картоплі під солому, що описана у роботі [56].

Оптимальні строки висаджування, за рекомендаціями спеціалістів, настають тоді, коли встановлюється стійка температура повітря не нижче $+8^{\circ}\text{C}$. Додатковим природним орієнтиром слугує період цвітіння черемхи, який традиційно вважають сприятливим для початку посадкових робіт.

Перед садінням ґрунт зволожують і розпушують, не заглиблюючись більше ніж на 5 см. Далі формують лунки глибиною 12–15 см і розміщують у них бульби з інтервалом близько 35 см. У разі викладання картоплі безпосередньо на поверхню грядки її необхідно злегка присипати ґрунтом. Відстань між рядами повинна становити приблизно 65 см.

Після цього бульби рівномірно накривають мульчувальним матеріалом – соломою або сіном, формуючи шар близько 25 см і не допускаючи оголених ділянок. Посадковий матеріал додатково присипають ґрунтом із домішками перепрілого перегною та золи. Після появи перших сходів мульчувальний шар поповнюють, додаючи ще солому або сіно.

Таким чином, з проведеного огляду випливає, що попри різні способи посадки картоплі, які використовують на різних за величиною площах, основним залишається гребневий, який найбільше підходить для механізованого обробітку, та дещо менш поширений – гладкий спосіб.

1.3 Аналіз конструктивних особливостей картоплесадильних машин

Огляд конструкцій машин та знарядь для механізованої посадки картоплі варто розпочати з найпростіших.

Найпростішим знаряддям для посадки картоплі у борозни будуть окучники (рис. 1.10), якими нарізають гребені.



Рисунок 1.10 – Знаряддя для утворення борозен

Такі знаряддя закріплюють на рамі культиватора та нарізають гребені на всій площі. При цьому утворюють борозни, що відповідають ширині міжрядь. У ці борозни розкладають посадковий матеріал, рис. 1.8. Наступним кроком є засипання борозен з одночасним заробленням бульб. Гребені сформовані із добре спущеного ґрунту і тому він легко осипається у борозни.

Переваги такого способу: простота процесу, більша продуктивність у порівнянні з ручним прикопуванням бульб. Недоліки: велика частка ручної праці на розкладання бульб у борозни та загортання самих борозен; при застосуванні способу механізованого загортання борозен, наприклад тим самим культиватором, виникає складність ведення агрегату по утворених гребенях. Як наслідок «стягування» розкладених бульб, порушення прямолінійності рядків та рівномірності висоти шару ґрунту, яким зароблене насіння.

Більш механізовано можна виконувати посадку при застосуванні найпростішої, але повноцінної картоплесаджалки, що агрегується з мотоблоком.

Такі картоплесаджалки виробляються українськими виробниками або їх багато є китайського виробництва.

Розглянемо просту мотоблочну картоплесаджалку виробництва компанії Крючков [86].



Рисунок 1.11 – Картоплесаджалка ланцюгова (КСЗ)

Це проста, але повнофункціональна картоплесаджалка, яка має ланцюгово-ложечковий вичерпуючий апарат, бункер конусний об'ємом 20 л. Привод вичерпуючого апарату здійснюється від опорно-приводних коліс, де встановлені дві зірочки, зміна яких дозволяє забезпечити крок посадки 20 см, 25 см. Також тут встановлені дискові загортачі, що заробляють борозну, зроблену сошником, де розкладені картоплини та формують невеликі гребені. До недоліків такої машини віднесемо обмежену функціональність – нестійкість ходу та неможливість формувати (відділяти) чіткі міжряддя; нездатність утворювати повноцінні гребені через певну мініатюрність конструкції, особливо, коли ґрунт має достатню грудкуватість; вносити мінеральні добрива; вичерпуючий апарат внаслідок переміщення та вібрацій може утворювати пропуски насіння тощо. Наведені, на нашу думку, недоліки не вказують на неефективність картоплесаджалки, вона для свого сектора призначення чудово виконує свої функції, але наведені аргументи вибрано як певні елементи, які для більших картоплесаджалок повинні бути врахованими. Наприклад, виробником багато враховано при проектуванні нових конструкцій картоплесаджалок. Лінійка таких машин компанії Крючков представлена і більш масивними однорядними, і дворядними картоплесаджалками.

Інша українська компанія «VINAVI» пропонує техніку як власного виробництва так і техніку відомих виробників – Bomet, Wirax, Jar-met, Polmark, Agromet, VINMET.

Розглянемо деякі конструкції популярних картоплесаджалок, рис. 1.12-1.13.



Рисунок 1.12 – Картоплесаджалка дворядна "60" VINMET [83]

Це дворядна картоплесаджалка з бункером 180 л, що висаджує бульби на глибину 10-15 см з шириною міжрядь 60 см (інші модифікації є шириною міжрядь від 50 см до 70 см). Привод висаджуючого апарату ланцюгово-ложечкового типу та апарату для внесення мінеральних добрив здійснюється від регульованих коліс. На саджалці встановлені класичні загортачі-окучники.

Наведемо ще один приклад дуже популярної саджалки польської фірми Vomet, рис. 1.13.



а)



б)



в)



г)

Рисунок 1.13 – Двохрядна картоплесаджалка Vomet [84]

Це одна з найпопулярніших картоплесаджалок на ринку такої техніки у своєму секторі. Її простота та співвідношення ціна-якість зробили свою справу. Наведена попередня картоплесаджалка фірми VINMET та фірми Vomet (рис. 1.13, а) є дуже подібними. Тому свій огляд побудуємо як доповнення конструктивних особливостей обидвох. Виділимо цікаві конструкторські рішення. Тут регулювання кроку посадки здійснюється ступенево за рахунок зміни діаметра регульованого колеса, рис. 1.13, б. Таке колесо складається із секторів, які до маточини приєднані планками з

отворами. Тому, закріплюючи ці планки у відповідних отворах, можна змінювати діаметр колеса, а від того і крок посадки, оскільки регульоване колесо може мати різні діаметри і за один свій оберт проходити різні відстані. Недолік, який спостерігається на практиці – це незручність таких регулювань діаметра. В процесі експлуатації різьби болтів кородують, що утруднює їх відкручування, є певна «плутанина» при встановленні планок на відповідні отвори при приєднанні до маточини; така конструкція не дозволяє безступенево змінювати крок посадки бульб.

Вичерпуючий апарат ланцюгово-ложечкового типу (рішення відоме) (рис. 1.13, в) виконує свою функцію, але на практиці деколи спостерігається подвійне винесення картоплин, або пропуски внаслідок їх падіння на шляху транспортування. Негативним моментом, що вбачається, є те, що вичерпуючий апарат проходить через весь шар засипаних картоплин у майже вертикальному бункері і картоплини, які у нижній частині бункера потрапили у ложечку, протягуються крізь весь шар, взаємодіючи з іншими картоплинами. Це якраз спричиняє часткове їх пошкодження, особливо, якщо картопля має невеликі (до 1 см) пагони; ложечки забирають по дві і більше картоплини, або ж, навпаки при виході з шару картоплина вибиває захоплену картоплину і ложечка до насінепровода транспортується порожньою, утворюючи пропуски.

Загортачі – класичні лапи-окучники, які закріплені на рамі шарнірно з підтискною пружиною.

Як опція такі моделі комплектуються туковисіваючими апаратами, які дозують мінеральні добрива і суцільним внесенням направляють у рядок.

Класична схема навіски (рис. 1.13, г), яка адаптована до більшості причіпних пристроїв тракторів малої потужності.

Аналогічним чином виконані картоплесаджалки фірми ДТЗ, рис. 1.14.



Рисунок 1.14 – Картоплесаджалка мотоблочна П-1Ц [87, 84]

Тут всі аспекти виконання аналогічні до розглянутих картоплесаджалок вище. Позитивною відмінністю є частково «втоплений» вичерпуючий апарат по відношенню до стінки бункера, що зменшує травмування картоплі та надійнішим робить процес транспортування захоплених картоплин ложечкою.

Таким чином, в даний час на ринку техніки невеликий вибір картоплесаджалок, що мають різні типи вичерпуючих апаратів, особливо, якщо орієнтуватися на мінімашини та середні, які зорієнтовані на роботу у невеликих господарствах. Тобто на даному етапі огляду конструкцій ми фактично не розглядаємо професійні картоплесадильні машини та комплекси, що використовуються у високо механізованих технологіях вирощування картоплі.

Для отримання високоефективної картоплесадильної машини у цьому класі машин, все ж таки, варто вивчити досвід інших типів основних елементів саджалок, які рідше зустрічаються на ринку чи як запатентовані рішення.

Професійна картоплесаджалка з дисково-ложечковим вичерпуючим апаратом СН-4Б, рис. 1.15.



Рисунок 1.15 – Класична картоплесаджалка СН-4Б

Така картоплесаджалка забезпечує норму посадки 40-70 тис. шт./га. Бункер саджалки вміщає 360 кг, тут встановлені туковисіваючі апарати типу АТД-2. Ширина захвату машини 2,4-2,8 м. Особливістю конструкції є вичерпуючий апарат дисково-ложечкового типу з притискними лапками [92]. Такий апарат є одночасно і перевагою, і недоліком із-за складності конструкції. Якість роботи такого апарату є досить високою. Одночасно дана саджалка є досить металомісткою та складною в обслуговуванні.

Картоплесадильна машина фірми Імас (Польща) призначена для посадки пророщеної, цілої або різаної картоплі [88].



Рисунок 1.16 – Картоплесадильна машина Імас PPS

Такі машини обладнані вичерпуючим апаратом револьверного типу при обов'язковому обслуговуванні оператором, який вручну заповняє комірочки бульбами. Диск з комірками обертається і при співпаданні однієї комірочки з отвором насінепровода, бульба випадає і попадає у розкрити сошником борозенку. Заробляється насіння дисковими або клиновими сошниками. Перевагою є універсальність і простота конструкції, недоліком – низька продуктивність і високі затрати ручної праці.

В інноваційних технологіях вирощування картоплі використовують багатофункціональні картоплесаджалки. Однією з провідних компаній, яка випускає такі машини є німецька компанія Grimme. Наведемо, як приклад, багатофункціональну машину Grimme GL 34, рис. 1.17 [85].



Рисунок 1.17 – Картоплесаджалка з гребенеутворювачем Grimme GL 34

Дана машина може суміщати 5 операцій: фрезерування, внесення добрив, засобів захисту на відміну від інших способів такого захисту [28], посадка бульб та гребенеутворення. Це чотирирядна машина з шириною міжрядь 75 см і місткістю бункера 1700 кг.

Єдиним умовним недоліком такої машини є те, що вона габаритна та важка, агрегується з тракторами потужністю понад 80 к.с. Тобто така для

невеликих ділянок посадки картоплі буде неефективною. Проте, застосований принцип багатофункціональності варто перенести на проєктовану машину.

Також, виконуючи аналіз конструкцій картоплесадильних машин, варто більш глибоко проаналізувати вичерпуючі або садильні апарати.

Проаналізуємо найбільш перспективні ідеї, що запатентовані та доступні для огляду (додаток А).

У патенті № 33682, наведене цікаве рішення садильного апарату, що в комплексі з спеціальним бункером частково дозволяє запобігти травмуванню посадкового матеріалу. Проте, застосування барабанного чотирилопатевого садильного апарату викликає необхідність відносно високої частоти його обертання для забезпечення кроку посадки картоплі. Наприклад, якщо картоплесаджалка буде рухатись з поступальною швидкістю 1 м/с та при крокові посадки 0,25 м, то барабану за 1 с потрібно зробити один оберт. А це досить висока частота для взаємодії його складових з бульбами, що може викликати їх травмування. Для усунення цього недоліку потрібно збільшувати кількість комірок для захоплення картоплин, а це, в свою чергу, буде збільшувати габарити барабана.

Наведена у патенті № 50372 конструкція картоплесадильної машини має дуже перспективну технологічну схему. Така машини поєднує вже кілька операцій, зокрема підживлення рослин, причому дискретне внесення мінеральних добрив. Крім того, авторами запропонований вичерпуючий апарат барабанного типу з багатьма комірками, що дозволить йому обертатися з безпечною кутовою швидкістю, по відношенню до можливого травмування насіння картоплі. Але поряд з тим, на нашу думку, спостерігаються і деякі недоліки, які будуть проявлятися на практиці. Туковисіваючий апарат не має окремого дозуючого пристрою, що унеможлиблює регулювати норму добрив, за такої схеми робота розподільчого конуса буде не надійною – при малих розмірах бульб буде відкриватися недостатньо; при заклинюванні бульб у бульбопроводі буде

постійне висипання добрив; якщо бульбопровод буде досить значних розмірів, то ймовірність попадання картоплі по керуючому важелю буде незначною, якщо ж важіль буде перекривати бульбопровод для попадання, то можливе заклинювання картоплин; якщо в момент закриття між розподільчим конусом і тукопроводом заклинить більших розмірів тук, то туки менших розмірів можуть самовільно осипатися. Ще одним недоліком є те, що конструкцією не передбачене внесення добрив нижче рівня закладання бульб, що робить їх прямий контакт з насінням і може спричинити опіки і т.д.

Що стосується вичерпуючого апарату, то серед недоліків можна виділити те, що його диск з вичерпуючими ложечками обертається всередині направляючого диска, який розривається при переході у бульбопровод. Тут негативним моментом є те, що бульби при переміщенні будуть тертися до стінок диска; незрозуміло як бульби будуть себе вести у верхньому положенні барабана; як буде здійснюватися їх випадання з ложечок, чи забезпечиться поодиноким випаданням, чи може з двох суміжних? А також конструкцією не передбачений пристрій для примусового очищення ложечок у випадку заклинювання бульб.

Картоплесаджалка за патентом № 133848 – це комбінований агрегат, який одночасно з посадкою має можливість вносити органічні добрива. Це досить позитивна практика. Разом з тим, аналізуючи конструкцію проглядаються деякі недоліки. Не зрозуміло яким чином гравітаційний пристрій подачі картоплі може створити потік бульб шаром в одну бульбу. Якщо заслінкою створити малу щілину розміром висоти бульби, то отримаємо заклинювання картоплин на вході в цю щілину, у протилежному випадку – вільний прохід бульб цілиною (достатній розмір проходу) спричинить відносно неконтрольоване засипання зони відсікача, що, в свою чергу, унеможливить поодиноким вкладання картоплі у борозну.

Таким чином, всі конструктивні рішення, що наведені в огляді та інші підходи з огляду сільськогосподарських машин [82, 90, 109, 110, 112, 113,

114, 115, 116, 121] мають право на реалізацію на практиці, але разом з тим дозволяють побачити інші шляхи виділених, на нашу думку, недоліків. Тому було запропоновано власні рішення та способи посадки картоплі розробленою машиною.

1.4 Обґрунтування технологічної схеми роботи картоплесадильної машини

Як було зазначено вище, що отримання високого урожаю картоплі залежить від багатьох чинників. Серед найважливіших – це спосіб посадки з належною підготовкою ґрунту, що дає відповідний «старт» рослині. Виділені технологічні операції хоча в часі і розведені, але в технологічному плані дуже пов'язані між собою. Переважно всі технології вирощування картоплі вказують на те, що картопля краще розвивається, коли її посадка здійснюється гребневим способом [55, 94], проте, як формується гребень, які прошарки ґрунту його утворюють мало де регламентується. А від цих чинників залежатиме ефективність дихання та живлення рослини. З іншого боку – розвинуті плоди формують у гребнях гнізда, що надалі визначають перетин бульбоносного пласту. Цей чинник є важливим для завантаження робочих органів збиральної машини, зокрема, підкопуючих та сепарувальних робочих органів, а також енергетичних затрат на процес збирання. Тому комплекс машин для вирощування картоплі має бути синхронізованим з метою отримання максимальних урожаїв та мінімальних затрат на процес виробництва картоплі.

Якщо розглядати питання вирощування картоплі у великих професійних господарствах з високим ресурсним забезпеченням, то ці питання є відносно добре розвинутими та відлагодженими. Але статистика вирощування картоплі в Україні вказує на те, що значна частка цього

продукту виробляється у невеликих фермерських чи підсобних господарствах, де ресурсне забезпечення потребує певного нарощення [41].

В багатьох працях розглядають процес взаємодії робочого органу з ґрунтом та утворення посадкового ложа для насіння картоплі та її зароблення із формуванням гребеня [68, 73, 67, 69], проте, питання пошарового формування перетину гребеня із використанням профрезерованої смуги вздовж осі рядка практично є нерозвинутими та невисвітленими у літературі.

Тому є потреба в обґрунтуванні конструктивно-технологічних параметрів картоплесадильної машини, яка використовується у технології вирощування картоплі та призначена для роботи у невеликих господарствах в агрегаті з малопотужними енергозасобами.

Отже, якісна підготовка ґрунту при посадці картоплі відіграє важливу роль при реалізації даної технологічної операції [79, 120]. Проблема весняного обробітку важких ґрунтів полягає в тому, що часто спостерігається їх значна грудкуватість. Це пов'язано з тим, що у західному регіоні України у весняний період спостерігається достатня кількість вологи, яка не дозволяє якісно виконати першу культивуацію ґрунту, а після – опади змінює посушлива спека. Результатом є утворення значної кількості задернілих грудок ґрунту, які важко розбити звичайною передпосівною культивуацією з боронуванням. Це призводить до того, що картоплесадильна машина утворює борозенку для вкладання насіння картоплі у незадовільно підготовлений ґрунт та ним же заробляє насіння, утворюючи гребені. Оскільки період часу після посадки картоплі є посушливим, то така структура ґрунту та утворений ним гребень швидко пересихають та знижують потенціал картоплі до її проростання.

Для вирішення поставленої проблеми була розроблена нова технологічна схема картоплесадильної машини, рис. 1.18 [46, 51, 52] (додаток Б).

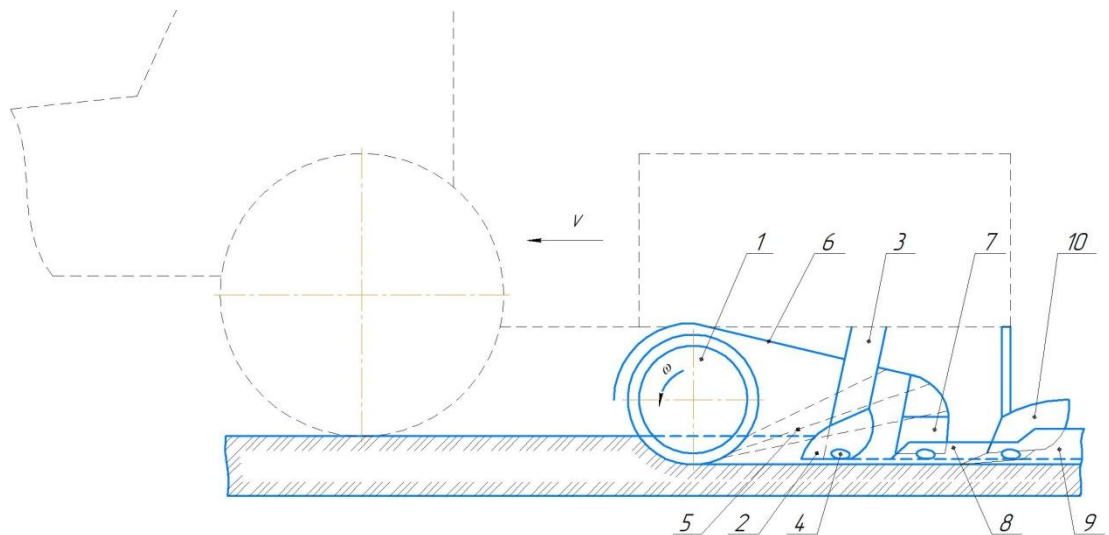


Рисунок 1.18 – Технологічна схема картоплесадильної машини

Особливістю такої конструкції картоплесаджалки є те, що кожна її секція обладнана фрезерним барабаном 1 (рис. 1.18), який приводиться в дію від ВВП енергозасобу та подрібнює крупногрудкуватий ґрунт на глибину посадки насіння, чим дозволяє сошнику 2 утворити ущільнене ложе. Через насінепровод 3 насіння картоплі 4 вкладається на дно утвореної борозенки і окремим каналом (на схемі не показано) мінеральні добрива глибше на 1,5-2 см дна борозни. Тоді добрива заробляються осипаним ґрунтом, а картопля спершу присипається ґрунтовою стружкою 5 свіжого ґрунту, яка утворюється за результатом роботи фрезерного барабана 1 та відбивається від його кожуха 6. Крім того, загортачі 7 утворюють з профрезерованої смуги ґрунту малий гребень 8, що повністю прикриває насінину картоплі свіжим та подрібненим ґрунтом. Великий (фінальний) гребень 9, що забезпечує необхідну глибину зароблення насіння, формується лапами-окучниками 10.

В кінцевому результаті отримуємо якісну посадку картоплі у гребенях (рис. 1.19), де реалізовано наступні ефекти: формується якісне ложе для вкладання насіння за рахунок профрезерованої (розпушеної) смуги ґрунту, що дозволяє сошнику рухатись з мінімальним опором та ущільнювати днище ложа і тим самим підтягувати вологу до насіння; енергія при фрезеруванні витрачається вдвічі менша у порівнянні з окремою операцією фрезерування

при передпосівному обробітку ґрунту за рахунок смугового обробітку;



Рисунок 1.19 – Вигляд гребенів після посадки картопляної грядки

насіння картоплі прикривається свіжим та оптимальної грудкуватості ґрунтом з профрезерованої смуги.

Якісне фрезерування забезпечується за рахунок правильно підібраного кінематичного режиму λ роботи фрезерного барабана із z ножами, тобто відношення колової швидкості u_n точки ножа радіусом R до поступальної швидкості агрегату (машини) \mathcal{G}_a .

Для налагодження фрезерного барабана садильного агрегату варто скористатися залежностями, що описують зв'язок між поступальною швидкістю агрегату \mathcal{G}_a , коловою швидкістю активного робочого органу u_n та максимальною товщиною ґрунтової стружки δ , яка при цьому утворюється.

Таке обґрунтування можна зробити після аналізу траєкторій руху щонайменше двох сусідніх ножів фрезерного барабана. Як відомо, що будь-яка точка ножа фрези описує циклоїду, оскільки фрезерний барабан перебуває у відносному та переносному рухах.

Ще одне питання, що виникає при якісному заробленні насіння картоплі у ґрунт, стосується вибору типу загортачів. Найбільш поширеними є

пасивні клинові загортачі та напівактивні – дискові.

Розділимо дане питання на два окремих, оскільки в конструкції картоплесадильної машини передбачені загортачі 7 (рис. 1.18) та лапи-окучники 10. При формуванні малого гребеня 8 використано пасивні клинові загортачі 7, оскільки їх конструкція є значно простішою у порівнянні з напівактивними дисковими загортачами, хоча останні мають кращу функціональну здатність до формування гребеня при оптимальному діаметрі дисків та радіусі їх кривизни. Але тут слід зауважити, що такі дискові робочі органи, якщо вони малого діаметра, практично втрачають здатність формувати гребень, а конструкція значно ускладнюється; при роботі дискового загортача-окучника у міжрядді на дні борозни утворюється додатковий гребень необробленої ділянки. Ефект виникнення додаткових гребенів – це специфіка роботи дискових ґрунтообробних робочих органів. Висота таких гребенів при роботі дискових борін, луцильників тощо регламентується на різних технологічних операціях агротехнічними вимогами. При обробці поля на задану глибину цей недолік усувається перекриттям дисків – зміною кута атаки дискового знаряддя чи відстані між дисками. Якщо говорити про формування гребенів при посадці картоплі, то ці регулювання застосувати неможливо, оскільки культурна рослина висаджується у задані міжряддя, які порівняно великі щодо діаметрів дисків, щоб їх можна було використати при роботі з перекриттям. Тому для запропонованої конструкції картоплесадильної машини було прийняте рішення, що для остаточного формування великого гребеня 9 (рис. 1.18) доцільно використовувати пасивні лапи-окучники 10. При їх роботі добре будуть прочищені міжряддя картопляної грядки, з якого будуть сформовані великі гребені 9, які наростять вже утворені малі гребені 8.

Таким чином, на основі запропонованої принципової схеми картоплесадильної машини спостерігаються певні ефекти при гребневому способі посадки картоплі. Формується якісне ложе для вкладання насіння за рахунок профрезерованої (розпушеної) смуги ґрунту, вздовж якої рухається

сошник з мінімальним опором та своєю нижньою частиною, ущільнюючи днище, утворює додаткову маленьку борозенку, у яку вкладається насіння. За рахунок цього ущільнене днище дозволяє підтягувати вологу з нижніх горизонтів ґрунту, а його форма – додаткова маленька борозенка запобігає відхиленню вкладання бульб від осі рядка. Наступний ефект – це смугове фрезерування, при якому затрачається в 2 рази менша енергія у порівнянні з окремою операцією фрезерування при передпосівному обробітку ґрунту. Крім того, насіння картоплі прикривається свіжим та оптимальної грудкуватості ґрунтом з профрезерованої смуги.

Формування гребеня при заробленні насіння передбачає дві стадії – утворення спочатку малого, а потім фінального великого гребенів, де обґрунтовано використовуються пасивні клинові загортачі.

1.5 Висновки, мета та задачі дослідження

У першому розділі дисертаційної роботи виконано аналіз сучасного стану виробництва картоплі, технологій її посадки та конструктивних рішень картоплесадильних машин. Встановлено, що за умов переважання невеликих фермерських і підсобних господарств основними проблемами залишаються низький рівень механізації, значна трудомісткість операцій передпосадкової підготовки ґрунту й посадки культури, а також недотримання агротехнічних вимог до формування посадкового ложа та локалізації поживних елементів. Це негативно впливає на рівномірність сходів і реалізацію потенційної продуктивності культури.

Огляд існуючих способів посадки картоплі показав, що найбільш поширеним і технологічно доцільним для механізованого обробітку є гребневий спосіб. Водночас ефективність цього способу істотно залежить від структури ґрунту у зоні закладання бульб, його грудкуватості, щільності та вологості. Традиційні технологічні схеми передпосадкової підготовки

ґрунту не завжди забезпечують необхідні умови, особливо на важких і перезволожених ґрунтах, характерних для окремих регіонів України. У таких умовах формування гребеня з неякісно підготовленого ґрунту призводить до швидкого пересихання та погіршення стартових умов росту рослин.

Аналіз конструкцій картоплесадильних машин показав, що прості машини, призначені для агрегування з малопотужними енергозасобами, мають обмежену функціональність і не забезпечують належної якості посадки, тоді як багатофункціональні професійні агрегати є конструктивно складними, енергоємними та економічно недоцільними для використання у малих господарствах. Окремої уваги потребує проблема ефективності садильних апаратів, які часто спричиняють пропуски, подвійне висадження бульб і їх механічне пошкодження, а також питання припосадкового внесення мінеральних добрив, яке здебільшого здійснюється суцільно, без урахування просторової локалізації картопляного гнізда.

У результаті проведеного аналізу обґрунтовано доцільність застосування комбінованого підходу до механізованої посадки картоплі, який передбачає смугове фрезерування ґрунту безпосередньо вздовж осі рядка, формування ущільненого посадкового ложа, дискретне припосадкове внесення мінеральних добрив та використання садильного апарату барабанного типу. Такий підхід створює передумови для зменшення енерговитрат, поліпшення структури ґрунту в зоні розміщення насіння, підвищення рівномірності кроку посадки та зниження травмування бульб.

На основі зроблених у першому розділі висновків сформульовано мету та основні задачі дисертаційного дослідження.

Метою роботи є наукове обґрунтування конструктивних, кінематичних та технологічних параметрів універсальної картоплесадильної машини зі смуговим фрезеруванням ґрунту, дискретним припосадковим внесенням мінеральних добрив і садильним апаратом барабанного типу з метою підвищення якості посадки та енергоефективності технологічного процесу.

Для досягнення поставленої мети в роботі необхідно розв'язати такі задачі дослідження:

обґрунтувати технологічну схему роботи універсальної картоплексадильної машини з поєднанням основних операцій посадкового процесу;

розробити та дослідити математичні моделі взаємодії фрезерного барабана з ґрунтом і визначити раціональні кінематичні параметри смугового фрезерування;

теоретично та експериментально дослідити процес переміщення ґрунтової стружки і її використання для первинного присипання насіння картоплі;

обґрунтувати конструкцію та параметри садильного апарату барабанного типу з урахуванням стохастичного розподілу розмірів бульб і контактної взаємодії;

розробити та дослідити апарат дискретного припосадкового внесення мінеральних добрив і умови його синхронізації з садильним апаратом;

провести експериментальні дослідження робочих органів машини та оцінити її техніко-економічну ефективність у порівнянні з існуючими аналогами.

Сформульовані мета і задачі визначили подальшу структуру та зміст дисертаційної роботи.

Основні наукові результати розділу опубліковані у працях [48, 52, 51, 47, 81, 39].

РОЗДІЛ 2

ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ КАРТОПЛЕСАДИЛЬНОЇ МАШИНИ

2.1 Дослідження параметрів модуля підготовки ґрунту картоплесадильної машини

Технологічний процес виробництва картоплі у невеликих фермерських чи приватних господарствах, в переважній більшості випадків, є слабо механізованим. Наприклад, питання підготовки ґрунту для формування посадкового ложа насіння картоплі, сам процес механізованої посадки розвинуті ще недостатньо. Низьке ресурсне забезпечення процесів агровиробництва у таких господарствах часто є причинами недотримання технологій вирощування культур. Наслідком таких дій є низькі урожаї картоплі у порівнянні з більш потужними виробниками, де технології виробництва і ресурсне забезпечення на вищому рівні. Тому одним з пріоритетних завдань сільськогосподарського машинобудування є розвиток власної лінійки машин для виробництва картоплі у вказаних невеликих господарствах, що забезпечують основний валовий збір картоплі в Україні.

На даний час багато науковців схиляються до думки та констатують, що смугове фрезерування при посадці картоплі є перспективним методом підготовки ґрунту при посадці картоплі. Саме смугове фрезерування зони рядка на глибину посадки картоплі сприяє забезпеченню відповідної грудкуватості для утворення сошником оптимального посадкового ложа для покращення умов розвитку рослини. Крім того, саме такий підхід дозволяє забезпечити значне збереження енергії на виконання фрезерування, оскільки обробітку піддається тільки зона формування борозни [20, 35, 36, 68, 79].

У працях [4, 31, 37, 48, 52] автори демонструють агротехнічну ефективність використання якісної підготовки ґрунту, зокрема смугового

фрезерування, перед посадкою картоплі та порівнюють результати з традиційними способами такої підготовки. Отримані результати мають прямий позитивний вплив на збільшення урожайності картоплі. Інші дослідження [73, 94, 120] вказують на те, що ефективною є комбінована картоплесадильна машина, яка поєднує підготовку ґрунту з одночасною посадкою та підживленням. Такий підхід значно скорочує кількість проходів агрегатів полем та забезпечує оптимальні умови посадки.

В роботах [31] і [35] розвинуті питання щодо взаємодії робочих органів як з ґрунтом, так і самим насінням картоплі, обґрунтовано їх конструктивні та кінематичні параметри, вказано про високий ефект фрезерування на подальше утворення борозен. Проте питання, що стосуються моделювання траєкторії переміщення ґрунтової стружки, її взаємодія з направляючим кожухом та первинне присипання нею насіння картоплі розвинуті ще недостатньо.

Зроблений аналіз літературних джерел підтверджує, що дані питання є досить актуальними та потребують наукового вирішення.

Використання смугового фрезерування в системі картоплесадильного агрегату виконується з метою подрібнення та розпушення поверхневого шару ґрунту на глибину закладання насіння. Крім того, якісна посадка культури залежатиме від того, яким ґрунтом буде прикрите насіння. Тому ідея комбінування робочих органів у картоплесадильному агрегаті полягає в тому, щоб ґрунтова стружка спочатку частково присипала картоплину у сформованій сошником борозні. Цього можна досягнути за рахунок встановлення захисного кожуха на фрезерному барабані. Його функцією є відбивати та направляти ґрунтову стружку, що утворюється при роботі фрезерних ножів, у відкриту борозну. Другим етапом присипання насіння є утворення малого гребеня пасивними загортачами із зони профрезерованої смуги, та остаточне формування гребенів лапами-окучниками ґрунтом із міжрядь [4, 48, 52].

Розглянемо перший етап присипання насіння картоплини – ґрунтовою

стружкою при роботі фрезерного барабану [49, 18].

Щоб змоделювати роботу окремого ножа фрезерного барабану, спочатку потрібно ознайомитись з його геометричними параметрами. Ніж фрези має Г-подібну форму та утворений i -ми ділянками довжиною L_i , які з радіусом фрезерного барабана R утворюють відповідні кути β_i . Такі ножі (правого та лівого вигинів) закріплені на фрезерному барабані, який обертається з кутовою швидкістю ω_b . Фрезерний барабан перебуває у складному русі – він здійснює відносний рух, обертаючись навколо осі у горизонтальній площині, та переносний рух – переміщається разом з машиною. Тобто окремо взята точка ножа утворює радіус-вектор \vec{r} з віссю обертання барабана. Початкове положення розглядуваної точки ножа матиме координати $(x_0(t); y_0)$, тут $x_0(t) = V_m t$ (V_m – поступальна швидкість машини; t – час).

Тоді координати довільної точки різального леза ножа фрези у параметричній формі матимуть вигляд [3]:

$$\begin{cases} x(t) = x_0(t) + (L_1 \cos \beta_1 + L_2 \cos \beta_2 + L_3 \cos \beta_3) \cos \omega_b t; \\ y(t) = y_0 + (L_1 \cos \beta_1 + L_2 \cos \beta_2 + L_3 \cos \beta) \sin \omega_b t, \end{cases} \quad (2.1)$$

де $\omega_b t$ – кут повороту точки ножа барабана, який відрховується від горизонтальної осі прямокутної системи координат;

$L_1 \cos \beta_1, L_2 \cos \beta_2, L_3 \cos \beta_3$ – проєкції ділянок ножа на радіус барабана R , що сполучає розглядувану точку ножа з віссю обертання.

Траєкторія абсолютно руху точки ножа буде геометричною сумою горизонтальної та вертикальної складових переміщення, рис. 2.1.

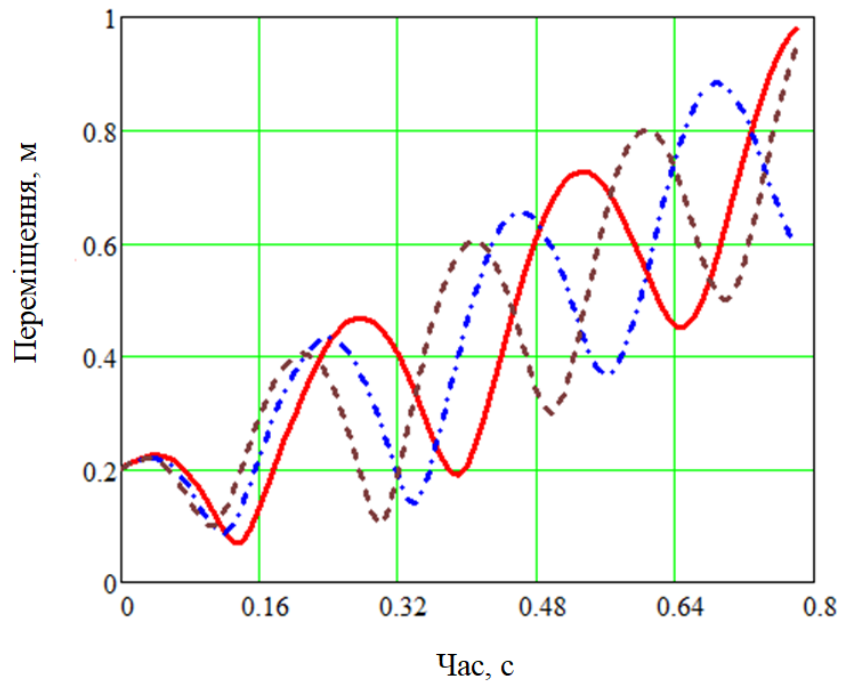


Рисунок 2.1 – Траєкторія абсолютного руху точки ножа при варіюванні його кутової швидкості

Для чисельного розрахунку та з метою встановлення діапазону розрахункових значень було попередньо прийнято такі параметри: радіус фрезерного барабана $R = 0,2$ м; частота його обертання табулюється у межах $230 \dots 300$ об/хв (суцільна лінія відповідає $\omega_b = 24,09$ рад/с; штрих-пунктирна – $\omega_b = 27,75$ рад/с; пунктирна – $\omega_b = 31,42$ рад/с); поступальна швидкість машини $V_m = 1,0$ м/с.

Для розглядуваного процесу необхідно спочатку проаналізувати кінематичні параметри при роботі окремого ножа фрези.

Якщо залежності (2.1) описують положення точки ножа у просторі, то вектор швидкості точки контакту ножа з ґрунтом буде визначатись наступною залежністю

$$\vec{g} = \frac{d\vec{r}(t)}{dt} = \frac{d}{dt} \begin{bmatrix} x(t) \\ y(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dot{x}(t) \\ \dot{y}(t) \end{bmatrix}. \quad (2.2)$$

Знайшовши похідні за часом t для виразів (2.1), отримаємо складові

швидкості точки ножа у розгорнутому вигляді:

$$\begin{cases} \dot{x}(t) = V_m - \omega_b \sin(\omega_b t)(L_1 \cos \beta_1 + L_2 \cos \beta_2 + L_3 \cos \beta_3); \\ \dot{y}(t) = \omega_b \cos(\omega_b t)(L_1 \cos \beta_1 + L_2 \cos \beta_2 + L_3 \cos \beta_3). \end{cases} \quad (2.3)$$

Зміна абсолютної швидкості точки ножа, характеризуватиметься також геометричною сумою горизонтальної і вертикальної складових

$$\mathcal{G}_n = \sqrt{\dot{x}(t)^2 + \dot{y}(t)^2}. \quad (2.4)$$

Тепер необхідно проаналізувати поведінку частинки, яка буде безперешкодно рухатись, зійшовши з кромки ножа. Розглянемо такий рух як вільний політ частинки кинуті під кутом.

Початкову швидкість вильоту частинки з ножа можна представити у загальному вигляді залежністю

$$\mathcal{G}_0 = k \mathcal{G}_n, \quad (2.5)$$

де $k \in [0,5; 0,9]$ – коефіцієнт, що характеризує передачу енергії від ножа до частинки, він залежить від властивостей ґрунту. В даному дослідженні приймемо його $k = 0,8$.

Оскільки в цій моделі поки не накладені інші в'язі, то траєкторію польоту спочатку проаналізуємо за класичними виразами вільного польоту частинки, що кинута під кутом до горизонту [19]:

$$x_\alpha(t) = x_{0\alpha} + \mathcal{G}_{0\alpha} \cdot \cos \alpha \cdot t; \quad (2.6)$$

$$y_\alpha(t) = y_{0\alpha} + \mathcal{G}_{0\alpha} \cdot \sin \alpha \cdot t - 0,5gt^2, \quad (2.7)$$

де $x_{0\alpha}$, $y_{0\alpha}$ – координати початкової точки відриву частинки з ножа;

α – кут вильоту частинки ($t = t_{0\alpha}$)

$$\alpha = \arctan\left(\frac{\dot{y}(t)}{\dot{x}(t)}\right) \quad (2.8)$$

Такою точкою відриву (з кінематичної точки зору) будемо вважати момент виходу ножа з ґрунту при його роботі на глибині обробітку h (приймемо $h = 0,08$ м).

Виходячи з цього, необхідно знайти таке положення фрезерного барабана $\varphi_{0\alpha} = \omega_b t_{0\alpha}$ або час $t_{0\alpha}$, при якому розглядувана точка буде на межі поверхні ґрунту. Це положення буде відповідати початковій координаті вильоту частинки ґрунту – $(x_{0\alpha}; y_{0\alpha})$.

