

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

Кваліфікаційна наукова праця
на правах рукопису

БЕРЕЖЕНКО ЄВГЕН БОГДАНОВИЧ

УДК 631.356.22

ДИСЕРТАЦІЯ

**ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ РОБОЧИХ ОРґАНІВ
ГИЧКОЗБИРАЛЬНОГО МОДУЛЯ**

13 – Механічна інженерія

133 – Галузеве машинобудування

Подається на здобуття ступеня доктора філософії.

Дисертація містить результати власних досліджень, використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

_____ Є.Б. Береженко

Науковий керівник:

Барановський Віктор Миколайович,
доктор технічних наук, професор.

АНОТАЦІЯ

Береженко Є.Б. «Обґрунтування параметрів робочих органів гичкозбирального модуля». – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття ступеня доктора філософії за спеціальністю 133 Галузеве машинобудування. Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, м. Тернопіль, 2021 р.

У дисертаційній роботі вирішено нове наукове завдання зниження енерговитрат процесу збирання основного масиву гички коренеплодів шляхом розробки та обґрунтування раціональних параметрів робочих органів гичкозбирального модуля. Зниження енергоємності процесу досягається за рахунок одночасного поєднання операцій зрізування та переміщення зрізаної гички одним активним (роторний гичкоріз) і пасивним (направляючий канал) робочими органами.

У вступі обґрунтовано актуальність теми, сформульовано мету та поставлено задачі дослідження. Описано наукову новизну, практичне значення отриманих результатів та особистий внесок здобувача. Наведено відомості щодо апробації та опублікування результатів наукових досліджень.

Вирішення даної мети зведено до розв'язання таких наукових прикладних задач: на основі аналізу технологічних процесів зрізування основного масиву гички коренеплодів розробити конструктивно-технологічну схему удосконаленого гичкозбирального модуля; розробити математичні моделі, які описують та характеризують функціональну залежність зміни технологічної подачі зрізаної гички в міжряддя невикопаних коренеплодів залежно від агробіологічних характеристик коренеплодів і умов роботи гичкозбирального модуля; провести математичне моделювання процесу переміщення зрізаної гички в направляючому каналі та визначити його раціональний профіль; розробити залежність, яка характеризує зменшення енергетичних витрат технологічного процесу збирання основного масиву гички удосконаленим гичкозбиральним модулем; провести експериментальні дослідження:

технологічної подачі зрізаної гички в міжряддя невикопаних коренеплодів залежно від агробіологічних характеристик коренеплодів і умов роботи гичкозбирального модуля; довжини різання головки коренеплодів лезом жорстко-закріпленого та підпружиненого плоского ножа; провести порівняльні дослідження показників якості роботи коренезбиральної машини для способу укладання зрізаної гички в міжряддя невикопаних коренеплодів та укладання зрізаної гички в зону між двома суміжними ділільними дисками, що розташовані в міжрядді невикопаних коренеплодів; визначити економічну ефективність застосування удосконаленого гичкозбирального модуля в виробничих умовах.

На основі проведених наукових досліджень обґрунтовано удосконалений спосіб збирання основного масиву гички коренеплодів і основні конструктивно-кінематичні параметри робочих органів гичкозбирального модуля.

На цій підставі: *вперше розроблено*: математичні моделі, які описують функціональну зміну секундної подачі та питомої маси зрізаної та укладеної гички в міжряддя невикопаних коренеплодів залежно від агробіологічних характеристик коренеплодів і умов роботи гичкозбирального модуля; математичні моделі, які описують та визначають профіль кривини внутрішньої поверхні направляючого каналу з умови рівних післяударних швидкостей та рівних швидкостей руху зрізаної гички по всій довжині направляючого каналу; *уточнено* емпіричні моделі секундної подачі та питомої маси зрізаної та укладеної гички в міжряддя невикопаних коренеплодів у зону розташування ділільних дисків залежно від агробіологічних характеристик коренеплодів і умов роботи гичкозбирального модуля; *дістали подальший розвиток* емпіричні моделі, які дозволяють визначити довжину різання головки коренеплодів для двох типів ріжучого ножа залежно від швидкості різання та коефіцієнта жорсткості пружини.

У першому розділі наведено аналіз способів збирання гички коренеплодів і конструкцій гичкозбиральних модулів, результатів теоретично-

експериментальних досліджень процесу зрізування гички роторним гичкорізом, а також наведено обґрунтування вибору конструктивно-компонувальної схеми гичкозбирального модуля для проведення досліджень.

Удосконалений гичкозбиральний модуль складається з рами на якій встановлено горизонтальний роторний гичкоріз, направляючий дугоподібний кожух і змонтований на його внутрішній поверхні направляючий канал. На барабані роторного гичкоріза встановлено секції ножів, а між ними – ділильні диски. За вихідною горловиною направляючого каналу встановлено фартух.

Під час обертання роторного гичкоріза ножі зрізують гичку з головок коренеплодів, яка під дією повітряного потоку переміщується до вхідної горловини направляючого каналу, а далі транспортується по ньому до фартуха, де подрібнена гичка коренеплодів укладається у зону між двома суміжними дисками, що встановлені у міжрядді невикопаних коренеплодів.

У другому розділі наведено теоретичний аналіз технологічного процесу збирання основного масиву гички коренеплодів удосконаленим гичкозбиральним модулем.

На основі аналізу процесу переміщення зрізаної гички розроблено математичні моделі, які характеризують функціональну зміну секундної подачі та питомої маси зрізаної та укладеної в зону між двома суміжними дисками, що встановлені у міжрядді невикопаних коренеплодів залежно від агробіологічних характеристик і умов роботи гичкозбирального модуля.

Встановлено, що функціональна зміна, як секундної подачі, так і питомої подачі маси зрізаної та подрібненої гички залежно від зміни швидкості руху гичкозбирального модуля, урожайності гички та густоти насадження коренеплодів має лінійний, прямопропорційний характер.

За середньої урожайності гички великорозмірних коренеплодів 170...190 ц/га, або 1,7...1,9 кг/м², густоти насадження коренеплодів 8...10 шт./м² та усередненого значення робочої швидкості руху гичкозбирального модуля від 1,5 до 1,6 м/с середнє значення секундної подачі гички становить від 60 до 80 кг/с, а питомої маси укладеної гички в міжряддя невикопаних коренеплодів – від 25 до 30 кг/м².

На основі гарантованого переміщення зрізаної гички у направляючому каналі до фартуха отримано функціональні залежності, які визначають профіль направляючого каналу з умови рівних післяударних швидкостей та рівних швидкостей руху зрізаної гички по всій довжині направляючого каналу.

Встановлено, що за діаметра роторного гичкоріза 0,35...0,4 м, частоти обертання роторного гичкоріза 73,3 рад/с або колової швидкості Г-подібного ножа 24,5 м/с, кут вильоту зрізаної гички з ножа становить 85 град., а раціональний кут між напрямком вектора доударної швидкості та дотичною до профілю направляючого каналу в точці удару знаходиться в діапазоні 30...35 град. за якого початкова швидкість руху зрізаної гички знаходиться у діапазоні 9,5...10,5 м/с, а на виході з вихідної горловини – 2,5...3,5 м/с, при цьому час переміщення гички по направляючому каналу становить 0,15...0,2 с.

На основі аналізу можна констатувати, що: мінімальна висота профілю направляючого каналу рівна або менше 1 м досягається за кута зіткнення рівного 35 град.; профіль, у якого кут зіткнення рівний 15 град. призводить до значного збільшення матеріаломісткості направляючого каналу та збільшення кутової швидкості роторного гичкоріза, або збільшення енергозатрат процесу; найбільш прийнятним є профіль, у якого кут зіткнення близький до 25 град., при цьому висота профілю направляючого каналу становить 1,2 м.

У третьому розділі наведено програму, опис експериментальних установок і методику проведення експериментальних досліджень.