Таке положення доцільно визначати, скориставшись залежністю, що поєднує центральний кут θ кола радіусом R (траєкторії руху точки ножа) з висотою h (глибиною фрезерування) утвореного сегмента цього кола.

Центральний кут θ при цьому буде становити

$$\theta = 2 \arccos\left(1 - \frac{h}{R}\right). \quad (2.9)$$

Тоді половина довжини хорди цього сегмента, що відповідає горизонтальному переміщенню ножа, буде складати

$$x_h = R \sin \frac{\theta}{2}. \quad (2.10)$$

На основі першої залежності (2.1) запишемо вираз для віднаходження часу $t_{0\alpha}$

$$t_{0\alpha} = \frac{1}{\omega_{b\alpha}} \arccos\left(\frac{x_h}{R}\right), \quad (2.11)$$

де $\omega_{b\alpha}$ – кутова швидкість фрезерного барабана, при якій визначено час виходу ножа з ґрунту при заданій глибині обробітку h .

Координати точки відриву будуть:

$$x_{0\alpha} = R \cos(2\pi - \omega_{b\alpha} t_{0\alpha}); \quad (2.12)$$

$$y_{0\alpha} = R \sin(2\pi - \omega_{b\alpha} t_{0\alpha}). \quad (2.13)$$

Отримані значення координати точки відриву залежать від положення ножа з врахування, того, що він у IV квадранті координатної осі виходить з ґрунту при глибині обробітку h , рис. 2.2

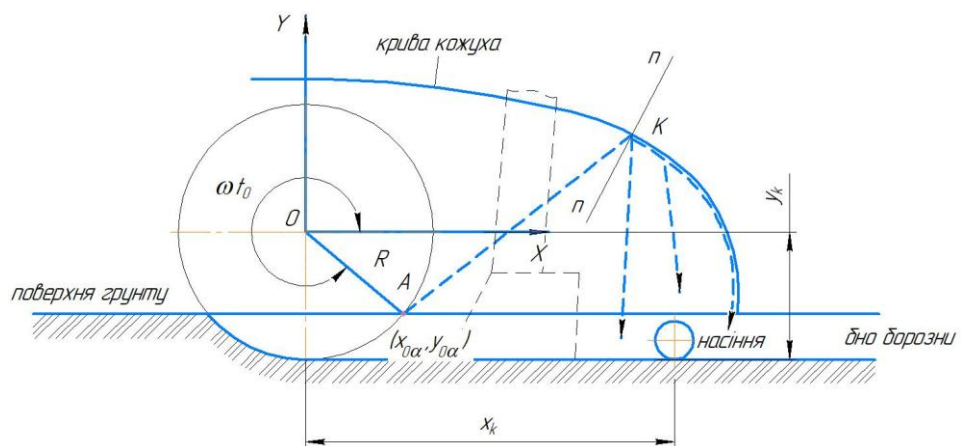


Рисунок 2.2 – Схема до розрахунку взаємодії ґрунтової стружки з кожухом

Позначимо $2\pi - \omega_{b\alpha} t_{0\alpha} = \varphi_{0\alpha}$ як кут відриву частинки.

Складові початкової швидкості будуть визначатись у положенні ножа, що відповідає початку вильоту частинки

$$v_{x0\alpha} = -\omega_b R \sin \varphi_{0\alpha}; \quad (2.14)$$

$$\mathcal{G}_{y_{0\alpha}} = \omega_b R \cos \varphi_{0\alpha}. \quad (2.15)$$

У загальному момент виходу ножа на поверхню ґрунту буде характеризуватися швидкістю \mathcal{G}_0 – початковою швидкістю польоту частинки під кутом α до горизонту, позначимо її через $\mathcal{G}_{0\alpha}$. Це геометрична сума горизонтальної та вертикальної складових швидкостей в момент часу $t_{0\alpha}$

$$\mathcal{G}_{0\alpha} = k \sqrt{\dot{x}(t_{0\alpha})^2 + \dot{y}(t_{0\alpha})^2}. \quad (2.16)$$

Для визначення кута α , під яким вилітає частинка, вираз (2.8) перепишемо у вигляді

$$\alpha = \arctan\left(\frac{\dot{y}(t_{0\alpha})}{\dot{x}(t_{0\alpha})}\right) \quad (2.17)$$

Отримавши значення кута α , можна записати горизонтальну та вертикальну складові переміщень при вільному польоті частинки ґрунту, що вилітає з-під ножа фрезерного барабану на основі залежностей (2.6) і (2.7). Графічні інтерпретації складових траєкторії вільного польоту частинки покажемо на рис. 2.3.

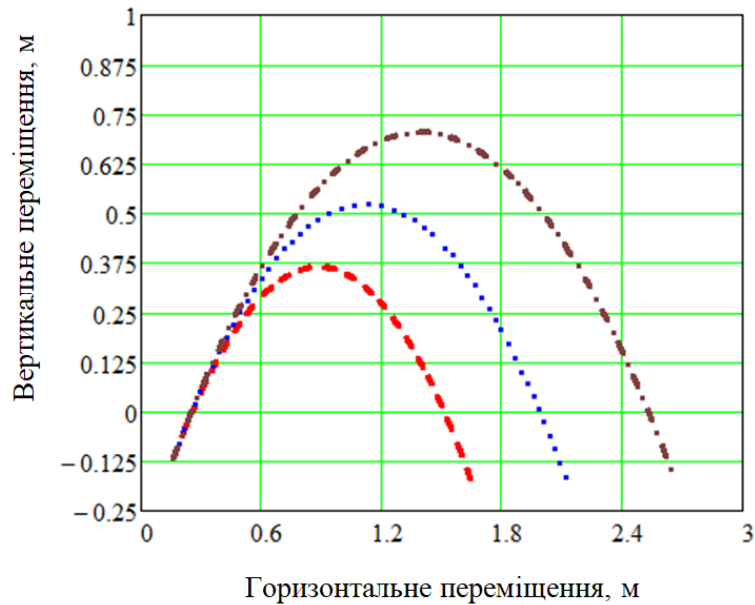


Рисунок 2.3 – Траєкторії вільного польоту ґрунтової стружки

Таким чином, на цьому етапі дослідження встановлено основні залежності, що характеризують вільний політ частинки ґрунту – ґрунтової стружки при роботі фрезерного барабана, побудовано траєкторії вільного польоту при заданій частоті обертання робочого органу.

Повертаючись до основної мети, – можливості присипання насіння картоплі утвореною ґрунтовою стружкою, підсумуємо процес, який відбувається:

- ґрунт з-під ножа рухається по параболічній траєкторії;
- частинки вдаряються об кожух радіусом кривизни R_k з центром, що має координати x_{0k}, y_{0k} ;
- після удару об кожух частинка або відбивається, або, ковзаючи, осипається та попадає у певну точку падіння x_f .

Тому є необхідність підібрати таку форму кожуха та його розміщення, щоб основна маса осипаних чи відбитих ґрунтових частинок попадали в зону розміщення насіння картоплі, тобто

$$x_f \in [x_k - \delta_3, x_k + \delta_3], \quad (2.18)$$

тут маємо, що x_k – координата розміщення насіння картоплі, $\pm \delta_s$ – межі зони присипання.

Наступним етапом дослідження є встановлення поведінки частинки після зіткнення з направляючим кожухом.

Саме зіткнення ґрунтової частинки і кожуха відбувається в момент, коли

$$y_\alpha(t) = f(x(t)). \quad (2.19)$$

За умовою (2.19) знаходимо час зіткнення.

У залежності від того, в якій точці кривизни кожуха відбудеться їх зіткнення залежатиме подальша траєкторія руху частинки.

При зіткненні з криволінійною поверхнею кожуха вектор швидкості розкладається на дві складових:

нормальну компоненту

$$\vec{g}_n = (\vec{g} \cdot \vec{n}) \vec{n}; \quad (2.20)$$

тангенційну

$$\vec{g}_t = \vec{g} - \vec{g}_n, \quad (2.21)$$

де \vec{n} – одиничний вектор нормалі до поверхні в точці удару.

Тоді після співударяння частинка матиме нову швидкість, яка буде визначатись виразом

$$\vec{g}_s = -e \vec{g}_n + \mu \vec{g}_t, \quad (2.22)$$

де e – коефіцієнт відновлення, що характеризує еластичність удару, який

лежить в межах $e \in [0,1]$;

μ – коефіцієнт тертя ґрунтової стружки по поверхні кожуха.

Якщо швидкість недостатня після відбиття утворити нову параболічну траєкторію польоту, то вона просто осипається або скочується по поверхні кожуха.

Її прискорення буде складати

$$\frac{d\vartheta_s}{dt} = g \sin \theta_k - \mu g \cos \theta_k, \quad (2.23)$$

де θ_k – локальний нахил кожуха в точці.

Якщо проаналізувати сам процес присипання закладеної картоплини у борозні, то він є неперервним. Вирізання та осипання ґрунтової стружки відбувається постійно, оскільки машина переміщається у поступальному русі. Ґрунтом присипається не тільки закладене насіння, а й заповнюється розкрита сошником борозна. Тому окреслену задачу в кінцевому результаті можна звузити до перевірки кривизни та розташування направляючого кожуха, поставивши умову ідеалізованого відбивання від його поверхні ґрунтової частинки в даний момент часу та при направленні її в цільову зону. Це зробимо з метою уникнення повернення частинки після її відбиття назад у зону фрезерування. Частинки, які не забезпечуватимуть умови ідеального відбивання, будуть осипатися по поверхні кожуха, який фізично направлятиме їх у борозну.

Це означає, що геометрія кожуха повинна унеможливити зворотне відбивання частинки, а направити її у цільову зону. Розглядаючи локальний момент часу, відбита частинка, що досягнула рівня борозни, повинна мати координати $[x_k - \delta_z, y_k]$, тобто нова траєкторія повинна проходити через цю точку. Тому доцільно розглянути обернену задачу, що полягає у віднаходженні такого положення частини кривої кожуха, щоб точки контакту розсіяних траєкторій польоту ґрунтової стружки, відбиваючись потрапили у

цільову зону. Для цього проаналізуємо початкові умови для утворення траєкторії руху відбитої частинки.

Знайдемо точку співударяння частинки, що рухається параболічною траєкторією з кожухом заданої кривизни

$$\begin{cases} x_{\alpha}(t) = x_{0\alpha} + \mathcal{G}_{0\alpha} \cdot \cos \alpha \cdot t; \\ y_{\alpha}(t) = y_{0\alpha} + \mathcal{G}_{0\alpha} \cdot \sin \alpha \cdot t - 0,5gt^2; \\ y(t) = f(x(t)). \end{cases} \quad (2.24)$$

На основі системи (2.24) отримаємо нелінійне рівняння відносно часу t

$$y_{0\alpha} + \mathcal{G}_{0\alpha} \cdot \sin \alpha \cdot t - 0,5gt^2 = f(x_{0\alpha} + \mathcal{G}_{0\alpha} \cdot \cos \alpha \cdot t). \quad (2.25)$$

Його розв'язок найпростіше реалізувати чисельним методом, але перед тим задати криву, що буде описувати перетин кожуха. Найбільш практичною функцією може бути поліноміальна крива, наприклад 3-го степеня

$$y(t) = f(a_3x(t)^3 + a_2x(t)^2 + a_1x(t) + a_0), \quad (2.26)$$

де a_i – коефіцієнти, що дозволяють забезпечити задану кривизну на визначених ділянках поліноміальної кривої ($i = 0...3$).

Коренем рівняння (2.25) при врахування (2.26) буде час $t = t_K$, який відповідає моменту та точці співударяння, тобто $K = (x(t_K), y(t_K))$.

Дотичною до кривої (2.26) в т. K буде її похідна

$$f'(x) = \frac{dy}{dx} = 3a_3x^2 + 2a_2x + a_1. \quad (2.27)$$

Залежність (2.27) виражає нахил дотичної у будь-якій точці x на кожусі.

Кут дотичної у т. K

$$\theta_t = \operatorname{arctg}(f'(x_K)), \quad (2.28)$$

відповідно кут нормалі

$$\theta_n = \theta_t + \frac{\pi}{2}. \quad (2.29)$$

Тоді за відомою швидкістю в т. K $\vec{g}_K = (g_x, g_y)$, кут її руху буде складати

$$\theta_K = \operatorname{arctg}2(g_x, g_y). \quad (2.30)$$

У постановці завдання, було прийнято, що частинка матиме ідеальне відбивання – це відповідає максимально відхиленій траєкторії, з якою частинка може відбиватись у сторону зони фрезерування, тоді кут відбивання частинки в т. K становитиме

$$\theta'_K = 2\theta_n - \theta_K. \quad (2.31)$$

Отримане значення кута відбивання θ'_K , швидкість в т. K та її координати є початковими умовами виникнення траєкторії польоту частинки після відбиття до приземлення на поверхні ґрунту. Побудову траєкторії руху можна реалізувати за залежностями, що аналогічні до (2.6), (2.7).

Аналізуючи отримані траєкторії польоту частинки, рис. 2.3, видно, що

їх ділянки до співударення з кожухом мають майже прямолінійний характер. На основі цього та, використовуючи залежність (2.26), у першому наближенні можна отримати форму кожуха, при якій буде задовольнятися умова цільового направлення ґрунтової стружки, рис. 2.4.

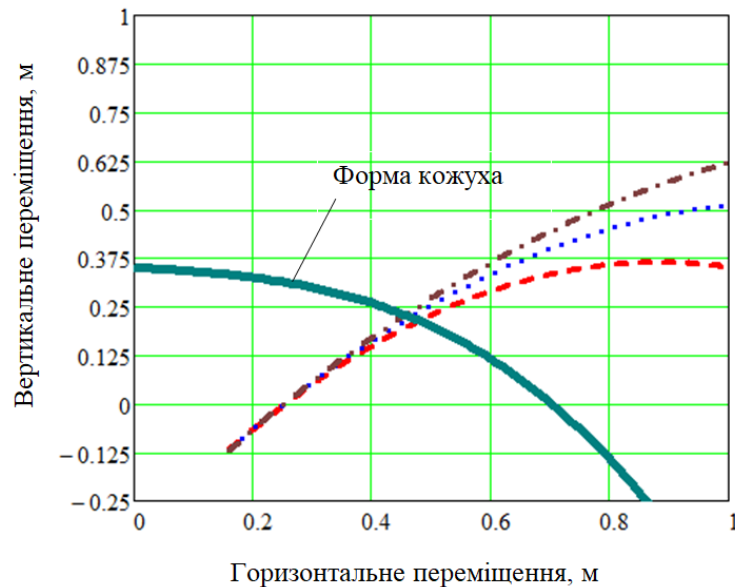


Рисунок 2.4 – Графічні залежності для дослідження форми кожуха

На рис. 2.4 штрих-пунктирною, лінією, що утворена крапками та пунктирною показані траєкторії польоту ґрунтової частинки відповідно до рис. 2.3, а суцільною потовщеною лінією – криву, що описує форму кожуха.

Аналітичний вираз кривої кожуха має вигляд

$$y(x) = -0,78x^3 - 0,034x^2 - 0,089x + 0,35. \quad (2.32)$$

Коригування коефіцієнтів a_i , або навіть використання поліномів вищих порядків, дозволить підібрати таку форму кривої кожуха або його ділянки, що забезпечуватиме спрямування ґрунтової стружки у цільову зону. А це означає, що за такого підходу можна у конструкції картоплесадильної машини досягнути ефекту первинного присипання насіння картоплі при смуговому фрезеруванні площі посадки

2.2 Обґрунтування раціональних кінематичних параметрів фрезерного барабана

Для визначення раціональних кінематичних параметрів фрезерного барабана потрібно розглянути процес взаємодії фрезерного барабана з ґрунтом, а точніше саме ножа фрези із середовищем обробки.

Цей процес будемо розглядати як нестационарний, де ніж взаємодіє з дисперсно-зв'язаним середовищем та здійснює складний рух. Силіві та енергетичні параметри процесу є змінними у часі та залежними від кута повороту ножа.

Кінематичні параметри ножа описуються залежностями (2.1)-(2.3). Для моделі формування ґрунтової стружки скористаємося відомими відходами [82] та запишемо вираз, що пов'язує товщину стружки з нормальною складовою відносного переміщення ножа

$$h(\varphi) = \frac{g_n}{\omega_b z_n} \sin \varphi, \quad \varphi \in [\varphi_1, \varphi_2], \quad (2.33)$$

де φ_1, φ_2 – кути входу і виходу ножа з ґрунту.

Для характеристики зміни товщини стружки у процесі її вирізання застосуємо вираз її похідної за кутом повороту ножа

$$\frac{dh}{d\varphi} = \frac{g_n}{\omega_b z_n} \cos \varphi. \quad (2.34)$$

Якщо похідна має ненульове значення, то це свідчить про нестационарний характер утворення стружки, а це, в свою чергу, вказує на те, що по ходу переміщення ножа навантаження є змінним.

Знак і величина похідної вказують на фазу процесу різання: якщо $\frac{dh}{d\varphi} > 0$ – це означає, що товщина стружки збільшується, опір наростає; якщо $\frac{dh}{d\varphi} = 0$ – відповідає максимальній товщині стружки і відповідно максимальному опору ґрунтового середовища; $\frac{dh}{d\varphi} < 0$ – зменшення товщини стружки, вихід ножа.

Виходячи з його можна записати вираз елементарної сили різання, яка діє на елементарну довжину dl леза ножа фрези

$$dF = k(h)h(\varphi)dl, \quad (2.35)$$

де $k(h)$ – коефіцієнт питомого опору різанню.

Якщо взяти за основу основні положення теорії М.Г. Беккера та інших авторів [82, 110] щодо взаємодії робочих органів з ґрунтом, то процес різання ґрунту супроводжується складним напружено-деформованим станом самого ґрунтового масиву. Там спостерігаються зони зсуву, ущільнення та руйнування. При вирізання ґрунтової стружки ножом фрези, основним механізмом руйнування слугує зсув ґрунтових частинок вздовж поверхні ковзання. Також важливим висновком є те, що на опір проникнення ножа впливає не лише його геометрія, а й товщина стружки, що вирізається. Фізико-механічні властивості ґрунту розуміємо за замовчуванням. Сам процес відділення стружки виникає за таким алгоритмом: перед лезом ножа утворюється зона ущільнення, вона, переважно, має клиноподібну форму (тут ґрунт зазнає пружнопластичних деформацій); коли напруження зсуву набувають граничних значень – проходить руйнування на межі відокремлюваного пласта заданої товщини. Беккером було доведено, що товщина стружки, що вирізається має прямий вплив на енергоємність процесу. І тут потрібно зауважити наступне: малі товщини стружки мають

більші питомі енергетичні затрати, оскільки тут переважають ущільнення та зминання; більша товщина вирізання стружки сприяє більш вираженому процесу руйнування – зсувом (утворюється стінка поверхні ковзання). Тому товщина стружки, що вирізається з ґрунтового пласту, є одним із параметрів, який визначає силу різання, а отже і енергетичні витрати на процес фрезерування ґрунту.

Тому коефіцієнт питомого опору різанню може бути представлений у вигляді виразу

$$k(h) = k_0 h^{-m}, \quad 0 < m < 1. \quad (2.36)$$

На основі цього елементарна сила різання буде складати

$$dF = k_0 h^{1-m}(\varphi) dl. \quad (2.37)$$

Якщо вираз (2.37) інтегрувати по активній довжині різальної кромки b , можна отримати залежність для миттєвої сили різання

$$F(\varphi) = k_0 b \left(\frac{g_n}{\omega_b z_n} \sin \varphi \right)^{1-m}. \quad (2.38)$$

де m – показник нелінійності питомого опору різанню.

Цей коефіцієнт m є показником степеневі залежності питомого опору різанню від товщини ґрунтової стружки та характеризує масштабний ефект різання. Його значення відображає зміну механізму руйнування ґрунту – від зминання при малій товщині стружки до переважного зсуву при її збільшенні. Його значення визначають експериментально: для малозв'язаних ґрунтів – 0,2-0,4; для зв'язаних ґрунтів – 0,4-0,7.

Розглядаючи роботу одного ножа, його миттєвий момент опору буде складати

$$M(\varphi) = F(\varphi)R. \quad (2.39)$$

Відповідно для z_n ножів, що одночасно контактують з ґрунтом, сумарний момент опору складе

$$M_{\Sigma}(\varphi) = \sum_{i=1}^{z_n} M(\varphi_i). \quad (2.40)$$

Середній момент опору за один оберт барабана

$$\bar{M} = \frac{1}{\varphi_2 - \varphi_1} \int_{\varphi_1}^{\varphi_2} k_0 b R \left(\frac{g_n}{\omega_b z_n} \sin \varphi \right)^{1-m} d\varphi. \quad (2.41)$$

Цей інтеграл не має елементарного розв'язку при довільному m , оскільки процес досить складний, а тому найраціональніше розв'язок реалізувати чисельним методом.

Маючи момент опору, нескладно перейти визначення потужності. Миттєва потужність процесу складе

$$N(\varphi) = \omega_b M_{\Sigma}(\varphi). \quad (2.42)$$

Відповідно загальний вираз середньої потужності буде мати вигляд

$$\bar{N} = \omega_b \bar{M}. \quad (2.43)$$

В розгорнутому вигляді

$$\bar{N} = \frac{\omega_b k_0 b R}{\varphi_2 - \varphi_1} \int_{\varphi_1}^{\varphi_2} \left(\frac{\mathcal{G}_n}{\omega_b z_n} \sin \varphi \right)^{1-m} d\varphi. \quad (2.44)$$

Аналізуючи вираз (2.44), бачимо, що він встановлює інтегральний зв'язок між кінематичними та енергетичними параметрами при фрезеруванні.

Прагнучи віднайти залежності для раціональних кінематичних параметрів фрезерного барабана, потрібно оцінити їх питомі впливи на споживану потужність.

Таку оцінку проведемо, скориставшись частинними похідними середньої потужності:

– за кутовою швидкістю

$$\frac{\partial \bar{N}}{\partial \omega_b} \cong \omega_b^{m-1}, \quad (2.45)$$

– за поступальною швидкістю агрегату

$$\frac{\partial \bar{N}}{\partial \mathcal{G}} \cong \mathcal{G}^{-m}. \quad (2.46)$$

Аналізуючи вирази (2.45) та (2.46), можемо бачити, що зі збільшенням кутової швидкості фрезерного барабана енергетичні затрати швидше зростають, ніж при збільшенні поступальної швидкості агрегату.

У математичному плані, для оцінки раціональних кінематичних параметрів фрезерного барабана доцільно перейти до безрозмірної форми рівнянь.

Класичним підходом є використання показника кінематичного режиму роботи фрези

$$\lambda = \frac{\omega_b \mathcal{G}_b}{R}. \quad (2.47)$$

Тоді вираз (2.44) можна переписати у наступному вигляді

$$\bar{N} = k_0 b R^m z_n^{m-1} \mathcal{G}_n \cdot \lambda^m \cdot C_m, \quad (2.48)$$

де C_m – безрозмірний інтегральний коефіцієнт, що залежить від геометрії контакту та показника m ,

$$C_m = \frac{1}{\Delta\varphi} \int_{\varphi_1}^{\varphi_2} (\sin \varphi)^{1-m} d\varphi. \quad (2.49)$$

Таким чином, енергетичні затрати на процес фрезерування у безрозмірній формі описується степеневою функцією, що залежить від параметра λ .

Для встановлення оптимальної кутової швидкості фрезерного барабана потрібно врахувати всі затрати енергії на процес.

Загальна потужність процесу фрезерування складає

$$\bar{N}_\Sigma = \bar{N}_{\text{різ}}(\lambda) + \bar{N}_{\text{вт}}(\omega_b), \quad (2.50)$$

де $\bar{N}_{\text{різ}}$ – потужність, що затрачається безпосередньо на процес різання;

$\bar{N}_{\text{вт}}$ – потужність, що затрачається на подолання інерційних сил і моментів, втрати через тертя у підшипниках та відкидання ґрунтової стружки.

Основні вирази, що описують вказані потужності, є висвітлені в ряді праць [110, 82, 111, 112, 113, 114] та розроблені ще Горячкіним

$$\bar{N}_{em} = a\omega_b^2, \quad (2.51)$$

де a – коефіцієнт втрат;

Тоді загальна потужність складе

$$\bar{N}_{\Sigma}(\omega_b) = A\omega_b^m + a\omega_b^2, \quad (2.52)$$

де $A = k_0 b R z_n^m \mathcal{G}_n^{1-m}$.

Тепер, щоб знайти оптимальне значення кутової швидкості барабана, потрібно встановити екстремум функції $\bar{N}_{\Sigma}(\omega_b)$

$$\frac{d\bar{N}_{\Sigma}}{d\omega_b} = Am\omega_b^{m-1} + 2a\omega_b. \quad (2.53)$$

Прирівняємо знайдену похідну до нуля

$$Am\omega_b^{m-1} + 2a\omega_b = 0. \quad (2.54)$$

Для значень $\omega_b \neq 0$, матимемо

$$\omega_b^{m-2} = \frac{2a}{Am}. \quad (2.55)$$

Оскільки $0 < m < 1$, то ліва частина виразу (2.55) є спадною функцією, а знак « \leftarrow » вказує на наявність єдиного мінімуму функції енергетичних затрат на процес фрезерування.

Якщо значення єдине, то можна стверджувати, що таке значення кутової швидкості барабана буде оптимальним зазначенням

$$\omega_{b \text{ onm}} = \left(\frac{Am}{2a} \right)^{\frac{1}{2-m}}. \quad (2.56)$$

При переході до безрозмірної форми, використовуючи показник кінематичного режиму роботи фрезерного барабана, отримаємо його наступний вираз

$$\lambda_{onm} = \frac{\omega_{b \text{ onm}} R}{\mathcal{G}_b} = \left(\frac{k_0 b R^{3-m} z_n^m m}{2a \mathcal{G}_n^m} \right)^{\frac{1}{2-m}}. \quad (2.57)$$

Отриманий вираз (2.57) є основним результатом дослідження фрезерного модуля. Він не залежний від часу, враховує властивості ґрунту, пов'язує геометрію ножа фрези із енергетичними затратами, дозволяє обґрунтовувати раціональні режими фрезерування при підготовці площі під посадку картоплі.

2.3 Обґрунтування конструктивно-технологічних параметрів комірки вичерпуючого барабана з врахуванням стохастичного розподілу бульб та контактної взаємодії

Технології вирощування сільськогосподарських культур містять багато технологічних операцій, які мають різну ступінь трудомісткості, особливо при застосування ручної праці. Виробництво картоплі якраз відноситься до таких культур, де використання ручної праці займає досить велику питому частку [6, 68].

До найбільш трудомістких операцій виробництва картоплі відноситься технологічна операція посадки. Аналізуючи ринок таких машин, бачимо що

промисловість випускає досить багато різних марок та типів картоплесадильних машин, які є досить технологічно ефективними та мають свої переваги і недоліки. Разом з тим для науковців і практиків залишається відкритим питання раціональної конструкції картоплесадильного апарату. Саме вичерпуючий робочий орган – це один із основних елементів механізму посадки картоплі. На практиці можна спостерігати багато конструктивних рішень таких апаратів основ їх розрахунку [12, 13, 17, 20, 25, 30, 29, 32, 34, 35, 36, 37, 120,14, 15] – це елеваторні, комірчасто-дискові, чашково-дискові, трубчасто-пальчасті, голчасто-дискові апарати, ложково-барабанні з комірками, пневматичні тощо. Робота таких органів вирізняється тим, що прості у конструктивному виконанні апарати менш ефективні у технологічному плані, а ефективні, навпаки, складні конструктивно та відповідно дороговартісні.

Рішення щодо обґрунтування конструкцій картоплесадильних апаратів можна спостерігати у ряді праці науковців, які розвивали дану тематику, зокрема [11, 22, 30, 34, 73, 95, 97, 124].

Тому, після аналізу наведених рішень приходимо до висновку щодо необхідності розробки нової конструкції посадочного апарату барабанного типу в системі запатентованого способу посадки картоплі [39].

Запропоноване концептуальне рішення способу посадки картоплі, що висвітлене у роботах [39, 52], потребує розвитку в частині створення ефективного і простого вичерпуючого апарату для посадки насіння картоплі. Перш ніж перейти до самого садильного апарату, потрібно зауважити, що конструкція картоплесадильної машини зорієнтована на роботу у невеликих господарствах і вона повинна забезпечувати змінний крок посадки картоплі у рядку. Це питання, в даному контексті, успішно є вирішеним при використанні колеса змінного діаметру [50] (додаток В), що дозволяє при певному налаштуванні за один його оберт проходити машині різні відстані, в залежності від того можна встановлювати відмінні кроки посадки культури.

При посадці картоплі одним з основних робочих органів є вичерпуючий барабан посадочного апарату [45, 47]. Його конструкцію було розроблено спеціально для універсальної картоплесадильної машини, рис. 2.5.

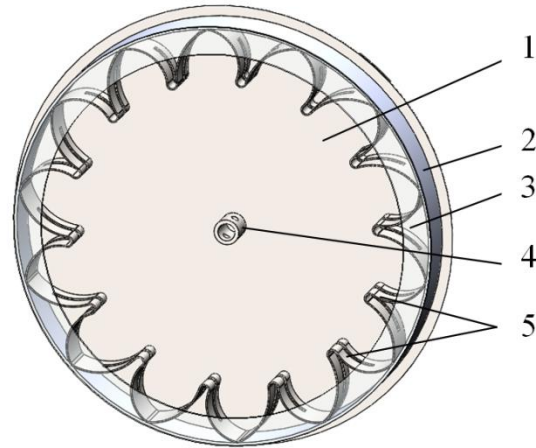


Рисунок 2.5 – Загальний вигляд вичерпуючого барабана картоплесадильного апарату

Барабан складається з диска заднього 1, обруча 2, диска обмежувального 3, маточини 4 та вичерпуючих комірок 5.

При такій конструкції барабана заповнення комірок 5 насінням картоплі буде гарантованим, оскільки вичерпуючі комірки 5 розміщені радіально, обмежені заднім 1 та обмежувальним 3 дисками і проходять під невеликим шаром картоплі, що поступає з бункера (рис. 2.5 бункер не показано). Особливістю конструкції барабана є те, що заповнення комірок 5 відбувається у нижній частині барабана та з внутрішньої його сторони, тобто при наявності насіння в бункері комірки 5 є зразу засипаними насінням. При обертанні барабана бульби транспортуються, будучи захопленими окремими комітками, виносяться на деякий кут, а потім під власною вагою у верхній частині випадають у насінепровод. Момент випадання можна регулювати встановленням обмежувальних елементів.

На даному етапі дослідження задача полягає в теоретичному обґрунтуванні геометрії комірки вичерпуючого барабана картоплесадильного апарату з метою ефективного захоплення, транспортування та можливості у

заданий момент випадання бульб. Причому, при протіканні цього процесу потрібно унеможливити механічне пошкодження бульб при обертанні барабана.

Перейдемо до створення математичної моделі.

Спочатку потрібно змодельовати саму картоплину, яка має транспортуватися цим апаратом.

В найбільш загальному випадку картоплину можна представити як еліпсоїд обертання [7]

$$\frac{x^2}{a_e^2} + \frac{y^2}{b_e^2} + \frac{z^2}{b_e^2} = 1, \quad (2.58)$$

де a_e – велика вісь еліпсоїда;

b_e – мала вісь;

Маса такої картоплини у формі еліпсоїда буде складати

$$m = \rho \frac{4}{3} \pi a_e b_e^2, \quad (2.59)$$

де ρ – густина картоплі.

Для моделювання процесу можливих рухів картоплини відносно площини комірки (кочення, ковзання) запишемо вирази моментів інерції відносно великої та поперечної осей:

$$I_x = \frac{2}{5} m b_e^2, \quad (2.60)$$

$$I_y = I_z = \frac{1}{5} m (a_e^2 + b_e^2). \quad (2.61)$$

Аналізуючи вирази (2.60) і (2.61) видно, що момент інерції $I_y > I_x$, оскільки $a_e > b_e$.

Звідси випливає досить важливий висновок: картоплині (бульбі) легше обертатись відносно великої осі, аніж перекидатися. Винятком будуть бульби форми, що близька до кулеподібної, але тільки деякі сорти мають таку наближену форму.

В узагальнених координатах картоплина має три ступені вільності :

- положення разом з барабаном, що визначається його кутом повороту φ_σ ;
- локальне положення еліпсоїда, нахил його довгої осі, θ_e ;
- обертання навколо довгої осі, що визначається кутом ψ_e .

Таким чином, положення картоплини визначається трьома координатами $q = (\varphi_\sigma, \theta_e, \psi_e)$.

Поведінку картоплини на криволінійній поверхні комірки доцільно описати при застосуванні рівняння Лагранжа.

Для запису загального виразу кінетичної енергії картоплини, спочатку запишемо вирази складових.

Кінетична енергія поступального руху центра мас картоплини [101]

$$T_{цм} = \frac{1}{2} m (R \dot{\varphi}_e)^2, \quad (2.62)$$

де R – радіус барабана.

Кінетична енергія, що виникає при обертвовому русі

$$T_{об} = \frac{1}{2} (I_x (\psi_e + \dot{\varphi} \cos \theta_e)^2 + I_y \dot{\theta}_e^2 + I_z (\dot{\varphi}_\sigma \sin \theta_e)^2). \quad (2.63)$$

Тоді повна кінетична енергія буде складати

$$T = \frac{1}{2} \left(mR^2 \dot{\varphi}_\sigma^2 + I_x (\psi_e + \dot{\varphi}_\sigma \cos \theta_e)^2 + I_y \dot{\theta}_e^2 + I_z (\dot{\varphi}_\sigma \sin \theta_e)^2 \right). \quad (2.64)$$

Тепер запишемо вираз для потенціальної енергії картоплини, відлік кута φ_σ будемо відраховувати від нижнього положення барабана

$$V = mgR(1 - \cos \varphi). \quad (2.65)$$

Функцію Лагранжа запишемо у такому вигляді

$$L = T - V, \quad (2.66)$$

або у розгорнутому вигляді

$$L = \frac{1}{2} \left(mR^2 \dot{\varphi}_\sigma^2 + I_x (\psi_e + \dot{\varphi}_\sigma \cos \theta_e)^2 + I_y \dot{\theta}_e^2 + I_z (\dot{\varphi}_\sigma \sin \theta_e)^2 \right) - mgR(1 - \cos \varphi_\sigma). \quad (2.67)$$

Тоді рівняння Лагранжа матиме вигляд

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial L}{\partial \dot{q}_i} \right) - \frac{\partial L}{\partial q_i} = Q_i, \quad (2.68)$$

де Q_i – узагальнені сили тертя.

Далі запишемо вираз для часткових похідних за відповідними координатами $q = (\varphi_\sigma, \theta_e, \psi_e)$:

– часткові похідні за кутом повороту барабана φ_σ :

$$\frac{\partial L}{\partial \dot{\varphi}_\sigma} = mR^2 \dot{\varphi}_\sigma + I_x (\dot{\psi}_e + \dot{\varphi}_\sigma \cos \theta_e) \cos \theta_e + I_y \dot{\varphi}_\sigma \sin^2 \theta_e; \quad (2.69)$$

– похідна за часом t

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial L}{\partial \dot{q}_i} \right) = mR^2 \ddot{\phi}_\sigma + I_x [\ddot{\psi}_e \cos \theta_e + \ddot{\phi}_\sigma \cos^2 \theta_e - \dot{\phi}_\sigma \dot{\theta}_e \sin \theta_e \cos \theta_e] + \dots \quad (2.70)$$

$$+ I_y (\ddot{\phi}_\sigma \sin^2 \theta_e + 2\dot{\phi}_\sigma \dot{\theta}_e \sin \theta_e \cos \theta_e);$$

– потенціальна енергія

$$\frac{\partial L}{\partial \phi_\sigma} = -mgR \sin \phi_\sigma; \quad (2.71)$$

– похідна по θ_e

$$I_y \ddot{\theta}_e - I_x \dot{\phi}_\sigma (\dot{\psi}_e + \dot{\phi}_\sigma \cos \theta_e) \sin \theta_e + I_y \dot{\phi}_\sigma^2 \sin \theta_e \cos \theta_e = Q_\theta; \quad (2.72)$$

– похідна по ψ_e

$$\frac{d}{dt} [I_x (\dot{\psi}_e + \dot{\phi}_\sigma \cos \theta_e)] = Q_\psi; \quad (2.73)$$

або у розгорнутому вигляді

$$I_x \ddot{\psi}_e + I_x \ddot{\phi}_\sigma \cos \theta_e - I_x \dot{\phi}_\sigma \dot{\theta}_e \sin \theta_e = Q_\psi. \quad (2.74)$$

Наведені рівняння згрупуємо за коефіцієнтами при прискореннях та отримуємо матричну систему рівнянь другого порядку

$$M(q)\ddot{q} + C(q, \dot{q}) + G(q) = Q, \quad (2.75)$$

де $M(q)$ – матриця мас,

$$M(q) = \begin{pmatrix} mR^2 + I_x \cos^2 \theta_e + I_y \sin^2 \theta_e & 0 & I_x \cos \theta_e \\ 0 & I_y & 0 \\ I_x \cos \theta_e & 0 & I_x \end{pmatrix}, \quad (2.76)$$

аналіз цієї матриці показує, що діагональні елементи – інерція відповідного руху; позадіагональні відповідають за зв'язок між обертанням і рухом в барабані. Система нелінійна. На це вказує залежність від локального кута θ ; $C(q, \dot{q})$ – вектор, що містить коріолісові члени, гіроскопічні зв'язки, добутки швидкостей, наприклад

$$2\dot{\varphi}_\sigma \dot{\theta}_e (I_y - I_x) \sin \theta_e \cos \theta_e - I_x \dot{\psi}_e \dot{\theta}_e \sin \theta_e; \quad (2.77)$$

$G(q)$ – вектор гравітаційних сил, що залежать від положення барабана, матриця має вигляд

$$G(q) = \begin{pmatrix} mgR \sin \varphi_\sigma \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}; \quad (2.78)$$

Q – вектор узагальнених сил,

$$Q = \begin{pmatrix} Q_\varphi \\ Q_\theta \\ Q_\psi \end{pmatrix}. \quad (2.79)$$

Представлена модель (2.75) враховує поступальний рух картоплини відносно поверхні комірки, власне обертання та перекидання, гіроскопічні

ефекти та взаємозв'язки руху та орієнтації у просторі.

Тепер на основі цієї моделі перейдемо від матричного рівняння до контактних сил з метою отримання виразу для умови втримання картоплини на поверхні комірки та її виносу на певний кут повороту барабана.

Пригадаємо, що рівняння Лагранжа було записане у координатах координатами $q = (\varphi_{\sigma}, \theta_e, \psi_e)$. Тепер конкретизуємо вектор узагальнених сил

$$Q = Q_{\text{тер}} + Q_{\text{конт}}, \quad (2.80)$$

де $Q_{\text{тер}}$ – узагальнені сили тертя;

$Q_{\text{конт}}$ – контактні сили.

Узагальнені сили створюють нормальну реакцію поверхні комірки N та силу тертя F_{τ} .

Для переходу від узагальненої сили до реальної маємо такий зв'язок

$$Q_i = F \cdot \frac{\partial r}{\partial q_i}, \quad (2.81)$$

де F – вектор сили, $F = (F_x, F_y, F_z)$;

r – радіус-вектор точки прикладання сили, $r = \begin{pmatrix} R \cos \varphi_{\sigma} \\ R \sin \varphi_{\sigma} \\ 0 \end{pmatrix}$.

Рівняння для координати φ_{σ} , що описує положення барабана та виділяється з (2.75)

$$\begin{aligned} & (mR^2 + I_x \cos^2 \theta_e + I_y \sin^2 \theta_e) \ddot{\varphi}_{\sigma} + I_x \cos \theta_e \ddot{\psi}_e + 2(I_y - I_x) \dot{\varphi}_{\sigma} \dot{\theta}_e \sin \theta_e \cos \theta_e - \dots \\ & - I_x \dot{\psi}_y \dot{\theta}_e \sin \theta_e + mgR \sin \varphi_{\sigma} = Q_{\varphi}. \end{aligned} \quad (2.82)$$

Щоб перейти до сил, поділимо рівняння (2.82) на R .