Програма експериментальних досліджень передбачала: розробку емпіричних моделей, які характеризують: функціональну зміну секундної подачі та питомої маси зрізаної гички, укладеної в міжряддя невикопаних коренеплодів залежно від зміни незалежних факторів – швидкості руху гичкозбирального модуля, урожайності та густоти насадження коренеплодів цикорію; функціональну зміну довжини різання головки коренеплодів кормових буряків залежно від зміни незалежних факторів – швидкості різання та коефіцієнта жорсткості пружини підпружиненого ножа; проведення порівняльних польових досліджень показників якості збирання коренеплодів

цикорію для двох способів зрізування основного масиву гички – суцільне укладання зрізаної гички в міжряддя невикопаних коренеплодів і укладання зрізаної гички в зону між двома суміжними ділільними дисками, що розташовані в міжрядді невикопаних коренеплодів.

Для експериментального дослідження секундної подачі та питомої маси зрізаної та укладеної гички в міжряддя невикопаних коренеплодів цикорію застосовували експериментальний зразок 3-х рядного гичкозбирального модуля. Для дослідження довжини різання головок коренеплодів кормових буряків лезом ріжучого ножа було виготовлено маятниковий копер з встановленим на кінці маятника двома типами ножів – плоского ножа, який жорстко закріплений на осі маятника та підпружиненого ножа.

Методика проведення експериментальних досліджень базувалася на основі наукових методів планування та реалізації планованих факторних експериментів з метою отримання рівнянь регресії параметра оптимізації.

Обробку експериментального масиву даних проводили за загальновідомими методами розрахунку з використанням методик регресійного та кореляційного аналізу.

У четвертому розділі наведено результати реалізації програми експериментальних досліджень.

На основі обробки експериментального масиву даних отримано: лінійні рівняння регресії, які описують функціональну зміну секундної подачі та питомої маси гички, укладеної в міжряддя невикопаних коренеплодів цикорію залежно від зміни урожайності та густоти насадження коренеплодів і швидкості руху гичкозбирального модуля.

За мінливого збільшення зміни урожайності гички в межах від $1,4 + 0,2$ (кг/м²) до $1,6 + 0,2$ (кг/м²) та густоти насадження коренеплодів цикорію в межах від $7 + 2$ (шт./м²) до $9 + 2$ (шт./м²) секундна подача гички у міжряддя невикопаних коренеплодів збільшується пропорційно збільшенню кожного фактора та знаходиться у діапазоні від 18 кг/с до 40 кг/с за швидкості руху модуля від 1,2 м/с до 1,6 м/с.

За мінливого зменшення зміни урожайності гички в межах від $1,6 - 0,2$ (кг/м²) до $2,0 - 0,2$ (кг/м²) та густоти насадження коренеплодів цикорію $\Gamma_k - \Delta\Gamma_k$ в межах від $7 - 2$ до $11 - 2$ (шт./м²) секундна подача гички у міжряддя невикопаних коренеплодів збільшується пропорційно збільшенню кожного фактора та знаходиться у діапазоні від 6 кг/с до 26 кг/с за швидкості руху модуля \mathcal{Q}_M від 1,2 м/с до 1,6 м/с.

Домінуючими факторами, вплив яких призводить до значної зміни питомої маси гички, яку зрізано ножами роторного гичкоріза та укладено у міжряддя невикопаних коренеплодів між двома суміжними ділильними дисками є урожайність гички та густота насадження коренеплодів цикорію. При цьому питома маса гички за зміни швидкості руху гичкозбирального модуля від 1,2 м/с до 1,6 м/с знаходиться у діапазоні $18...27$ кг/м² та $10...18$ кг/м².

Розбіжність між теоретичними та експериментальними значеннями секундної подачі зрізаної гички в міжряддя невикопаних коренеплодів цикорію при зміні густоти насадження та урожайності гички знаходиться в діапазоні від 12 % до 20 %, а питомої маси гички, укладеної в міжряддя невикопаних коренеплодів – від 7 до 18 %.

За результатами порівняльних досліджень встановлено, що загальна кількість домішок у зібраному воросі коренеплодів зменшується на 0,8 %, у тому числі: загальна кількість ґрунтових домішок зменшується на 0,5 %; загальна кількість рослинних домішок зменшується на 0,3 %; кількість вільного ґрунту зменшується на 0,2 %; кількість вільних рослинних домішок зменшується на 0,5 %.

Встановлено, що кількість зрізаної та укладеної гички в захисні зони невикопаних рядків коренеплодів для базового способу збирання гички дорівнює 4,5 %, а для удосконаленого способу збирання гички – 2,1 %, тобто кількість гички зменшується в 2,2 рази.

Ефективне підсилення швидкості різання головок коренеплодів, або збільшення довжини різання головок коренеплодів кормових буряків

відбувається в другому випадку конструктивного виконання ріжучого ножа (підпружиненого ножа) за жорсткості пружини більше 35 Н/см.

У п'ятому розділі наведено шляхи подальшого удосконалення робочих органів гичкозбирального модуля, розрахунок зменшення енерговитрат процесу збирання гички удосконаленим модулем і розрахований економічний ефект від застосування удосконаленого модуля.

На основі аналізу теоретично-експериментальних досліджень було обґрунтовано такі раціональні параметри гичкозбирального модуля: діаметр роторного гичкоріза 0,35 м; частота обертання роторного гичкоріза 600...650 об/хв; діаметр ділильних дисків 0,4 м; відстань між ділильними дисками 0,35 м; швидкість руху гичкозбирального модуля 1,6...1,8 м/с.

Було встановлено, що питомі затрати споживчої потужності шнекового конвеєра при збиранні гички з 6 рядків коренеплодів і урожайністю гички від 1,4 до 1,8 кг/м² за зміни швидкості руху гичкозбирального модуля від 1,2 до 1,6 м/с змінюються в діапазоні від 0,011 кВт до 0,018 кВт с/ кг м. При цьому за одночасного збирання 3-х, 4-х і 6-ти рядків коренеплодів питомі затрати споживчої потужності удосконаленого гичкозбирального модуля зменшуються, відповідно, на: 0,023...0,028 кВт с/ кг м; 0,017...0,022 кВт с/ кг м; 0,011...0,014 кВт с/ кг м.

Ключові слова: роторний гичкоріз, направляючий канал, секундна подача гички, питома маса гички, зміна урожайності гички, зміна густоти насадження коренеплодів, профіль направляючого каналу, параметри.

ABSTRACT

Berezhenko E.B. «Substantiation of the haulm gatherer working bodies parameters». Qualifying scientific work on the rights of the manuscript. Qualification scientific work with the manuscript copyright.

Doctor of Philosophy thesis on specialism 133 «Industrial Engineering» (13 – Mechanical Engineering). – Ternopil I. Puluj national technical university, Ternopil, 2021.

In the dissertation work the new scientific problem of energy consumption reduction of root crops tops harvesting process is solved by development and substantiation of rational haulm gatherer working bodies parameters. Energy consumption is reduced by combining the cutting and moving operations of the cut-off tops with one active (rotary top cutter) and one passive (guide channel) working body.

In the introduction to the general relevance of the topics, the purpose and objectives of the study are formed. The scientific novelty, practical significance of the obtained results and personal contribution of the applicant are described. Information on approbation and publication of research results is given.

The solution of this work objective is reduced to the connection of the following complex scientific problems: to develop the constructive-technological scheme of the improved haulm gatherer on the technological processes analysis basis of the root crops tops cutting; to develop mathematical models that describe and characterize the functional dependence of changes in the technological delivery of cut off tops between rows with unexcavated roots crops depending on the agrobiological characteristics of roots crops and operating conditions of the haulm gatherer; to carry out mathematical modeling of the process of moving the cut off tops in the guide channel and to determine its rational profile; to develop a dependence that characterizes the energy costs reduction of the using improved haulm gatherer in the technological process of root crops tops harvesting; to carry out experimental researches of: technological delivery of cut off tops between rows with

unexcavated roots crops depending on the agrobiological characteristics of roots crops and operating conditions of the haulm gatherer; the length of root crop head cutting by using a rigidly fixed knife and by using spring-loaded flat knife; to carry out comparative researches of haulm gatherer working quality indicators for a method of stacking a cut off tops between rows with unexcavated roots crops and stacking a cut off tops in the area between two adjacent dividing disks located in the row spacing of unexcavated roots; to determine the economic efficiency of the application of the advanced hook-harvesting module in production conditions.

On the basis of the carried-out scientific researches, the improved way of gathering of the main mass of a root crop tops and the basic constructive and kinematic parameters of working bodies of a haulm gatherer is proved.

On this basis: first time developed: mathematical models that describe the functional change of the second feed and the specific gravity of the cut and stacked tops between rows of unexcavated roots depending on the agrobiological characteristics of roots and operating conditions of the haulm gatherer; mathematical models that describe and determine the profile of the curvature of the inner surface of the guide channel from the condition of equal post-shock velocities and equal speeds of movement of the cut tops along the entire length of the guide channel; empirical models of the second feed and the specific weight of the cut and stacked tops between rows with unexcavated roots in the area of the dividing disks location depending on the agrobiological characteristics of the roots and the operating conditions of the haulm gatherer; empirical models have been further developed, which allow to determine the cutting length of the root crop head for two types of cutting knife depending on the cutting speed and the spring stiffness coefficient.

The first section presents an analysis of root crops tops harvesting methods and designs a haulm gatherer, the results of theoretical and experimental studies of the process of cutting the tops by rotary cutter as well as the rationale for choosing the design scheme of the haulm gatherer for research. The improved haulm gatherer consists of a frame on which a horizontal rotor cutter is installed, a guide arc-shaped casing and a guide channel mounted on its inner surface. Knife sections are installed

on the rotary cutter wheel and dividing discs are installed between them. A deflector is installed behind the guide channel outlet neck.

During the rotation of the rotary cutter knives cut the tops from the heads of root crops, which under the air flow action moves to the inlet of the guide channel, and then transported through it to the deflector, where the crushed tops is placed in the area between two dividing disks installed in between rows of unexcavated roots crops .

The second section presents a theoretical analysis of the technological process of harvesting the main array of root crops tops with an improved haulm gatherer.

Based on the analysis of the process of moving the cut tops, mathematical models have been developed that characterize the functional change of the second feed and the specific weight of the cut and stacked in the zone between two adjacent disks installed in the row of unexcavated roots crops depending on agrobiological characteristics and operating conditions.

It is established that the functional change of both the second feed and the specific feed of the mass of the cut and crushed tops depending on the change in the speed of the haulm gatherer, the yield of the tops and the density of root crops is linear, directly proportional.

With an average yield of large root crop 170...190 q/ha, or 1.7...1.9 kg/m², root crop planting density 8...10 pcs/m² and the average value of the haulm gatherer working speed 1.5 – 1,6 m/s, the average value of the second feed of the tops is 60 – 80 kg/s, and the specific weight of the stacked tops between rows of unexcavated roots crops 25-30 kg/m².

Based on the guaranteed movement of the cut tops in the guide channel to the deflector are obtained functional dependences, which determine the profile of the guide channel on the condition of equal post-impact speeds and equal speeds of movement of the cut tops along the entire length of the guide channel.

It is established that with the diameter of the rotary cutter 0.35...0.4 m, the rotational speed of the rotary cutter 62.8 rad/s or the circular speed of the L-shaped knife 11.0...12.6 m/s, the angle of departure of the cut tops from the knife is 85

degrees, and the rational angle between the direction of the hock velocity vector and the tangent to the profile of the guide channel at the point of the shock s in the range of 30...35 deg. at which the initial speed of the cut tops is in the range of 9.5...10.5 m/s, and at the outlet of the outlet neck – 2.5... 3.5 m / s, while the time of tops movement on the guide channel is 0.15...0.2 s.

Based on the analysis, it can be stated that: the minimum guide channel profile height is equal to or less than 1 m is achieved at a collision angle equal to 35 degrees; profile whose collision angle is 15 deg. leads to a significant increase in the material consumption of the guide channel and an increase in the angular velocity of the rotary cutter, or increase the energy consumption of the process; the most acceptable is a profile whose collision angle is close to 25 deg., while the height of the profile of the guide channel is 1.2 m.

The third section presents the program, description of experimental installations and methods of experimental research.

The experimental researching program included: development of empirical models that characterize: the functional change of the second feed and the specific weight of the cut tops, placed between rows of unexcavated roots crops depending on changes in independent factors – the speed of the haulm gatherer, yield and planting density of chicory roots; functional change of root crops heads cutting length depending on change of independent factors - cutting speed and spring stiffness coefficient of spring-loaded knife; conducting comparative field researching of the chicory root harvesting quality indicators for two methods of cutting the main mass of root crops tops – stacking of the cut tops between rows of unexcavated roots crops and stacking of the cut tops in the area between two adjacent dividing disks located in the rows of unexcavated roots crops.

An experimental sample of a 3-row haulm gatherer was used for the experimental study of the second feed and the specific weight of the cut and stacked tops between rows of unexcavated roots crops. To study the length of cutting the heads of fodder beet roots with a cutting knife blade, a shock machine was made with two types of knives mounted on the end of the pendulum – a flat knife which is rigidly fixed on the pendulum axis and a spring knife.

The methodology of experimental research was based on scientific methods of planning and implementation of planned factorial experiments in order to obtain the regression equations of the optimization parameter.

Processing of the experimental data set was performed according to well-known calculation methods using the methods of regression and correlation analysis.

The fourth section presents the results of the experimental research program.

Based on the processing of the experimental data set, the following are obtained: linear regression equations describing the functional change of the second feed and the specific weight of the tops stacked between rows of unexcavated roots crops depending on the change in yield and density of root crops and the speed of the haulm gatherer.

With a variable increase in the yield of the haulm in the range from $1.4 + 0.2$ (kg/m^2) to $1.6 + 0.2$ (kg / m^2) and the density of chicory roots in the range from $7 + 2$ (pcs/m^2) up to $9 + 2$ ($\text{pcs.}/\text{m}^2$) the second feed of the haulm between rows of unexcavated roots crops increases in proportion to the increase of each factor and is in the range from 18 kg/s to 40 kg/s at a module speed of 1.2 m/s to 1,6 m/s.

With a variable decrease in the change in yield of the haulm in the range from $1.6 - 0.2$ (kg/m^2) to $2.0 - 0.2$ (kg/m^2) and the density of planting chicory roots in the range from $7 - 2$ to $11 - 2$ ($\text{pcs.}/\text{m}^2$) the second feed of haulm between rows of unexcavated roots crops increases in proportion to the increase of each factor and is in the range from 6 kg/s to 26 kg/s at a module speed of 1.2 m/s to 1.6 m/s.

The dominant factors, the influence of which leads to a significant change in the specific weight of the haulm which is cut with rotary top cutter placed between rows of unexcavated roots crops between two adjacent dividing discs are the yield of the haulm and the density of chicory roots. In this case, the specific weight of the haulm with changes in the speed of the haulm gatherer from 1.2 m/s to 1.6 m/s is in the range of 18...27 kg/m^2 and 10...18 kg/m^2 . The discrepancy between the theoretical and experimental values of the second feed of cut haulm between rows of unexcavated chicory roots with changes in planting density and yield of haulm is in the range from 12% to 20%, and the proportion of haulm stacked between rows of unexcavated root crops – from 7 to 18%.

According to the results of comparative studies, it was found that the total amount of impurities in the collected heap of roots decreases by 0.8%, including:

- the total amount of soil impurities decreases by 0.5%; the total amount of plant impurities decreases by 0.3%; the amount of free soil decreases by 0.2%; the amount of free plant impurities decreases by 0.5%.

It was found that the amount of cut and stacked haulm in protective zone of unexcavated roots crops for the basic harvesting method is 4.5%, and for the improved method – 2.1 %, the amount of haulm is reduced by 2.2 times.

Effective increase of root crops head cutting speed , or increase of root crops head cutting length occurs in the second case of constructive execution of a cutting knife (spring-loaded knife) at spring rigidity more than 35 N / cm.

The fifth section presents ways to further improve the working bodies of the haulm gatherer, the calculation of the energy consumption reduction of the process with improved haulm gatherer and the calculated economic effect of the application of the improved haulm gatherer.