Проектуємо це рівняння на координатні осі локальної системи координат та виділяємо складові, що визначають нормальну силу.

Групуючи члени при $\ddot{\varphi}$, отримаємо остаточний вираз нормальної сили

$$N = mg \cos \theta_e + \left[mR + \frac{I_x \cos^2 \theta_e + I_y \sin^2 \theta_e}{R} \right] \ddot{\varphi}_\phi - mR \dot{\varphi}_\phi^2 + \dots \quad (2.83)$$

$$+ \frac{I_x}{R} (\cos \theta_e \ddot{\psi}_e - \dot{\psi}_e \dot{\theta}_e \sin \theta_e) + \frac{2(I_y - I_x)}{R} \dot{\varphi}_\phi \dot{\theta}_e \sin \theta_e \cos \theta_e.$$

Аналізуючи залежність (2.83) видно, що нормальна сила картоплини залежить від кутового прискорення руху у барабані, прискорення власного обертання, нахилу (положення еліпсоїда), відповідних моменті інерції, їх різниці, коріолісових зв'язків.

Якщо розглядати граничні випадки для (2.83), коли

$$\theta_e = 0; \dot{\theta}_e = 0; \dot{\psi}_e = 0,$$

та залежність (2.83) спрощується до вигляду

$$N = m(g \cos \varphi_\phi + R \ddot{\varphi}_\phi - R \dot{\varphi}_\phi^2). \quad (2.84)$$

За умови рівномірного руху матимемо класичний вираз нормальної сили

$$N = m(g \cos \varphi_\phi + \omega^2 R). \quad (2.85)$$

Виходячи з цього, можна розглядати різні випадки поведінки картоплини у комірці барабана з врахуванням різних кінематичних режимів

роботи картоплесаджалки. Отримані умови та вирази, що визначають контактну взаємодію, складатимуть основу отримання раціональної геометричної форми комірки картоплесадильного апарату.

Криволінійність комірки щодо виникнення нормальної сили у контакті врахована виникаючим нормальним прискоренням, що має дві складових

$$a_n = R\ddot{\phi}_o - R\dot{\phi}_o^2. \quad (2.86)$$

Якщо картоплина ковзає по поверхні комірки радіусом r_k з відносною швидкістю \mathcal{G}_k , то другий член виразу (2.86) можна записати наступним чином

$$a_{n2} = -\frac{\mathcal{G}_k^2}{r_k}. \quad (2.87)$$

Умовою відсутності ковзання картоплини у комірці є вираз

$$|F_{\text{мер}}| \leq \mu N, \quad (2.88)$$

де μ – коефіцієнт тертя.

Перепишемо умову (2.88) на основі виразу (2.84) та представимо її у розширеному вигляді

$$mg \sin \theta_e \leq \mu m \left(g \cos \theta_e + \omega_b^2 R - \frac{\mathcal{G}_k^2}{r_k} \right). \quad (2.89)$$

Вираз (2.87) ділимо на m та скорочуємо на g , отримаємо узагальнений критерій до визначення форми комірки посадочного апарату

$$\sin \theta_e < \mu \left(\cos \theta_e + \frac{\omega_b^2 R}{g} - \frac{\mathcal{G}_k^2}{g r_k} \right). \quad (2.90)$$

Отже, отримано вираз першого критерію для обґрунтування ефективної кривизни комірки вичерпуючого апарату.

Зрозумілим є той факт, що розміри картоплин мають випадковий характер і тому доцільним буде використати стохастичну модель розподілу бульб, що будуть попадати в окремі комірки вичерпуючого барабану [24, 123, 91, 80, 70, 93].

Позначимо еквівалентний діаметр бульби D , він розглядається як випадкова величина, що розподілена за усіченим нормальним законом розподілу

$$f(D) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{\left(-\frac{(D-\mu_D)^2}{2\sigma^2}\right)}, \quad D \in [D_{\min}; D_{\max}]. \quad (2.91)$$

Одиночне попадання бульби у комірку буде визначатись умовою

$$D < w,$$

де w – ширина комірки.

Тоді ймовірність одиночного попадання картоплини у комірку

$$P_1 = \int_{D_{\min}}^w f(D) dD. \quad (2.92)$$

Ймовірність подвійного захоплення картоплин коміркою буде визначатись умовою

$$D_1 + D_2 < w + 2\delta_\sigma, \quad (2.93)$$

де δ_6 – можлива деформація бульб.

Тоді сама ймовірність подвійного захоплення

$$P_2 = \iint_{D_1+D_2 < w+2\delta_6} f(D_1)f(D_2)dD_1dD_2. \quad (2.94)$$

Ще одним можливим випадком буде – ймовірність передчасного випадання картоплини з комірки барабана.

При врахуванні критерію (2.90), отримаємо вираз критичного кута $\theta_{кр}$ положення великої осі еліпсоїда, коли картоплина почне зісковзувати з криволінійної поверхні комірки

$$\theta_{кр} = \arcsin \left[\mu \left(\cos \theta_e + k - \frac{g_k^2}{g r_k} \right) \right], \quad (2.95)$$

$$\text{де } k = \frac{\omega_b^2 R}{g}.$$

Можливість передчасного випадання картоплі

$$P_3 = \int_{D:\theta_{кр}(D) < \theta_{комірки}} f(D)dD. \quad (2.96)$$

Тепер можна записати інтегральний вираз критерію – функції ефективності

$$\eta = P_1 - \alpha P_2 - \beta P_3, \quad (2.97)$$

де α, β – коефіцієнти.

Якщо геометрія комірки оптимальна, то функція (2.97) максимізована.

Далі можна перейти до пошуку залежності, яка дозволить оптимізувати профіль комірки.

Для моделювання оптимальної кривизни поверхні комірки виберемо криву – логарифмічну спіраль, яка через параметр розкриття a змінює свою кривизну по довжині (глибині) комірки на відміну від колового профілю комірки.

Залежність для логарифмічної спіралі запишеться наступним чином

$$r(\varphi) = r_0 e^{a\varphi_0}. \quad (2.98)$$

Тоді кривизна спіралі буде визначатись виразом

$$k = \frac{e^{-a\varphi_0}}{r_0 \sqrt{1+a^2}}. \quad (2.99)$$

Застосування комірки, геометрія якої змінюється за логарифмічною спіраллю, дозволить у нижній частині мати більшу глибину захвату, а у верхній – зменшити притиск. А також самоскидання картоплини буде контрольованим.

Тому новий радіус комірки буде складати

$$r_c \approx \frac{1}{k(\varphi)}, \quad (2.100)$$

тоді умову (2.90) перепишемо наступним чином

$$\sin \theta_e < \mu \left(\cos \theta_e + k - \frac{g_k^2 k(\varphi_0)}{g} \right). \quad (2.101)$$

Застосуємо прийом варіаційної оптимізації.

Запишемо та мінімізуємо функціонал

$$J(a) = \int_0^{\varphi_1} (P_{\text{втррати}}(\varphi) + \lambda E_{\text{конт}}(\varphi)) d\varphi. \quad (2.102)$$

Умовою оптимуму тут буде мінімум функції

$$\frac{\delta J}{\delta a} = 0. \quad (2.103)$$

Як видно, що у вираз (2.102) входить критерій контактної взаємодії. Його застосуємо як обмежувальний чинник з метою унеможливлення пошкодження насінєвого матеріалу.

Розглянемо елементарну контактну задачу взаємодії окремої картоплини з поверхнею комірки.

Зробимо деякі припущення: картоплину вважатимемо як еліпсоїдне пружне тіло; поверхня комірки заданої кривизни та в даному контексті як абсолютно жорстке тіло.

Тоді при обертovому русі барабана у контакті картоплини з поверхнею комірки виникатиме нормальна сила, що визначається виразом

$$N = m \left(g \cos \theta_e + \omega_b^2 R - \frac{g_k^2}{r_k} \right). \quad (2.104)$$

Саме ця сила буде причиною виникнення контактних напружень (напружень Герца) у плямі контакту та її околах.

Якщо вважати бульбу тілом 1, а поверхню комірки тілом 2, то за введеними припущеннями і модулі Юнга першого роду будуть між собою співвідноситися $E_2 \gg E_1$. Тоді еквівалентний модуль буде складати

$$\frac{1}{E^*} = \frac{1 - \nu_1^2}{E_1}$$

або

$$E^* \approx \frac{E_1}{1 - \nu_1^2}. \quad (2.105)$$

Для оцінки контактної взаємодії розглянемо частковий випадок – контакт сфери (картоплини) з циліндричною поверхнею комірки (в перетині контакт).

Тоді еквівалентний радіус кривизни буде складати

$$\frac{1}{R^*} = \frac{1}{R_b} + \frac{1}{r_k}. \quad (2.106)$$

За таких умов радіус контактної плями

$$a_k = \left(\frac{3NR^*}{4E^*} \right)^{1/3}. \quad (2.107)$$

Виходячи з цього, максимальні контактні напруження будуть складати [75]

$$\sigma_{k \max} = \frac{3N}{2\pi a_k^2}. \quad (2.108)$$

Однією з умов роботоздатності садильного барабана буде витримування умови

$$\sigma_{k \max} \leq [\sigma_k]. \quad (2.109)$$

Умова (2.109), яка визначається виразами (2.107) та (2.104), дозволяє встановити максимально допустиму кутову швидкість барабана за критерієм непошкодження картоплини як насінєвого матеріалу.

2.4 Теоретична модель дискретного припосадкового внесення добрив дозуючим апаратом катушкового типу

При виробництві сільськогосподарських культур високого урожаю можна досягнути завдяки дотриманню технології вирощування культури як одного із основних чинників. Однією з найважливіших технологічних операцій в технології вирощування картоплі є її посадка з одночасним внесення мінеральних добрив. Саме кількість добрив та їх локалізація мають значний вплив на розвиток рослини. Тому проектування дозуючих пристроїв та їх синхронізація з основними апаратами картоплесадильної машини є актуальним завданням.

Часто буває так, що добрива були внесені згідно норми на гектар, а врожаю високого рівня не досягнули при решту рівних умовах. Причиною може бути неправильна локалізація добрив у рядку. Наприклад, у переважній більшості дозуючі пристрої добрив забезпечують рівномірне розподілення їх вздовж рядка, але більшого ефекту можна було б досягнути, якщо їх локалізувати в околі картопляного гнізда. Таким чином можна забезпечити відносно однакове живлення кожного куща.

Для реалізації ідеї умовно дискретного внесення твердих мінеральних добрив потрібно розробити дозуючий пристрій та інтегрувати його в конструкцію картоплесадильної машини.

Дозуючі апарати твердих гранульованих мінеральних добрив промисловістю випускаються різних типів. Апарати, що використовуються в конструкціях картоплесадильних машин в переважній більшості є

катушковими, штифтовими чи катушко-штифтовими [30, 33, 36, 37, 61, 107]. Такі механізми призначені для дозування добрив та рівномірного розподілення їх вздовж рядка при посадці картоплі.

З іншого боку, у ряді праць проведено багато досліджень, що стосуються забезпечення кроку посадки картоплі [4, 11, 12, 20, 21, 22, 25, 34, 39, 52, 73, 97], необхідної кількості та видів елементів живлення (добрив) [1, 23, 26, 27, 9] для отримання максимального урожаю. Але питання локалізації внесення гранульованих добрив в зону живлення картопляного гнізда, механізми і сам процес дозування та внесення розглянуті ще недостатньо. Особливо це стосується картоплесадильних машин, що розробляються для невеликих підсобних чи фермерських господарств.

Перед проектування будь-якого вузла чи апарату потрібно правильно сформулювати вихідні дані та розуміти як буде протікати процес, керуючись досвідом науковців [10, 121, 74]. В двохрядній картоплесадильній машині, згідно із технічним завданням, закладено можливість припосадкового внесення мінеральних добрив. Отже, першим питанням, що постає – це його продуктивність, тобто яку норму внесення такий апарат повинен забезпечити. Відповідь на це питання дає технологія вирощування культури. З технічної точки зору – це його конструктивні та кінематичні параметри.

Звернемося до типових технологій вирощування картоплі на присадибних ділянках, для яких розроблено картоплесадильну машину. Як зазначають літературні джерела [105] норма внесення на 100 м² при «бідних» ґрунтах та недостатньому внесенні органічних добрив повинна мати наступний розподіл, рис. 2.6 і 2.7 [5].

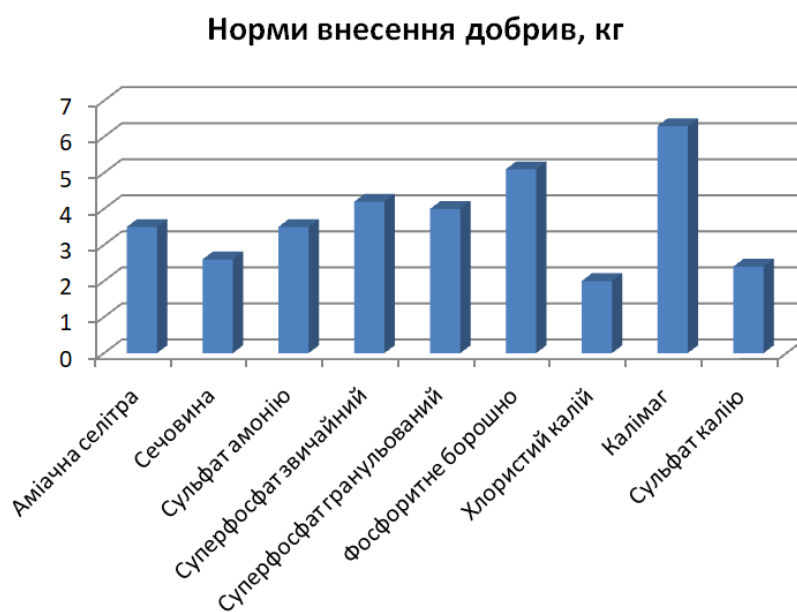


Рисунок 2.6 – Норма внесення під картоплю добрив за видами

Але найчастіше на практиці використовують гранульовані складнозмішані добрива, такі як нітроамофоска, амофос N:P, нітрофос N:P, рис. 2.7 .



Рисунок 2.7 – Норми внесення складнозмішаних добрив

На гістограмах (рис. 2.6 і 2.7) наведені максимальні значення таких норм, щоб при проектуванні дозуючого пристрою закласти максимальну його продуктивність.

Тепер норму, яка закладається на 100 м² картопляної грядки, потрібно привести до одного рядка, на який буде дозуватися добриво. Тут важливу роль буде відігравати ширина міжряддя: ширше міжряддя – більша норма, вужче – менша норма, що приведена до одного рядка. Другим критерієм є необхідність внести добриво умовно дискретним чином в зону живлення рослини та пов'язати цей процес з кроком посадки картоплі. Це можна реалізувати, узгодивши кількість висадкових комірок картоплесадильного апарату з кількістю комірок дозуючого апарату мінеральних добрив.

У дослідженні [4] описано принцип роботи картоплесадильного апарату розробленої машини і там кількість висадкових комірок картоплі складає 14, що дозволяє нам прийняти таку ж або кратну кількість, наприклад жолобків дозуючого апарату мінеральних добрив. За попереднім аналізом як літературних джерел, так і практичних конструкцій саджалок найпростіше використати саме катушковий дозуючий пристрій. Тепер, виходячи з цього, потрібно розрахувати об'єм одного жолобка з розрахунку сталого передаточного відношення між висаджуючим та катушкою дозуючого апаратів. Для визначення такого об'єму доцільно використати залежність [5]

$$V_1 = \frac{Q_S l_{\text{міжр.мак}} l_{\text{нос.мак}} i_{\text{неп}}}{S_{\text{нос}} \rho_{\text{мін}}}, \quad (2.110)$$

де Q_S – норма добрив на задану площу, кг/га;

$l_{\text{міжр.мак}}$ – ширина міжряддя максимальна, м;

$l_{\text{нос.мак}}$ – крок посадки максимальний, м;

$S_{\text{нос}}$ – задана площа посадки, м²;

ρ_{\min} – насипна густина мінеральних гранульованих добрив, кг/м³;

$i_{\text{пер}}$ – передаточне число приводу.

Потрібний об'єм жолобка котушки пов'язаний з профілем самого жолобка та його довжиною. Крім того, потрібно врахувати, що котушка повинна мати 14 жолобків або число йому кратне. Ще одним аспектом є габарити самої котушки.

За попередніми розрахунками прийнято, що діаметр котушки буде становити 130 мм, кількість жолобків 7, робоча довжина котушки 80 мм. Розглядаючи один крок розміщення жолобка на котушці, його ширина співвідноситься з циліндричною частиною котушки як 0,4:0,6.

Дозуючий апарат є у кінематичному зв'язку з посадочним апаратом, причому його частота у двічі більша. Виходячи з цього, покажемо зміну частоти обертання дозуючого пристрою в залежності від кроку посадки та поступальної швидкості машини, використовуючи прикладну програму Mathcad 14, рис. 2.8.

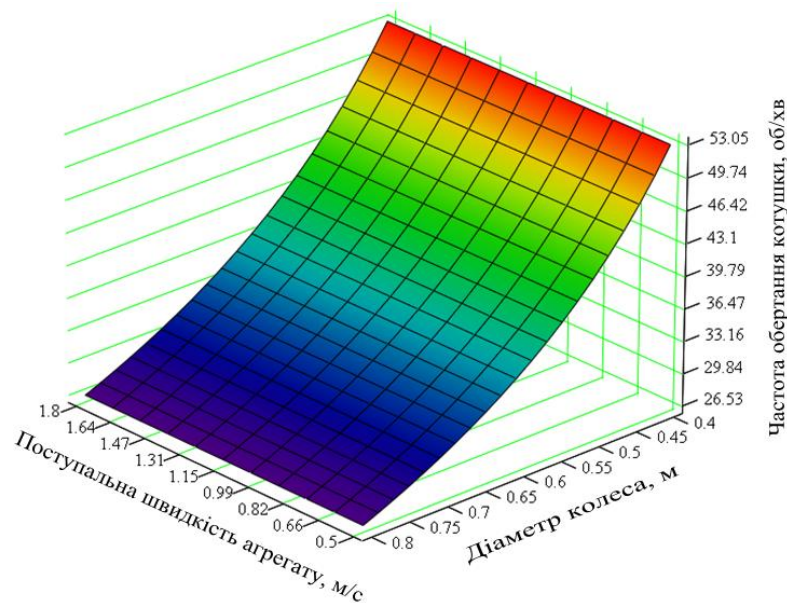


Рисунок 2.8 – Зміна частоти обертання котушки від кроку посадки та швидкості руху агрегату

Для перевірки поведінки гранули добрива у жолобку котушки скористаємося її максимальною частотою обертання при заданому режимі

роботи пристрою. Розглянемо схему дії сил на окрему гранулу добрив, що знаходиться у жолобку, рис. 2.9.

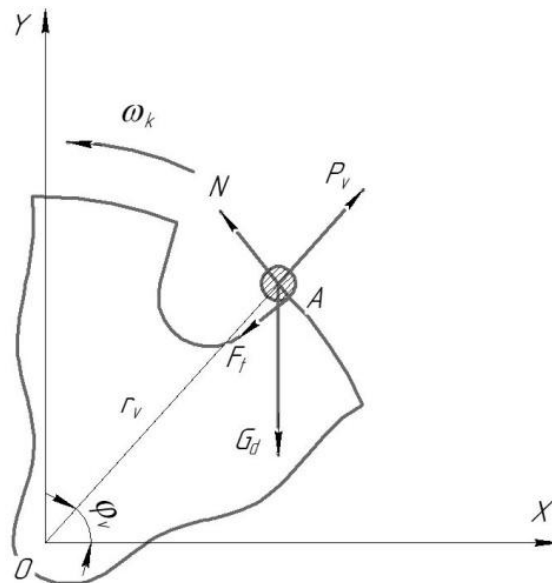


Рисунок 2.9 – Схема дії сил на гранулу при заповненні жолобків

З умови рівноваги та, проєктуючи всі діючі сили на лінію дії відцентрової сили (тут нехтуємо кутом розхилу жолобка), матимемо

$$-F_t - G_d \sin \varphi_v + P_v = 0, \quad (2.111)$$

де F_t – сила тертя;

G_d – сила ваги гранули добрива;

φ_v – кут повороту катушки;

P_v – відцентрова сила,

або в розгорнутому вигляді залежність (2.111)

$$-Nf_t - m_d g \sin \varphi_v + m_d \omega_k^2 r_v = 0, \quad (2.112)$$

де N – нормальна сила, $N = G_d \cdot \cos \varphi_v$.

Тоді з виразу (2.112) можемо отримати допустиме значення кутової швидкості

$$\omega_k = \sqrt{\frac{g(\cos \varphi_v f_l + \sin \varphi_v)}{r_v}}. \quad (2.113)$$

Проведемо аналіз отриманої залежності (2.113) відносно кута повороту котушки з метою виявлення такого її положення, що унеможливить попадання гранул у жолобок. Графічну залежність представимо по відношенню до частоти обертання котушки та у межах кутів 30° - 120° положення жолобка, рис. 2.10.

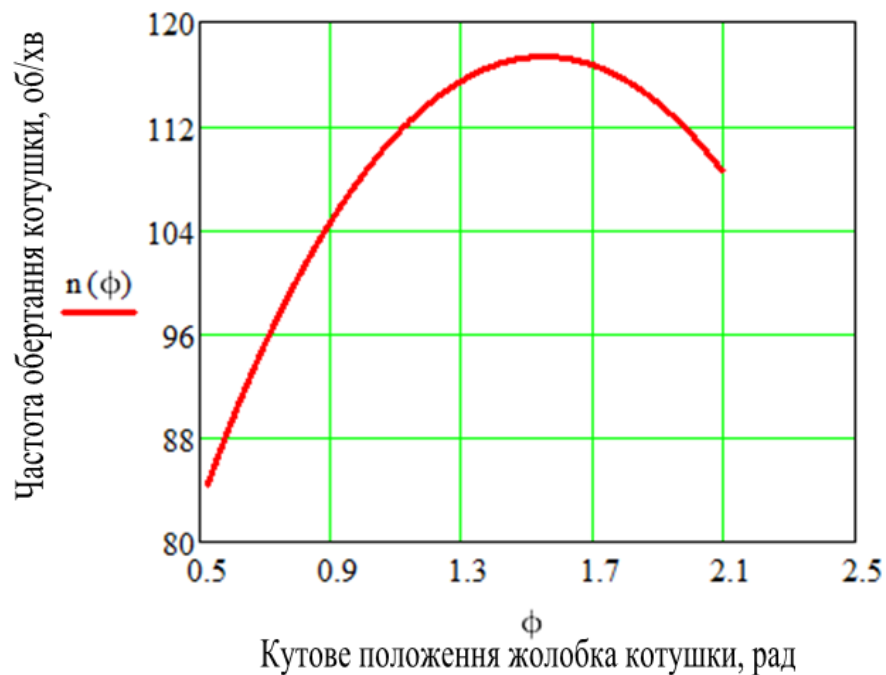


Рисунок 2.10 – Граничні значення частоти обертання котушки

За аналізом графічної залежності (рис. 2.10) видно, що отримані значення допустимої кутової швидкості котушки, що визначенні у діапазоні кутів повороту котушки, де відбувається заповнення жолобків, значно переважають (в 2,1 рази) значення робочої частоти ($n_{k \max} = 39,3$ об/хв) за умовою забезпечення заданої норми максимального висіву добрив. Це

дозволяє зробити висновок, що при роботі котушкового дозуючого апарату, його жолобки будуть добре заповнюватись гранулами та транспортувати їх до викидного вікна у тукопровід.

Крім того, цей чинник дозволяє нам прийняти робочу частоту котушки, що визначена з розрахунку забезпечення норми висіву, як частоту, на основі якої будемо визначати початкову швидкість вильоту частинки у тукопровід.

Для визначення початкової швидкості вильоту частинки у тукопровід також скористаємося умовою рівноваги частинки у положенні котушки в зоні викидного вікна, де приєднано тукопровід. Розрахункову модель будемо, припускаючи, що частинка добрива притиснута до стінки жолобка котушки, силою, що рівна її вазі. Таке припущення відображає найбільш критичний випадок взаємодії гранул добрива між собою та стінкою жолобка (випадок фізичного заклинювання гранул не розглядається, він вважається нетиповим). Тому, при обертанні котушки, на частинку добрива будуть діяти такі ж як і у попередньому випадку сили: тертя, ваги та відцентрова сила.

Умову випадання гранули з жолобка можна представити наступним чином

$$\overline{P}_v + \overline{G}_d \geq \overline{F}_t. \quad (2.114)$$

Проектуючи діючі сили на вертикальну вісь координат, отримаємо наступний вираз, що описує умову рівноваги. Тут кут

$$P_v \sin \varphi_v + G_d = F_t, \quad (2.115)$$

де φ_v – кут, що визначає положення гранули при її випаданні, він відрахований від горизонтальної осі координат та проти руху стрілки годинника.

Виконавши нескладний аналіз, видно, що частинка випадатиме з жолобка при його нижньому вертикальному положенні навіть без впливу відцентрової сили, тобто тільки під силою власної ваги. Цей чинник вказує на те, що не потрібно якихось окремих умов для випадання гранул у тукопровод, а тому робочі частоти котушки дозуючого апарату цей ефект тільки посилюватимуть. Тому для розрахунку початкової швидкості вильоту частинки з жолобка котушки дозуючого пристрою обґрунтовано можна використовувати робочі частоти котушки, що відповідають заданим крокам посадки картоплі. Відповідно до цього основою розрахунку може бути значення відцентрової сили, що виникає на робочих режимах обертання котушки. Силу тертя гранули об стінку жолобка повністю нівелює сила тяжіння самої гранули.

Тоді початкову швидкістю вильоту частинки із жолобка котушки знаходимо, взявши за основу другий закон Ньютона. Тут будемо мати наступний зв'язок

$$P_v = m_d a_r \text{ або } m_d \omega_k^2 r_v = m_d a_r, \quad (2.116)$$

де a_r – прискорення гранули у радіальному напрямку.

Отже, таке прискорення буде рівним

$$a_r = \omega_k^2 r_v. \quad (2.117)$$

Тепер потрібно перейти від прискорення, що діє на частинку до швидкості в радіальному напрямку. Якщо гранула добрива починає рухатись з точки, що має радіальну координату r_0 і досягає точки r_v , яка відповідає краю жолобка, то її радіальну швидкість можна знайти зі співвідношення

$$\mathcal{G}_{r_v}^2 - \mathcal{G}_{r_0}^2 = 2 \int_{r_0}^{r_v} a_r dr. \quad (2.118)$$

Але, переважно, початкова радіальна швидкість частинки у жолобка дуже мала або $v_{r_0} \approx 0$, тоді

$$\mathcal{G}_{r_v} = \sqrt{2 \int_{r_0}^{r_v} \omega_k^2 r_v dr}. \quad (2.119)$$

Оскільки агрегат полем переміщається з постійною поступальною швидкістю, а дозуючий апарат є у кінематичному зв'язку з садильним апаратом, то кутова швидкість котушки є постійною. Тоді матимемо

$$\mathcal{G}_{r_v} = \sqrt{2 \omega_k^2 \int_{r_0}^{r_v} r_v dr} = \sqrt{\omega_k^2 (r_v^2 - r_0^2)} = \omega_k \sqrt{r_v^2 - r_0^2}. \quad (2.120)$$

Повна швидкість частинки при вильоті з жолобка буде геометричною сумою колової \mathcal{G}_t та радіальної швидкостей, тобто

$$\mathcal{G}_{повн} = \sqrt{\mathcal{G}_{r_v}^2 + \mathcal{G}_t^2} = \omega_k \sqrt{2r_v^2 - r_0^2}. \quad (2.121)$$

Далі важливо знати який час частинка буде проходити шлях тукопровода. Цей параметр необхідний для створення синхронізованого транспортування як туків так і картоплі до дна борозни. У технологічному плані будемо забезпечувати викидання туків під картопляне гніздо на ширину приблизно у співвідношенні 0,4:0,6 до кроку посадки та нижче дна картопляного ложа приблизно на 20 мм. Це буде умовно дискретне внесення в цільову зону, а не суцільне внесення добрив вздовж рядка.

Щоб визначити час падіння частинки через тукопровід складемо наступне рівняння

$$\frac{d\mathcal{G}}{dt} = g \sin \theta_m - \mu_t g \cos \theta_m - \frac{\rho_p C_d A}{2m_d} \mathcal{G}^2, \quad (2.122)$$

де g – прискорення вільного падіння,

θ_m – кут тукопроводу до горизонту;

μ_t – коефіцієнт, що характеризує сухе тертя об стінку тукопроводу;

C_d – коефіцієнт опору повітря при переміщенні гранули;

ρ_p – густина повітря;

A – площа гранули, на яку діє повітряний потік (міделевий перетин),

$$A = \frac{\pi d^2}{4},$$

тут d – діаметр умовної гранули, яка прийнята кулеподібною;

$$m_d - \text{маса гранули, } m_d = \rho_{\text{min}} \frac{\pi d^3}{6}.$$

Опускаючи проміжні викладки, отримаємо розв'язок відносно швидкості переміщення частинки у тукопроводі

$$\mathcal{G}(t) = \sqrt{\frac{a_m}{b_m}} \tanh(\sqrt{a_m b_m} t + \xi_0), \quad (2.123)$$

тут позначено:

$$a_m = g(\sin \theta_m - \mu_t \cos \theta_m); \quad b_m = \frac{\rho_p C_d A}{2m_d},$$

$$\text{де } \xi_0 = \operatorname{artanh}\left(\mathcal{G}_0 \sqrt{\frac{b_m}{a_m}}\right).$$

Зв'язок з пройденим шляхом

$$s(t) = \frac{1}{b_m} \left[\ln \cosh(\sqrt{a_m b_m} t + \xi_0) - \ln \cosh(\xi_0) \right]. \quad (2.124)$$

Тоді час проходження частинкою добрива тукопроводу буде визначатись виразом

$$t = \frac{1}{\sqrt{a_m b_m}} \left[\operatorname{ar} \cosh(e^{b_m L_m} \cosh \xi_0) - \xi_0 \right], \quad (2.125)$$

де L_m – висота встановлення туковисівного апарату, м.

Таким чином, на основі виведеної залежності (2.110) встановлено конструктивні параметри дозуючої котушки: кількість жолобків – 7; ефективна площа жолобка – $290 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2$; робоча довжина котушки – 0,08 м.

Розроблено теоретичну модель, на основі якої встановлено граничні значення кутової швидкості котушки, що визначають можливість заповнення жолобків добривами, та виконано порівняльний аналіз з робочими кутовими швидкостями котушки при забезпеченні норми внесення. Тут зроблено висновок, що максимальні робочі кутові швидкості менші від найменшої допустимої кутової швидкості у 2,1 рази, що свідчить про надійне заповнення жолобків добривами.

2.5 Висновки до 2 розділу

Наведена методика дозволяє описати геометричні та кінематичні параметри фрезерного барабана, ніж якого утворений кількома ділянками; визначати точку вильоту ґрунтової стружки з-під ножа фрези з врахуванням глибини обробітку;

моделювати траєкторію польоту ґрунтової стружки зі встановленими

початковою швидкістю польоту та кутом підйому;

при різних параметрах дослідити діапазон розсіювання траєкторій та визначати точки та кути взаємодії ґрунтових частинок із направляючим кожухом;

запропонована поліноміальна залежність для опису кривої кожуха, в якій підбором коефіцієнтів забезпечують задану кривизну на певній ділянці, що дозволить поєднати теоретичні рішення з практичною реалізацією на фізичній конструкції картоплесадильної машини; описано процес взаємодії частинки з кожухом – відбивання, ковзання, осипання; записані залежності дотичної у заданій точці кривої кожуха та на цій основі визначено кут відбивання частинки при співударянні з кожухом.

Для фізичної конструкції фрезерного модуля картоплесадильної машини встановлено параметри кривої кожуха, що дозволяє відбивати та спрямовувати ґрунтову стружку у цільову зону для первинного присипання насіння картоплі. Отриманого ефекту в даному числовому експерименті можна досягнути для наведених конструктивних та кінематичних параметрів фрезерного модуля при використанні таких коефіцієнтів поліноміальної кривої (2.32) кожуха: $a_3 = -0,78$; $a_2 = -0,034$; $a_1 = -0,089$; $a_0 = 0,35$.

Розроблена математичну модель садильного апарату барабанного типу, що дозволила обґрунтувати умови поодинокого захоплення, надійного транспортування та контрольованого випадання бульб з мінімальним їх пошкодженням.

Теоретично обґрунтовано принцип умовно дискретного припосадкового внесення мінеральних добрив, що забезпечує локалізацію поживних речовин у зоні картопляного гнізда та узгоджену роботу тукового і садильного апаратів.

Отримані результати є теоретичною основою для експериментальних досліджень, наведених у наступних розділах дисертаційної роботи.

Основні наукові результати розділу опубліковані у працях [3, 49, 5, 4, 46, 45,50].

РОЗДІЛ 3

ПРОГРАМА ТА МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ УНІВЕРСАЛЬНОЇ КАРТОПЛЕСАДЖАЛКИ

3.1 Будова та технічна характеристика універсальної картоплесаджалки

Концептуальне рішення щодо створення універсальної картоплесадильної машини, що полягало у поєднанні технологічних операцій підготовки ґрунту перед посадкою через смугове фрезерування, припосадкове дискретне внесення мінеральних добрив та сам процес посадки картоплі при ступеневому її заробленні було теоретично обґрунтованим і на основі цього виготовлено дослідний зразок такої машини, рис. 3.1.

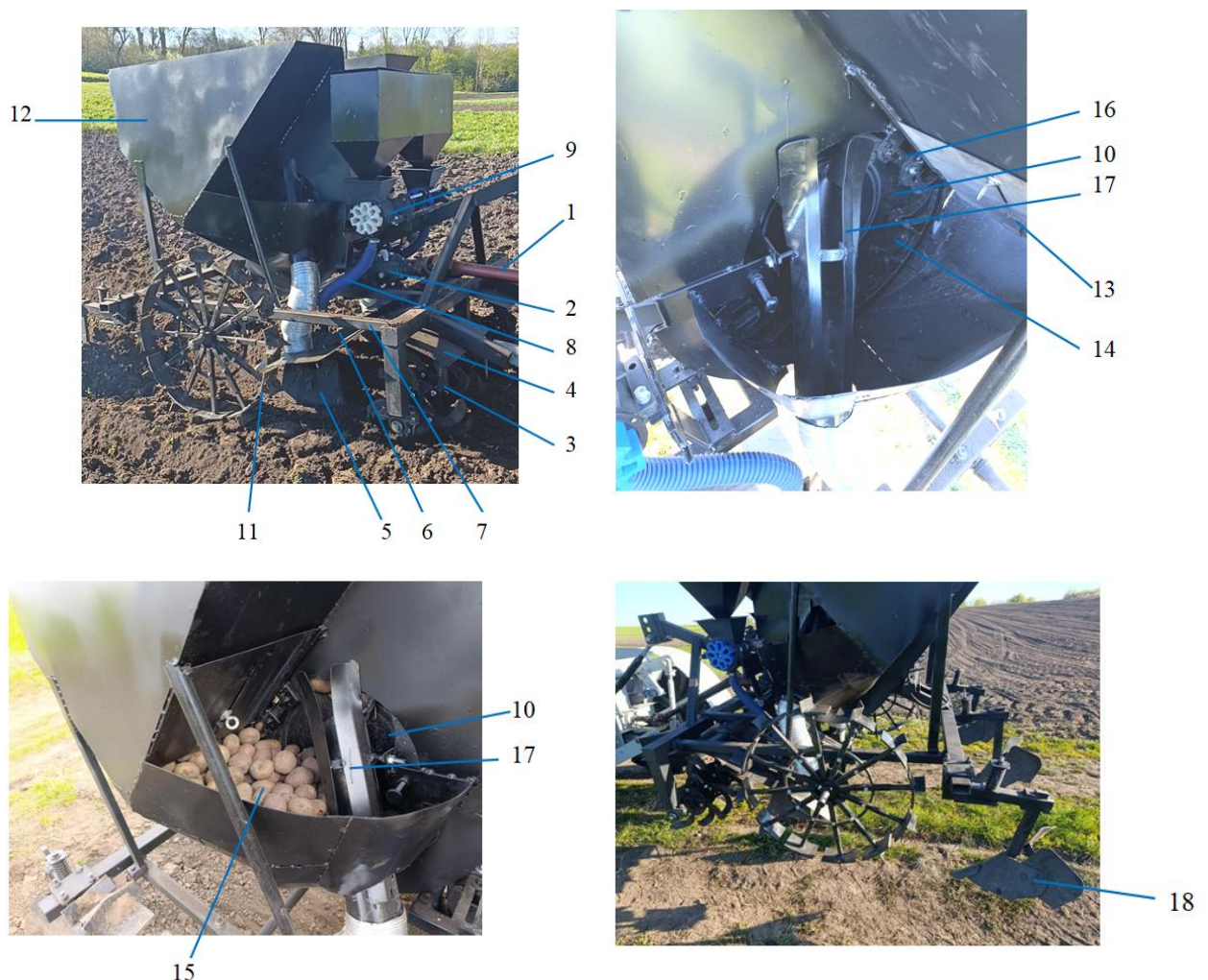


Рисунок 3.1 – Світлина універсальної картоплесадильної машини

Представлена на рис. 3.1 універсальна картоплесаджалка – це навісна тягово-приводна машина, яка з енергетичним засобом утворює комбінований агрегат.

Технологічний процес роботи картоплесаджалки наступний.

При навішуванні на триточкову систему енергозасобу та з'єднанні карданного вала 1 з вихідним валом ВВП та первинним валом приводного редуктора 2 на машину передається як тягове зусилля, так і крутний момент. Отриманий крутний момент редуктором 2 передається на ведучу зірочку, яка через ланцюгову передачу та ведену зірочку, що закріплена на валу фрезерного барабана 3, передає йому крутний момент. Сам фрезерний барабан 3 має дві секції фрезерних ножів шириною 350 мм, які розміщені по осі рядків та можуть регулюватися, якщо є необхідність змінювати ширину міжрядь. При обертанні фрезерний барабан 6 секціями фрезерних ножів на заданій глибині вирізає ґрунтову стружку, яка частково відкидається ножами та у вільному польоті вдаряється об спрямовуючий кожух 4. За таких умов отримуємо дві профрезеровані смуги підготовленого до посадки ґрунту. Вздовж цих смуг рухаються сошники 5, розкриваючи борозенку для посадки картоплі. Сошники 5 – це комбіновані вузли. Стійка сошника слугує одночасно частиною тукопроводу, через який туки потрапляють у борозенку, причому глибше на 20-25 мм від рівня вкладання картоплі. Далі працюють мінізагортачі, щоб прикрити мінеральні добрива ґрунтом та сформувати основу для вкладання бульб. Сошники 5 закріплені на рамі через спеціальні повідці 6, що дозволяють встановлювати різну глибину ходу сошника, а також ширину міжрядь, при переміщенні їх на рамі 7 машини. Стійка сошника з'єднана гнучкими тукопроводами 8 з катушковим апаратом дискретного внесення добрив 9. Привод тукового апарату здійснюється ланцюговою передачею від валу барабанів висаджуючих апаратів 10, який отримує крутний момент ланцюговою передачею від валу опорно-приводних коліс 11 змінного діаметру. Барабани 10 закріплені на валу та синхронно

обертаються з опорно-приводними колесами 11 при передаточному відношенні 0,56. Для заповнення барабанів висаджуючих апаратів 10 на рамі 7 змонтовані бункери 12, з яких бульби під дією сили власної ваги переміщуються до вихідного отвору із заслінкою 13 і далі до внутрішньої частини барабанів 10, що мають комірки 14, якими захоплюють бульби. Винос бульб здійснюється із невеликої товщини шару картоплі 15 біля входу у барабан, чим унеможливується їх травмування. При повороті барабана 10 на певний кут проходить випаданні «зайвої» картоплини із комірки 14, подальший поворот спричиняє рух на випадання основної картоплини, але її випаданню перешкоджає встановлений обмежувач 16. Бульба транспортується утвореним каналом до моменту, коли обмежувач 16 закінчується. Далі бульба (картоплина) під власною вагою випадає у насінепровод 17 та у сошник 5, де вже є розкрита борозенка. При заклинюванні двох картоплин у комірці 14 та неможливості їх випадання під власною вагою, конструкцією передбачений чистик, який примусово виштовхне бульби.