Based on the analysis of theoretical and experimental studies, the following rational parameters of the haulm gatherer were substantiated: diameter of the rotary hook-cutter 0.35 m; rotational speed of the rotary cutter 600...650 rpm; diameter of dividing disks 0,4 m; the distance between the dividing disks is 0.35 m; the speed of the haulm gatherer is 1.6... 1.8 m/s.

It was found that the specific consumption of consumer power of the screw conveyor when harvesting the haulm from 6 rows of roots and the yield of the haulm 1.4 – 1.8 kg / m² with changes in the speed of the haulm gatherer 1.2 – 1.6 m / s change in the range 0,011 kW – 0,018 kW s/kg m. At the same time at simultaneous harvesting of 3, 4 and 6 rows of root crops specific expenses of consumer power of the improved haulm gatherer decrease, accordingly, on: 0,023...0,28 kW s/kg m; 0.017...0.22 kW s/kg m; 0.011...0.014 kW s/kg m.

Key words: rotary top cutter, guiding channel, second haulm feed, specific haulm weight, change in haulm yield, change in the root crops density, guide channel profile, parameters.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Наукові праці, в яких опубліковано основні результати дисертаційної роботи

1. **Berezhenko E.B.**, Baranovsky V.M. Researching of energy saving technology for harvesting tops of root crops. Наукові нотатки. 2017. № 60. С. 50 – 55. (Здобувач запропонував спосіб збирання гички та удосконалену схему кожуха роторного гичкоріза). Індexується в міжнародній наукометричній базі **Google Scholar**.

2. Барановский В.Н., **Береженко Е.Б.** Способ и устройство для энергосберегающей технологии уборки ботвы корнеплодов. Inginerie Agrară și Transport Auto : materialele Simpozionului Științific Internațional "Realizări și perspective în ingineria agrară și transport auto", dedicat aniversării a 85 de ani de la fondarea Universității Agrare de Stat din Moldova. 2018. Vol. 51. P. 106 – 110. (Здобувач запропонував операцію укладання зрізаної гички у міжряддя невикопаних коренеплодів). Індexується в міжнародних наукометричних базах **Index Copernicus, Google Scholar**.

3. **Berezhenko E.** Analysis of methods for harvesting haulm root crops and designs of harvest modules. Innovative Solutions in Modern Science. USA, New York: Center for international scientific cooperation TK Meganom, LLC. 2020. № 2(38). С. 46 – 54. (**Наукове рецензоване видання ОЕСР**). Індexується в міжнародній наукометричній базі **Google Scholar**.

4. Барановський Віктор, Герасимчук Галина, Дубчак Наталія, **Береженко Євген**, Бойко Володимир. Експериментальні дослідження агробіологічних характеристик коренеплодів. Вісник Львівського національного аграрного університету: агроінженерні дослідження. 2020. № 24. С. 13 – 21. (Здобувач провів аналіз агробіологічних характеристик гички коренеплодів). Індexується в міжнародній наукометричній базі **Google Scholar**.

5. **Berezhenko E.**, Pankiv M., Jobbagy Jan, Berezhenko B. Experimental research of the module for gathering plant of chicory roots. Scientific Journal of TNTU. Ternopil, 2021. No. 1 (101). P. 56 – 67. (Здобувач розробив аналітичні та емпіричні моделі загальної подачі гички у міжряддя коренеплодів). Індexується в міжнародній наукометричній базі **Google Scholar**.

6. **Berezhenko E.**, Pankiv V., Berezhenko B. Experimental studies of the process of cutting the head of chicory roots. *Paradigm of knowledge*. Germany, Frankfurt: Center for international scientific cooperation TK Meganom, LLC 2021. Том 1. № 46(2021). С. 5 – 15. *(Здобувач розробив програму та методіку проведення експериментів з використанням маятникового копра)*. **(Наукове рецензоване видання ОЕСР)**. *Індексується в міжнародній наукометричній базі Google Scholar*.

Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертаційної роботи

7. Baranovsky Viktor, **Berezhenko Eugene**. Energy saving technology for harvesting of root crops. Сучасні проблеми землеробської механіки : тези доп. XVIII Міжн. наук. конф. присвяченої 117-річчю від дня народження академіка Петра Мефодійовича Василенка. Кам'янець-Подільський, 16-18 жовт. 2017 р. Тернопіль: Крок, 2017. С. 8 – 11. *(Здобувач обґрунтував наукову гіпотезу зменшення енергоємності процесу збирання гички)*.

8. **Berezhenko E.B.**, V.M. Baranovsky. Improved method of harvesting the main massif of the tops of the root crops of chicory. Проблеми конструювання, виробництва та експлуатації сільськогосподарської техніки : тези доп. XI Міжн. наук.-практ. конф. Кропивницький, 1-3 лист. 2017 р. Кропивницький: ЦНТУ, 2017. С. 71 – 73. *(Здобувач розробив схему основних технологічних операцій удосконаленого процесу збирання гички)*.

9. **Береженко Є.Б.**, Барановський В.М. Енергозберігаюча технологія збирання гички коренеплодів цикорію кореневого. Актуальні задачі сучасних технологій : тези доп. VI Міжн. наук.-техн. конф. молодих учених та студентів, 16-17 лист. 2017 р. Тернопіль: ТНТУ, 2017. С. 198 – 199. *(Здобувач розробив схему удосконаленої технології збирання основного масиву гички)*.

10. **Береженко Є.Б.** Технологічний аналіз кількості зрізаної гички роторним гичкорізом. Актуальні задачі сучасних технологій : тези доп. VII Міжн. наук.-техн. конф. молодих учених та студентів, 28-29 лист. 2018 р. Тернопіль: ТНТУ, 2018. Т.1. С. 48 – 49.

11. Барановський В.М., **Береженко Є.Б.** Класифікація способів збирання

гички коренеплодів цикорію : тези доп. VI Міжн. наук.-техн. конф. «Крамаровські читання» з нагоди 112-ї річниці від дня народження д.т.н., проф., чл.-кор. ВАСГНІЛ, віце-президента УАСГН Крамарова Володимира Савовича (1906-1987) 21-22 лют. 2019 р., м. Київ. К.: Видавничий центр НУБіП України, 2019. С. 117–120. *(Здобувач розробив класифікацію способів збирання гички).*

12. **Береженко Є.Б.** Результати експериментальних досліджень гичкозбирального модуля. Актуальні задачі сучасних технологій : тези доп. IX Міжн наук.-техн. конф. молодих учених та студентів, 25-26 лист. 2020 р. Тернопіль: ТНТУ, 2020. Т.1. С. 40–41.

Наукові праці, які додатково розкривають результати дисертаційної роботи

13. Патент 144431 Україна, МПК А01D 23/02. Гичкозрізувальна машина. Барановський В.М, **Береженко Є.Б.**, Паньків М.Р., Марченко Л.О., Паньків В.Р.; заявник і власник патенту Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя. № u202003158; заявл. 26.05.2020; опубл. 25.09.2020. Бюл. № 18/2020. 3 с. *(Здобувач запропонував конструктивне розміщення плоского екрана під входним отвором направляючого кожуха).* Частка всіх співавторів однакова.

14. Патент 144433 Україна, МПК А01D 23/02. Гичкозрізувальна машина. Барановський В.М, **Береженко Є.Б.**, Паньків М.Р., Марченко Л.О., Паньків В.Р.; заявник і власник патенту Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя. № u202003172; заявл. 26.05.2020; опубл. 25.09.2020. Бюл. № 18/2020. 3 с. *(Здобувач запропонував конструктивне розміщення дугоподібних лопатей на барабані роторного гичкоріза).* Частка всіх співавторів однакова.