Опущена картоплина на дно борозни спочатку частково присипається відбитим від спрямовуючого кожуха 4 ґрунтом, далі утворюють малий гребень загортачі із зони профрезерованої смуги і остаточний фінальний гребень – класичні лапи-окучники 18 на підружжених стійках.

Коротка технічна характеристика картоплесаджалки, табл. 3.1.

Таблиця 3.1 – Технічна характеристика універсальної картоплесаджалки

Призначення	для посадки різних типів картоплі при одночасній підготовці ґрунту та внесенні мінеральних добрив
Спосіб агрегування	тягово-приводна машина, навішування на триточкову систему
Тип саджалки	універсальна, садильні апарати барабанного типу
Кількість рядків	2

Закінчення табл. 3.1

Безступеневе регулювання ширини міжрядь, мм	600-750
Об'єм бункерів для насіння, м ³	2 по 0,135
Об'єм тукового ящика, м ³	0,050
Крок посадки, мм	218; 242; 267; 291
Глибина зароблення насіння, мм	60-120
Поступальна швидкість, м/с	0,833-1,389
Продуктивність за годину основного часу, га/год: при мінімальній швидкості і міжряддях 600 мм	0,18
при максимальній швидкості і міжряддях 750 мм	0,375
Габарити, мм: висота-ширина-довжина	1500-1600-1800
Маса незаправленої машини, кг	280
Агрегатування з тракторами тягового класу 0,6 т	

3.2 Програма і методика дослідження картоплесадильної машини

3.2.1 Дослідження фрезерного модуля

Метою експериментальних досліджень фрезерного модуля картоплесаджалки є встановлення закономірностей впливу конструктивно-кінематичних параметрів фрезерного барабана на здатність якісної підготовки ґрунту, де потрібно встановити, відповідно до агротехнічних вимог, ступінь та рівномірність подрібнення ґрунту у профрезерованій смузі, а також дотримання глибини обробітку.

Завданням проведення експерименту є:

- встановити вплив частоти обертання фрезерного барабана на ступінь подрібнення ґрунту, дотримання глибини та рівномірності фрезерування;
- оцінити ефективність роботи фрезерного апарату при різному фрактальному складі ґрунту;
- встановити граничні режими роботи фрезерного модуля;

– побудувати математичні залежності між кінематичними параметрами фрезерного барабана та якісними показниками обробітку ґрунту.

Побудова плану експерименту.

До змінних факторів віднесемо:

частоту обертання барабана (n_b), яку будемо змінювати на трьох рівнях, об/хв – 200, 250, 300;

поступальну швидкість агрегату, м/с – 0,8, 1,2, 1,6.

Глибина обробітку відповідає збільшеній на 20 мм глибині посадки картоплі.

Параметри, які підлягають визначенню:

фактична глибина обробітку; середній діаметр фракцій; частка фракцій <10 мм (%), частка фракцій >40 мм (%); коефіцієнт структури

$$K = \frac{M_{10-20}}{M_{>20}}, \quad (3.1)$$

де M_{10-20} – маса фракцій розміром 10-20 мм;

$M_{>20}$ – маса фракцій розміром більше 20 мм

Ще одним параметром, що підлягає визначенню, є визначення рівномірності обробітку

$$D_h = \frac{1}{n-1} \sum (h_i - \bar{h})^2, \quad (3.1)$$

де h_i – глибина в i -тій точці;

\bar{h} – середня глибина обробітку;

n – кількість досліджуваних точок.

Методика проведення експерименту.

Для визначення параметрів подрібнення ґрунту досліджувану ділянку (>25 м) розбиваємо на 9 малих ділянок з можливістю трикратності повторення досліду. Змінними факторами будуть 3 частоти барабана

фрезерного модуля та 3 поступальних швидкості агрегату.

Для визначення глибини фрезерування вибираємо контрольні точки приблизно через 1 м вздовж лінії фрезерування та застосовуємо металевий щуп, який занурюємо у розпушений ґрунт до межі його ущільнення. За результатами записуємо значення глибини не менше як у 25 точках. На основі цього записуємо середнє значення глибини \bar{h} .

При цьому коефіцієнт варіації глибини

$$V_h = \frac{\sigma_h}{\bar{h}} \cdot 100\%, \quad (3.2)$$

Згідно агрономог $V_h < 10\%$.

Ще одним етапом дослідження роботи фрезерного модуля буде визначення ступеня подрібнення ґрунту.

З цією метою відбираємо проби у 5-ти точках кожної ділянки, застосовуючи ґрунтову рамку 250 мм x 250 мм. Пробу просушуємо та просіюємо, використовуючи набір сит 40 мм, 20 мм, 10 мм, 5 мм. При цьому для кожного сита визначаємо масу фракції M_i . За отриманими даними визначаємо середній діаметр грудок

$$d_{cp} = \frac{\sum M_i d_i}{\sum M_i} \cdot 100\%, \quad (3.3)$$

де d_i – середній діаметр досліджуваних фракцій.

Критерієм ефективності подрібнення ґрунту як передсадильній підготовці частка фракцій < 20 мм повинна складати 65-85 % при оптимальній вологості ґрунту.

3.2.2 Дослідження висаджувального апарату барабанного типу

Метою дослідження є експериментально оцінити якісні та кількісні показники роботи висаджувального апарату барабанного типу та встановити раціональні конструктивно-кінематичні параметри, що забезпечують стабільну подачу одиничних картоплин у борозну з мінімальними втратами та пошкодженнями.

Основними завданнями експериментального досліджень є встановлення впливу частоти обертання барабана, геометричних параметрів вичерпуючих комірок, зазору між обмежувачем та поверхнею барабана на показники роботи висаджувального апарату.

У ході проведення експерименту потрібно оцінити:

- коефіцієнт заповнення комірок;
- частку пропусків і двійників;
- рівномірність подачі картоплин;
- пошкодженість посадкового матеріалу.

На основі цього встановити оптимальні параметри роботи апарату для забезпечення агротехнічних вимог при висаджуванні картоплі.

Об'єкт дослідження.

Висаджувальний апарат картоплесаджалки барабанного типу з внутрішнім заповненням комірок та регульованим обмежувачем випадання картоплин.

Предмет дослідження.

Закономірності процесу захоплення, утримання та скидання картоплин з вичерпуючих комірок барабана в залежності від конструктивних і кінематичних параметрів апарату.

Основні фактори, що піддаються дослідженню:

частота обертання барабана, n , хв^{-1} ;

розташування та геометрія обмежувача;

Схема та принцип роботи експериментальної установки.

Експериментальна установка включає:

бункер для посадкового матеріалу;

висаджуючий барабан з вичерпуючими комірками;

регульований обмежувач випадання картоплин;

привод з безступінчастим регулюванням частоти обертання барабана;

насінепровід та лоток для реєстрації подачі картоплин.

Враховуючи наведені складові експериментальної установки, на практиці це буде секція картоплесаджалки, яка підомкращена, що дозволяє обертанню опорно-приводних коліс із заданою частотою та фіксуванню картоплин, що випадають із насінепровіда.

Сам вичерпуючий апарат працює наступним чином.

Картоплини з бункера самоплинно надходять у внутрішню порожнину барабана, де захоплюються вичерпуючими комірками [62]. У процесі підйому надлишкові картоплини випадають під дією сили тяжіння. Подальше утримування одиничної картоплини забезпечується обмежувачем, який перешкоджає її випаданню до моменту досягнення коміркою положення, близького до вертикального. Після завершення площини обмежувача картоплина під дією власної ваги випадає в насінепровід та спрямовується у борозну, розкрити сошником.

Методика проведення експериментальних досліджень.

Підготовка до експерименту на даному етапі дослідження передбачає наступні кроки.

Необхідно відібрати партію картоплин з відомими розмірами та масою. Провести калібрування картоплин за фракціями.

Встановити задані параметри:

число обертів барабана;

положення обмежувача.

А також забезпечити стабільний рівень завантаження бункера, що потік картоплин до вичерпуючого барабана був безперервним [62].

Для оцінки заповненості комірок бульбами можна скористатися

залежністю

$$k_3 = \frac{N_1}{N}, \quad (3.4)$$

де N_1 – кількість комірок заповнених однією картоплиною;

N – загальна кількість проходів комірок за час досліду.

Методика оцінювання якості роботи садильного апарату.

Забезпечуємо 12,85 обертів опорно-приводного колеса із заданою частотою, що відповідає 7,14 обертів садильного барабана або роботі 100 вичерпуючих комірок. За таких умов при одиничному виносі картоплин мало би бути викинуто у насінепровод апаратом рівно 100 бульб.

Для оцінки якості роботи вичерпуючого апарату потрібно перевірити такі параметри відповідними коефіцієнтами:

– винос одиничних бульб

$$k_o = \frac{N_{od}}{N_{zag}}, \quad (3.5)$$

де N_{zag} – загальна кількість бульб, що визначена експериментом, наприклад

$N_{zag} = 100$ шт;

– кількість двійників

$$k_d = \frac{N_{dv}}{N_{zag}}; \quad (3.6)$$

– кількість пропусків

$$k_n = \frac{N_{np}}{N_{zag}}; \quad (3.7)$$

Для визначення ритмічності подачі картоплі при її подачі і вкладанні на дно розкритої борозни потрібно провести у польових умовах при забезпечення мінімальної глибини розкриття борозни для вкладання картоплі

та при знятих або виглиблених основних загортачах. Тобто потрібно сформувати відкриту борозенку, куди мають потрапляти бульби та не заробляти їх. Тоді із заданою швидкістю протягуємо саджалку відстань, що відповідає, наприклад посадці 100 кущів картоплі та контролюємо крок посадки.

Рівномірність будемо оцінювати коефіцієнтом варіації відстані між послідовними картоплинами

$$V_l = \frac{\sigma_l}{\bar{l}} \cdot 100\%, \quad (3.8)$$

де σ_l – середньоквадратичне відхилення кроку посадки;

\bar{l} – середній крок посадки.

Одночасно у цьому експерименті проводимо оцінку кількості і характеру механічних пошкоджень бульб.

У кількісному відношення оцінюємо коефіцієнтом пошкодження

$$k_{\text{пошк}} = \frac{N_{\text{пошк}}}{N_{\text{заг}}}. \quad (3.9)$$

Агротехнічні та нормативні показники якості посадки картоплі [78, 108, 104]:

при висаджуванні різних за розміром картоплин (несортованих) число пропусків не повинно перевищувати 3%;

число двійників – 5%;

відстань у рядку між картоплинами допускається не більше 20% від кроку посадки;

відхилення ширини міжрядь до ± 2 см для міжрядь 60-70 см;

механічне пошкодження бульб 3-5% (в залежності від призначення);

відхилення від середньої глибини загортання картоплі – ± 2 см.

3.3 Висновки до 3 розділу

У третьому розділі розроблено програму та методику експериментальних досліджень універсальної картоплесадильної машини, що дало змогу сформулювати такі висновки:

– розроблена програма експериментальних досліджень дозволяє комплексно оцінювати роботу фрезерного модуля, садильного апарату барабанного типу та апарата дискретного внесення мінеральних добрив в умовах, наближених до виробничих;

– обґрунтовано та реалізовано методику лабораторних і польових випробувань, яка забезпечує визначення основних технологічних, кінематичних та енергетичних показників роботи робочих органів картоплесадильної машини.

– визначено основні фактори та діапазони їх варіювання, що впливають на якість смугового фрезерування ґрунту, рівномірність кроку посадки бульб і параметри дискретного внесення мінеральних добрив.

– запропонована методика експериментів та засоби вимірювання забезпечують достатню точність і відтворюваність результатів, необхідну для перевірки адекватності теоретичних моделей.

– обрана схема планування експериментів та методи статистичної обробки дозволяють отримати базу для подальшого аналізу експериментальних даних і встановлення раціональних режимів роботи універсальної картоплесадильної машини;

– отримані в третьому розділі положення і методичні рішення є основою для проведення та аналізу експериментальних досліджень, результати яких наведено у четвертому розділі дисертаційної роботи.

Основні наукові результати розділу опубліковані у працях [4, 46, 45, 5, 39, 38].

РОЗДІЛ 4

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ УНІВЕРСАЛЬНОЇ
КАРТОПЛЕСАДЖАЛКИ4.1 Побудова плану та проведення польових експериментальних
досліджень фрезерного модуля

4.1.1 Побудова плану експерименту

На основі розроблених планів та методики проведення експериментальних досліджень складаємо план-матрицю експерименту для визначення параметрів ефективності роботи фрезерного модуля.

Незалежними факторами будуть частота обертання фрезерного барабана, яку будемо варіювати в межах 200-300 об/хв, та поступальна швидкість агрегату – 0,8-1,6 м/с.

На основі цього побудуємо матрицю плану експерименту типу 3^2 , табл. 4.1

Таблиця 4.1 – План-матриця експериментального дослідження фрезерного модуля

Позначення	Фактор	-1	0	+1
x_1	n_b , об/хв	200	250	300
x_2	g_m , м/с	0,8	1,2	1,6

За попереднім обґрунтуванням було прийнято, що повний факторний експеримент буде мати 2 незалежні фактори, які змінюватимуться на 3 рівнях та матимуть трикратні повторюваності [7].

На основі цього складемо план експерименту у закодованих значеннях факторів, табл. 4.2.

Таблиця 4.2 – План експерименту типу $N = 3^2$

№	x_1	x_2	Повтор 1	Повтор 2	Повтор 3
1	-1	-1	У ₁₁	У ₂₁	У ₃₁
2	-1	0	У ₁₂	У ₂₂	У ₃₂
3	-1	1	У ₁₃	У ₂₃	У ₃₃
4	0	-1	У ₁₄	У ₂₄	У ₃₄
5	0	0	У ₁₅	У ₂₅	У ₃₅
6	0	1	У ₁₆	У ₂₆	У ₃₆
7	1	-1	У ₁₇	У ₂₇	У ₃₇
8	1	0	У ₁₈	У ₂₈	У ₃₈
9	1	1	У ₁₉	У ₂₉	У ₃₉

4.1.2 Проведення експериментальних досліджень

Реалізуючи програму експериментальних дослідження щодо визначення показників ефективності роботи фрезерного модуля при підготовці ґрунту до посадки, було проведено ряд польових експериментів. Універсальну картоплесадильну машину було навішано на спеціальний енергетичний засіб, особливістю якого є здатність трансмісії забезпечувати різні частоти ВВП та поступальні швидкості агрегату.

Дослідження фрезерного модуля проходило у режимі тільки фрезерування, тобто сошники та загортачі мали нульову глибину обробітку, щоб ефективніше можна було оцінити його роботу, оскільки не проходило змішування ґрунту з розкритої сошником борозенки, а також нагорнутого гребеня загортачем, рис. 4.1.



а)



б)

а – вигляд фрезерного модуля; б – кадр з відео роботи модуля
Рисунок 4.1 – Польові дослідження ефективності роботи фрезерного модуля

Оцінку виконано за наведеною методикою, що описана у попередньому розділі і це дозволило сформувавши робочу матрицю експерименту, табл. 4.3.

Таблиця 4.3 – Робоча матриця експерименту

№ з/п	n_b , об/хв	g_m , м/с	d_1	d_2	d_3	d_{cp}	V_{h1}	V_{h2}	V_{h3}	V_h
1	200	0,8	22,4	21,7	22,0	22,03	8,47	8,54	8,50	8,5
2	200	1,2	26,3	25,7	26,0	26,0	9,12	9,08	9,10	9,1
3	200	1,6	31,4	30,8	31,0	31,07	10,18	10,25	10,2	10,21
4	250	0,8	15,9	16,2	16,0	16,03	7,41	7,39	7,4	7,4
5	250	1,2	19,3	18,6	19,0	18,97	8,11	8,12	8,08	8,1
6	250	1,6	25,2	24,7	25,1	25,0	9,77	9,81	9,8	9,79
7	300	0,8	12,2	11,7	12,0	11,97	7,12	7,07	7,09	7,09
8	300	1,2	15,4	14,8	15,0	15,07	7,68	7,72	7,74	7,71
9	300	1,6	21,2	20,7	21,0	20,97	8,63	8,57	8,59	8,6

Таким чином, було зібрано та частково оброблено дані першого етапу експериментальних досліджень агрегатів універсальної картоплесаджалки.

4.1.3 Обробка експериментальних даних при дослідженні роботи фрезерного модуля

Обробку експериментальних даних будемо виконувати за стандартними методиками, що наведені у ряді літературних джерел [98, 106, 42, 43, 44, 54, 60, 63, 65].

Отримані результати, що внесені до табл. 4.3, повинні пройти перевірку однорідності дисперсій на основі критерію Кохрена.

Першим кроком є обчислення дисперсій у кожній точці

$$s_i^2 = \frac{\sum_{j=1}^N (y_{ij} - \bar{y}_i)^2}{n-1}. \quad (4.1)$$

За аналізом дисперсій (4.1) при визначенні діаметрів ґрунтових грудок максимальне значення дисперсії складає $s_{\max}^2 = 0,18$.

$$G_{\text{exp}} = \frac{s_{\max}^2}{\sum s_i^2}. \quad (4.2)$$

Тут $\sum s_i^2 = 1,47$, а відповідно.

Критичне значення коефіцієнта Кохрена при $n = 3$, $N = 9$, $\alpha = 0,05$ складе $G_{\text{кр}} = 0,334$.

Умова однорідності дисперсій виконується

$$G_{\text{exp}} = 0,122 < G_{\text{кр}} = 0,334.$$

Аналогічним чином поступимо при визначенні однорідності дисперсій для експериментальних даних при визначенні коефіцієнта варіації глибини обробітку:

$$s_{\max}^2 = 0,0013;$$

$$\sum s_i^2 = 0,006398;$$

$$G_{\text{exp}} = 0,2031;$$

$$G_{\text{кр}} = 0,334.$$

Тут умова також виконується – дисперсії однорідні

$$G_{\text{exp}} = 0,2031 < G_{\text{кр}} = 0,334.$$

Тепер можна переходити до побудови регресійної залежності та надалі візуалізувати її у вигляді 3-D графіка, вказати на оптимальні або раціональні значення частоти роботи фрезерного барабана при відповідній поступальній швидкості агрегату.

Регресійна залежність, яка описуватиме процес роботи фрезерного модуля матиме вигляд

$$y = b_0 + b_1 \cdot x_1 + b_2 \cdot x_2 + b_{12} \cdot x_1 \cdot x_2 + b_{11} \cdot x_1^2 + b_{22} \cdot x_2^2. \quad (4.3)$$

Для визначення коефіцієнтів квадратичної регресійної залежності було використано відомі методики, що наведено у ряді літературних джерел [102, 7, 71, 76, 96, 99, 100, 125, 2]. Тут представляє остаточні оброблені результати.

Визначені коефіцієнти залежності (4.3) при визначенні середнього діаметру ґрунтових фракцій у профрезерованому ґрунті будуть складати:

$$b_0 = 21,99;$$

$$b_1 = -7,95;$$

$$b_2 = 4,48; \quad (4.4)$$

$$b_{11} = 1,55;$$

$$b_{12} = -0,88;$$

$$b_{22} = 1,8.$$

Тоді рівняння регресії у закодованих значеннях матиме вигляд

$$d_{cp} = 21,99 - 7,95 \cdot x_1 + 4,48 \cdot x_2 - 0,88 \cdot x_1 \cdot x_2 + 1,55 \cdot x_1^2 + 1,8 \cdot x_2^2. \quad (4.5)$$

Відповідним чином аналогічні коефіцієнт було знайдено при опрацюванні значень коефіцієнта варіації:

$$\begin{aligned} b_0 &= 8,5; \\ b_1 &= -0,71; \\ b_2 &= 0,49; \\ b_{11} &= 0,12; \\ b_{12} &= -0,09 \\ b_{22} &= 0,14 \end{aligned} \quad (4.6)$$

Регресійне рівняння для коефіцієнта варіації

$$V_h = 8,5 - 0,71 \cdot x_1 + 0,49 \cdot x_2 + 0,09 \cdot x_1 \cdot x_2 + 0,12 \cdot x_1^2 + 0,14 \cdot x_2^2. \quad (4.7)$$

Виконаємо перевірку значущості коефіцієнтів за критерієм Стюдента.

Наведемо значення середньоквадратичного відхилення досліджуваних параметрів при трикратній їх повторюваності за дослідями:

– для середнього діаметру грудок

$$s_{Yd} = 0,38 \text{ мм};$$

– для коефіцієнта варіації

$$s_{YV} = 0,09 \text{ \%}.$$

Стандартна похибка коефіцієнтів буде визначатися за залежністю

$$s_b = \frac{s_Y}{\sqrt{N}}, \quad (4.8)$$

тоді t-критерій:

$$t_i = \frac{|b_i|}{s_b}. \quad (4.9)$$

Критичне значення коефіцієнта Стюдента

$$t(0,05, N(n-1) = 18) = 2,1.$$

Співставляючи отримані значення критерію по кожному із коефіцієнтів ($t_i > t_{кр}$), робимо висновок щодо їх значущості:

- коефіцієнти (4.4) – всі значущі, окрім b_{12} ;
- коефіцієнти (4.6) – всі значущі, окрім b_{12} , b_{11} – має граничне значення;

Далі виконаємо перевірку адекватності моделі за критерієм Фішера.

Ця перевірка зумовлена тим, що вже є регресійна модель і потрібно перевірити її адекватність, тобто чи вона дійсно відображає характер зміни експериментальних даних.

Дисперсія адекватності у загальному вигляді

$$S_a^2 = \frac{n}{N-p} \sum_{i=1}^N (\hat{y}_i - y_i)^2, \quad (4.10)$$

де \hat{y}_i – значення, що відтворюються моделлю;

p – кількість значущих коефіцієнтів (після перевірки за t-критерієм), включаючи b_0 .

Дисперсія відтворюваності

$$S_Y^2 = \frac{\sum S_i^2}{N}, \quad (4.11)$$

значення наведені вище.

Тоді критерій Фішера буде визначатися за залежністю

$$F = \frac{S_a^2}{S_Y^2}. \quad (4.12)$$

Прораховані значення :

- при визначенні діаметра грудок:

$$S_a^2 = 0,37,$$

$$S_Y^2 = 0,14,$$

$$F = 2,64;$$

- при визначенні коефіцієнта варіації глибини:

$$S_a^2 = 0,0082,$$

$$S_Y^2 = 0,008,$$

$$F = 1,03.$$

Отримане значення потрібно порівняти з табличними критичними, які при $\alpha = 0,05$; $f_1 = N - p$; $f_2 = N(n - 1)$ будуть мати значення:

– при визначенні середнього діаметру грудок – $F_{кр}(0,05; 4; 18) = 2,93$;

– при визначенні коефіцієнта варіації – $F_{кр}(0,05; 4; 18) = 2,93$.

Тепер табличні критичні значення цього критерію потрібно порівняти з розрахунковими:

$$F_d = 2,64 < F_{кр} = 2,93;$$

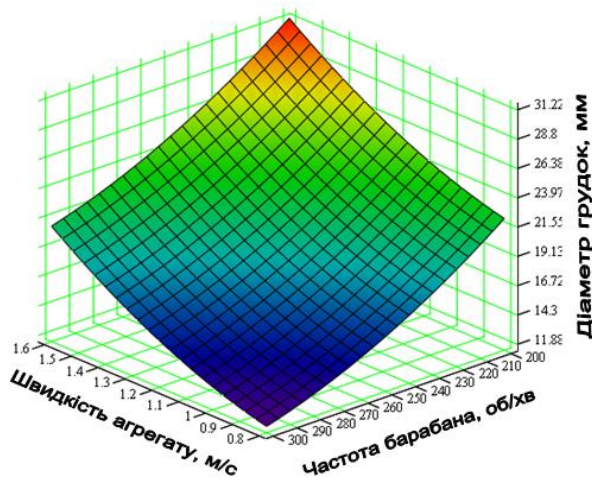
$$F_V = 1,03 < F_{кр} = 2,93.$$

Отже, моделі адекватно відображають значенні величин, що знайдені експериментальним шляхом.

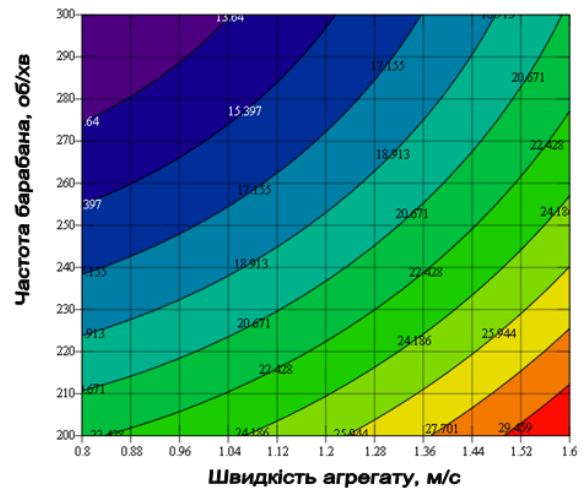
Тепер рівняння регресій (4.5) і (4.7) можна візуалізувати (рис. 4.2 і 4.3), але перед тим перепишемо їх у натуральних величинах:

$$d_{cp} = 71,2222 - 0,3367n_b - 6,25g_m + 4,667 \cdot 10^{-4} n_b^2 + 7,2917g_m^2, \quad (4.13)$$

$$V_h = 13,55 - 0,03167n_b - 1,5417g_m - 0,0025g_m n_b + 4 \cdot 10^{-5} n_b^2 + 1,875g_m^2, \quad (4.14)$$



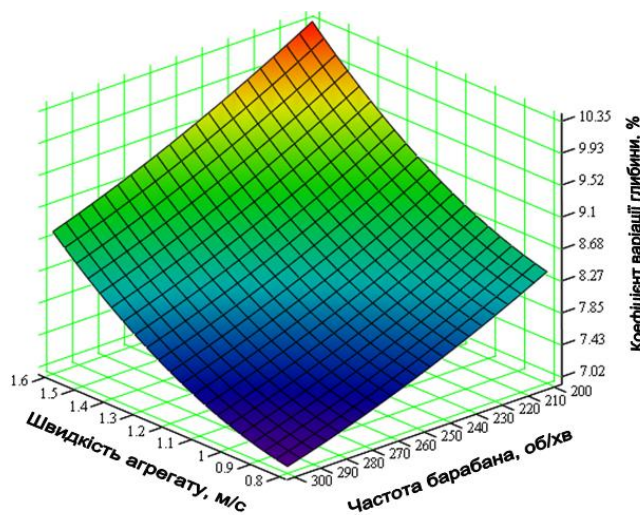
а)



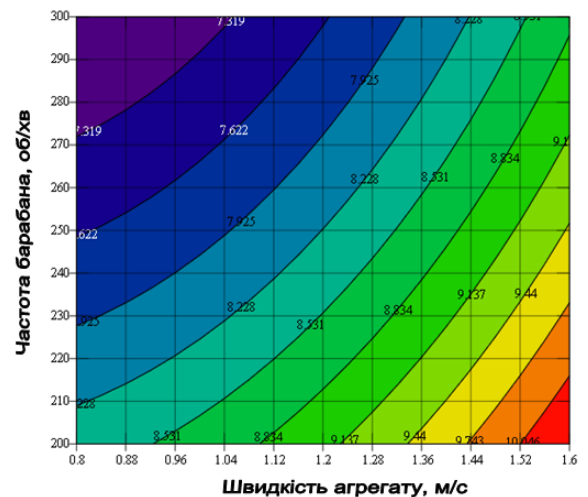
б)

а – графік поверхні; б – контурний графік

Рисунок 4.2 – Графічні залежності, що показують середній діаметр грудок ґрунту при смуговому фрезеруванні



а)



б)

а – графік поверхні; б – контурний графік

Рисунок 4.3 – Графічні залежності коефіцієнта варіації глибини обробітку

Аналізуючи рис. 4.2 та 4.3 та задаючись оптимальним розміром середнього діаметра грудок 19 мм, то лінія оптимуму буде при $n_b = 225$ об/хв, $g_m = 0,833$ м/с, а коефіцієнт варіації глибини обробітку при цьому буде складати $V_h = 8$ %.

4.2 Побудова плану та проведення польових експериментальних досліджень садильного апарату

4.2.1 Побудова плану експерименту

Для дослідження параметрів вичерпуючого апарату барабанного типу картоплесадильної машини, а саме, встановлення значень та відхилень кроку посадки, наявності пропусків та двійників, було сплановано повно факторний експеримент типу 3^2 . Де два незалежні фактори варіювалися на трьох рівнях.

Незалежними факторами тут виступають поступальна швидкість машини, яку змінювали 0,8 м/с, 1,2 м/с, 1,6 м/с. Причому цей чинник мав безпосередній вплив на процес вичерпування картоплі садильним барабаном через частоту обертання самого барабана, бо опорно-приводні колеса кінематично зв'язані з ними ланцюговою передачею з передаточним відношенням 1:1,8. Тобто зі збільшенням поступальної швидкості машини синхронно зростає частота обертання барабанів.

Другим незалежним фактором є кут установки обмежувача. Його значення вибрані у межах 95^0 , 100^0 , 105^0 . Значення вибрані за попереднім теоретичним обґрунтуванням з умови виносу одиничної картоплини вичерпуючою коміркою.

Кількість повторюваних дослідів за однією комбінацією – 3, загалом дослідів – 27.

Таблиця 4.4 – Матриця кодування факторів

Позначення	Фактор	-1	0	+1
x_1	ϑ_m , м/с	0,8	1,2	1,6
x_2	$\varphi_{обм}$, град	95	100	105

На основі цього складаємо матрицю планування експерименту, табл. 4.5

Таблиця 4.5 – Матриця планування експерименту типу $N = 3^2$ при дослідженні вичерпуючого апарату

№	x_1	x_2	Середнє значення кроку посадки, мм \bar{y}_{1j}	Середнє відсоткове значення числа пропусків, % \bar{y}_{npj}	Середнє відсоткове значення числа двійників, % $\bar{y}_{двj}$
1	-1	-1	\bar{y}_{11}	\bar{y}_{np1}	$\bar{y}_{дв1}$
2	-1	0	\bar{y}_{12}	\bar{y}_{np2}	$\bar{y}_{дв2}$
3	-1	1	\bar{y}_{13}	\bar{y}_{np3}	$\bar{y}_{дв3}$
4	0	-1	\bar{y}_{14}	\bar{y}_{np4}	$\bar{y}_{дв4}$
5	0	0	\bar{y}_{15}	\bar{y}_{np5}	$\bar{y}_{дв5}$
6	0	1	\bar{y}_{16}	\bar{y}_{np6}	$\bar{y}_{дв6}$
7	1	-1	\bar{y}_{17}	\bar{y}_{np7}	$\bar{y}_{дв7}$
8	1	0	\bar{y}_{18}	\bar{y}_{np8}	$\bar{y}_{дв8}$
9	1	1	\bar{y}_{19}	\bar{y}_{np9}	$\bar{y}_{дв9}$

Для аналізу і візуалізації експериментальних даних використаємо регресійні залежності, що описуються виразом (4.3).

4.2.2 Проведення експериментальних досліджень вичерпуючого апарату

Для проведення досліджень щодо визначення параметрів роботи вичерпуючого апарату проводились у кілька етапів – лабораторні дослідження та польові експериментальні дослідження.

Метою лабораторних досліджень було отримання даних, які засвідчують здатність виносу одиничної картоплини коміркою вичерпуючого апарату, на основі яких встановлено діапазон кутів розміщення обмежувача та зазор між його площиною та краєм вичерпуючої комірки, рис. 4.4.



Рисунок 4.4 – Лабораторні дослідження роботи вичерпуючого апарату

Результатом такого дослідження є виявлення раціональних значень кутів постановки обмежувача, який складає 95° - 105° , зазор між площиною обмежувача та краєм вичерпуючої комірки – 8-12 мм. Значення залежать від розмірів посадкового матеріалу.

Підсумковим експериментом були польові випробування роботи картоплезалки. Для отримання показників роботи вичерпуючого апарату проведено дослідження картоплезалки у режимі «відкритої» борозни на горизонтальній ділянці поля, рис. 4.5.



а) – дослідження роботи садильного апарату у «відкритій борозні»; б – робочий режим посадки; в – результат посадки площі
Рисунок 4.5 – Польові дослідження роботи вичерпуючого апарату

Параметри, які підлягали контролю: крок посадки, наявність пропусків та двійників у гнізді. Повторюваність дослідів трикратна згідно план-матриці експерименту.

Таблиця 4.6 – Робоча матриця експерименту

№ з/п	\mathcal{G}_m , м/с	$\varphi_{обм}$, град	Середнє значення кроку посадки, мм \bar{y}_{lj}	Середнє відсоткове значення числа пропусків, % \bar{y}_{npj}	Середнє відсоткове значення числа двійників, % \bar{y}_{dj}
1	0,8	95	0,2627	0,0280	0,0180
2	0,8	100	0,2583	0,0260	0,0150
3	0,8	105	0,2580	0,0230	0,0110
4	1,2	95	0,2703	0,0210	0,020
5	1,2	100	0,2670	0,0190	0,0173
6	1,2	105	0,2630	0,0170	0,0130
7	1,6	95	0,2760	0,0160	0,0250
8	1,6	100	0,270	0,0150	0,0220
9	1,6	105	0,2673	0,0130	0,018

Отримані результати польового експерименту підлягають подальшій статистичній обробці для їх узагальнення та отримання раціональних параметрів процесу.

4.2.3 Обробка експериментальних даних при дослідженні роботи вичерпуючого апарату

Перш ніж перейти до визначення коефіцієнтів регресійних залежностей для трьох функцій відгуку, потрібно виконати перевірку однорідності дисперсій за критерієм Кохрена.

Алгоритм залишається той самий, що був наведений у попередньому пункті. Це типові операції статистичної обробки даних, а тому наведемо зразу результати.

Для даних при визначенні кроку посадки:

Розрахункове значення критерію Кохрена складає $G_{\phi l} = 0,312$, табличне $G_{табл l} = 0,48$ (при $k = 9$, $m = 3$, $\alpha = 0,05$), отже

$$G_{\phi l} < G_{табл l},$$

умова виконується, дисперсії однорідні.

Для даних при визначенні відсоткового значення числа пропусків:

Розрахункове значення критерію Кохрена складає $G_{\phi np} = 0,26$, табличне $G_{табл np} = 0,48$ (при $k = 9$, $m = 3$, $\alpha = 0,05$), отже

$$G_{\phi np} < G_{табл np},$$

умова виконується, дисперсії однорідні.

Для даних при визначенні відсоткового значення числа двійників.

Розрахункове значення критерію Кохрена складає $G_{фдв} = 0,254$, табличне $G_{таблдв} = 0,48$ (при $k = 9$, $m = 3$, $\alpha = 0,05$), отже

$$G_{фдв} < G_{таблдв},$$

умова виконується, дисперсії однорідні.

Як бачимо, що для всіх трьох експериментів дані отримані коректні, їх дисперсії однорідні. Тепер можна переходити до визначення коефіцієнтів рівняння регресії для кожної функції відгуку та оцінити їх значущість за критерієм Стьюдента.

Процеси, що досліджувались, опишемо рівнянням регресії 2-го порядку (4.3). При визначенні кроку посадки отримано вираз рівняння регресії наступного вигляду

$$y_l = 0,2673 + 0,0061 \cdot x_1 - 0,004 \cdot x_2 + 0,0019 \cdot x_1 \cdot x_2 + 0,0031 \cdot x_1^2 + 0,001 \cdot x_2^2. \quad (4.15)$$

Тут табличне значення критерію Стьюдента складає $t_{табл}(f = 21; \alpha = 0,05) = 2,08$. Виходячи з цього, всі коефіцієнт значущі окрім коефіцієнта b_{22} , який можна відкинути і не враховувати у виразі рівняння регресії із-за його малості.

Аналогічним чином проробляємо таку ж операцію і для даних при визначенні відсоткового значення числа пропусків. Отримаємо регресійну залежність наступного вигляду

$$y_{np} = 0,019 - 0,006 \cdot x_1 - 0,003 \cdot x_2 + 0,0015 \cdot x_1 \cdot x_2 + 0,0025 \cdot x_1^2 \quad (4.16)$$

Незначущим коефіцієнтом є також b_{22} .

Для даних щодо відсоткового значення числа двійників –

$$y_{\text{дв}} = 0,0171 + 0,005 \cdot x_1 - 0,0063 \cdot x_2 + 0,002 \cdot x_1 \cdot x_2 + 0,0026 \cdot x_1^2. \quad (4.17)$$

Тут незначущим коефіцієнтом є також b_{22} .

Тепер, перед побудовою поверхонь відгуків, зробимо ще одну перевірку наших моделей на адекватність, тобто здатність реально відобразити значення функцій відгуку, які дійсно відповідають числовим значенням експерименту. Таку перевірку зробимо за критерієм Фішера.

Маємо наступні результати:

– для моделі щодо кроку посадки

$$F_{\text{пл}} = 0,92 < F_{\text{табл}}(0,05) = 2,93;$$

– для моделі відсоткових значень пропусків

$$F_{\text{фпр}} = 1,04 < F_{\text{табл}}(0,05) = 2,93.$$

– для моделі відсоткових значень двійників

$$F_{\text{фдв}} = 0,87 < F_{\text{табл}}(0,05) = 2,93.$$

Як видно з результатів, що всі моделі адекватні і можна будувати поверхні відгуку та рекомендувати раціональні чи оптимальні значення параметрів.

Для кращого сприйняття результатів експерименту перейдемо до фізичних величин незалежних факторів:

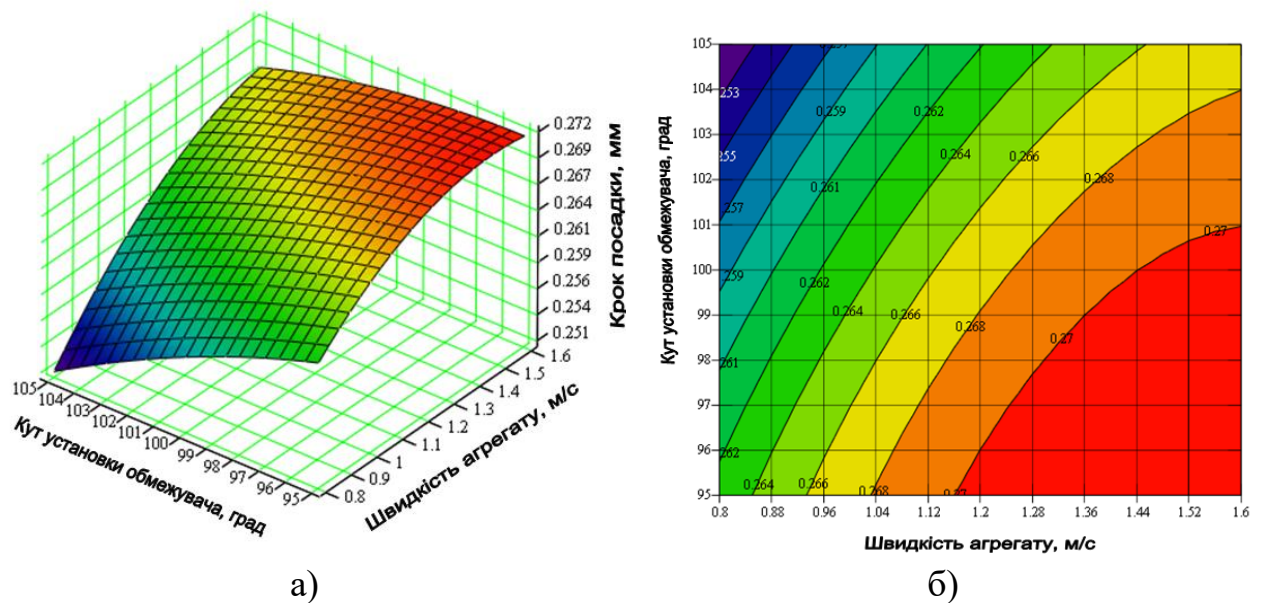
$$x_1 = \frac{\vartheta_m - 1,2}{0,4} \text{ або } \vartheta_m = 1,2 + 0,4x_1, \quad (4.18)$$

$$x_2 = \frac{\varphi_{обм} - 100}{5} \text{ або } \varphi_{обм} = 100 + 5x_2. \quad (4.19)$$

Тоді рівняння регресії для визначення кроку посадки у натуральних величинах матиме вигляд

$$\begin{aligned} y_1(\vartheta_m, \varphi_{обм}) = & 0,2673 + 0,01525 \cdot (\vartheta_m - 1,2) - 0,0008 \cdot (\varphi_{обм} - 100) + \\ & + 0,00095 \cdot (\vartheta_m - 1,2) \cdot (\varphi_{обм} - 100) - 0,0194 \cdot (\vartheta_m - 1,2)^2 - \\ & - 0,00004 \cdot (\varphi_{обм} - 100)^2. \end{aligned} \quad (4.20)$$

Покажемо залежність кроку посадки картоплі від поступальної швидкості агрегату (частоти обертання барабана) та кута встановлення обмежувача, рис. 4.6.

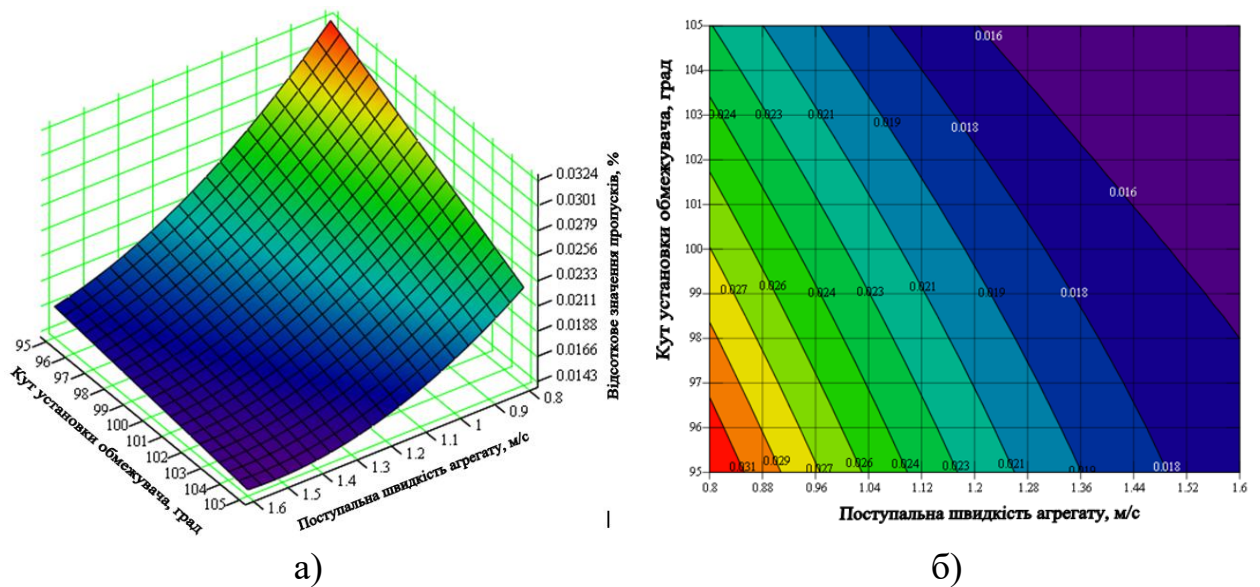


а – графік поверхні; б – контурний графік
Рисунок 4.6 – Графічні залежності кроку посадки картоплі

Рівняння регресії для відсоткових значень пропусків (4.21) та її графічна інтерпретація, рис. 4.7.

$$y_{np}(\vartheta_m, \varphi_{обм}) = 0,019 + 0,015 \cdot (\vartheta_m - 1,2) - 0,0006 \cdot (\varphi_{обм} - 100) +$$

$$+ 0,00094 \cdot (\vartheta_m - 1,2) \cdot (\varphi_{обм} - 100) + 0,0156 \cdot (\vartheta_m - 1,2)^2. \quad (4.21)$$

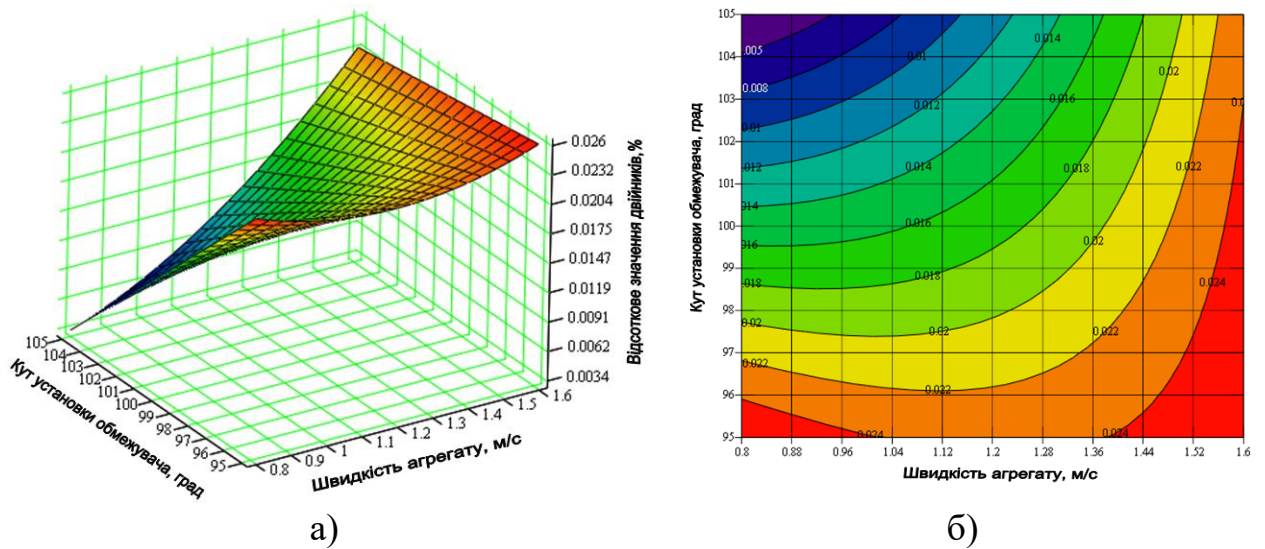


а) — графік поверхні; б) — контурний графік
Рисунок 4.7 – Відсоткові значення пропусків

Аналогічно представимо результати щодо спостереження наявних двійників у гнізді –

$$y_{ов}(\vartheta_m, \varphi_{обм}) = 0,0171 + 0,0125 \cdot (\vartheta_m - 1,2) - 0,00126 \cdot (\varphi_{обм} - 100) +$$

$$+ 0,0025 \cdot (\vartheta_m - 1,2) \cdot (\varphi_{обм} - 100) + 0,01625 \cdot (\vartheta_m - 1,2)^2. \quad (4.22)$$



а – графік поверхні; б – контурний графік
Рисунок 4.8– Наявність двійників у гніздах (%)

Як видно із графічних залежностей (рис. 4.6 – 4.8), що досліджувані параметри роботи садильного апарату лежать в межах величин, що регламентовані агротехнічними вимогами до процесу посадки картоплі. Але разом з тим, було вирішено ряд локальних оптимізаційних задач, за якими встановлено оптимальні значення режимів роботи садильного апарата: поступальна швидкість агрегату – 1,3 м/с; кут установки обмежувача – 96° .

В ході проведення експерименту контролювали також кількість пошкоджених бульб (бульби вважають пошкодженими, якщо глибина пошкодження становить 5 мм і більше та довжина більше ніж 10 мм.), такий відсоток складає приблизно 2-3%. Причиною пошкоджень є заклинювання бульб у комірці вичерпуючого апарату. А причинами не випадання «зайвої» картоплини є відсутність належної підготовки насіння – це відсутність карібрування насіння (одночасно зустрічаються дрібні та крупні картоплини) і друга причина – насіневі бульби втратили свою пружність і на час садіння є надто податливими (м'якими), що створює великі коефіцієнти тертя між собою та комірками вичерпуючого барабана.

4.3 Експериментальне дослідження ефективності роботи апарату для внесення мінеральних добрив

Виконання даного дослідження обумовлене необхідністю перевірки задекларованої можливості умовно дискретного внесення мінеральних добрив під гніздо картоплі. Дослід виконаного паралельно із попередніми експериментами, тобто при роботі саджалки у так званій «відкритій борозні». Наведені спостереження мають інформативний характер та для них не використовуються якісь чіткі критерії, оскільки цей процес не регламентований агротехнічними вимогами. Метою дослідження було встановити максимальну синхронізацію роботи садильного апарату та апарату для внесення мінеральних добрив. Суть цього процесу полягає у тому, щоб мінеральні добрива, які висипаються апаратом почергово, почали висипатися дещо раніше, ніж випадає картоплини у борозну та закінчували висипатися після вже розміщення картоплини у борозні. Цей процес реалізовується завдяки спеціальній конструкції дозуючої котушки тукового апарату.

Після виконання теоретичних розрахунків було встановлено кут запізнення висипання добрив, перестановкою приводного ланцюга на веденій зірочці приводу або безступеневим прокручуванням та фіксацією веденої зірочки на веденому валу, що містить різьбову ділянку для реалізації даного регулювання.

Разом з дослідженнями кроку посадки, наявності пропусків та двійників спостерігали ширину зони висипання мінеральних добрив та її розміщення по відношенню до утвореного центру гнізда – картоплини, що випадала у борозну з відхиленнями кроку посадки, рис. 4.5, а

Результатом є отримання значень ширини зони висипання добрив по відношенню до кроку посадки. Наприклад, для заданого кроку посадки 267 мм середнє значення ширини зони висипання добрив склала 105 мм відхилення ± 10 мм. Розміщення центру зони висипання добрив стабільне та відповідає геометричному центру картопляного гнізда. Але оскільки крок

посадки має відхилення до $\pm 5\%$, то і зона висипання умовно зміщена від центру гнізда на таку ж величину. З міркувань технічного забезпечення цього процесу – точність розміщення зони висипання добрив є задовільною, агротехнічними нормативами такий процес не регламентований.

Ефект біологічний, який тут спостерігається, це умовно дискретне внесення добрив, тобто їх концентрація не вздовж осі рядка, а локально під рослину. Це дозволить при тих самих нормах внесення добрив на гектар підвищити ефективність живлення рослини, або навпаки, якщо норма при суцільному внесенні була достатньою для рослини, то зменшити витрату добрив, але забезпечити їх адресну доставку.

Що стосується масової норми внесення добрив, на першому етапі роботи тукового апарату було спочатку теоретично прораховано масу викиду добрив одним жолобком та експериментально підтверджено.

Для такого експерименту застосовано котушку тукового апарату, у жолобок якої було засипано відповідним мінеральним добривом, утворений об'єм добрив зважували. Робоча довжина жолобка 80 мм. Для цього досліджу було застосовано чотирикратну повторюваність. Отримано наступні результати, табл. 4.7.

Таблиця 4.7 – Визначення маси добрив об'ємом жолобка котушки

Назва добрива	Зображення	Середня маса об'єму, г
1. Нітроамофоска 16:16:16		20,14
2. Карбамід		16,85

Закінчення табл. 4.7

3. Осмокот		18,43
4. Кристалон		12,20

Отримані дані дозволитимуть більш ефективно та зрозуміло встановлювати норму внесення препарату, адже в конструкції картоплесаджалки передбаченого, що саме робочий об'єм добрив одного жолобка висипається під один кущ картоплі. І тому норму на гектар можна перерахувати більш індивідуально – як норму під одне гніздо картоплі. Такий підхід дозволить збільшити концентрацію добрив у картопляному гнізді, підвищити ефективність живлення культурної рослини, що призведе до підвищення врожайності картоплі в межах 10%, не збільшуючи масу внесених добрив на задану площу.

4.4 Висновки до 4 розділу

У четвертому розділі дисертаційної роботи наведено результати експериментальних досліджень універсальної картоплесадильної машини та її основних робочих органів.

Експериментальними дослідженнями підтверджено, що смугове фрезерування ґрунту фрезерним модулем забезпечує формування

однорідного посадкового ложа з оптимальними показниками грудкуватості та щільності, що узгоджується з результатами теоретичних досліджень.

Встановлено, що зміна частоти обертання фрезерного барабана та поступальної швидкості агрегату істотно впливає на якість фрезерування і енерговитрати, при цьому існує раціональна область режимів роботи, за якої досягається стабільний технологічний ефект.

Експериментально підтверджено ефективність направляючого кожуха фрезерного барабана, який забезпечує первинне присипання насіння картоплі ґрунтовою стружкою.

Дослідження роботи садильного апарату барабанного типу показали, що за раціонально обраних кінематичних параметрів забезпечується висока рівномірність кроку посадки та зниження кількості пропусків і подвійного висадження бульб.

Експериментально встановлено, що дискретне припосадкове внесення мінеральних добрив забезпечує стабільну локалізацію добрив у зоні картопляного гнізда та узгоджену роботу тукового і садильного апаратів.

Отримані експериментальні залежності мають задовільну відтворюваність і статистично підтверджують адекватність розроблених теоретичних моделей, що дозволяє використовувати їх для практичного обґрунтування режимів роботи машини.

Результати четвертого розділу стали основою для визначення раціональних параметрів і режимів роботи універсальної картоплесадильної машини та подальшого аналізу її ефективності, наведеного у п'ятому розділі дисертаційної роботи.

Основні наукові результати розділу опубліковані у працях [3, 49,50].

РОЗДІЛ 5

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРАЦЕЗДАТНОСТІ ТА ОБҐРУНТУВАННЯ РАЦІОНАЛЬНИХ ПАРАМЕТРІВ МЕХАНІЗМІВ УНІВЕРСАЛЬНОЇ КАРТОПЛЕСАДЖАЛКИ

5.1 Вибір раціональної частоти обертання фрезерного барабана модуля підготовки ґрунту

Принциповою схемою універсальної картоплесаджалки закладено першою операцією – передпосадкову підготовку ґрунту, яка реалізовується фрезерним модулем.

У попередніх розділах описано принципи смугового фрезерування при підготовці посадкового ложа для насіння картоплі. Щоб дана операція була ефективною як у технологічному плані, так і за затраченою енергією, потрібно на основі теоретичних викладок 2-го розділу сформулювати методику, яка дозволяє оцінити співвідношення між технологічними, конструктивними та енергетичними параметрами.

Що стосується конструктивних параметрів, то вони вибрані за умов заданої ширини фрезерування та наявних стандартизованих фрезерних ножів.

Головну роль тут відіграють технологічні параметри, зокрема товщина стружки, яка визначає грудкуватість підготовленого шару для утворення посадкового ложа під насіння картоплі. В свою чергу, товщина стружки визначається кінематичними режимом роботи фрезерного барабана, а це вже напряму пов'язано із енергетичним споживанням на процес фрезерування. Саме ці параметри підлягають визначенню як раціональні.

Проведемо оцінку впливу кінематичного режиму роботи фрезерного барабана на товщину стружки, що вирізається його ножами. Будь-яка точка різального леза ножа фрези при виконанні технологічного процесу перебуває у складному русі – відносному та переносному, а траєкторія, що нею описується є циклоїдою.

В загальному вигляді рівняння циклоїди можна описати залежностями,

що наведені у ряді класичної літератури [112, 113, 121, 116,82]:

– у вигляді параметричних рівнянь

$$\begin{cases} x = R(\varphi - \sin \varphi), \\ y = R(1 - \cos \varphi); \end{cases} \quad (5.1)$$

– в декартових координатах

$$x + \sqrt{y(2R - y)} = R \arccos\left(\frac{R - y}{R}\right), \quad (5.2)$$

де φ – кут повороту барабана.

Як видно, що рівняння (5.2) є непрактичним до використання у прикладних дослідженнях, тому за основу приймемо рівняння циклоїди в параметричній формі (5.1).

Перепишемо параметричні рівняння (5.1), відраховуючи кут φ від горизонтальної осі фрезерного барабана при русі останнього справа на ліво. Тут також врахуємо, що агрегат рухається зі швидкістю \mathcal{G}_a , а кут $\varphi = \omega t$ (ω – кутова швидкість фрезерного барабана; t – час.)

Для i -тої точки ножа фрези матимемо:

$$\begin{cases} x_i = \mathcal{G}_a t + R \cos \omega t, \\ y_i = R \sin \omega t. \end{cases} \quad (5.3)$$

Тоді подача на ніж буде визначатись переміщенням розглядуваної точки ножа у поступальному русі за час

$$t_z = \frac{2\pi}{\omega z}, \quad (5.4)$$

тоді, враховуючи співвідношення колової швидкості u_n до поступальної

швидкості агрегату (машини) \mathcal{G}_a через показник кінематичного режиму роботи λ , отримаємо вираз подачі на ніж при роботі ґрунтообробної фрези

$$S_z = \frac{2\pi R}{\lambda z}. \quad (5.5)$$

Для вибору оптимально кінематичного режиму роботи фрезерного барабана потрібно керуватися агротехнічними вимогами, що регламентують висоту гребенів, які утворюються на дні борозни, їх значення не повинно перевищувати $h = 0,2a$, a – глибина фрезерування.

Запишемо вираз кінематичного режиму роботи фрезерного барабана з врахуванням висоти утворених гребенів

$$\lambda = \frac{R \left[\pi(z+2) - 2z \arcsin \left(1 - \frac{h}{R} \right) \right]}{2z(2hR - h^2)^{1/2}}. \quad (5.6)$$

Відповідно до виразу (5.6) варто вибирати значення λ в залежності від глибини фрезерування при дотриманні умови максимальної висоти гребенів на дні борозни, рис. 5.1.

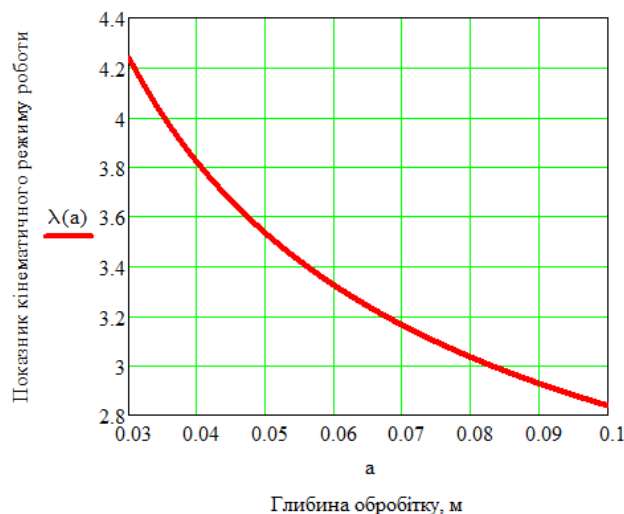


Рисунок 5.1 – Графічна залежність показника кінематичного режиму роботи фрезерного барабана від глибини обробітку

Наведена графічна залежність вказує на те, що менші значення показника кінематичного режиму роботи фрези при заданій глибині обробітку порушить умову $[h] \leq 0,2a$. Тому, керуючись графіком (рис. 5.1), при заданій глибині обробітку можна рекомендувати значення цього показника тільки більші або рівні вказаним.

Крім того, вибір кінематичного режиму роботи фрезерного барабана картоплесадильного агрегату має забезпечувати оптимальну грудкуватість профрезерованої смуги, на що було наголошено вище. Визначення подачі на ніж не в повній мірі характеризує величину максимальної товщини стружки. Як показують числові розрахунки, що максимальна товщини ґрунтової стружки є дещо більшою від величини подачі на ніж. Тому є необхідність звести в одну залежність для визначення товщини ґрунтової стружки δ кінематичні показники та конструктивні параметри ґрунтової фрези.

Опускаючи проміжні викладки, отримаємо

$$\delta = \frac{4,44D \sqrt{\frac{a}{D} - \frac{2a^2}{D^2}}}{\lambda z}, \quad (5.7)$$

де D – діаметр фрезерного барабана.

Для налаштування садильного агрегату варто навести графічну залежність зміни товщини ґрунтової стружки δ від частоти обертання фрезерного барабана n_6 , та поступальної швидкості агрегату v_a , рис. 5.2.

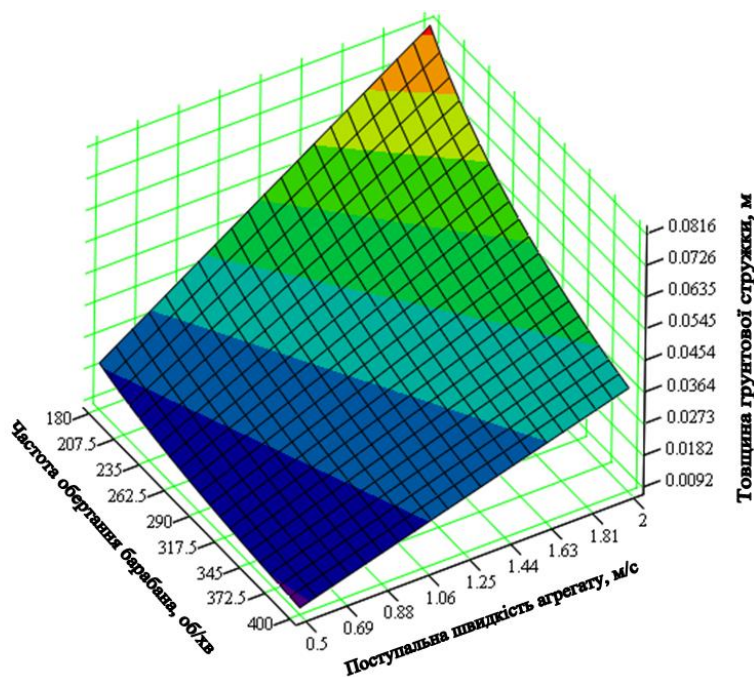


Рисунок 5.2 – Графічна залежність товщини ґрунтової стружки від кінематичних параметрів агрегату

Графічну залежність (рис. 5.2) виконано за таких умов:

діаметр фрезерного барабана – 0,4 м, кількість ножів на одному диску – 4, глибина обробітку – 0,08 м, поступальна швидкість агрегату – 0,5...2 м/с, частота обертання фрезерного барабана варійована в межах – 200...400 об/хв [66].

Наведені графічні залежності (рис. 5.1 і 5.2) дозволяють належним чином налаштувати агрегат в частині роботи фрезерного барабана для здійснення ним якісної підготовки ґрунту – забезпечення оптимальної грудкуватості картопляної грядки. Після цього налаштовують агрегат на задану норму посадки.

Крім раціонального технологічного параметру роботи фрезерного модуля, суттєву роль відіграє ще й енергетична ефективність процесу.

Теоретичні викладки визначення оптимальної частоти обертання фрезерного барабана були зроблені у 2-му розділі, тому на їх основі проведемо дане дослідження.

Оптимум частоти обертання, з енергетичної точки зору, знайдемо на основі похідної сумарної споживаної потужності за частотою обертання

фрезерного барабана (2.53), яку прирівнюємо до нуля, щоб отримати мінімум функції

$$\frac{d\bar{N}_\Sigma}{d\omega_b} = 0. \quad (5.8)$$

Встановимо мінімальне значення кутової швидкості барабана на основі залежності (2.55). Причому свідчення того, що ліва частина даної функції є спадною, а показник степеня – від’ємним, то вона має один мінімум і цей мінімум можна вважати оптимальним значення в межах заданих параметрів дослідження.

Запишемо робочий вираз для визначення оптимального значення кутової швидкості фрезерного барабана

$$\omega_{b\ opt} = \left(\frac{k_0 b R z_n^m \mathcal{G}_n^{1-m} m}{2a} \right)^{\frac{1}{2-m}}. \quad (5.9)$$

Числовий експеримент зроблено при таких значеннях параметрів:

$k_0 = 30$ кН/м² – ефективний коефіцієнт опору різанню ґрунту згідно положень Беккера (вибрано середнє значення для суглинків); $b = 0,06$ м – довжина різальної кромки ножа; $R = 0,2$ м – радіус фрезерного барабана; $z_n = 6$ – кількість ножів всієї фрези, що одночасно вирізають ґрунтову стружку; $m = 0,45$ – показник нелінійності питомого опору різанню (параметр відповідає стану помірно зв’язаного ґрунту); $a = 1,35$ – коефіцієнт втрат при роботі ґрунтофрези; \mathcal{G}_n – рекомендована поступальна швидкість агрегату при посадці картоплі 0,833-1,389 м/с (3-5 км/год).

На рис. 5.3, а для практичного сприйняття результату показано взаємозв’язок частоти обертання фрезерного барабана та поступальної швидкості агрегату; на рис. 5.3, б – залежність показника кінематичного режиму роботи фрези.

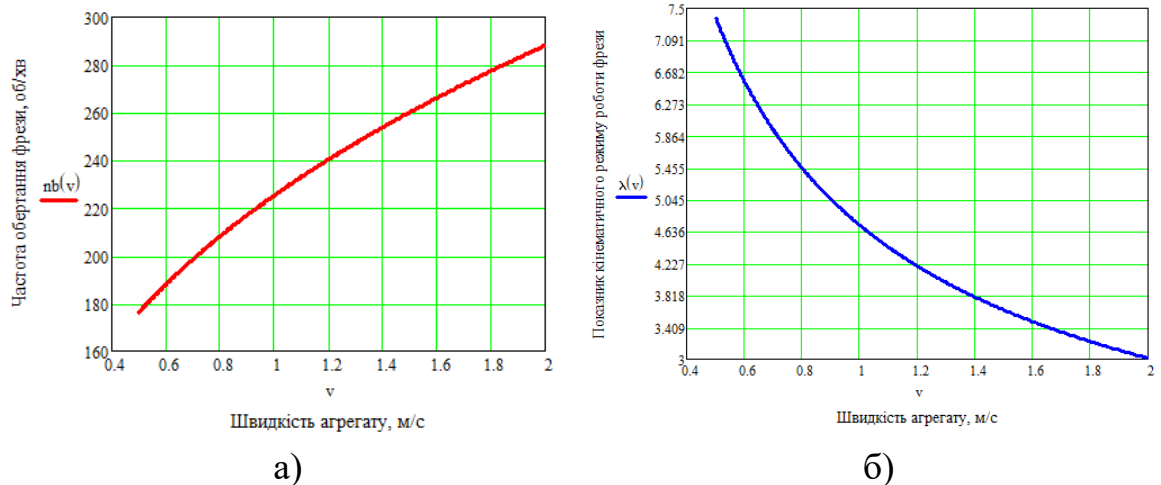


Рисунок 5.3 – Графічні залежності частоти обертання барабана (а) та показника кінематичного режиму роботи фрези (б)

З рисунка 5.3, а видно, що оптимальним значенням частоти обертання фрезерного барабана при мінімальній рекомендованій швидкості 0,833 м/с буде 211,3 об/хв; для швидкості 1,389 м/с – 253,3 об/хв. В діапазоні цих режимів будуть фіксуватися відповідні показники кінематичного режиму роботи, наприклад $\lambda_{opt}(0,833) = 5,313$ та $\lambda_{opt}(1,075) = 4,507$. Отримані значення показника кінематичного режиму роботи фрези добре корелюють з рекомендованими у літературних джерелах ($\lambda = 4 \div 6$), що дозволяє отримати грудкуватість 10-30 мм при підготовці ґрунту при посадці картоплі.

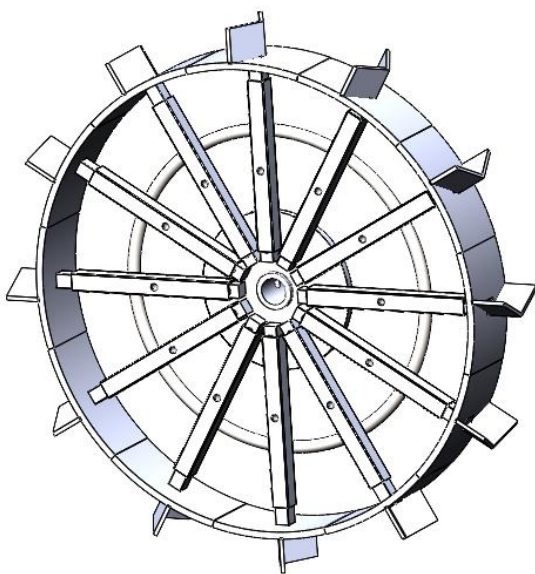
Якщо порівняти отриманий результат із знайденим значенням за проведеними експериментальними дослідженнями, то, наприклад з експерименту встановлено як оптимальне значення частоти обертання фрезерного барабана 225 об/хв при мінімальній поступальній швидкості агрегату 0,833 м/с та отриманні стружки товщиною 19 мм. Розбіжність між аналітичним значенням частоти обертання фрезерного барабана на основі виразу (5.9) та експериментальним складає 6,2%.

Наведена методика дозволяє при заданих параметрах грудкуватості підготовленої площі (через товщину стружки), робочій швидкості агрегату підібрати оптимальний кінематичний режим фрезерного модуля на основі мінімального споживання енергії на фрезерування.

5.2 Обґрунтування технологічних параметрів для налаштування картоплесадильної машини

Привод картоплесадильного апарату є кінематичному зв'язку з опорно-приводними колесами. Особливістю конструкції є те, що колеса можуть мати змінний діаметр [50, 38], а тому при сталому передаточному відношенні приводу до вичерпуючого барабана змінним буде тільки шлях пройдений машиною за один оберт колеса, що визначатиме крок посадки.

Конструктивно закладено, що мінімальний діаметр такого колеса буде становити $D_{\min} = 540$ мм. Його зміну можна виконувати безступенево, але це в певній мірі ускладнює налаштування, тому вирішено, що найбільш раціональним для процесу експлуатації буде встановлювати дискретну зміну. Це досягається переміщенням спиці 1 і фіксацією її в отворах 2 направляючих 3, рис. 5.4, б.



а)



б)

а – мінімальний діаметр обода (модель); б – вигляд фізичної конструкції колеса при встановленому заданому діаметрі

Рисунок 5.4 – Колесо змінного діаметру (додаток В)

Тому, виконуючи такі налаштування, за розробленою конструкцією колеса можна отримати такі діаметри D_i : $D_1 = 540$ мм; $D_2 = 600$ мм; $D_3 = 660$ мм; $D_4 = 720$ мм.

Наведені діапазони зміни діаметрів дозволяють отримати найбільш використовувані кроки посадки картоплі через величини шляхів, що проходить машина за один оберт колеса.

Відповідно до цього маємо наступні переміщення, що відповідають одному обертю колеса L_i : $L_1 = 1,696$ м; $L_2 = 1,885$ м; $L_3 = 2,073$ м; $L_4 = 2,262$ м.

Відштовхуючись від мінімального значення шляху L_1 , встановимо мінімальний крок посадки, який повинен складати приблизно 0,2 м. Цього можливо досягнути, якщо висаджувальний апарат, з конструктивних міркувань, матиме чотирнадцять комірок для забору картоплі та буде з'єднаний з валом опорно-приводних коліс з передаточним числом 1,8. Тоді можна досягнути таких кроків посадки картоплі l_{ki} : $l_{k1} = 0,218$ м; $l_{k2} = 0,242$ м; $l_{k3} = 0,267$ м; $l_{k4} = 0,291$ м.

За таких кроків посадки можна вирощувати як насіневу картоплю, де технологія передбачає менші кроки, та для продовольчих цілей при посадці з більшими кроками.

Швидкість картоплесадильного агрегату буде становити в межах 3-4 км/год. Для попереднього розрахунку прийемо 3,6 км/год (1 м/с).

Виходячи з цього, кутова швидкість картоплесадильного апарату буде складати

$$\omega_i = \frac{g_M}{r_{ki} \cdot i_n}, \quad (5.10)$$

де g_M – поступальна швидкість картоплесадильного агрегату;

r_{ki} – радіус обода колеса змінного діаметру ($r_{ki} = 0,5D_i$);

i_n – передаточне число від вала опорно-приводних коліс до вала приводу висаджувального апарату.

Звідки частота обертання барабана картоплесадильного апарату становитиме

$$n_i = \frac{30 \mathcal{G}_M}{\pi r_{ki} \cdot i_n}, \quad (5.11)$$

Враховуючи закладені діаметри колеса D_i , матимемо відповідні частоти обертання посадочного барабана, n_i : $n_1 = 19,649$ об/хв; $n_2 = 17,684$ об/хв; $n_3 = 16,076$ об/хв; $n_4 = 14,737$ об/хв.

Зміну частоти обертання вичерпуючого барабана картоплесадильного апарату можна промоделювати для всього діапазону поступальних швидкостей агрегату ($\mathcal{G}_M = 0,6 \dots 1,7$ м/с) та зміни діаметра колеса ($D_i = 0,54 \dots 0,72$ м), рис. 5.5.

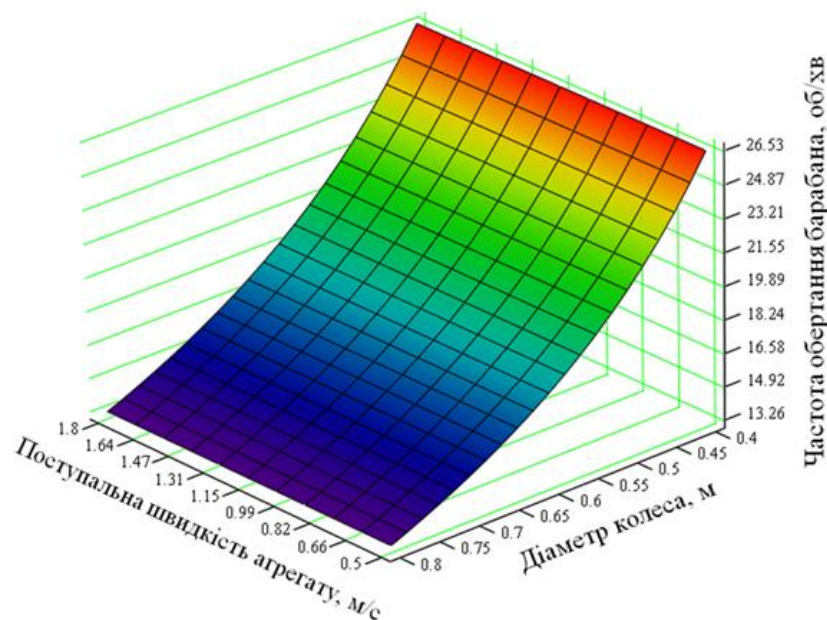


Рисунок 5.5 – Графічна залежність зміни частоти обертання вичерпуючого барабана від поступальної швидкості агрегату та діаметра колеса

За аналізом залежності (5.11) та графічного зображення (рис. 5.5) видно, що кінематичний зв'язок сталим передаточними відношенням частоти обертання вала колеса та садильного барабана дозволяє виключити зміну кроку посадки із-за відхилення поступальної швидкості агрегату від заданої. Крок посадки в даній конструкції картоплезалки залежатиме тільки від встановленого діаметру колеса.

Отримані орієнтовні частоти обертання картоплезадильного апарату є основою при дослідженні можливості захоплення та транспортування насіння барабаном.

Одним із критеріїв ефективної роботоздатності вичерпуючого барабана є винос кожною коміркою одиночної картоплини при її спрямуванні до насінепровода і сошника.

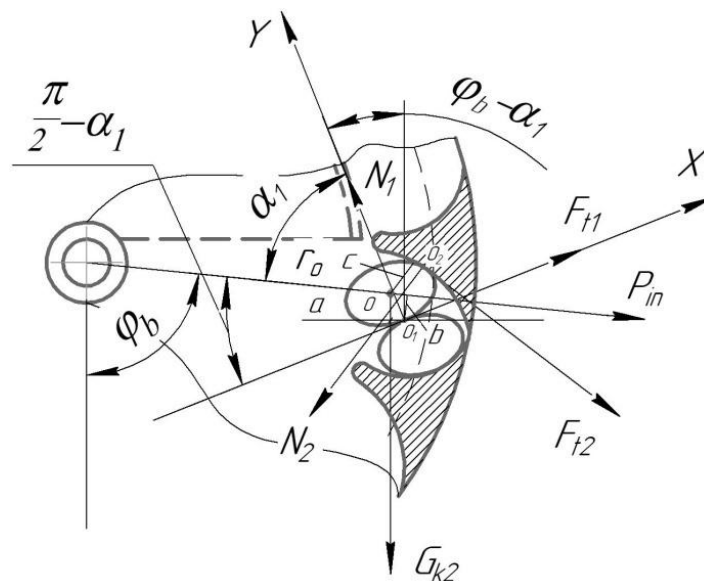


Рисунок 5.6 – Схема дії сил на картоплини

Розглянемо частковий випадок, коли в одну комірку посадочного апарату потрапили дві картоплини приблизно однакових розмірів та втримуються разом на деякому куті повороту барабана, рис. 5.6. Припустимо, «зайва» картоплина (картоплина 2) втримується в комірниці за рахунок моменту заклинювання, який створюється силою тертя F_{t_2} , що виникає від

ваги самої картоплини та сили інерції при її контакті з коміркою та першою картоплиною (картоплина 1) як опорою. Картоплина 1 має залишитись в комірці та виноситись до насінепровода і сошника.

Тоді рівняння моментів відносно т. O_1 буде складати $\sum M_{O_1} = 0$.

В розширеному вигляді запишемо його наступним чином

$$-G_{K2} \cdot a + P_{in} \cdot b + F_{t_2} \cdot c = 0, \quad (5.12)$$

де G_{K2} – сила ваги картоплини 2;

a – плече дії сили G_{K2} відносно т. O_1 ;

P_{in} – сила інерції, що виникає при обертанні посадочного барабана та діє у центрі ваги картоплини 2;

b – плече сили інерції;

F_{t_2} – сила тертя, що виникає при заклинюванні картоплини від її ваги в комірці посадочного апарату;

c – плече сили тертя F_{t_2} .

Інший можливий випадок – картоплина 2 зісковзне з картоплини 1.

Це буде можливим тоді, коли складова сили ваги картоплини 2 є більшою за силу тертя F_{t_1} та складову сили інерції.

Розглянемо граничний випадок, коли картоплина 2 перебуває у рівновазі.

Проектуючи діючі сили на вісь X , рівняння рівноваги у векторній формі матиме вигляд

$$\bar{G}_{K2X} + \bar{P}_{inX} + \bar{F}_{t_1X} = 0. \quad (5.13)$$

Причому ці два рівняння (5.12) і (5.13) можна розглядати незалежно одне відносно одного.

Спочатку розглянемо умову зісковзування картоплини 2 з картоплини 1 на основі рівняння (5.13).

Перепишемо рівняння (5.13) в розгорнутому вигляді

$$G_{K2} \cdot \sin(\varphi_b - \alpha_1) + P_{in} \cdot \sin \alpha_1 + F_{t_1} = 0. \quad (5.14)$$

Умовою зісковзування картоплини 2 по картоплині 1 буде

$$G_{K2} \cdot \sin(\varphi_b - \alpha_1) \geq P_{in} \cdot \sin \alpha_1 + F_{t_1} = 0. \quad (5.15)$$

Визначимо значення складової G_{K2} при якій ця умова буде виконуватись. Попередньо запишемо вирази, які входять до нерівності (5.15).