ЗМІСТ

ВСТУП	20
РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД СТАНУ ПИТАННЯ ТА ОБҐРУНТУВАННЯ ВИБОРУ ГИЧКОЗБИРАЛЬНОГО МОДУЛЯ	26
1.1. Аналіз способів збирання гички коренеплодів і конструкцій гичкозбиральних модулів	26
1.2. Аналіз теоретично-експериментальних досліджень робочих органів гичкозбиральних модулів	45
1.3. Обґрунтування вибору конструктивної схеми гичкозбирального модуля для проведення досліджень	58
1.4. Висновки, мета та задачі дослідження	60
РОЗДІЛ 2. ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ РОБОТИ ГИЧКОЗБИРАЛЬНОГО МОДУЛЯ	62
2.1. Аналіз теоретичної подачі зрізаної гички в міжряддя невикопаних коренеплодів	62
2.2. Математичне моделювання процесу переміщення зрізаної гички в направляючому каналі	79
2.3. Висновки до розділу.....	94
РОЗДІЛ 3. ПРОГРАМА ТА МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ГИЧКОЗБИРАЛЬНОГО МОДУЛЯ	96
3.1. Програма, об'єкт і предмет дослідження робочих органів гичкозбирального модуля	96
3.2. Методика проведення експериментальних досліджень з визначення технологічної подачі гички в міжряддя невикопаних коренеплодів	106
3.3. Методика проведення експериментальних досліджень з використанням маятникового копра	112
3.4. Методика проведення порівняльних досліджень базового та удосконаленого способу збирання основного масиву гички	117

3.4. Висновки до розділу	119
РОЗДІЛ 4. РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ	
ДОСЛІДЖЕНЬ ГИЧКОЗБИРАЛЬНОГО МОДУЛЯ	120
4.1. Експериментальні дослідження технологічної подачі зрізаної гички в міжряддя невикопаних коренеплодів	120
4.2. Експериментальні дослідження процесу різання головок коренеплодів з використанням м'ятникового копра	133
4.3. Результати порівняльних досліджень способів збирання основного масиву гички коренеплодів	139
4.3. Висновки до розділу	142
РОЗДІЛ 5. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ	
ЗАСТОСУВАННЯ ГИЧКОЗБИРАЛЬНОГО МОДУЛЯ	144
5.1. Перспективні напрямки вдосконалення гичкозбиральних модулів	145
5.2. Обґрунтування зменшення енергетичних витрат процесу роботи гичкозбирального модуля	148
5.3. Розрахунок показників економічної ефективності застосування удосконаленого гичкозбирального модуля	154
5.3. Висновки до розділу.....	158
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	160
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	163
ДОДАТКИ	181

ВСТУП

Актуальність теми. Першим етапом процесу збирання крупних коренеплодів є енерговитратна технологічна операція зрізування основного масиву гички з їх головок, наявний вміст якої у зібраних коренеплодах значно знижує якість сировини та вихід продуктів їх переробки.

Одним з напрямків підвищення ефективності процесу збирання гички коренеплодів, який базується на вирішенні комплексної науково-технічної задачі, є пошук нових конструктивних схем робочих органів і створених на їх базі удосконалених енергоощадних гичкозбиральних модулів самохідних бункерних коренезбиральних машин.

В основу рішення наукової задачі зменшення витрат енергії при збиранні основного масиву гички крупних коренеплодів покладено **наукову гіпотезу**, яка передбачає усунення в конструктивно-компонувальній схемі гичкозбирального модуля проміжної ланки або транспортного пристрою, виконаного у вигляді шнекового конвеєра, який встановлено в направляючому жолобі.

Це дозволить усунути проміжну операцію переміщення зрізаної гички шнековим конвеєром на зібране поле, яка забезпечується та реалізується внаслідок системного підходу до удосконалення конструктивних особливостей робочих органів шляхом ефективного моделювання та побудови їх компонентних схем, що утворюють гичкозбиральний модуль транспортної системи самохідної бункерної коренезбиральної машини.

Крім того, гичка коренеплодів є одним із джерел невитратного виробництва сидератів або добрив, внесення яких шляхом її розкидання на поверхню поля та заробляння у ґрунтове середовище сприяє підвищенню родючості ґрунту.

Тому розроблення удосконалених конструкцій робочих органів гичкозбиральних модулів і дослідження впливу їх конструктивно-кінематичних параметрів для зменшення енергетичних витрат процесу збирання гички крупних коренеплодів є актуальним завданням.

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

Дисертаційна робота виконана за результатами проведених досліджень відповідно до державної НДР Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя «Розробка та комплексне дослідження синтезованих транспортно-технологічних механізмів виробничих систем» (№ держ. реєстр. 0117U003998).

Отримані результати дослідження є наслідком вирішення науково-технічної задачі з розробки та впровадження машин для збирання коренеплодів, яку затверджено МОН України у 2015 р. згідно з цільовою державною науково-технічною програмою наукових робіт та експериментальних розробок молодих вчених «Програма діяльності КМУ «Україна-2020».

Мета та завдання дослідження. Метою дослідження є зменшення енергетичних витрат технологічного процесу збирання основного масиву гички коренеплодів шляхом удосконалення та обґрунтування раціональних параметрів робочих органів гичкозбирального модуля.

Вирішення даної мети зведено до розв'язання таких наукових прикладних задач:

- на основі аналізу технологічних процесів зрізування основного масиву гички коренеплодів розробити конструктивно-технологічну схему удосконаленого гичкозбирального модуля;
- розробити математичні моделі, які описують та характеризують функціональну залежність зміни технологічної подачі зрізаної гички в міжряддя невикопаних коренеплодів залежно від агробіологічних характеристик коренеплодів і умов роботи гичкозбирального модуля;
- провести математичне моделювання процесу переміщення зрізаної гички в направляючому каналі та визначити його раціональний профіль;
- розробити залежність, яка характеризує зменшення енергетичних витрат технологічного процесу збирання основного масиву гички удосконалим гичкозбиральним модулем;
- провести експериментальні дослідження:

- технологічної подачі зрізаної гички в міжряддя невикопаних коренеплодів залежно від агробіологічних характеристик коренеплодів і умов роботи гичкозбирального модуля;

- довжини різання головки коренеплодів лезом жорстко-закріпленого та підпружиненого плоского ножа;

- провести порівняльні дослідження показників якості роботи коренезбиральної машини для способу укладання зрізаної гички в міжряддя невикопаних коренеплодів та укладання зрізаної гички в зону між двома суміжними ділільними дисками, що розташовані в міжрядді невикопаних коренеплодів;

- визначити економічну ефективність застосування удосконаленого гичкозбирального модуля в виробничих умовах.

Об'єкт дослідження. Технологічний процес роботи та робочі органи гичкозбирального модуля, гичка коренеплодів.

Предмет дослідження. Конструктивно-кінематичні параметри робочих органів і їх вплив на технологічні показники роботи гичкозбирального модуля.

Методи дослідження. Теоретичні дослідження технологічного процесу роботи гичкозбирального модуля проводили на основі моделювання процесу зрізування та переміщення зрізаної гички коренеплодів з використанням основних положень класичної механіки, вищої математики та теорії машин і механізмів.

Експериментальні дослідження макетного зразка гичкозбирального модуля проводили в польових умовах шляхом реалізації основних положень методики математичного планування та обробки факторних експериментів. Теоретичні розрахунки та статистичний аналіз експериментального масиву даних проводили з застосуванням прикладних комп'ютерних програм.

Наукова новизна отриманих результатів. На основі проведених наукових досліджень обґрунтовано удосконалений спосіб збирання основного масиву гички коренеплодів і основні конструктивно-кінематичні параметри робочих органів гичкозбирального модуля.

На цій підставі:

- *вперше розроблено:*

- математичні моделі, які описують функціональну зміну секундної подачі та питомої маси зрізаної та укладеної гички в міжряддя невикопаних коренеплодів залежно від агробіологічних характеристик коренеплодів і умов роботи гичкозбирального модуля;

- математичні моделі, які описують та визначають профіль кривини внутрішньої поверхні направляючого каналу з умови рівних післяударних швидкостей та рівних швидкостей руху зрізаної гички по всій довжині направляючого каналу;

- *уточнено* емпіричні моделі секундної подачі та питомої маси зрізаної та укладеної гички в міжряддя невикопаних коренеплодів у зону розташування ділильних дисків залежно від зміни урожайності гички та густоти насадження коренеплодів і швидкості руху гичкозбирального модуля;

- *дістали подальший розвиток:*

- емпіричні моделі, які дозволяють визначити довжину різання головки коренеплодів лезом жорстко-закріпленого та підпружиненого плоского ножа залежно від швидкості різання та коефіцієнта жорсткості пружини;

- функціональна модель, яка дозволяє визначити зниження загальних і питомих витрат потужності процесу роботи гичкозбирального модуля залежно від секундної подачі зрізаної гички.

Практичне значення отриманих результатів. Запропоновано та експериментальним шляхом обґрунтовано удосконалений спосіб і конструкцію гичкозбирального модуля та визначено основні параметри його робочих органів.

Результати польових досліджень в УкрНДПВТ ім. Л. Погорілого підтвердили зменшення енергетичних затрат процесу збирання основного масиву гички удосконаленим гичкозбиральним модулем приблизно в 1,2...1,3 рази залежно від рядності модуля та урожайності гички.

За результатами досліджень було рекомендовано раціональні параметри робочих органів гичкозбирального модуля.

Конструктивна новизна технічного рішення захищена 2 патентами України на корисну модель. Результати досліджень впроваджено в Хмельницькій державній сільськогосподарській дослідній станції для удосконалення машин для збирання коренеплодів цикорію і використовуються у навчальному процесі Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя під час викладання дисципліни «Робочі процеси сільськогосподарських машин».

Особистий внесок здобувача. Основні наукові результати, які наведені в дисертаційній роботі отримано здобувачем самостійно, формулювання мети, постановку завдання, аналіз і трактування результатів дослідження виконано спільно з науковим керівником.

Основні наукові результати дисертаційної роботи викладено автором одноосібно в 4 друкованих працях [3, 10, 11, 13]. У наукових працях, які опубліковано у співавторстві, дисертантові належить: [1, 2, 7-9, 12] – запропоновано спосіб збирання гички, операцію укладання зрізаної гички у міжряддя невикопаних коренеплодів і удосконалену схему кожуха роторного гичкоріза, обґрунтовано наукову гіпотезу зменшення енергоємності та розроблено схему основних технологічних операцій і класифікацію способів збирання основного масиву гички; [4] – наведено аналіз агробіологічних і фізичних характеристик гички коренеплодів; [5] – розроблено аналітичні та емпіричні математичні моделі загальної подачі гички у міжряддя коренеплодів; [6] – розроблено програму та методику проведення експериментів з використанням маятникового копра; [14, 15] – запропонував конструктивне розміщення плоского екрана під вхідним отвором направляючого кожуха та дугоподібних лопатей на барабані роторного гичкоріза.

Особистий внесок здобувача у працях, які опубліковано у співавторстві складає 65-80 %.

Апробація роботи. Основні положення дисертаційної роботи доповідалися та отримали позитивну оцінку на: XVIII Міжн. наук. конф. присвяченої 117-річчю від дня народження академіка Петра Мефодійовича Василенка

(м. Кам'янець-Подільський, 2017 р.); XI Міжн. наук.-практ. конф. «Проблеми конструювання, виробництва та експлуатації сільськогосподарської техніки» (м. Кропивницький, 2017 р.); VI, VII, IX Міжн. наук.-техн. конф. молодих учених та студентів «Актуальні задачі сучасних технологій» (м. Тернопіль, 2017, 2018, 2020 рр.); Міжн. наук.-техн. конф. до 100-річчя з дня заснування НАН України та на вшанування пам'яті Івана Пулюя (100-річчя з дня смерті) (м. Тернопіль, 2018); VI Міжн. наук.-техн. конф. «Крамаровські читання» з нагоди 112-ї річниці від дня народження д.т.н., проф., чл.-кор. ВАСГНІЛ, віце-президента УАСГН Крамарова Володимира Савовича (1906-1987) (м. Київ, 2019 р.); на розширеному фаховому науковому семінарі кафедри інжинірингу машинобудівних технологій ТНТУ імені Івана Пулюя, 2021 р.

Публікації. Основні результати досліджень за темою дисертації опубліковано в 12 наукових праць, із них – 3 статті у фахових виданнях України, 2 статті в рецензованому закордонному виданні країн ОЕСР, 1 стаття в закордонному виданні, 6 тез наукових конференцій. Отримано 2 патенти України на корисну модель.

Структура та обсяг дисертації. Дисертація складається зі вступу, п'яти розділів, загальних висновків, списку використаної літератури із 164 найменувань і 20 додатків. Основні результати роботи викладено на 162 сторінках, де містяться 66 рисунків і 7 таблиць. Загальний обсяг дисертації складає 217 сторінок.

РОЗДІЛ 1

ОГЛЯД СТАНУ ПИТАННЯ ТА ОБҐРУНТУВАННЯ ВИБОРУ ГИЧКОЗБИРАЛЬНОГО МОДУЛЯ

1.1. Аналіз способів збирання гички коренеплодів і конструкцій гичкозбиральних модулів

Технологічний процес збирання гички з довгоплідних великорозмірних коренеплодів, таких як цукрові та кормові буряки, коренеплоди цикорію (в подальшому – коренеплодів), регламентується в першу чергу агротехнічними характеристиками та фізико-механічними властивостями врожаю в період його збирання, а також конструкцією робочих органів і компоновальними схемами машин і пристроїв [1 – 3].

Перший етап розробки технічних засобів, які призначені для збирання гички з головок коренеплодів повинен базуватися на систематизації та аналізу агрофізичних характеристиках коренеплодів і гички, варіювання та мінливість яких має суттєвий вплив на процес розробки конструктивних особливостей робочих органів [4 – 6].

Тому, комплексна оцінка агробіологічних характеристик і фізико-механічних властивостей коренеплодів є теоретичною основою розрахунку та проектування робочих органів для збирання основного масиву гички коренеплодів (рис. 1.1) та побудови компоновальних схем гичкозбиральних модулів самохідних бункерних коренезбиральних машин [7].

Необхідно акцентувати, що аналіз агробіологічних характеристик і фізико-механічних властивостей гички коренеплодів у період збирання врожаю досить повно наведено у багатьох наукових працях, узагальнені результати яких проаналізовано у публікаціях Барановського В.М. [7 – 9], Бориса В.Н. [10], Вовка П.Ф. [11, 12], Гументика М.Я. [13], Зуєва М.М. [14, 15], Кузьмича В.М. [16, 17], Погорілого Л.В. [18 – 20], Татьянка М.В. [21], Шабельника Б.П. [22], Яценка О.Я. [23, 24] та ін.

Гичка, яка розміщена на головці коренеплодів, у більшості їх сортів має форму розетки. Розетку гички можна подати у вигляді уявної геометричної фігури перевернутого конуса, при цьому розетку утворюють у середньому 10...30 великих листків гички (рис. 1.1), а вершина перевернутого конуса (або головка коренеплоду) може розташовуватися відносно рівня поверхні ґрунту у доволі значному діапазоні: цукрові буряки – (± 40) мм [25]; кормові буряки – до (+ 50...80) мм [26, 27]; коренеплоди цикорію – до (+ 20...40) мм [28]. Загальна площа листової поверхні гички одного коренеплоду на період збирання становить у середньому 40...60 тис. м²/га [29]. У листках гички на період фізіологічної стиглості, або під час збирання коренеплодів міститься 15...22 % сухих речовин, які у своєму складі мають 2...3 % протеїну, до 2 % клітковини, 2 % золи, 0,4 % жиру, водорозчинних вуглеводів 5...8 % [30].



Рисунок 1.1 – Загальний вигляд коренеплодів

Для дослідження процесу зрізування гички пріоритетними показниками, які значно регламентують процес збирання гички та на основі яких моделюють конструкцію робочих органів пристроїв і технологію, або спосіб збирання гички є висота розміщення коренеплоду відносно поверхні ґрунту, форма головки коренеплоду і гички, сила зрізування одного стебла, або пучка гички, коефіцієнт тертя спокою гички, твердість гички за плюсової і мінусової температури повітря тощо [31].