Сила інерції, що діє на картоплину 2, буде складати

$$P_{in} = m_{K2} \cdot \omega_b^2 r_0, \quad (5.16)$$

де m_{K2} – маса картоплини 2;

ω_b – кутова швидкість обертання садильного барабана;

r_0 – відстань від центру обертання садильного барабана до центру ваги картоплини 2.

Силу тертя F_{t_1} будемо визначати за залежністю

$$F_{t_1} = f_1 N_1, \quad (5.17)$$

де f_1 – коефіцієнт тертя, що виникає в точках контакту картоплин 1 і 2;

N_1 – нормальна сила, що виникає в місці контакту картоплин 1 і 2.

Вираз для N_1 можна записати, спроектувавши діючі сили на вісь Y, тобто

$$N_1 - G_{K2} \cdot \cos(\varphi_b - \alpha_1) - P_{in} \cdot \cos \alpha_1 = 0, \quad (5.18)$$

звідки

$$N_1 = m_{K2} (g \cos(\varphi_b - \alpha_1) + \omega_b^2 r_0 \cdot \cos \alpha_1). \quad (5.19)$$

Отримавши основні вирази, що входять в умову (5.15), проаналізуємо можливість зіскозування картоплі 2 при зміні параметрів.

Перепишемо умову (5.15) в розгорнутому вигляді

$$g m_{K2} \cdot \sin(\varphi_b - \alpha_1) \geq m_{K2} \omega_b^2 r_0 \cdot \sin \alpha_1 + f_1 m_{K2} (g \cos(\varphi_b - \alpha_1) + \omega_b^2 r_0 \cdot \cos \alpha_1). \quad (5.20)$$

Як бачимо, що у ліву та праву частини даного виразу входить маса картоплини 2 і на яку можна скоротити, тобто виконання умови залежатиме тільки від геометричних та фрикційних параметрів досліджуваних об'єктів.

Геометричні параметри будемо виражати кутом α_1 , який пов'язує геометричні розміри картоплі та кривизни комірки садильного барабана.

З цього випливає, що втримування чи навпаки, зісковзування картоплини 2 з картоплини 1 буде залежати від їх фрикційних властивостей, кутової швидкості барабана та поєднання геометричних розмірів картоплини з геометричними розмірами комірки, що характеризується кутом α_1 . Якщо у випадку наведених умов відбулося заклинювання картоплини у комірці садильного барабану, то варто проаналізувати кут повороту барабана φ_b , що дасть можливість картоплині 2, все ж таки, випасти і до посадкового ложа буде транспортуватися тільки одна картоплина 1. Таким чином, після скорочення у виразі (5.20) матимемо остаточний вираз для умови зісковзування картоплини 2

$$g \cdot \sin(\varphi_b - \alpha_1) \geq \omega_b^2 r_0 \cdot \sin \alpha_1 + f_1 (g \cos(\varphi_b - \alpha_1) + \omega_b^2 r_0 \cdot \cos \alpha_1). \quad (5.21)$$

Виконаємо числовий експеримент. При фіксованих значеннях кута α_1 встановимо діапазон значень кута φ_b при яких ця умова буде виконуватись.

Кут φ_b будемо змінювати від 0 до $\frac{2\pi}{3}$, кутову швидкість барабана ω_b змінюватимемо відповідно до прийняти частот обертання, що відповідають кроку посадки: $\omega_{b1} = 2,057 \text{ c}^{-1}$; $\omega_{b2} = 1,852 \text{ c}^{-1}$; $\omega_{b3} = 1,683 \text{ c}^{-1}$; $\omega_{b4} = 1,543 \text{ c}^{-1}$.

За таких умов та, аналізуючи окремо ліву частину нерівності (5.21) (рис. 5.7, а), її праву частину (рис. 5.7, б) та, встановивши між ними різницю (рис. 5.7, в), можемо констатувати діапазон значень кутів φ_b , при яких умова (5.21) буде виконуватись.

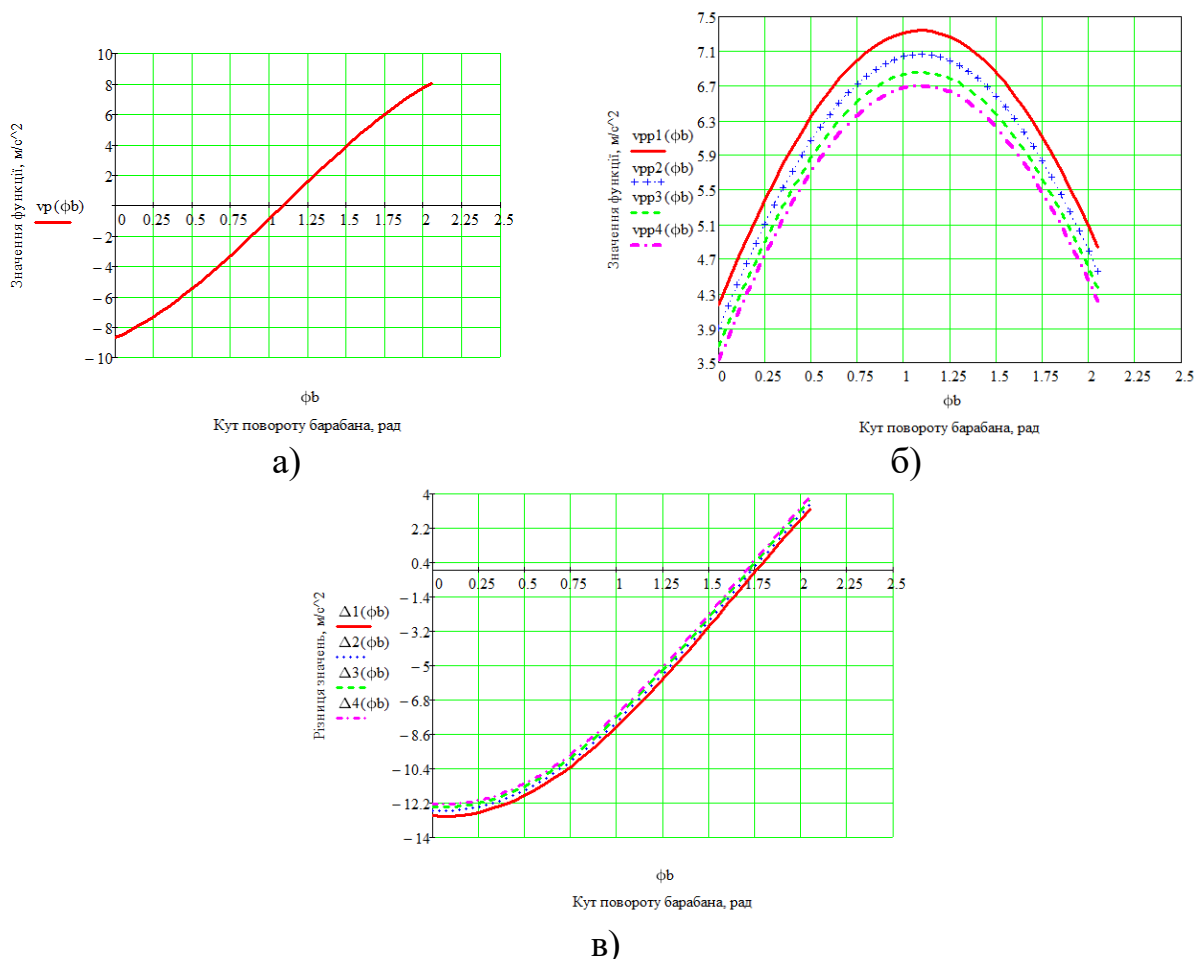


Рисунок 5.7 – Графічні залежності умов виносу одиночної картоплини коміркою вичерпуючого барабану

Таким чином, із графічних залежностей (рис. 5.7, в) видно, що зісковзування картоплини 2 можливе в діапазоні кутів повороту посадочного

барабана відносно вертикальної осі в межах: при найменшій частоті його обертання – $\varphi_b = 97,4^0$; при максимальній частоті – $\varphi_b = 100,8^0$. Тут варто зазначити, що наведений кут повороту визначається до окремо розглядуваної комірки, заповненої насінням та для умов, що визначаються кутом α_1 і коефіцієнтом тертя f_1 . Для інших умов уточнюють вихідні дані, але методику можна застосовувати ту саму. Отримання діапазону значень кутів випадання «зайвої» картоплі потрібно з метою проведення наступного етапу досліджень щодо встановлення нижнього обмежувача барабана, що утворює канал, яким транспортується картопля до зони випадання у насінепровод.

Тепер повернемося до умови (5.12). Якщо картоплина 2 буде обкочуватись по картоплині 1 і буде втримуватись за рахунок моменту заклинювання, що виникає від сили тертя F_{t2} .

Цей випадок справедливий тоді, коли коефіцієнт тертя f_1 між картоплинами має максимальне значення. Перепишемо умову (5.12) в розгорнутому вигляді

$$-m_{k2}ga + m\omega_b^2 r_0 b + f_2 N_2 c = 0. \quad (5.22)$$

де f_2 – коефіцієнт тертя між картоплиною 2 та матеріалом комірки садильного апарату;

N_2 – нормальна сила, що виникає від притиску картоплини 2 до стінки комірки садильного барабана.

Умовою випадання картоплини 2 при її обкочуванні по картоплині 1 буде

$$m_{k2}ga \geq m\omega_b^2 r_0 b + f_2 N_2 c. \quad (5.23)$$

Складність розв'язку цієї нерівності полягає в тому, що картоплини мають поверхні неідеальної геометричної форми, які теоретично важко описати. Причому кожна картоплина має свою індивідуальну форму.

Тому оцінку нерівності (5.23) виконаємо наближено з використанням

експериментальних даних. Розглянемо частковий випадок, коли в комірку потрапили умовно однакові дві картоплини приблизною масою 80 г еліпсоподібної форми та так як показано на рис. 5.6.

В даному випадку встановлено величини плечей a , b , c при визначеній точці O_1 контакту картоплини 1 і 2. За таких умов невідомою залишається нормальна сила N_2 , яка створює силу тертя F_{t2} , а остання – момент від сили тертя, що не дозволяє картоплині 2 рухатись (обкочуватись по картоплині 1).

Цю локальну задачу для наближеної оцінки роботи картоплесадильного апарату розглянемо «від супротивного».

Тобто за таких умов встановимо значення моментів від сили ваги та сили інерції, а також додамо момент від сили тертя і поставимо умову виконання нерівності (5.21).

Для такої локальної оцінки виберемо один із кутів повороту посадочного барабана із сектору випадання «зайвої» картоплини з комірок та прослідкуємо величину моменту сили тертя, оцінюючи його через нормальну силу N_2 .

На основі попередньо встановлених параметрів, будуюмо графічну залежність (рис. 5.8) за умовою можливості обкочування картоплі 2 від моменту ($G_{K2} \cdot a$), що створюється силою ваги картоплини 2, а протидіють йому моменти від сили інерції ($P_{in} \cdot b$) та сили тертя ($F_{t2} \cdot c$).

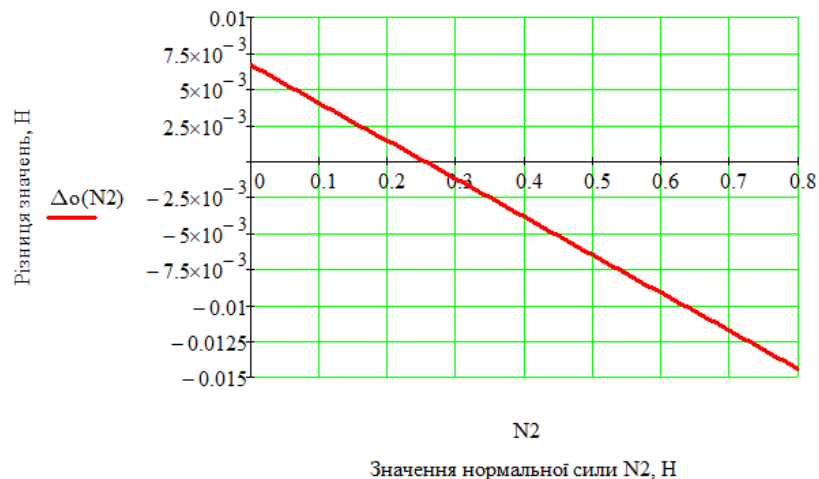


Рисунок 5.8 – Характер зміни нормальної сили N_2

За аналізом графічної залежності (рис. 5.8) видно, що випадання «зайвої» картоплини можливе до моменту збільшення сили N_2 , яка складає приблизно 0,3 ваги картоплини 2. Якщо ж нормальна сила N_2 буде більшою розрахованого значення, то вільного випадання картоплини 2 при обкочування по картоплині 1 не буде. Картоплина 2, заклинивши, продовжить рух у комірці разом з картоплиною 1 до моменту її співударяння з нижнім обмежувачем барабана, що утворює направляючий канал, яким може проходити тільки одна картоплина в межах висоти комірки вичерпуючого барабана. При критичному заклинюванні двох невеликих картоплин у комірці барабана та при їх ущільненому входженні в направляючий канал, вони вже не зможуть під власною вагою випасти у насінепровод та сошник, а тому у конструкції картоплесадильного барабану передбачено пасивний чистик. Його роль полягає у примусовому виштовхуванні картоплин з комірок барабана. Чистик змонтований на корпусі бункера та проходить крізь прорізи у пластинах, що утворюють профіль комірки садильного барабана.

Повертаючись до моделювання картоплини у формі еліпсоїда обертання, враховуючи стохастичну модель розподілу бульб, що будуть попадати в окремі комірки вичерпуючого барабану, критерії контактної взаємодії з площиною комірки та основі залежностей (2.98) – (2.100), отримано залежність зміни радіуса кривизни внутрішньої частини комірки, рис. 5.9



Рисунок 5.9 – Зміна радіуса кривизни комірки вичерпуючого барабана

За аналізом графічної залежності, рис. 5.9 видно, що мінімальний радіус (0,046 мм) спостерігається біля її краю (за меншим радіусом вичерпуючого барабану); радіус середньої частини – 0,053 м; радіус максимальний – 0,061 м (за максимальним радіусом барабана).

Така форма комірки дозволить якісно транспортувати насіння картоплі до викидного вікна садильного апарату, на заданому куті повороту відбудеться випадання «зайвої» картоплини і при максимальній частоті обертання садильного апарату не буде механічного травмування бульб.

Таким чином, отримані значення кінематичних та конструктивних параметрів садильного барабана дозволяють підібрати раціональний кінематичний режим роботи даного апарату та забезпечити якісний процес посадки картоплі.

5.3 Дослідження процесу синхронізації роботи тукового та картоплесадильного апаратів

У теоретичній частині роботи розроблено спеціальну конструкцію катушкового апарату для внесення мінеральних добрив. Особливістю такого тукового апарату є катушка, рис. 5.10.

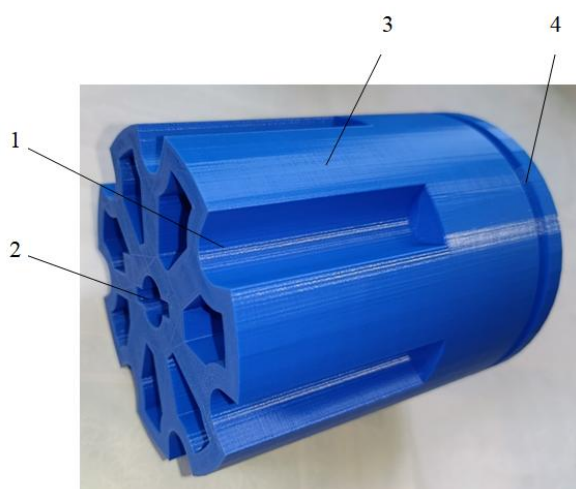


Рисунок 5.10 – Катушка тукового апарату

Кожен із жолобків має максимальну робочу довжину 80 мм, кількість жолобків на катушці – 7. Частота обертання катушки синхронізована із роботою садильного апарату, який має 14 садильних комірок, тому катушка обертається у двічі швидше. Тобто добрива, що заповнюють жолобки 1, висипають добрива під кожен кущ картоплі. Дискретність забезпечується за рахунок порівняно великих циліндричних проміжків 3 у порівнянні із шириною жолобка 1. Це співвідношення є у пропорції 0,4: 0,6 у порівнянні із кроком посадки рослин, тобто добрива розсипаються на проміжку кроку 0,4 його довжини : по 0,2 до і від центру гнізда. Решту кроку посадки – добрива не розсипаються, бо вихідне вікно перекрите циліндричним проміжком 3 катушки. Регулювання норми витрати регулюється переміщенням робочої частини катушки на приводному валі, що входить у отвір з канавками 2 катушки та з допомогою керуючої вилки, що входить у паз 4 катушки.

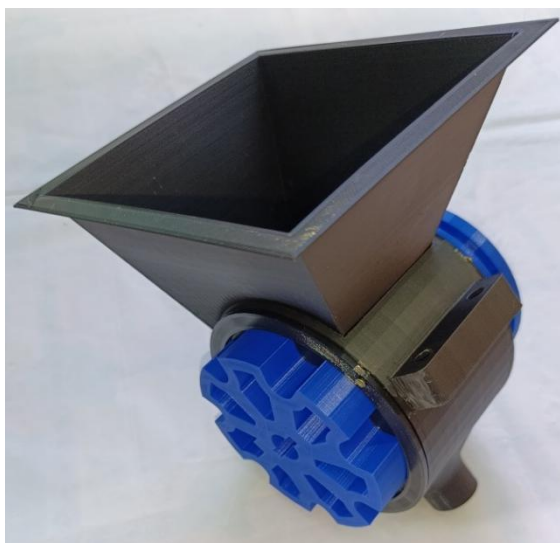


Рисунок 5.11 – Загальний вигляд катушкового туковисівного апарату

Розроблена картоплесадильна машина виконана двохранною. Тому для її ефективної роботи було виготовлено і два таких апарати, які змонтовані на рамі машини, рис. 5.12.

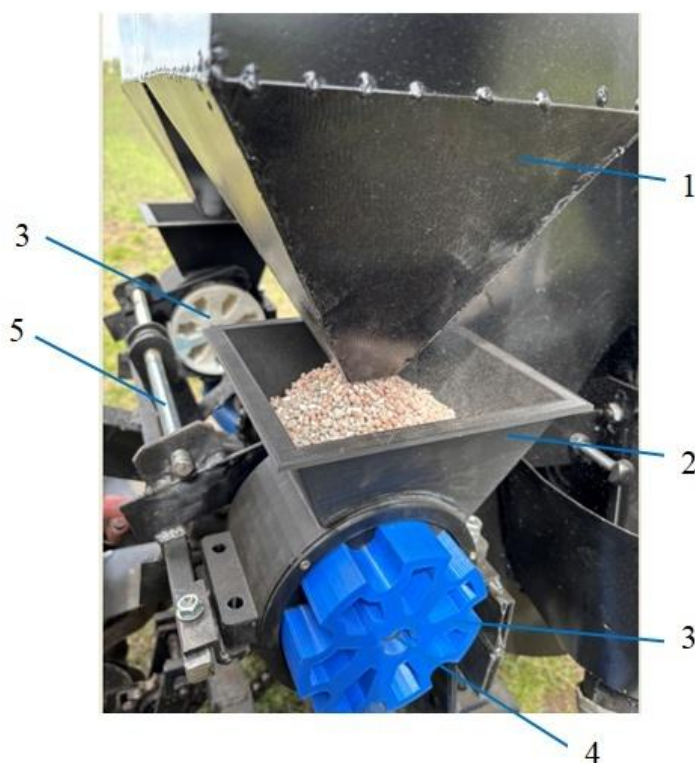


Рисунок 5.12 – Туковий апарат картоплесадильної машини

Як видно зі світлин, рис. 5.12, що добрива засипаються у туковий ящик 1, з якого самоплинно потрапляють у лійку 2 котушкового апарату та засипають жолобки котушок 3. Котушки 3 приводяться у рух валом 4 з допомогою ланцюгової передачі. Добрива висипаються через викидний канал та потрапляють у гофрований тукопровід, а далі у стійку-тукопровід сошника та у відкриту борозенку. Норму внесення регулюють робочою довжиною котушок 3, переміщуючи їх механізмом регулювання 5.

Здача дослідження полягає у тому, щоб синхронізувати роботу котушкового тукового апарату з роботою вичерпуючого барабана садильного апарату. Метою є висипання добрив симетрично під гніздо картоплі заданого кроку. У теоретичній частині роботи було розроблено моделі, що дозволяють розрахувати час польоту туків та картоплини відповідно у тукопроводі та насінепроводі. За різницею цих часів, заданою поступальною швидкістю агрегату, конструктивним розміщенням елементів було проведено синхронізацію.

Моделюючи такий реальний числовий експеримент, було використано наступні вихідні дані [5].

Для туковисівного апарату: $L = 0,8$ м; $r_v = 0,065$ м; $\omega_k = 3,087$ рад/с; $\rho_{\min} = 1200$ кг/м³; $\rho_p = 1,2$ кг/м³; $\mu_t = 0,0015$; $C_d = 0,47$; $d = 0,006$ м; $\theta = 75^\circ$. Тоді час проходження частинкою добрива тукопровода за залежністю (2.125) буде складати $t = 0,406$ с.

Для картоплесадильного апарату застосуємо аналогічний теоретичний підхід до визначення часу проходження картоплиною насінепровода. Розрахунок виконано при наступних вихідних даних: $L_k = 1,0$ м; $r_{vk} = 0,226$ м; $\omega_{kk} = 1,547$ рад/с; $\rho_{\min k} = 1150$ кг/м³; $\rho_p = 1,2$ кг/м³; $\mu_t = 0,0015$; $C_d = 0,47$; $d_k = 0,06$ м; $\theta_k = 80^\circ$. Тоді час проходження картоплиною насінепровода за залежністю (2.125) буде складати $t_k = 0,447$ с.

За результатами розрахунків видно, що час переміщення добрива та картоплі трубопроводами різний, а це означає, що при постійній швидкості руху агрегату їх вкладання на відповідні днища борозен будуть також різними. Тому для синхронної роботи садильного та дозуючого апаратів цей чинник потрібно врахувати.

Пригадаємо, завдання було сформульоване таким чином, щоб мінеральні добрива були розкинуті під гніздом картопляного ложа приблизно у співвідношенні 0,4:0,6 до кроку посадки. Як приклад, якщо взяти крок посадки 0,267 м та врахувати конструкцію дозуючої катушки, то протяжність вкладання добрив повинна складати 0,107 м. Повертаючись до синхронізації катушкового дозуючого апарату та садильного апарату, потрібно врахувати, що добрива повинні почати вкладатися за 0,053 м до центра гнізда, крім того, потрібно врахувати «випередження» транспортування добрив по відношенню до транспортування картоплі. Для швидкості агрегату 1 м/с така відстань складе 0,041 м. А також потрібно врахувати конструктивну відстань між трубкою сошника, якою рухаються добрива, та насінепроводом. Така відстань складає 0,2 м. Враховуючи швидкість руху агрегату, частоту

обертання дозуючої котушки та визначені вказані відстані, для синхронізації роботи дозуючого та садильного апаратів, фазу початку викидання добрив котушкою потрібно змістити із запізненням на 33° до фази початку викидання картоплин посадочним апаратом.

5.4 Розрахунок економічної ефективності від розробки універсальної картоплесаджалки

Економічну ефективність розробки універсальної картоплесаджалки з фрезерним модулем, системою дискретного внесення мінеральних добрив і садильними апаратами барабанного типу визначають шляхом порівняльної економічної оцінки нової машини з базовою відповідно до вимог ДСТУ 4397:2005 [77].

Базовою машиною обрано двохрядну картоплесаджалку Vomet, яка є поширеною в господарствах України та виконує аналогічну технологічну операцію – посадку картоплі без комбінованої підготовки ґрунту й локального внесення добрив.

Методика розрахунку ґрунтується на визначенні:

приведених річних експлуатаційних витрат;

річного економічного ефекту;

строку окупності та коефіцієнта економічної ефективності.

Методику та розрахунок показників економічної ефективності наведено у додатку Г, тут представимо тільки основні результати такого обґрунтування.

Для порівняльного аналізу було обрано двохрядну картоплесаджалку з апаратом для суцільного внесення мінеральних добрив польської фірми Vomet, її вартість на ринку таких машин є в межах 26000 грн. Розроблену картоплесадильну машину оцінено у 30000 грн, оскільки вона має ще

додатково фрезерний модуль для смугового фрезерування при підготовці ґрунту. Тому для покупця тут спостерігається ще додаткові 4000 грн капіталовкладень. Але при експлуатації розробки маємо питомі витрати палива на рівні 7,5 л/га на противагу 9,5 л/га для проходу окремо фрези при підготовці ґрунту та наступній посадці саджалкою Vomet. Крім того, розроблена саджалка має вищу середню продуктивність 0,3 га/год у порівнянні з базовою – 0,2 га/год. Розрахунок зроблено без врахування можливості підвищення врожайності культури із-за дискретного внесення добрив чи їх економії за рахунок адресного підживлення рослин.

Чисельне значення економічного ефекту отримано виключно при розрахунку експлуатаційних витрат при порівнянні базової та нової машин. Порівняльний аналіз виконано з розрахунку площі посадки картоплі 25 га.

Загальні експлуатаційні витрати на 1 га для саджалки Vomet – 1511,5 грн/га; розробленої саджалки – 1157,5 грн/га, тобто нова конструкція забезпечує економію 354 грн/га. А загалом, якщо її річне завантаження 25 га, то річний ефект складе 8850 грн/рік, окупність додаткових капіталовкладень – 0,45 року. І в кінцевому результаті коефіцієнт економічної ефективності буде 2,2, який порівнюється з нормативним – 0,15.

Умова виконується, а тому проєкт впровадження нової конструкції універсальної картоплесаджалки можна вважати економічно доцільним та обґрунтованим.

5.5 Висновки до 5 розділу

У п'ятому розділі дисертаційної роботи виконано аналіз працездатності та обґрунтування раціональних параметрів і режимів роботи механізмів універсальної картоплесадильної машини.

На основі експериментальних і розрахункових даних визначено раціональні режими роботи фрезерного барабана, за яких забезпечується стабільне смугове фрезерування ґрунту з мінімальними енерговитратами та формуванням посадкового ложа належної якості.

Встановлено узгоджені параметри налаштування картоплесадильної машини, які забезпечують високу рівномірність кроку посадки і зниження кількості пропусків.

Досліджено процес синхронізації роботи садильного та тукового апаратів, що підтвердило можливість стабільного умовно дискретного внесення мінеральних добрив у зоні картопляного гнізда без порушення режиму посадки.

Показано, що узгоджена робота всіх модулів дозволяє підвищити загальну надійність і технологічну стабільність універсальної картоплесадильної машини в умовах змінних ґрунтово-кліматичних факторів.

Виконані техніко-економічні розрахунки свідчать про економічну доцільність застосування розробленої машини, яка забезпечує зменшення енерговитрат і експлуатаційних витрат порівняно з традиційними індивідуальними операціями підготовки ґрунту та посадки.

Отримані результати підтвердили ефективність розробленої універсальної картоплесадильної машини та обґрунтованість вибраних конструктивно-технологічних рішень, що створює передумови для її впровадження у виробничу практику.

Основні наукові результати розділу опубліковані у працях [3, 4, 46, 45,50,38, 5].

ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ РОБОТИ ТА ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі науково обґрунтовано та експериментально підтверджено ефективність універсальної картоплесадильної машини зі смуговим фрезеруванням ґрунту, дискретним припосадковим внесенням мінеральних добрив і садильним апаратом барабанного типу, що забезпечує підвищення якості посадки та енергоефективності технологічного процесу.

1. На основі аналізу сучасних технологій і технічних засобів посадки картоплі встановлено, що існуючі картоплесадильні машини не забезпечують комплексного поєднання якісної підготовки ґрунту, точного висаджування бульб і локалізації добрив, що обґрунтовує необхідність розробки універсального комбінованого картоплесадильного агрегату, технологічна схема якого забезпечує смугове фрезерування ґрунту вздовж осі рядка, формування посадкового ложа, дискретне внесення добрив і посадку бульб з поетапним формуванням гребеня.

2. Побудовано теоретичну модель фрезерного модуля із криволінійними ножами та встановлено раціональні кінематичні параметри фрезерного барабана: при поступальній швидкості агрегату 0,833 м/с – 1,389 м/с частота його обертання повинна складати 211,3 об/хв – 253,3 об/хв, що забезпечує грудкуватість поверхні поля 10-30 мм, при цьому значення показника кінематичного режиму роботи складе 5,3-4,5.

3. Отримано теоретичні залежності, на основі яких виконано розрахунок раціональної форми та розташування направляючого кожуха фрезерного барабана для можливості використання ґрунтової стружки для первинного присипання насіння картоплі. Розміщення кожуха відносно осі обертання барабана: висота – 0,35 м, горизонтальна протяжність – 0,7 м, форма – за поліноміальною залежністю (2.32).

4. Для садильного апарату барабанного типу з внутрішнім розміщенням комірок розроблено математичну модель з врахуванням енергії при поведінці картоплини як еліпсоїда обертання, враховуючи стохастичну модель розподілу бульб, що будуть попадати в окремі комірки вичерпуючого барабану та критерій контактної взаємодії з площиною комірки встановлено наступне:

радіус кривизни комірки: мінімальний – 0,046 мм, середній – 0,053 мм, максимальний – 0,061 мм;

кількість комірок вичерпуючого барабана – 14;

при застосуванні колеса змінного діаметру: 540 мм, 600 мм, 660 мм, 720 мм забезпечуються відповідні кроки посадки картоплі: 0,218 мм, 0,242 мм, 0,267 мм, 0,291 мм; при поступальній швидкості садильний агрегат 1 м/с вичерпуючий барабан повинен обертатися з частотами: 19,6 об/хв, 17,7 об/хв, 16,1 об/хв, 14,7 об/хв;

кут встановлення обмежувача випадання картоплі при обертанні вичерпуючого барабана: мінімальний – $97,4^{\circ}$, максимальний – $100,8^{\circ}$; зазор між обмежувачем та вершиною комірки – 8-12 мм.

5. Теоретично та експериментально обґрунтовано принцип умовно дискретного припосадкового внесення мінеральних добрив і визначено умови синхронізації роботи садильного й тукового апаратів:

діаметр котушки – 130 мм, співвідношення ширини жолобка та перемички між жолобками – 0,4:0,6; кількість жолобків – 7; робоча довжина котушки – 0,08 м; ефективна площа жолобка – $290 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2$;

максимальна робоча частота обертання котушки в 2,1 рази менша від мінімального значення частоти, при якій будуть пропуски при заповненні жолобків туками;

для кроку посадки картоплі 0,267 мм зона розсівання добрив під гніздом складає 107 мм; при врахуванні розміщення тукопровода, швидкості руху агрегату та часу випадання туків та картоплини у відповідні борозни для синхронізації такого процесу момент випадання туків по відношенню до моменту випадання картоплі потрібно змістити із «запізненням» на 33° .

6. Результатами лабораторних і польових випробувань підтверджено адекватність розроблених теоретичних моделей та встановлено раціональні режими роботи основних механізмів універсальної картоплесадильної машини:

при дослідженні фрезерного модуля підготовки ґрунту встановлено, що для досягнення середньої грудковатості 19 мм при мінімальній поступальній швидкості агрегату 0,833 м/с частота обертання барабана складає 225 об/хв, коефіцієнт варіації глибини обробітку при цьому 8 %. Порівнюючи отримане

значення оптимальної частоти для заданих умов із аналогічним значенням, що знайдено аналітичним шляхом (211 об/хв), їх розбіжність складає 6,2 %; при отриманні такої ж грудкуватості ґрунту, але максимальній досліджуваній поступальній швидкості агрегату 1,389 м/с, аналітичне значення частоти барабана складає 253,3 об/хв, експериментальне – 278 об/хв, їх відносна похибка – 8,9%;

досліджувані параметри роботи садильного апарату лежать в межах величин, що регламентовані агротехнічними вимогами:

для заданого кроку посадки 0,267 м відносні відхилення – до 7,5%;

максимальне відсоткове значення пропусків – до 3,0%;

наявність двійників у гнізді – 2,6%.

Рекомендовані параметри режимів роботи садильного апарата, при якому всі критерії будуть в межах норми: поступальна швидкість агрегату – 1,30 м/с; кут установки обмежувача – 96° .

7. Практичним результатом проведених наукових досліджень стало розроблення інженерних методик, за допомогою яких обґрунтовано раціональні параметри для проектування вискоєфективної універсальної картоплесаджалки з такими основними параметрами: безступеневе регулювання ширини міжрядь, мм – 600 -700; глибина зароблення насіння, мм – 60-120; об'єм бункерів для насіння, м³ – 2х135; об'єм тукового ящика, м³ – 0,05; крок посадки, мм – 218, 242, 267, 291; продуктивність за годину основного часу, га/год – 0,18-0,375.

За результатами досліджень виготовлено дослідний зразок універсальної картоплесадильної машини, яка дозволяє підвищити продуктивність посадки на 30 % у порівнянні з базовою машиною; нові технічні рішення захищені двома патентами на корисну модель.

Отримані результати дисертаційного дослідження впроваджено на ПАП «Маяк» та у навчальний процес в ТНТУ.

За результатом розрахунку економічної ефективності встановлено, що річний економічний ефект складатиме 8850 грн/рік на одну машину. Розрахунковий термін окупності додаткових капіталовкладень – 0,45 роки.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Andre Luiz Biscaia Ribeiro da Silva, Lincoln Zotarelli, Michael D. Dukes, Edzard van Santen, Senthold Asseng. Nitrogen fertilizer rate and timing of application for potato under different. *Agricultural Water Management* 283, 2023. 108312. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2023.108312>.
2. Babii A. Important aspects of the experimental research methodology. *Scientific Journal of TNTU (Tern.)*, 2020. Vol 97. No 1. P. 77–87.
3. Babii A., Blashchak B. Justification of the parameters of the soil preparation module of the potato planting machine. *Central Ukrainian Scientific Bulletin. Technical Sciences*. No. 12(43), 2. 2025. Pp. 165-174. DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2025.12\(43\).2.165-174](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2025.12(43).2.165-174).
4. Babii A., Blashchak B. Study of the performance efficiency parameters of a potato planting machine. *Scientific Journal of TNTU (Tern.)*, vol 118, no 2, 2025. Pp. 117–127.
5. Babii A., Blashchak B., Valiashek V., Broshchak I., Malevych N. Substantiation of the parameters of a dosing mechanism for granular fertilizer application during potato planting. *Scientific Journal of TNTU (Tern.)*, vol 120, no 4, 2025. Pp. 10–20. https://doi.org/10.33108/visnyk_tntu2025.04.010.
6. Babii A., Holovetskyi I., Boiko V. Analysis of the behavior of potato bearing layer particles on the oscillating plane of the potato plant ploughshare. *Scientific Journal of TNTU (Tern.)*, vol 116, no 4, 2024. Pp. 78–89. https://doi.org/10.33108/visnyk_tntu2024.04.078.
7. Baranovsky V., Karp I., Salo Y., Berezhenko B., Marushchak P. Analysis of the process of material movement in a screw conveyor. *Scientific Journal of TNTU (Tern.)*, vol. 117, no. 1, 2025. Pp.5-17.
8. Baranovsky V., Myronenko V., Pankiv V. Experimental studies of the width of the swath of tops of root crops. *Scientific Journal of TNTU (Tern.)*, vol. 113, no. 1, 2024. Pp. 131–142.
9. Baranovsky V., Pankiv M., Onishchenko V., Dubchak N., Pankiv V.,

Sokil P. Theoretical analysis of the flow divider of solid mineral fertilizers. Scientific Journal of TNTU (Tern.), vol. 115, no. 3, 2024. Pp.54-61.

10. Baranovsky V., Tesliuk V., Lukach V., Ikalchyk M., Kushnirenko A., Kulyk V. The results of root crop cleaner experimental research. Scientific Journal of TNTU (Tern.), vol 101, no 1, 2021. Pp. 47–55. https://doi.org/10.33108/visnyk_tntu2021.01.047.

11. Bulgakov V., Nikolaenko S., Adamchuk V., Z. and Olt J. Theory of impact interaction between potato bodies and rebounding conveyor. Agronomy Research. 16(1), 2018. Pp. 52-63. DOI: 10.15159/AR.18.037.

12. Cai, H.; Hu, B.; Chen, Y.; Luo, X.; Wang, J.; Mao, Z.; Yuan, C. Study of Patterns of Movement of Groups of Seed Potatoes in Conical Seed Box Based on the Dem-Model of the Process. Processes 2022, 10, 363. <https://doi.org/10.3390/pr10020363>.

13. Chen, K.; Yin, X.; Ma, W.; Jin, C.; Liao, Y. Contact Parameter Calibration for Discrete Element Potato Minituber Seed Simulation. Agriculture 2024, 14, 2298. <https://doi.org/10.3390/agriculture14122298>.

14. Dovbush T., Khomyk N., Dovbush A. Research of the mathematical model of the tribosystem head rod-bushing of the traction organ of rod transporters. Scientific Journal of TNTU, vol. 115, no. 3, 2024. Pp. 112–121.

15. Dovbush T., Khomyk N., Dovbush A., Palyukh A. Estimation of the load capacity and the strain-stress state of rod transporters. Scientific Journal of TNTU (Tern.), vol. 108, no. 4, 2022. pp. 5-15.

16. Global Potato Production: Insights and trends from the latest FAOSTAT data : веб-сайт. URL : <https://www.potatonewstoday.com/2025/01/09/global-potato-production-in-2023-insights-and-trends-from-faostat-data/>. (дата звернення 12.10.2025).

17. Huan ZHANG, Shengchun QI, Ranbing YANG, , Zhiguo PAN, Xinyu GUO, Weijing WANG, Sha LIU, Zhen LIU, Jie MU, Binxuan GENG. Design and experimentation of a potato planter missed and repeated planting detection system

based on yolov7-tiny model. *INMATEH - Agricultural Engineering*. Vol. 72, No. 1 / 2024. 106-116. DOI: <https://doi.org/10.35633/inmateh-72-10>.

18. Khlopetskyi, R., Didukh, V, Khomych, S., & Tsyz, I. Mathematical Modeling and Optimization of the Working Process of a Spiral-Type Cutter for Sapropel Extraction. *Agricultural Machines*, 51, 2025. 107-116.

19. Kozachenko O., Tsyon H., Gerasimchuk H. Kinematic analysis of the movement of the active knife cutter of chicory roots. *Scientific Journal of TNTU (Tern.)*, vol. 113, no. 1, 2024. Pp. 81-92.

20. Li, J.; Sun, W.; Wang, H.; Wang, J.; Simionescu, P.A. An Integrated Potato-Planting Machine with Full-Film Mulching and Ridged Row Soil Covering. *Agriculture* 2024, 14, 860. <https://doi.org/10.3390/agriculture14060860>.

21. Lu, J.; Liu, S.; Wang, Q.; Liao, M. Research on Device and Sensing Technology for Precision Seeding of Potato. *Agriculture* 2024, 14, 2146. <https://doi.org/10.3390/agriculture14122146>.

22. Lyu Jinqing, Yang Xiaohan, Feng Xue, et al. Design and experiment of sowing depth control device of potato planter[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE)*, 2020, 36(12): 13-21. (in Chinese with English abstract) doi : 10.11975/j.issn.1002-6819.2020.12.002.

23. Minghui Cheng, Haidong Wang, Fucang Zhang, Xiukang Wang, Zhenqi Liao, Shaohui Zhang, Qiliang Yang. Junliang Fan Effects of irrigation and fertilization regimes on tuber yield, water-nutrient uptake and productivity of potato under drip fertigation in sandy regions of northern China. *Agricultural Water Management* 287, 2023 108459. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2023.108459>.