Важливою умовою отримання доброякісної сировини для переробної та харчової галузі агропромислового комплексу є своєчасне збирання коренеплодів згідно встановлених агротехнічних показників якості. Як пізно, так і занадто раннє збирання коренеплодів призводить до значних втрат багатьох видів структурних природних компонентів, або зниження якості сировини для її переробки. Сталий розвиток світового агропромислового комплексу неможливо без розробки нових прогресивних підходів до створення ефективних технологій і технічних засобів збирання гички [32].

Технічний прогрес початку третього тисячоліття зумовив подальший розвиток сільськогосподарського машинобудування – у серійне виробництво впроваджуються нові високоефективні коренезбиральні комплекси, побудовані на основі оригінальних технологічно-компонувальних схем і конструктивних рішень робочих органів.

Радикальні принципи еволюції технічних засобів, призначених для збирання коренеплодів, тісно пов'язані з основними загальними аспектами розвитку технологій та способів їх збирання, а також еволюцією окремих технологічних операцій, особливо таких як збирання основного масиву гички та доочищення її залишків на головках коренеплодів, викопування коренеплодів, очищення викопаного вороху коренеплодів від домішок, завантаження очищених коренеплодів у бункер, формування великих польових кагатів коренеплодів висотою до 3-х метрів із наступним їх підбиранням та завантаженням у транспортний засіб.

Аналіз еволюції розвитку конструктивно-компонувальних і технологічних схем машин для збирання коренеплодів показує, що на сучасному етапі для збирання коренеплодів все більше застосовуються потужні самохідні бункерні комбайни, якими щорічно збирається до 70 % світових площ посівів коренеплодів.

Технологічний процес збирання коренеплодів регламентується в основному агротехнічними характеристиками врожаю, конструкцією робочих органів і компоновальними схемами транспортно-технологічних систем збиральних машин.

Для реалізації технологічного процесу збирання коренеплодів застосовують потокову, перевалочну і потоково-перевалочну технології збирання.

Потокова технологія збирання передбачає відвезення зібраних коренеплодів безпосередньо від збиральної машини на приймальний пункт цукрового заводу (цукрові буряки) або на ферму (кормові буряки), відповідно, для переробки або згодовування, або в кагати для зберігання, а гичку – подрібнення та розкидання її на зібране поле, або відвезення її на ферму або силососховище (рис. 1.2а).



а



б



в



г

Рисунок 1.2 – Технології збирання коренеплодів: а – потокова (відвезення коренеплодів); б, в – перевалочна (формування кагатів і підбирання валка коренеплодів); а, б, в, г – потоково-перевалочна

Перевалочну технологію збирання застосовують, коли замало транспорту для відвезення коренеплодів на приймальний пункт і надмірна засміченість бурякової сировини. Коренеплоди вивантажують на перевалочному пункті в купи, валки або кагати, а потім завантажують їх у транспортні засоби потужними буряконавантажувачами-очисниками, які доочищують коренеплоди від домішок до потрібної кондиції згідно з агротехнічними вимогами до якості цукрової сировини, або продукції кормових буряків (рис. 1.2б, в).

Потоково-перевалочна технологія збирання полягає в тому, що одну частину зібраних коренеплодів безпосередньо від коренезбиральної машини відвозять на приймальний пункт заводу або на ферму, а іншу частину зібраних коренеплодів реалізують за перевалочною технологією – відвозять на перевалочний майданчик (рис. 1.2г).

За функціональним призначенням (виконанням технологічних операцій) машини для збирання коренеплодів поділяють на гичкозбиральні, причіпні або самохідні коренезбиральні, самохідні бункерні комбайни (комплекси), копачі-валкоутворювачі, підбирачі валків, навантажувачі-очисники.

Класифікацію сучасних коренезбиральних машин, які знайшли переважне застосування для збирання коренеплодів цукрових і кормових буряків наведено на рис. 1.3. У зв'язку з великою різноманітністю конструктивно-компонувальних схем і технологічного призначення коренезбиральних машин, за основу побудови класифікаційної схеми прийнято чотири головні критерії систематизації – спосіб агрегування, функціональне призначення, спосіб збирання і технологічний потік (напрямок руху викопаного вороху коренеплодів).

Еволюція технічних засобів, які призначені для збирання коренеплодів, тісно пов'язана з основними аспектами розвитку технологій і способів їх збирання, або удосконаленням технологічних операцій збирання коренеплодів (рис. 1.4):

- збирання гички, яке передбачає зрізування основного масиву гички та обрізування її залишків на головках коренеплодів;
- викопування коренеплодів, яке передбачає витягування коренеплодів з ґрунтового середовища; очищення коренеплодів, яке передбачає відокремлення компонентів домішок від коренеплодів;
- завантаження коренеплодів, яке передбачає завантаження очищених коренеплодів у бункер коренезбиральної машини [33].

Перераховані операції регламентують однофазний спосіб збирання коренеплодів сучасними самохідними бункерними комбайнами, рис. 1.5, 1.6.