24. Montgomery D. C. *Design and Analysis of Experiments*. 8th ed. New York : John Wiley & Sons, 2013. 730 p.

25. Niu K, Fang X F, Liu Y C, Lü C X, Yuan Y W. Optimized design and performance evaluation of an electric cup-chain potato metering device. *Int J Agric & Biol Eng*, 2017; 10(2): 36–43.

26. Raisa Vozhehova, Galina Balashova, Liubov Boiarkina, Olesya Yuzyuk, Sergey Yuzyuk, Borys Kotov and Olena Kotova. The efficiency of different moisture and nutrition conditions in early potato growing under drip irrigation in southern Ukraine. *Journal of Agricultural Sciences (Belgrade)* Vol. 66, No. 1, 2021. P. 1-16. <https://doi.org/10.2298/JAS2101001V>.

27. Sun, W.; Liu, X.L.; Zhang, H. Design of potato fertilization, sowing, ridge and full film mulching, seed row mulching. *Trans. CSAE* 2017, 20, 14–22.

28. Tson H., Dovbush T., Martyniuk V., Khomyk N., Stashkiv M., Dovbush A. Development of highly productive technological schemes for the use of agrodrones for plant protection. *Scientific Journal of TNTU (Tern.)*, vol. 118, no. 2, 2025. Pp. 66-78.

29. Wang G P, Sun W, Chen L D, Zhang H, Liu X L, Li H L, et al. Realization of an integrated seeding and compensating potato planter based on one-way clutch. *Int J Agric & Biol Eng*, 2020; 13(3): 79–87.

30. Wang G P, Yang X P, Sun W, Liu Y, Wang C J, Zhang H, et al. Potato seed-metering monitoring and improved miss-seeding catching-up compensation control system using spatial capacitance sensor. *Int J Agric & Biol Eng*, 2024; 17(4):255–264.

31. Wang, J.; Liao, M.; Xia, H.; Chen, R.; Li, J.; Li, J.; Yang, J. Study on a Novel Reseeding Device of a Precision Potato Planter. *Agriculture* 2024, 14, 1824. <https://doi.org/10.3390/agriculture14101824>.

32. Xing, W.; Zhang, H.; Sun, W.; Li, H.; Liu, X.; Li, H.; Chen, Y.; Lu, Y. Performance Study of a Chain–Spoon Seed Potato Discharger Based on DEM-MBD Coupling. *Agriculture* 2024, 14, 1520. <https://doi.org/10.3390/agriculture14091520>.

33. Yogesh Kumar Kosariya and Shambhu Singh. Design and development of single row auto-feed potato planter cum fertilizer applicator for small farmers. *The Pharma Innovation Journal*. 2022; 11(10S): 1455-1463. DOI: 10.22271/tpi.2022.v11.i10Sr.16347.

34. Zhang H, Zhao W Y, Sun W, Wang G P, Liu X L, Feng B, et al. Potato planter test bed based on capacitive precision seed-monitoring and miss-seeding compensation system. *Int J Agric & Biol Eng*, 2022; 15(6): 104–112.
35. Zheng, Z.; Fu, Z.; Wang, C.; Huang, Y.; He, J. Design and Experimental Research on Soil Covering Device with Linkage and Differential Adjustment of Potato Planter. *Agriculture* 2021, 11, 665. <https://doi.org/10.3390/agriculture11070665>.
36. Zheng, Z.; Zhao, H.; Liu, Z.; He, J.; Liu, W. Research Progress and Development of Mechanized Potato Planters: A Review. *Agriculture* 2021, 11, 521. <https://doi.org/10.3390/agriculture11060521>.
37. Zhou, B.; Li, Y.; Zhang, C.; Cao, L.; Li, C.; Xie, S.; Niu, Q. Potato Planter and Planting Technology: A Review of Recent Developments. *Agriculture* 2022, 12, 1600. <https://doi.org/10.3390/agriculture12101600>.
38. Бабій А.В., Блащак Б.О., Бабій М.В., Долінська І.Я. Опорно-привідне колесо змінного діаметра. Патент на корисну модель 160993, Україна. МПК А01С 19/04 (2006.01). № u 2025 00183; заявл. 16.01.2025; опубл. 9.10.2025, Бюл. № 44.
39. Бабій А.В., Блащак Б.О., Валяшек В.Б. Спосіб закладання насіння картоплі при посадці. Патент на корисну модель 158112, Україна. МПК А01С 23/02 (2006.01). № u2024 01975; заявл. 15.04.2024; опубл. 01.01.2025, Бюл.1.
40. Бабій А.В., Головецький І.В., Герасимович П.В. Проблеми та перспективи розвитку картоплярства в Україні. Збірник тез доповідей Х-ої Міжнародної науково-практичної конференції молодих учених та студентів „Актуальні задачі сучасних технологій“. Тернопіль, 2021. ФОП Паляниця В.А. Т.1. С. 25-26.
41. Бабій А.В., Головецький І.В., Гладь Ю.Б. Дослідження кінематичних параметрів вібраційного лемеша картоплекопача з використанням комп'ютерної програми. Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. "Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин", 2023. Вип. 53. С. 227-236.

42. Барковський В.В., Барковська Н.В., Лопатін О.К. Теорія ймовірностей та математична статистика : навч. посібник. 5-те вид., випр. та доп. К. : Цул, 2010. 424с.

43. Безвесільна О.М., Подчашинський Ю.О. Методи планування та обробки результатів експериментів : підручник. К. : НТУУ "КПІ ім. І. Сікорського; Ж.: Державний ун-тет "Житомирська політехніка", 2021. 232 с.

44. Білушак Г. І., Чабанюк Я. М. Теорія ймовірностей і математична статистика. Практикум. Львів, 2001. 418 с.

45. Блащак Б., Онофрjuk В. Обґрунтування ефективності посадочного апарата барабанного типу. Матеріали VIII Міжнародної студентської науково-технічної конференції / Тернопіль: Тернопільський національний технічний університет ім. І.Пулюя (м. Тернопіль, 24-25 квітня 2025 р.), 2025. С. 26-27.

46. Блащак Б.О., Бабій А.В. Багатофункціональна мінікартоплепосадочна машина. Матеріали V Міжнародної науково-практичної конференції «Підвищення надійності і ефективності машин, процесів і систем. Improving the reliability and efficiency of machines, processes and systems», 19-21 квітня 2023 р. Кропивницький : ЦНТУ, 2023. С. 155.

47. Блащак Б.О., Бабій А.В. Дослідження ефективності роботи картоплепосадочних апаратів. Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції «Процеси, машини та обладнання агропромислового виробництва: проблеми теорії та практики». Тернопіль 29-30 вересня 2022. С.68-69.

48. Блащак Б.О., Бабій А.В. Обґрунтування окремих конструктивно технологічних параметрів картоплепосадочної машини. Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки. 2024. Вип. 10(41), ч.І. С.192-199.

49. Блащак Б.О., Бабій А.В., Вовк І.В. Визначення параметрів взаємодії ґрунтової стружки з направляючим кожухом фрезерного модуля. Актуальні задачі сучасних технологій : зб. тез доповідей XIV міжнар. наук.-техн. конф. молодих учених та студентів, (Тернопіль, 11-12 грудня 2025) / М-во освіти і

науки України, Терн. націон. техн. ун-т ім. І. Пулюя [та ін]. Тернопіль : ФОП Паляниця В.А., 2025. С.52-54.

50. Блащак Б.О., Бабій А.В., Жук Н.В., Бабій В.А. Колесо змінного діаметру. Актуальні задачі сучасних технологій : зб. тез доповідей XIII міжнар. наук.-практ. конф. Молодих учених та студентів, (Тернопіль, 11-12 грудня 2024) / М-во освіти і науки України, Терн. націон. техн. ун-т ім. І. Пулюя [та ін.]. Тернопіль: ФОП Паляниця В. А., 2024. С.78-79.

51. Блащак Б.О., Гамрач В.О. Передумови до обґрунтування конструктивних та кінематичних параметрів картоплесаджалки. Збірник матеріалів VI Міжнародної науково-практичної конференції, 17 – 19, квітня 2024 р. «Підвищення надійності і ефективності машин, процесів і систем». Кропивницький : ЦНТУ, 2024. С. 12-13.

52. Блащак Б.О.; Бабій А.В. Спосіб утворення борозенки та зароблення насіння картоплі при гребневому способі посадки. Актуальні задачі сучасних технологій : зб. тез доповідей XII міжнар. наук.-практ. конф. Молодих учених та студентів, (Тернопіль, 6-7 грудня 2023) / М-во освіти і науки України, Терн. націон. техн. ун-т ім. І. Пулюя [та ін.]. Тернопіль : ФОП Паляниця В. А., 2023. С. 94-95.

53. Боженко В. О. Сільськогосподарські машини та їх використання : навч. посіб. Київ : Аграрна освіта, 2009. 420 с.

54. Васілевський О.М., Кучерук В.Ю. Основи теорії невизначеності вимірювань : навч. посібник. вид. стер. Херсон : Олді-плюс, 2018. 224 с.

55. Вирощування картоплі в умовах Східного Лісостепу України: рекомендації. В. О. Муравйов, О. В. Мельник, Н. Г. Духіна, Т. В. Семибратська, Л. М. Урюпіна. Вінниця: Твори, 2020. 48 с.

56. Вирощування картоплі під соломою. Сад й город : веб-сайт. URL : https://sad-ogorod.in.ua/ua/stati/ogorod/vyraschivanie-kartofelja-pod-solomoj/?srsltid=AfmBOoo_z37wE73c21Vliucmbf2ABgExVUVfqzpy7IxEqlEaBj1kf-qq. (дата звернення 09.06.2024).

57. Войтюк Д. Г., Аніскевич Л. В., Дубровін В. О. та ін.

Сільськогосподарські машини : підручник / за ред. Д. Г. Войтюка. Київ : Агроосвіта, 2015. 678 с.

58. Войтюк Д.Г., Гаврилюк Г.Р. Сільськогосподарські машини: підручник. 2-е вид. К.: Каравела, 2017. 552 с.

59. Войтюк Д.Г., Яцун С.С., Довжик М.Я. Сільськогосподарські машини: основи теорії та розрахунку: Навчальний посібник / За ред. Д.Г. Войтюка. Суми: ВТД «Університетська книга», 2008. 543 с.

60. Володарський Є.Т., Кошева Л.О. Статистична обробка даних: Навчальний Посібник. К.: НАУ, 2008. 308 с.

61. Вольський В. А., Коцюбанський Р. В., Третяк В. М., Бончик В. С. Аналіз використання електроприводу в дозуючих елементах сівалок. Подільський вісник: сільське господарство, техніка, економіка. Технічні науки. Випуск 1 (46), 2025. С.220-227. <https://doi.org/10.37406/2706-9052-2025-1.32>.

62. Гевко І.Б., Дячун А.Є., Рогатинський Р.М., Довбуш Т.А., Бучинський В.М. Синтез накопичувально-завантажувальних бункерів з елементами автоматизації. Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки. Вип. 10(41), ч.І, 2024.С.143-154.

63. Глеч С.Г., Ледяєв С.Ф., Ольшанська І.В. Теорія ймовірностей та математична статистика : навч. посібник. Севаст. : СевНТУ, 2011. 176 с.

64. Головецький І.В., Бабій А.В. Конструктивні особливості та ефективність роботи міні картоплекопачів. Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки. 2023. Вип. 8(39), ч.ІІ. С. 134-143.

65. Грабар І.Г., Водяницький Г.П. Теорія та технологія наукових досліджень: навчальний посібник для магістрів напряму підготовки: 8.10010203 «Механізація та електрифікація сільського господарства», «Автомобілі та автомобільне господарство». Житомир, 2013. 260 с.

66. Грунтофреза навісна Bomet (Бомет) 1.4 м. URL: <https://agrotechsvit.com.ua/ua/p1537621625-pochvofreza-navesnaya-bomet.html>. (дата звернення 10.05.2024).

67. Грушецький С. М., Рудь А. В., Корчак М. М., Замойський С. М. Обґрунтування конструктивних параметрів вдосконаленого робочого органу сепарації коренебульбозбиральних машин Подільський вісник: сільське господарство, техніка, економіка, № 43, 2024. 168-181.

68. Грушецький С.М. Інноваційна картопляна техніка – комплексне рішення задач. Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин : Загальнодержавний міжвід. наук.-техн. зб. Під заг. ред. І.М. Черновола. Кіровоград : КНТУ, 2009. Вип. 39. С. 68-81.

69. Грушецький Сергій, Боднарук Богдан. Модель аналітичного дослідження взаємодії дискового робочого органу з ґрунтом. International Science Journal of Engineering & Agriculture. Vol. 3, No.5, 2024, pp. 30-43.

70. Дегтяр М. В. Математична статистика : навч. посіб. Київ : КНЕУ, 2012. 312 с.

71. Демків Т.М., Конопельник О.І., Шопа Я.І. Основи теорії похибок фізичних величин. Львів: Видавничий центр ЛНУ ім. І.Франка, 2008. 40 с.

72. Державна служба статистики України. URL : Площі, валові збори та урожайність сільськогосподарських культур за їх видами та по регіонах (ukrstat.gov.ua). (дата звернення 12.10.2024).

73. Дідух В.Ф., Тарасюк В.В., Тарасюк Д.В. Дослідження садильного апарату картоплі пасивного типу. Сільськогосподарські машини : зб. наук. ст. Луцьк, 2020. Вип. 44. С. 41–50.

74. Дідух В.Ф., Цизь І.Є., Тарасюк В.В., Хомич С.М. Дослідження процесу формування у ґрунті вологоутримуючого шару. Центральноукраїнський науковий вісник. Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин, вип. 53, 2023. С.149-157.

75. Довбуш Т.А., Хомик Н.І., Бабій А.В., Цьонь Г.Б., Довбуш А.Д. Опір матеріалів: навчальний посібник до виконання розрахунково-графічних робіт і самостійної роботи. Тернопіль: ФОП Паляниця В.А., 2022. 220 с.

76. Дорожовець М.. Опрацювання результатів вимірювань. Львів, Ви-тво Національного університету «Львівська політехніка», 2007. 622 с.

77. ДСТУ 4397:2005 «Сільськогосподарська техніка. Методи економічного оцінювання техніки на етапі випробовування».

78. ДСТУ 4506:2005. Картопля продовольча. Технологія вирощування. Основні положення. К. : Держспоживстандарт України, 2006. 20 с.

79. Думич В. Аналіз конструкцій для садіння картоплі. Техніка і технології АПК. 2012. № 12(39). С. 10–13.

80. Єріна А. М., Пальян З. О. Теорія статистики : навч. посіб. Київ : Центр навчальної літератури, 2007. 256 с.

81. Завінський П.А., Головецький І.В., Блащак Б.О. Використання інноваційних підходів при сільськогосподарському виробництві задля збереження ґрунту. Інноваційні технології в АПК: збірник тез доповідей ІХ Міжнародної науково-практичної конференції, 7-8 червня 2023 р., м. Луцьк : ЛНТУ, 2023. С.66-67.

82. Заїка П.М. Теорія сільськогосподарських машин. В 4-х томах. Харків: Око, 2002.

83. Картоплесаджалка дворядна "60" VINMET. АГРОТЕХНІКА VINA VI : веб-сайт. URL : <https://vinavi.ua/product-kartoplesadzhalka-dvoryadna-ksnk-260-vinmet-ua>. (дата звернення 06.10.2024).

84. Картоплесаджалка дворядна «70». АГРОТЕХНІКА VINA VI : веб-сайт. URL : <https://vinavi.ua/product-Kartoplesadzhalka-dvoryadna-70-ua>. (дата звернення 06.10.2024).

85. Картоплесаджалка з гребенеутворювачем Grimme GL 34 (2004). TRIDAAGRO : веб-сайт. URL : <https://tridaagro.com.ua/ua/kombajni/kartofelesazhalka-s-grebneobrazovatelem-grimme-gl-34-2004-1523>. (дата звернення 06.10.2024).

86. Картоплесаджалка ланцюгова (КСЗ). Компанія Крючков : веб-сайт. URL : <https://kruchkov.com.ua/kartoplesadzhalki/kartoplesadgalka-lantsyugova-ks3>. (дата звернення 06.10.2024).

87. Картоплесаджалка мотоблочна П-1Ц. ДТЗ : веб-сайт. URL : <https://dtz.ua/naveska-motoblok/kartofelesazhalki-dlya->

[motobloka/kartofelesazhatel-motoblochny-p-1ts](#). (дата звернення 06.10.2024).

88. Картоплесадильна машина Imac PPS. UVC : веб-сайт. URL : <https://uvc.com.ua/product/imac-pps/?srsltid=AfmBOoruKcjLVAHgPLnReot8R1uAzYQLQXLURxRztFKA5IxHBncXJRMV>. (дата звернення 06.10.2024).

89. Картопля: хімічний склад, калорійність, корисні властивості. Dovidka.biz.ua : веб-сайт. URL : <https://dovidka.biz.ua/kartoplya-himichniy-sklad-kaloriynist-korisni-vlastivosti>. (дата звернення 15.09.2024).

90. Кириченко Р. В., Бакум М. В., Козаченко О. В. та ін. Сільськогосподарські машини. Культиватори : навч. посіб. Харків : ДБТУ, 2024. 338 с.

91. Кобзар А. І. Прикладна математична статистика : навч. посіб. Київ : Центр навчальної літератури, 2006. 208 с.

92. Комаристов В.Ю., Дунай М.Ф. Сільськогосподарські машини. К.: Вища школа. Головне видавництво, 1987. 486 с.

93. Кремер Н. Ш., Путко Б. А. Теорія ймовірностей і математична статистика : підручник. Київ : Вища школа, 2005. 576 с.

94. Ляшук В. М., Дідух В. Ф., Герасимик-Чернова Т. П., Бартошик І. С. Особливості формування врожаю картоплі. Сільськогосподарські машини : зб. наук. ст. Луцьк, 2019. Вип. 42. С. 49–55.

95. Машина для садіння картоплі з одночасним внесенням органічних і мінеральних добрив. Дідух В.Ф., Тарасюк Д.В., Ляшук В.М., Тарасюк В.В., Фомич М.І. Патент на КМ № 143095, МПК (2020.01) А01С 7/06(2006.01) А01С 15/00, опубл. 10.07.2020, бюл. №13.

96. Методи та засоби експериментальних досліджень : навч. посіб. / Г.Б. Параска, Д.В. Прибега, П.С. Майдан. Київ : Кондор, 2017. 138 с.

97. Мизюк А.І. Математичне обґрунтування взаємодії бульби з ложковим транспортером картоплесаджалки. Вісник Хмельницького національного університету, №4, 2022 (311). С. 164-167.

98. Науково-випробувальні дослідження сільськогосподарської

техніки і технологій: розвиток і диверсифікація (колектив авторів)/ за ред. В. Кравчука; Міністерство аграрної політики та продовольства України; УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого. Дослідницьке, 2018. 240 с.

99. Нечаєв В.П., Берідзе Т.М., Кононенко В.В., Рябушенко Н.В., Брадул О.М. Теорія планування експерименту : Навч. пос. К. : Кондор, 2009. 232с.

100. Основи теорії невизначеності вимірювань : підручник / О. Василевський, В. Кучерук, Є. Володарський. Вінниця : ВНТУ, 2015. 230 с.

101. Писаренко Г. С., Яковлєв А. П., Матвєєв В. М. Теоретична механіка : підручник. Київ : Вища школа, 1993. 655 с.

102. Підгурський М.І., Борис М.М., Цьонь Г.Б. Експериментальні дослідження ширини утвореного валка зрізаної гички коренеплодів цикорію. Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки. Вип. 8(39), ч.І, 2023.С.117-127.

103. Посадка картоплі, способи і методи від ФГ «Аделаїда». Farm Аделаїда: веб-сайт. URL : <https://www.adelaida.ua/uk/materialy/sekrety-vrozhainosti/posadka-kartopli>. (дата звернення 20.10.2025).

104. Правильна посадка картоплі. Журнал Пропозиція : веб-сайт. URL : <https://propozitsiya.com/articles/tekhnohiiyi-vyroshchuvannya/pravylna-posadka-kartopli>. (дата звернення 25.10.2025).

105. Практичний poradnik картопляра (2-ге видання доповнене та допрацьоване) (Методичні рекомендації) / Брошак І.С., Пида С.В., Гуйван М.Д., Хом'як І.В. Чернівці, 2018. 70 с.

106. Рибак Т.І. Пошукове конструювання на базі оптимізації ресурсу мобільних сільськогосподарських машин. Посібник. Тернопіль, “Збруч”, 2002. 332 с.

107. Руткевич В., Остапенко В., & Кажуро М. Теоретичне дослідження умов роботи дозуючих робочих органів посівного комплексу для диференційованого внесення добрив. Herald of Khmelnytskyi National University. Technical Sciences, 339(4), 2024. С. 91-96. <https://doi.org/10.31891/2307-5732-2024-339-4-14>.

108. Сало В., Лещенко С., Лузан П., Сало Л. Машины для сівби, садіння та догляду за посівами: навчальний посібник. Кропивницький: Видавець Лисенко В.Ф., 2022. 220 с.

109. Сенчук М. М., Трегуб М. І., Демещук В. А. Сільськогосподарські машини : навч.-метод. посіб. Біла Церква, 2010. 343 с.

110. Сисолін П.В., Рибак Т.І., Сало В.М. Сільськогосподарські машини: теоретичні основи, конструкція, проектування: Підруч. для студ. вищ.навч. закл. із спец. «Машини та облад. с.-г. вир-ва» / За ред. М.І.Черновола. Кн.2. Машини для рільництва. К.: Урожай, 2002. 364 с.

111. Системи доочищення коренеплодів при їх механізованому збиранні : монографія / Р. Б. Гевко, І. Г. Ткаченко, Р. М. Рогатинський, С. В. Синій та ін. Тернопіль : Осадца Ю. В., 2020. 216 с.

112. Сільськогосподарські машини : навч. посіб. / Войтюк Д.Г., Аніскевич Л.В., Волянський М.С., Мартишко В.М., Гуменюк Ю.О. Київ : «Агроосвіта», 2017. 180 с.

113. Сільськогосподарські машини: теоретичні основи, конструкція, проектування: Підруч. для студ. вищ. навч. закл. із спец. «Машини та обладнання сільськогосподарського виробництва» / За ред. М.І. Черновола. Кн. 1: Машини для рільництва / П.В. Сисолін, В.М. Сало, В.М. Кропівний; За ред. М.І. Черновола. К.: Урожай, 2001. 384 с.

114. Сільськогосподарські машини: теоретичні основи, конструкція, проектування: Підруч. для студ. вищ. навч. закл. із спец. «Машини та обладнання сільськогосподарського виробництва» / За ред. М.І. Черновола. Кн. 2: Машини для рільництва / П.В. Сисолін, Т.І. Рибак, В.М. Кропівний; За ред. М.І. Черновола. К.: Урожай, 2001. 382 с.

115. Сільськогосподарські машини: теоретичні основи, конструкція, проектування: Підруч. для студ. вищ. навч. закл. із спец. «Машини та обладнання сільськогосподарського виробництва» / За ред. М.І. Черновола. Кн. 3: Машини та обладнання для переробки зерна та насіння / П.В. Сисолін, М.М. Петренко, М.О. Свірень; За ред. М.І. Черновола. К.: Фенікс, 2007. 432 с.

116. Сільськогосподарські та меліоративні машини: Підручник / Д.Г. Войтюк, В.О. Дубровін, Т.Д. Іщенко та ін.; За ред. Д.Г. Войтюка. К.: Вища освіта, 2004. 544 с.

117. Технологія вирощування картоплі. Агробізнес сьогодні: веб-сайт. URL : <https://agro-business.com.ua/agro/ahronomiia-sohodni/item/21189-tekhnohiiia-vyroshchuvannia-kartopli.html>. (дата звернення 21.10.2025).

118. Технологія вирощування картоплі. Інститут картоплярства Національної академії аграрних наук України : веб-сайт. URL : <https://surl.li/nhcvbg>. (дата звернення 22.10.2025).

119. Технологія вирощування картоплі. Ясон Агро: веб-сайт. URL : <https://yason-agro.com/articles/teh-potatoes>. (дата звернення 18.10.2025).

120. Томчук В.В. Картоплесаджалка для пророслих бульб. Механізація сільськогосподарського виробництва. Промислова гідравліка і пневматика. № 4 (58)'2017. С.54-57.

121. Халанський В. М., Горбачов І. В. Сільськогосподарські машини. Київ : Колос, 2006. 624 с.

122. Цизь, І. Є., Дідух, В. Ф., Голій, О. В., Хвесик, В. О., & Голій, В. О. Дослідження впливу сапропелю природної вологості на урожайність сої за екстремальної нестачі вологи. Сільськогосподарські машини, 49, 2023. С.22-30. <https://doi.org/10.36910/acm.vi49.1013>.

123. Четвериков О. М. Теорія ймовірностей і математична статистика : навч. посіб. Київ : Центр навчальної літератури, 2003. 376 с.

124. Шимко, А.В., Бундза, О.З., & Мартинюк, В.Л.(2023). Пошкодження бульб картоплі під час транспортування. Сільськогосподарські машини, 49, 46-52. <https://doi.org/10.36910/acm.vi49.1018>.

125. Яцук В.О., Малачівський П.С. Методи підвищення точності вимірювань : Підручник. Л. : Бескид Біт, 2008. 368с.

ДОДАТКИ

ДОДАТОК А

Огляд та аналіз конструкцій вичерпуючих апаратів картоплесаджалок

Конструкція картоплесаджалки, що описана у патенті № 33682, показана на рис. А.1.

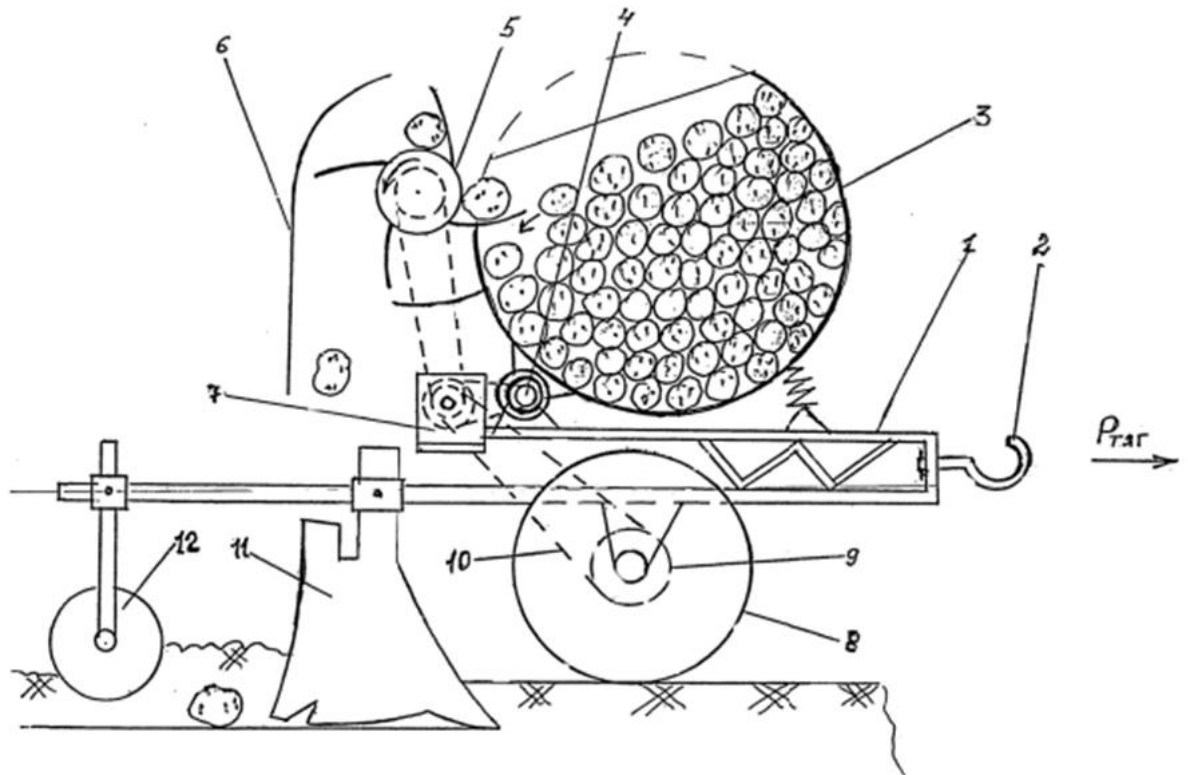


Рисунок А.1 – Картоплесаджалка (патент № 33682)

В описі до патенту наведена наступна інформація.

«Запропонована картоплесаджалка (рис. А.1) складається з рами 1, причіпного пристрою 2, поворотного циліндричного бункера 3, встановленого на осі 4, садильного апарата 5 з напрямним лотком 6, передавального механізму 7, опорноприводного колеса 8 з приводною зірочкою 9 та ланцюговою передачею 10, сошника 11 і загортача гребенеутворювача 12.

Принцип дії картоплесаджалки полягає в тому, що при створенні певного тягового зусилля ($P_{\text{тяг}}$) тяговим засобом, яким може бути кінь, мінітрактор, чи трактор, опорно-приводне колесо 8 приводить у дію через ланцюгову передачу 10 та передавальний механізм 7 одночасно садильний

апарат 5 і поворотну вісь 4 циліндричного бункера 3. Садильний апарат через забірне вікно з бункера забирає бульби і подає їх до напрямного лотка 6, а далі вони потрапляють до сошника 11, де вкладаються на дно борозенки. Загортач 12 загортає борозенку і при потребах технології може утворювати гребінь. Рівень бульб біля забірної вікна підтримується за рахунок поступового збільшення кута нахилу циліндричного бункера 3, який повільно поступово повертається на осі 4 разом з прикріпленим на ньому садильним апаратом 5. На забірне вікно бульби вільно звальюються під час роботи з верхнього шару, а нижні шари не зазнають переміщень і тому не травмуються, на відміну від САЯ-4 та конструкції, взятої за прототипом, де відбір до живильного ковша здійснюється з нижніх шарів бульб у бункері, на які постійно тисне маса верхніх шарів. У запропонованій конструкції картоплесаджалки немає автоматичних дозаторів електричного типу, як у САЯ-4, а також еластичної накладки з вібраційними пристроями. Крім того, у запропонованій конструкції немає транспортерів подачі та живильного ковша, де існує висока ймовірність пошкоджень яровизованих бульб.

Таким чином, запропонована конструкція зменшує травмування бульб і має більш просту кінематичну схему. Така картоплесаджалка може бути не тільки у причіпному варіанті, але і в начіпному з приводом від валу відбору потужності, або від колеса трактора».

У патенті № 33682, наведене цікаве рішення садильного апарату, що в комплексі з спеціальним бункером частково дозволяє запобігти травмуванню посадкового матеріалу. Проте, застосування барабанного чотирилопатевого садильного апарату викликає необхідність відносно високої частоти його обертання для забезпечення кроку посадки картоплі. Наприклад, якщо картоплесаджалка буде рухатись з поступальною швидкістю 1 м/с та при крокові посадки 0,25 м, то барабану за 1 с потрібно зробити один оберт. А це досить висока частота для взаємодії його складових з бульбами, що може викликати їх травмування. Для усунення цього недоліку потрібно

збільшувати кількість комірок для захоплення картоплин, а це, в свою чергу, буде збільшувати габарити барабана.

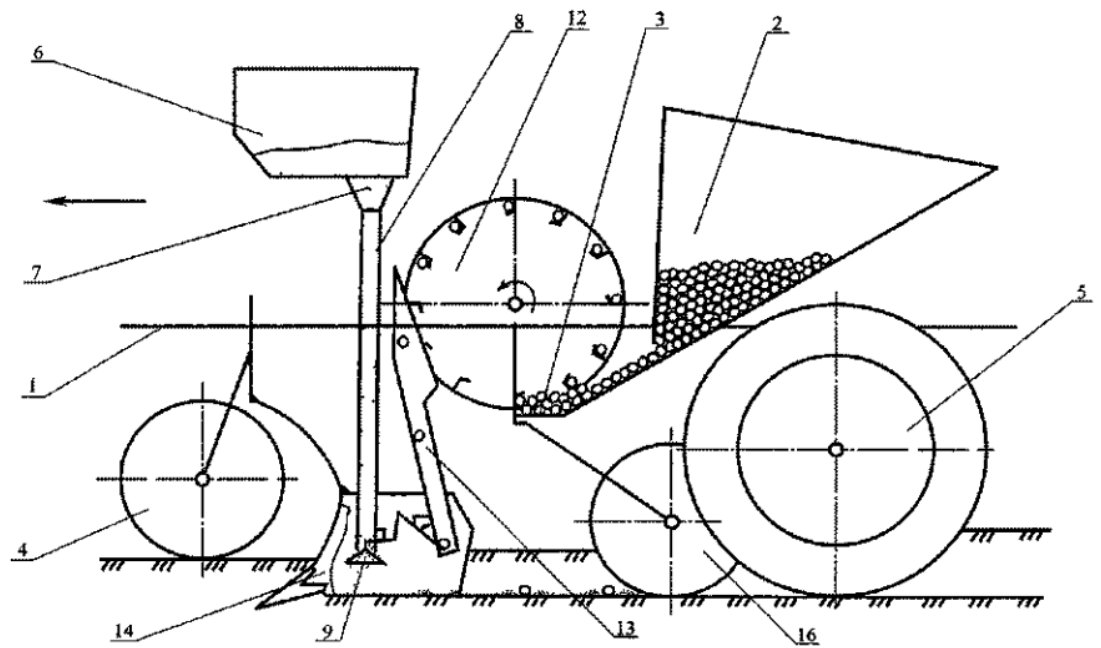
Конструкція картоплесаджалки, що описана у патенті № 50372, показана на рис. А.2.

В описі до патенту наведена наступна інформація.

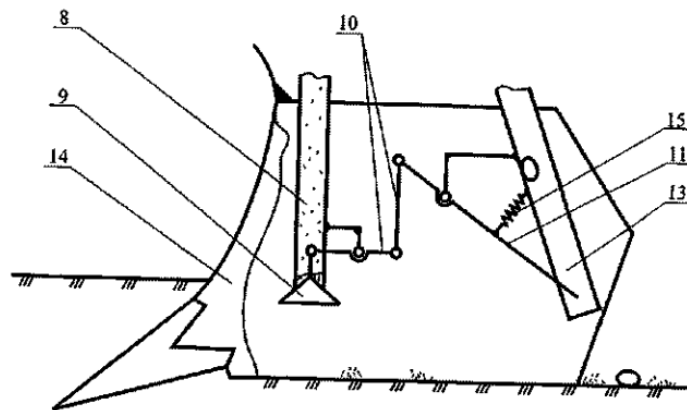
«Картоплесаджалка складається із рами 1, на якій змонтовані бункер 2 із живильними ковшами 3 для бульб картоплі, опорні 4 і ходові 5 колеса, ємкості для добрив 6, висівні диски 7 і тукопроводи 8, під вихідними отворами яких встановлені розподільчі конуси 9, які кінематично зв'язані за допомогою тяг 10 з важелями 11. Під вичерпувальними апаратами 12 встановлені бульбопроводи 13, по яких бульби потрапляють в борозни, утворені сошниками 14. Важелі 11 підпружинені відносно бульбопроводів 13 пружинами 15. За бульбопроводами 13 розміщені дискові загортачі 16.

Картоплесаджалка працює наступним чином.

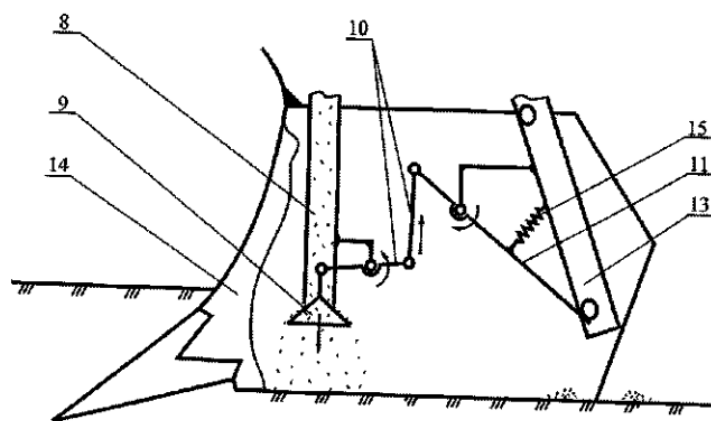
При русі картоплесаджалки крутний момент від карданної передачі трактора передається на вичерпувальні апарати 12. Останні, обертаючись, захоплюють бульби картоплі із живильних ковшів 3 і подають їх у бульбопроводи 13. Одночасно з цим добрива, які знаходяться в ємкостях 6, висіваються висівними дисками 7 в тукопроводи 8. Нижній отвір тукопровода 8 закритий розподільчим конусом 9. Рухаючись по бульбопроводу 13, картоплина вдаряє по важелю 11, який під силою ваги картоплини опускається вниз. При цьому за допомогою тяг 10 опускається розподільчий конус 9, відкриваючи вихідний отвір тукопровода 8. Порція добрив, вдаряючись по розподільчому конусу 9, розсівається по колу і



а)



б)



г)

а – вигляд з боку; б – пристрій для порційного внесення добрив із закритим вихідним отвором тукопроводу; г – пристрій для порційного внесення добрив із відкритим вихідним отвором тукопроводу
Рисунок А.2 – Картоплесаджалка (патент № 50372)

потрапляє на дно борозни, утвореної сошником 14, в центр якого потрапляє бульба картоплі. Після того, як картоплина перестає взаємодіяти з важелем 11 і падає у борозну, розподільчий конус 9 завдяки дії пружини 15 повертається у початкове положення і перекриває вихідний отвір тукопроводу 8. Таким чином відбувається порційна подача добрив у місце висадки бульб картоплі. Дисківий загортач 16 закриває бульби картоплі шаром ґрунту. Використання картоплесаджалки дасть змогу раціональніше і ефективніше використовувати добрива, внаслідок чого покращиться прикореневе живлення рослин картоплі, що призведе до підвищення врожайності».

Наведена у патенті № 50372 конструкція картоплесадильної машини має дуже перспективну технологічну схему. Така машини поєднує вже кілька операцій, зокрема підживлення рослин, причому дискретне внесення мінеральних добрив. Крім того, авторами запропонований вичерпуючий апарат барабанного типу з багатьма комірками, що дозволить йому обертатися з безпечною кутовою швидкістю, по відношенню до можливого травмування насіння картоплі. Але поряд з тим, на нашу думку, спостерігаються і деякі недоліки, які будуть проявлятися на практиці. Туковисіваючий апарат не має окремого дозуючого пристрою, що унеможлиблює регулювати норму добрив, за такої схеми робота розподільчого конуса буде не надійною – при малих розмірах бульб буде відкриватися недостатньо; при заклинюванні бульб у бульбопроводі буде постійне висипання добрив; якщо бульбопровод буде досить значних розмірів, то ймовірність попадання картоплі по керуючому важелю буде незначною, якщо ж важіль буде перекривати бульбопровод для попадання, то можливе заклинювання картоплин; якщо в момент закриття між розподільчим конусом і тукопроводом заклинить більших розмірів тук, то туки менших розмірів можуть самовільно осипатися. Ще одним недоліком є те, що конструкцією не передбачене внесення добрив нижче рівня

закладання бульб, що робить їх прямий контакт з насінням і може спричинити опіки і т.д.

Що стосується вичерпуючого апарату, то серед недоліків можна виділити те, що його диск з вичерпуючими ложечками обертається всередині направляючого диска, який розривається при переході у бульбопровод. Тут негативним моментом є те, що бульби при переміщенні будуть тертися до стінок диска; незрозуміло як бульби будуть себе вести у верхньому положенні барабана; як буде здійснюватися їх випадання з ложечок, чи забезпечиться поодиноким випаданням, чи може з двох суміжних? А також конструкцією не передбачений пристрій для примусового очищення ложечок у випадку заклинювання бульб.

Конструкція картоплесаджалки, що описана у патенті № 133848, показана на рис. А.3.

В описі до патенту наведена наступна інформація.

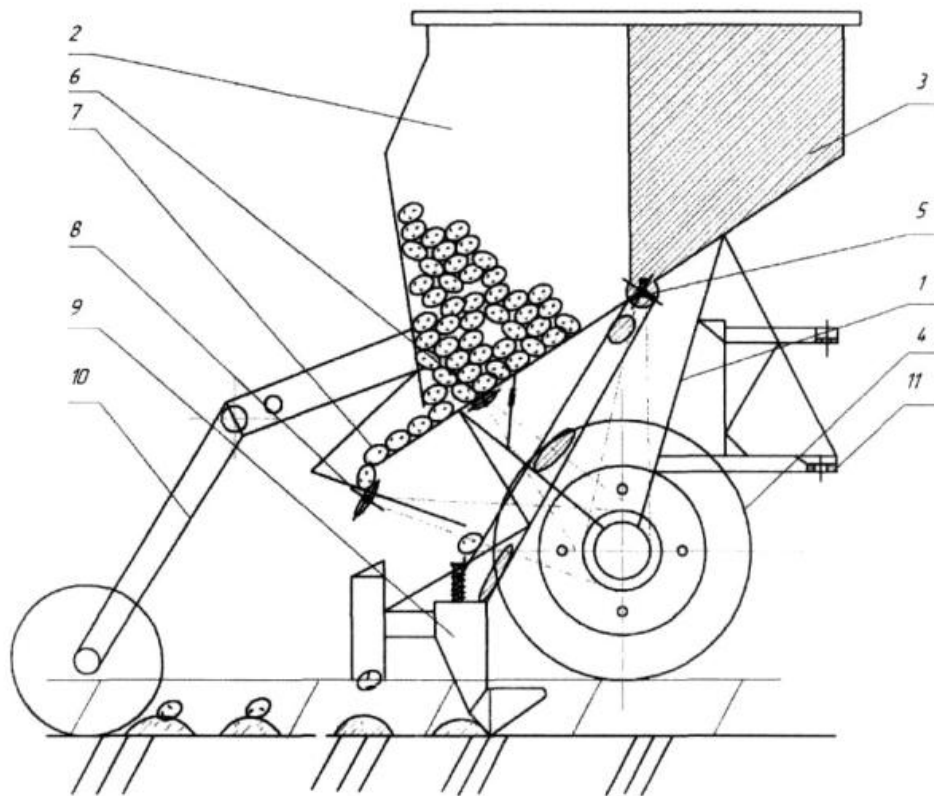


Рисунок А.3 – Машина для садіння картоплі з одночасним внесенням органічних добрив (патент № 133848)

«Машина для садіння картоплі з одночасним внесенням органічних добрив складається з рами 1, на якій встановлений бункер для картоплі 2, попереду нього розміщений бункер для органічних добрив 3. Під рамою розташовані опорно-ходові колеса 4. Внизу бункера для органічних добрив 3 розташований дозатор органічних добрив 5. Внизу бункера для картоплі 2 розташовані ворушилки картоплі 6 та гравітаційний пристрій подачі картоплі 7, знизу якого знаходиться відсікач бульб 8. Під рамою 1 знаходиться сошник 9, позаду якого розміщений дисковий загортач 10.

Машина для садіння картоплі з одночасним внесенням органічних добрив працює наступним чином. Підготовлені органічні добрива завантажуються у бункер для органічних добрив 3, а картопля - у бункер для картоплі 2. Після цього пристрій підводиться транспортними засобами на поворотні полоси оброблюваної ділянки. Після завантаження машина для садіння картоплі з одночасним внесенням органічних добрив транспортується до місця внесення добрив та посадки картоплі на попередньо підготовлене оранкою поле. У загінці машина гідросистемою трактора (на кресленні не показаний) переводиться у робоче положення.

При переміщенні машини для садіння картоплі з одночасним внесенням органічних добрив по полю у борозну, утворену сошником 9, вкладаються органічні добрива, дозовані дозатором органічних добрив 5 з бункера для органічних добрив 3. Після цього на добрива вкладаються бульби картоплі з бункера для картоплі 2 за допомогою гравітаційного пристрою подачі картоплі 7. Норму садіння картоплі регулюють відсікачем бульб 8. Утворені рядки картоплі загортається пухким ґрунтом дисковим загортачем 10.

Після проходження загінки сошник 9 переводять у транспортне положення до переміщення у наступну загінку. Запропонована машина забезпечує високу ефективність та економне внесення органічних добрив у сформовані борозни при садінні картоплі, а застосування сил гравітації підвищить точність вкладання бульб картоплі у сформовані зони живлення,

що дозволить підвищити енергоефективність процесу вирощування картоплі».

Картоплесаджалка за патентом № 133848 – це комбінований агрегат, який одночасно з посадкою має можливість вносити органічні добрива. Це досить позитивна практика. Разом з тим, аналізуючи конструкцію проглядаються деякі недоліки. Не зрозуміло яким чином гравітаційний пристрій подачі картоплі може створити потік бульб шаром в одну бульбу. Якщо заслінкою створити малу щілину розміром висоти бульби, то отримаємо заклинювання картоплин на вході в цю щілину, у протилежному випадку – вільний прохід бульб щілиною (достатній розмір проходу) спричинить відносно неконтрольоване засипання зони відсікача, що, в свою чергу, унеможливить поодинокі вкладання картоплі у борозну.

ДОДАТОК Б
Спосіб закладання насіння картоплі при посадці





УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **158112** (13) **U**
 (51) МПК
A01C 23/02 (2006.01)

НАЦІОНАЛЬНИЙ ОРГАН
 ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ ВЛАСНОСТІ
 ДЕРЖАВНА ОРГАНІЗАЦІЯ
 "УКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ
 ОФІС ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
 ВЛАСНОСТІ ТА ІННОВАЦІЙ"

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

(21) Номер заявки: u 2024 01975	(72) Винахідник(и): Бабій Андрій Васильович (UA), Блащак Богдан Олегович (UA), Валяшек Володимир Богданович (UA)
(22) Дата подання заявки: 15.04.2024	
(24) Дата, з якої є чинними права інтелектуальної власності: 02.01.2025	
(46) Публікація відомостей про державну реєстрацію: 01.01.2025, Бюл.№ 1	(73) Володілець (володільці): ТЕРНОПІЛЬСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ ІВАНА ПУЛЮЯ, вул. Руська, 56, м. Тернопіль, 46001 (UA)

(54) СПОСІБ ЗАКЛАДАННЯ НАСІННЯ КАРТОПЛІ ПРИ ПОСАДЦІ

(57) Реферат:

Спосіб закладання насіння картоплі при посадці, при якому здійснюють механічний передпосівний обробіток ґрунту, розкривають сошником борозенку, вкладають насіння картоплі на дно борозенки, загортають насіння з утворенням гребенів. Після механічного передпосівного обробітку ґрунту проводять фрезерування смуги безпосередньо перед сошником, яким розкривають борозенку та утворюють у середній її частині заглиблення, що використовують як ущільнене вузьке ложе для закладання насіння. Частково прикривають насіння картоплі утвореною при фрезеруванні ґрунтовою стружкою та утворюють малий гребінь ґрунтом зі смуги, розпушеної фрезеруванням, і остаточно формують гребінь ґрунтом з міжрядь.

UA 158112 U

UA 158112 U

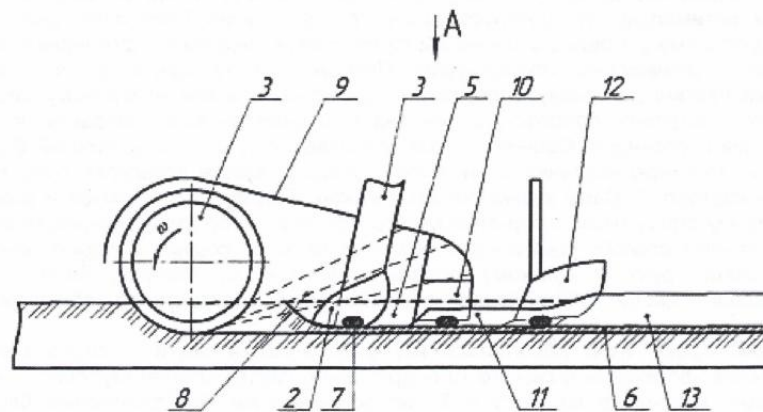
чорноземі. Для утворення оптимальної грудкуватості посадкового ложа за способом закладання насіння картоплі при посадці виконують фрезерування смуги 1 шириною 30-35 см перед сошником 2 на глибину 6-8 см, наприклад фрезерним барабаном 3. Причому у середній частині смуги 1 під час фрезерування утворюють додаткову борозенку 4 шириною 5-6 см та глибшою на 3-4 см від загальної глибини обробітку фрезеруванням. Далі сошником 2 розкривають борозенку 5 та його нижньою частиною ущільнюють ґрунт в додатковій борозенці 4, що дозволяє утворити вузьке посадкове ложе 6, яке розташоване 1,5-2 см нижче від рівня борозенки 5 на спочатку подрібненому, а потім ущільненому ґрунті смуги 1. Таке заглиблене та вузьке посадкове ложе 6 дозволить формувати прямолінійне розміщення насіння картоплі 7, а ущільнений в ньому ґрунт створює умови, що дозволяють пришвидшити процес "підтягування" вологи з нижніх горизонтів та забезпечити дружні сходи картоплі.

Крім того, фрезерування смуги 1 під час посадки дозволяє присипати вже вкладені на вузьке посадкове ложе 6 картоплини 7 свіжим та подрібненим ґрунтом, який їх там фіксує від зміщень, а загортачі 10, захоплюючи ґрунт із смуги 1, розпушеної фрезеруванням, формують малі гребені 11 і остаточно гребені 13 - робочі органи-підгортачі 12 ґрунтом із міжрядь.

Таким чином, запропонований спосіб закладання насіння картоплі при посадці забезпечить можливість на смузі посадки картоплі утворити борозенку з вузьким та ущільненим ложем у ґрунті оптимальної грудкуватості та безпосередньо прикрити насіння картоплі таким же ґрунтом при формуванні гребеня, що створить умови появи дружніх сходів та підвищення урожайності при вирощуванні культури в цілому.

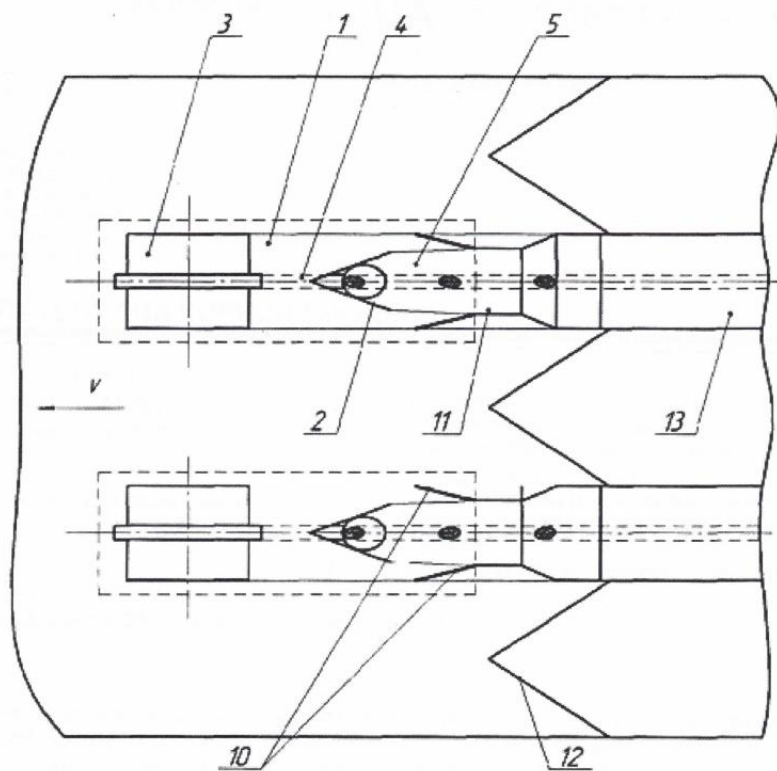
ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

Спосіб закладання насіння картоплі при посадці, при якому здійснюють механічний передпосівний обробіток ґрунту, розкривають сошником борозенку, вкладають насіння картоплі на дно борозенки, загортають насіння з утворенням гребенів, який **відрізняється** тим, що після механічного передпосівного обробітку ґрунту проводять фрезерування смуги безпосередньо перед сошником, яким розкривають борозенку та утворюють у середній її частині заглиблення, що використовують як ущільнене вузьке ложе для вкладки насіння, далі частково прикривають насіння картоплі утвореною при фрезеруванні ґрунтовою стружкою та утворюють малий гребінь ґрунтом зі смуги, розпушеної фрезеруванням, і остаточно формують гребінь ґрунтом з міжрядь.



Фиг. 1

UA 158112 U



Фиг. 2

Комп'ютерна верстка В. Мацело

ДО "Український національний офіс інтелектуальної власності та інновацій", вул. Дмитра Годзенка, 1, м. Київ – 42, 01601

ДОДАТОК В
Опорно-привідне колесо змінного діаметра





УКРАЇНА

(19) UA (11) 160993 (13) U

(51) МПК

A01C 19/04 (2006.01)

НАЦІОНАЛЬНИЙ ОРГАН
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ ВЛАСНОСТІ
ДЕРЖАВНА ОРГАНІЗАЦІЯ
"УКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ
ОФІС ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ ТА ІННОВАЦІЙ"

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

(21) Номер заявки: u 2025 00183	(72) Винахідник(и):
(22) Дата подання заявки: 16.01.2025	Бабій Андрій Васильович (UA),
(24) Дата, з якої є чинними права інтелектуальної власності: 30.10.2025	Блащак Богдан Олегович (UA), Бабій Марія Василівна (UA), Долінська Ірина Ярославівна (UA)
(46) Публікація відомостей про державну реєстрацію: 29.10.2025, Бюл.№ 44	(73) Володілець (володільці):
	ТЕРНОПІЛЬСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ ІВАНА ПУЛЮЯ, вул. Руська, 56, м. Тернопіль, 46001 (UA)

(54) ОПОРНО-ПРИВІДНЕ КОЛЕСО ЗМІННОГО ДІАМЕТРА**(57) Реферат:**

Опорно-привідне колесо змінного діаметра складається з маточини, що містить отвори, в яких фіксуються планки-спиці, що на одному кінці мають регульовальні отвори, а іншим кінцем нерухомо з'єднані з дугоподібним елементом, який містить приєднаний ґрунтозачіп, що разом утворюють обід колеса. Крім цього, до маточини у радіальному напрямку приєднано напрямні з отворами, які іншим кінцем скріплені між собою кільцем жорсткості. При цьому планки-спиці виконані у вигляді квадратних стержнів з регульовальними отворами та можливістю переміщення в напрямних і фіксації в їх отворах.

UA 160993 U

Корисна модель належить до галузі машинобудування і може бути використана в конструкціях сільськогосподарських картоплесадильних та інших машинах, де використовуються опорно-привідні колеса для приводу дозуючих робочих органів.

Відома конструкція опорно-привідного колеса змінного діаметра складається з маточини, що містить отвори, в яких фіксуються планки-спиці, що на одному кінці мають регульовальні отвори, а іншим кінцем нерухомо з'єднані з дугоподібним елементом, який містить приєднаний ґрунтозачіп, що разом утворюють обід колеса (Bomet. Саджалки. Металеві колеса: веб-сайт. URL: Sadzarki do ziemniaków dwurzędowe Gemini (szerokość międzyrzędzi: 62,5/67,5; 70/75 cm) (дата звернення: 24.11.2024)).

До недоліків вказаної конструкції опорно-привідного колеса змінного діаметра належить нездатність простим способом провести перелаштування діаметра опорно-привідного колеса та забезпечити його зміну у значному діапазоні діаметрів, що підвищує експлуатаційні витрати при виконанні технологічних перелаштувань машини, в конструкції якої використовуються опорно-привідні колеса. Прикладом можуть бути опорно-привідні колеса картоплесадильної машини.

В основу корисної моделі поставлено задачу зменшити експлуатаційні витрати на налаштування діаметра опорно-привідного колеса та зробити цей процес максимально простим для реалізації навіть у польових умовах.

Поставлена задача вирішується тим, що в опорно-привідному колесі змінного діаметра, яке складається з маточини, що містить отвори, в яких фіксуються планки-спиці, що на одному кінці мають регульовальні отвори, а іншим кінцем нерухомо з'єднані з дугоподібним елементом, який містить приєднаний ґрунтозачіп, що разом утворюють обід колеса, згідно з корисною моделлю, до маточини у радіальному напрямку приєднано напрямні з отворами, які іншим кінцем скріплені між собою кільцем жорсткості, причому планки-спиці виконані у вигляді квадратних стержнів з регульовальними отворами та можливістю переміщення в напрямних і фіксації в їх отворах.

Суть корисної моделі пояснюється кресленням, де представлена конструкція опорно-привідного колеса змінного діаметра.

Конструкція опорно-привідного колеса змінного діаметра складається з маточини 1, до якої у радіальному напрямку приєднано напрямні 2 з отворами 3, які іншим кінцем скріплені між собою кільцем жорсткості 4. Планки-спиці 5 виконані у вигляді квадратних стержнів, які на одному кінці мають регульовальні отвори 6. Кожна планка-спиця 5 іншим кінцем нерухомо з'єднана з дугоподібним елементом 7, який містить приєднаний ґрунтозачіп 8 та має можливість переміщення в напрямних 2 і фіксації в їх отворах 3. Множина дугоподібних елементів 7 разом утворюють обід колеса заданого діаметра.

Конструкція опорно-привідного колеса змінного діаметра працює наступним чином:

Наприклад, при використанні опорно-привідних коліс в конструкції картоплесадильної машини є необхідність передавати крутний момент до висаджувачих апаратів. Найкращим варіантом є те, щоб швидкість переміщення машини та кутова швидкість обертання висаджувачих апаратів були синхронізованими, тобто мали кінематичний зв'язок. Цього можна досягнути, якщо така машина буде опиратися на опорно-привідні колеса змінного діаметра, а їх ґрунтозачеми 8 будуть проникати у ґрунт та спиратися на дугоподібні елементи 7, що разом утворюють обід колеса заданого діаметра. При переміщенні машини утворене колесо буде котитися по опорній ґрунтовій поверхні без проковзування за рахунок зчіпної сили, що забезпечується силою тертя між дугоподібними елементами 7 та ґрунтом, а також сили зрізу ґрунту при дії на нього ґрунтозачепів 8. Це дозволить виникнути дотичній силі, що діє по чергово на планки-спиці 5, які це зусилля передають напрямним 2, що перерозподіляють його між собою за рахунок кільця жорсткості 4 та передають маточині 1. За рахунок цього забезпечується необхідний крутний момент маточини 1, яка його передає на вал, де закріплені колеса, і далі крутний момент знімається одним із відомих способів та передається до робочих органів - висаджувачих апаратів.

Для виконання машиною технологічного процесу важливим параметром є крок посадки, який при описаному кінематичному зв'язку напряму буде залежати від діаметра опорно-привідного колеса або довжини обода-шляху, що пройде колесо за один оберт.

Тому в конструкції опорно-привідних коліс змінного діаметра для отримання заданого діаметра обода колеса потрібно перемістити планки-спиці 5 разом з дугоподібними елементами 7 та приєднаними ґрунтозачепами 8 і зафіксувати їх в отворах 3 напрямних 2 при збігу одного з регульовальних отворів 6 планок-спиць 5, що виконані у вигляді квадратних стержнів. На планках-спицях 5 виконано кілька регульовальних отворів 6, що дає можливість при їх переміщенні у направляючих 2 утворити, наприклад, діаметри D_1 - D_4 . Це, в свою чергу,

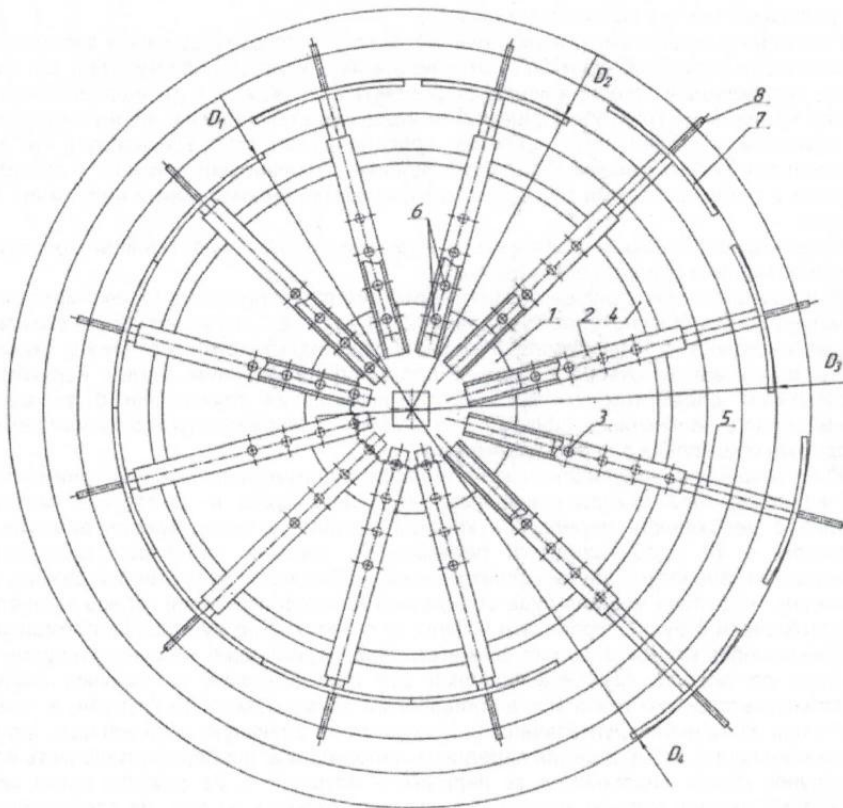
UA 160993 U

дозволить отримати різні довжини переміщення машини при одному оберті опорно-привідного колеса, а від того - і різні величини кроку посадки культури.

- Таким чином, запропонована конструкція опорно-привідного колеса змінного діаметра дозволяє зменшити експлуатаційні витрати на перелаштування діаметра опорно-привідного колеса та робить цей процес максимально простим для реалізації навіть у польових умовах.

ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

- Опорно-привідне колесо змінного діаметра, яке складається з маточини, що містить отвори, в яких фіксуються планки-спиці, що на одному кінці мають регульовальні отвори, а іншим кінцем нерухомо з'єднані з дугоподібним елементом, який містить приєднаний ґрунтозачіп, що разом утворюють обід колеса, яке відрізняється тим, що до маточини у радіальному напрямку приєднано напрямні з отворами, які іншим кінцем скріплені між собою кільцем жорсткості, причому планки-спиці виконані у вигляді квадратних стержнів з регульовальними отворами та можливістю переміщення в напрямних і фіксації в їх отворах.



Комп'ютерна верстка С. Чулій

ДО "Український національний офіс інтелектуальної власності та інновацій", вул. Дмитра Годзенка, 1, м. Київ - 42, 01601

ДОДАТОК Г

Розрахунок економічної ефективності від впровадження універсальної картоплесаджалки

Г.1 Мета та методика економічної оцінки

Економічну ефективність розробки універсальної картоплесаджалки з фрезерним модулем, системою дискретного внесення мінеральних добрив і садильними апаратами барабанного типу визначають шляхом порівняльної економічної оцінки нової машини з базовою відповідно до вимог ДСТУ 4397:2005.

Базовою машиною обрано двохрядну картоплесаджалку Vomet, яка є поширеною в господарствах України та виконує аналогічну технологічну операцію – посадку картоплі без комбінованої підготовки ґрунту й локального внесення добрив.

Методика розрахунку ґрунтується на визначенні:

приведених річних експлуатаційних витрат;

річного економічного ефекту;

строку окупності та коефіцієнта економічної ефективності.

Таблиця Г.1 – Основні техніко-економічні показники картоплесаджалок

Показник	Vomet (базова)	Універсальна (нова)
Кількість рядків	2	2
Продуктивність, га/год	0,20	0,3
Підготовка ґрунту	ні	смугове фрезерування
Внесення добрив	суцільне	дискретне
Маса, кг	225	280
Орієнтовна ціна, грн	26000	30000

Г.2 Розрахунок експлуатаційних витрат

Річні експлуатаційні витрати визначають за формулою

$$C_p = C_{nm} + C_{zn} + C_a + C_{pm}, \quad (\text{Г.1})$$

де C_{nm} – витрати на паливо-мастильні матеріали;

C_{zn} – на оплату праці;

C_a – амортизаційні відрахування;

C_{pm} – на технічне обслуговування і ремонт.

Амортизаційні відрахування

$$C_a = \frac{C N_a}{Q}, \quad (\text{Г.2})$$

де C – балансова вартість машини;

N_a – норматив амортизації (приймається 10–12 % для сільськогосподарських машин).

Г.3 Визначення річного економічного ефекту

$$E_p = (C_{\bar{o}} - C_n) Q, \quad (\text{Г.3})$$

де $C_{\bar{o}}$, C_n – експлуатаційні витрати на 1 га відповідно базової та нової машин;

Q – річний обсяг робіт, га.

Г.4 Визначення терміну окупності і коефіцієнта економічної ефективності

Термін окупності додаткових капіталовкладень

$$T = \frac{\Delta K}{E_p}, \quad (\Gamma.4)$$

де ΔK – додаткові капіталовкладення зумовлені встановленням фрезерного модуля.

Коефіцієнт економічної ефективності

$$E_k = \frac{1}{T}. \quad (\Gamma.5)$$

Розрахунковий коефіцієнт економічної ефективності порівнюють з нормативним, який рівний $E_n = 0,15$. Якщо розрахунковий рівний або більший за це значення, то проєкт нової машин пропонується до впровадження і вважається економічно доцільним.

Г.5 Виконання практичного розрахунку

Додаткові капіталовкладення, зумовлені встановленням фрезерного модуля, становлять:

$$\Delta K = 30000 - 26000 = 4000 \text{ грн.}$$

Річна площа посадки картоплі

$$Q = 25 \text{ га.}$$

Вартість дизельного палива і частини мастильних матеріалів

$$C'_{nm} = 85 \text{ грн/л.}$$

Погодинна оплата праці

$$C'_{zn} = 120 \text{ грн/год.}$$

Коефіцієнт амортизаційного відрахування

$$N_a = 10\% \text{ на рік.}$$

Витрата часу роботи на 1 га.

$$t = \frac{1}{W}, \quad (\text{Г.6})$$

де W – продуктивність машини.

Втрати часу:

– для Vomet

$$t_{\bar{o}} = \frac{1}{0,2} = 5,0 \text{ год/га;}$$

– для розробленої (нової)

$$t_{\bar{o}} = \frac{1}{0,3} = 3,33 \text{ год/га.}$$

Витрати на ПММ.

Питомі витрати палива:

– для Vomet, де передбачено попередній прохід з фрезою та наступна посадка картоплі ($q=9,5$ л/га)

$$C_{nm} = qC'_{nm}, \quad (\text{Г.7})$$

$$C_{nm}^{\bar{o}} = 9,5 \cdot 85 = 807,5 \text{ грн/га;}$$

– для універсальної ($q=7,5$ л/га)

$$C_{nm}^H = 7,5 \cdot 85 = 637,5 \text{ грн/га.}$$

Витрати на оплату праці

$$C_{zn} = t C'_{zn}. \quad (\text{Г.8})$$

– для Вомет

$$C_{zn}^b = 5,0 \cdot 120 = 600 \text{ грн/га;}$$

– для універсальної

$$C_{zn}^H = 3,33 \cdot 120 = 400 \text{ грн/га.}$$

Амортизаційні відрахування:

– для Вомет

$$C_a^b = \frac{26000 \cdot 0,10}{25} = 104 \text{ грн/га;}$$

– для універсальної

$$C_a^H = \frac{30000 \cdot 0,10}{25} = 120 \text{ грн/га.}$$

Загальні експлуатаційні витрати зведемо до таблиці Г.2

Таблиця Г.2 – Загальні експлуатаційні витрати

Стаття витрат	Вомет, грн/га	нова грн/га
ПММ	807,5	637,5
Оплата праці	600	400
Амортизація	104	120
Разом	1511,5	1157,5

Розрахунок економічного ефекту.

Економія на 1 га

$$\Delta C = C_{\delta} - C_{н}. \quad (\Gamma.9)$$

Тоді

$$\Delta C = 1511,5 - 1157,5 = 354 \text{ грн/га.}$$

Річний ефект відповідно до оброблюваних площ

$$E_p = \Delta C Q, \quad (\Gamma.10)$$

$$E_p = 354 \cdot 25 = 8850 \text{ грн/рік.}$$

Тоді окупність додаткових капіталовкладень

$$T = \frac{4000}{8850} = 0,45 \text{ року.}$$

Коефіцієнт економічної ефективності

$$E_k = \frac{1}{0,45} = 2,2.$$

Нормативне значення $E_n = 0,15$, отже

$$E_k > E_n$$

Умова виконується, а тому проєкт впровадження нової конструкції універсальної картоплесаджалки можна вважати економічно доцільним та обґрунтованим.

ДОДАТОК Д

Акти впровадження результатів дисертаційного дослідження



«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Директор ПАП «МАЯК»

Андрій ГІНДЗЕЛЕВИЧ

« 10 » 02 2026 р.

АКТ

про впровадження у виробництво результатів наукових досліджень дисертаційної роботи «Обґрунтування конструктивно-технологічних параметрів універсальної картоплесаджалки» здобувача **Блащак Богдана Олеговича**, аспіранта кафедри технічної механіки та сільськогосподарських машин Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя

Акт засвідчує, що результати наукового дослідження, виконаного здобувачем Блащак Б.О., мають суттєве значення як у науковому, так і в практичному аспектах та можуть бути використані у виробничій діяльності.

У процесі виконання роботи обґрунтовано конструктивно-технологічні параметри картоплесаджалки, реалізованої у вигляді комбінованого агрегату, що поєднує операції смугового фрезерування ґрунту, дискретного припосадкового внесення мінеральних добрив, висаджування бульб за допомогою вичерпувального апарата барабанного типу, а також поетапного формування гребеня. Особливу увагу приділено процесам формування посадкового ложа, заробляння насінневого матеріалу та синхронізованого локалізованого внесення добрив у зону картопляного гнізда.

Запропоновані технічні рішення сприяють раціональнішому використанню мінеральних добрив та підвищенню врожайності культури. У роботі розроблено методики та отримано результати, що забезпечують підвищення експлуатаційної ефективності картоплесадильних машин.

Отримані результати рекомендовано для впровадження у виробничу практику підприємства, а також використовуються при експлуатації та модернізації аналогічних машин.

Голова комісії

Василь МИЦЬ

Члени комісії:

Петро УДОД

Роман МОЦАЛ



МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
 ТЕРНОПІЛЬСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
 імені ІВАНА ПУЛЮЯ

вул. Руська, 56, м. Тернопіль, 46001. Тел. (0352)52-41-81. Факс (0352)25-49-83
 http://www.tntu.edu.ua, E-mail: univ@tu.edu.ua. Код ЄДРПОУ 05408102

25.05.2026 № 2/28-751 На №



ПІДТВЕРДЖУЮ»

Перший проректор ТНТУ

Олег ЛЯШУК

25 05 2026 рік

ДОВІДКА

про впровадження результатів дисертаційної роботи

Блащак Богдана Олеговича

на тему «Обґрунтування конструктивно-технологічних параметрів універсальної картоплесаджалки», поданої на здобуття ступеня доктора філософії за спеціальністю 133 «Галузеве машинобудування», в освітній процес Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя

Підтверджуємо, що результати теоретичних та експериментальних досліджень, викладені в дисертаційній роботі **Блащак Богдана Олеговича**, впроваджено в освітній процес ТНТУ та використовуються при викладанні навчальних дисциплін «Сільськогосподарські машини: конструкції та розрахунок» та «Методологія та організація науково-прикладних досліджень» на кафедрі технічної механіки та сільськогосподарських машин під час підготовки здобувачів вищої освіти рівнів бакалавра та магістра за спеціальністю «Агроінженерія».

Отримані наукові положення та практичні рекомендації застосовуються як навчально-методичне забезпечення, сприяючи підвищенню якості підготовки фахівців та поглибленню їхніх професійних компетентностей.

ПОГОДЖУЮТЬ:

Гарант ОПШ «Галузеве машинобудування»,
 д.т.н., професор

Роман РОГАТИНСЬКИЙ

Заст.зав. кафедри технічної механіки
 та сільськогосподарських машин
 к.т.н., доцент

Микола СТАШКІВ

Керівник навчального відділу
 к.т.н., доцент

Ігор ТКАЧЕНКО

ДОДАТОК Е
Список опублікованих праць за темою дисертації

Публікації, які відображають основні наукові результати дисертації

1. Блащак Б.О., Бабій А.В. Обґрунтування окремих конструктивно-технологічних параметрів картоплепосадочної машини. Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки. Том 1, випуск 10(41), 2024. С.192-199. DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2024.10\(41\).1.192-199](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2024.10(41).1.192-199). *(Здобувач провів аналіз технологічних схем картоплесадильних машин та запропонував нову принципову схему універсальної картоплесаджалки, науковий керівник провів систематизацію матеріалів та сформулював загальні висновки).*

2. Babii A., Blashchak B. Justification of the parameters of the soil preparation module of the potato planting machine. Central Ukrainian Scientific Bulletin. Technical Sciences. No. 12(43), 2. 2025. Pp. 165-174. DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2025.12\(43\).2.165-174](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2025.12(43).2.165-174). *(Здобувач розробив методика для визначення форми кожуха фрезерного барабана з метою осадження ґрунтових частинок для первинного присипання насіння, науковий керівник провів аналіз результатів та інтерпретував їх у графічних залежностях).*

3. Babii A., Blashchak B. Study of the performance efficiency parameters of a potato planting machine. Scientific Journal of TNTU (Tern.), vol 118, no 2, 2025. Pp. 117–127. https://doi.org/10.33108/visnyk_tntu2025.02.117. *(Здобувач запропонував нову конструкцію вичерпуючого апарату барабанного типу, для якого обґрунтував конструктивно-кінематичні параметри, науковий керівник сформував загальні висновки).*

4. Babii A., Blashchak B., Valiashek V., Broshchak I., Malevych N. Substantiation of the parameters of a dosing mechanism for granular fertilizer

application during potato planting. Scientific Journal of TNTU (Tern.), vol 120, no 4, 2025. Pp. 10–20. https://doi.org/10.33108/visnyk_tntu2025.04.010. (Здобувач розробив нову конструкцію катушки для умовно дискретного внесення мінеральних гранульованих добрив, для якої обґрунтував конструктивні параметри, Бабій А.В. – провів аналіз результатів моделювання; Валяшек В.Б. – підготував 3-D модель для практичного виготовлення катушки; Броцак І.С. та Малевич Н.Ю. – підготували вихідні дані щодо норм внесення мінеральних добрив).

Публікації, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації

5. Блащак Б.О., Бабій А.В. Дослідження ефективності роботи картоплепосадочних апаратів. Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції «Процеси, машини та обладнання агропромислового виробництва: проблеми теорії та практики». Тернопіль 29-30 вересня 2022. С.68-69. (Здобувач провів огляд картоплесадильних машин, їх вичерпуючих апаратів, виділив основні недоліки та перспективні напрямки розвитку таких конструкцій).

6. Блащак Б.О., Бабій А.В. Багатофункціональна мінікартоплепосадочна машина. Матеріали V Міжнародної науково-практичної конференції "Підвищення надійності і ефективності машин, процесів і систем. Improving the reliability and efficiency of machines, processes and systems", 19-21 квітня 2023 р. Кропивницький : ЦНТУ, 2023. С.155. (Здобувач запропонував концептуальне рішення конструкції вичерпуючого апарату).

7. Завінський П.А., Головецький І.В., Блащак Б.О. Використання інноваційних підходів при сільськогосподарському виробництві задля збереження ґрунту. Інноваційні технології в АПК: збірник тез доповідей ІХ Міжнародної науково-практичної конференції, 7-8 червня 2023 р., м. Луцьк : ЛНТУ, 2023. С.66-67. (Здобувач вказав на доцільності використання

комбінованих агрегатів, які поєднують кілька технологічних операцій задля збереження родючості ґрунту).

8. Блащак Б.О.; Бабій А.В. Спосіб утворення борозенки та зароблення насіння картоплі при гребневому способі посадки. Актуальні задачі сучасних технологій : зб. тез доповідей XII міжнар. наук.-практ. конф. Молодих учених та студентів, (Тернопіль, 6-7 грудня 2023) / М-во освіти і науки України, Терн. націон. техн. ун-т ім. І. Пулюя [та ін.]. Тернопіль: ФОП Паляниця В. А., 2023. С.94-95. *(Здобувачем запропоновано конструктивно-функціональну схему нової картоплесадильної машини).*

9. Блащак Б.О., Гамрач В.О. Передумови до обґрунтування конструктивних та кінематичних параметрів картоплесаджалки. Збірник матеріалів VI Міжнародної науково-практичної конференції, 17 – 19, квітня 2024 р. «Підвищення надійності і ефективності машин, процесів і систем». Кропивницький: ЦНТУ. 2024. С. 12-13 *(Здобувачем проаналізовано та сформовано основні критерії для побудови принципової схеми картоплесаджалки).*

10. Блащак Б.О., Бабій А.В., Жук Н.В., Бабій В.А. Колесо змінного діаметру. Актуальні задачі сучасних технологій : зб. тез доповідей XIII міжнар. наук.-практ. конф. Молодих учених та студентів, (Тернопіль, 11-12 грудня 2024) / М-во освіти і науки України, Терн. націон. техн. ун-т ім. І. Пулюя [та ін.]. Тернопіль: ФОП Паляниця В. А., 2024. С.78-79. *(Здобувачем запропоновано конструкцію колеса змінного діаметру та обґрунтовано його основні елементи).*

11. Блащак Б., Онофрюк В. Обґрунтування ефективності посадочного апарата барабанного типу. Матеріали VIII Міжнародної студентської науково - технічної конференції / Тернопіль: Тернопільський національний технічний університет ім. І.Пулюя (м. Тернопіль, 24-25 квітня 2025 р.), 2025. С. 26-27. *(Здобувачем обґрунтовано конструктивні та технологічні переваги садильного апарату барабанного типу).*

12. Блащак Б.О., Бабій А.В., Вовк І.В. Визначення параметрів взаємодії ґрунтової стружки з направляючим кожухом фрезерного модуля. Актуальні задачі сучасних технологій : зб. тез доповідей XIV міжнар. наук.-техн. конф. молодих учених та студентів, (Тернопіль, 11-12 грудня 2025) / М-во освіти і науки України, Терн. націон. техн. ун-т ім. І. Пулюя [та ін]. Тернопіль : ФОП Паляниця В.А., 2025. С.52-54. *(Здобувачем розроблено математичну модель взаємодії ґрунтової стружки із захисним кожухом фрезерного барабана).*

Публікації, які додатково відображають результати дисертації

13. Бабій А.В., Блащак Б.О., Валяшек В.Б. Спосіб закладання насіння картоплі при посадці. Патент на корисну модель 158112, Україна. МПК А01С 23/02 (2006.01). № u2024 01975; заявл. 15.04.2024; опубл. 01.01.2025, Бюл.1. *(Здобувач запропонував принципову схему закладання насіння картоплі при посадці).*

14. Бабій А.В., Блащак Б.О., Бабій М.В., Долінська І.Я. Опорно-привідне колесо змінного діаметра. Патент на корисну модель 160993, Україна. МПК А01С 19/04 (2006.01). № u 2025 00183; заявл. 16.01.2025; опубл. 9.10.2025, Бюл. № 44. *(Здобувач сформував ідею та описав принцип роботи колеса змінного діаметру).*