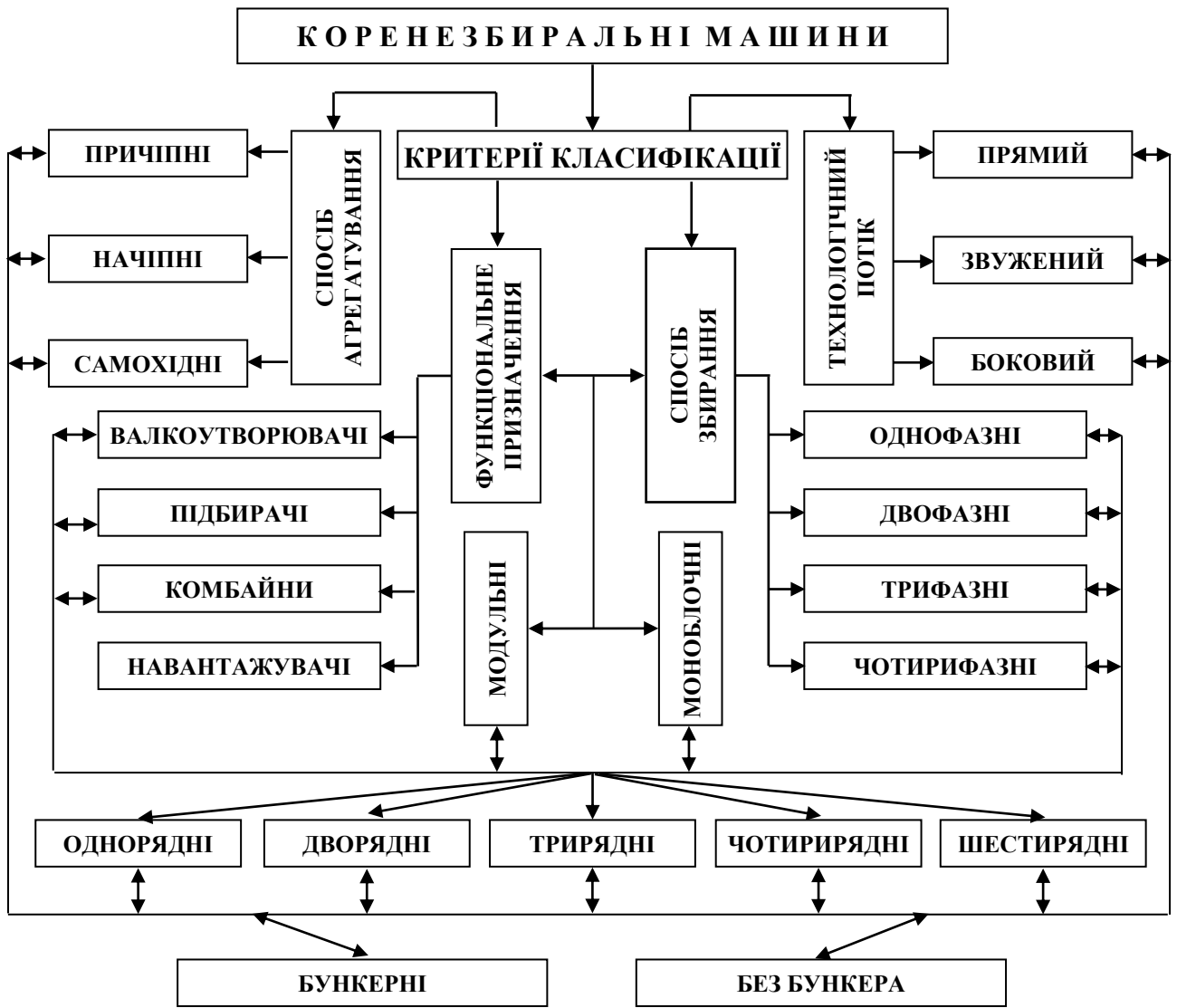


Рисунок 1.3 – Класифікація коренезбиральних машин

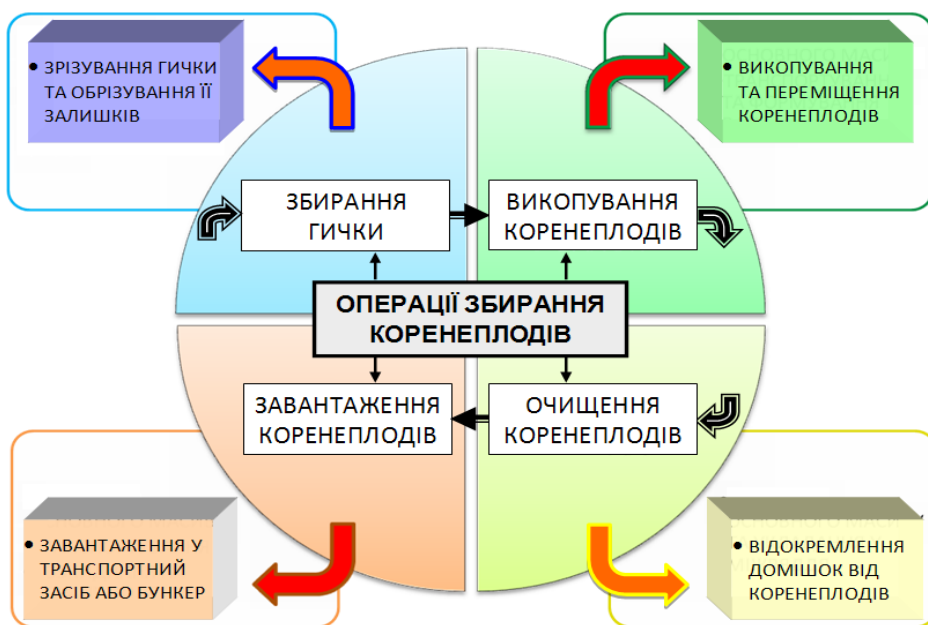


Рисунок 1.4 – Структурна схема операцій збирання коренеплодів



Рисунок 1.5 – Загальний вигляд однофазного способу збирання коренеплодів самохідними бункерними комбайнами

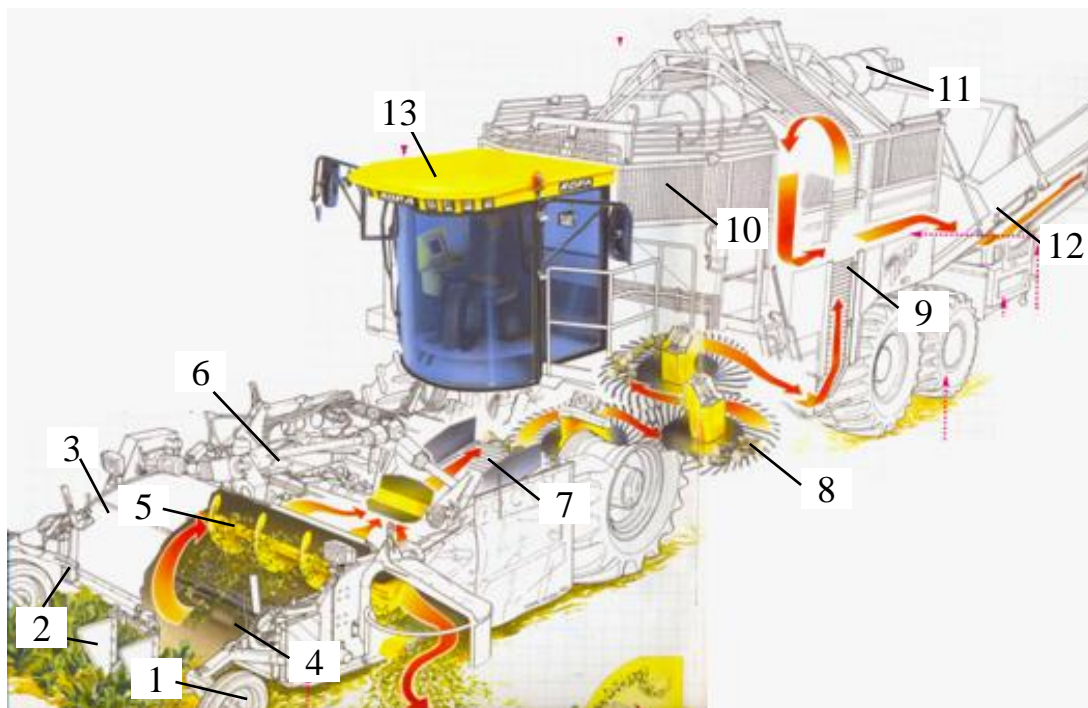


Рисунок 1.6 – Конструктивно-технологічна схема самохідного бункерного комбайна: 1 – опорне копіювальне колесо; 2 – автомат керування; 3 – гичкозбиральний модуль; 4 – роторний гичкоріз; 5 – шнековий конвеєр; 6 – робочі органи модуля викопування коренеплодів; 7, 8 – робочі органи модуля очищення та транспортування викопаного вороху коренеплодів; 9 – транспортний завантажувальний елеватор; 10 – бункер-накопичувач; 11 – шнек для розосередження коренеплодів; 12 – вивантажувальний транспортер; 13 – кабіна з органами керування

Першим етапом однофазного збирання довгоплідних і великорозмірних коренеплодів, який переважно застосовують у теперішній час, є двостадійне збирання гички гичкозбиральним модулем у складі самохідного бункерного комбайна [34]. При цьому механізоване збирання гички коренеплодів передбачає виконання двох послідовних суміжних технологічних операцій або стадій – зрізування основного масиву гички та наступне обрізуванням залишків гички з головок коренеплодів обрізниками [35].

На основі аналізу досліджень технологічних процесів і робочих органів, які реалізують процес зрізування гички коренеплодів і технологічних схем гичкозбиральних модулів і технічних засобів вітчизняного та зарубіжного виробництва [36], можна констатувати, що на сучасному етапі робочі органи гичкозбиральних модулів зрізують основний масив гички, як правило, тільки за принципом «на корені», які реалізують збирання гички коренеплодів без копіювання їх головок коренеплодів [37].

Залежно від призначення (використання) зрізаної гички розрізняють дві основні технології збирання основного масиву гички коренеплодів, рис. 1.7:

- завантаження гички, яка зрізана дисковими робочими органами у транспортні засоби, або на корм для згодовування тваринам, рис. 1.8;
- розкидання зрізаної та подрібненої ножами роторного гичкоріза гички на поверхню поля в якості сидератів або добрив [34, 38].

У зв'язку з значним подорожчанням енергоресурсів, а в більшості випадків значного хімічного забруднення біологічної структури листків гички гербіцидами та пестицидами, спосіб збирання гички для згодовування тваринам на корм на даному етапі не застосовують.

Розкидання основного масиву зрізаної гички коренеплодів на поверхню поля систематизують за трьома критеріями класифікації [39]:

- укладання зрізаної та подрібненої гички коренеплодів у валок на поверхню поля з якої викопано коренеплоди;
- розкидання зрізаної та подрібненої гички коренеплодів на поверхню поля з якої викопано коренеплоди;
- розкидання зрізаної та подрібненої гички коренеплодів на поверхню поля у міжряддя невикопаних коренеплодів.

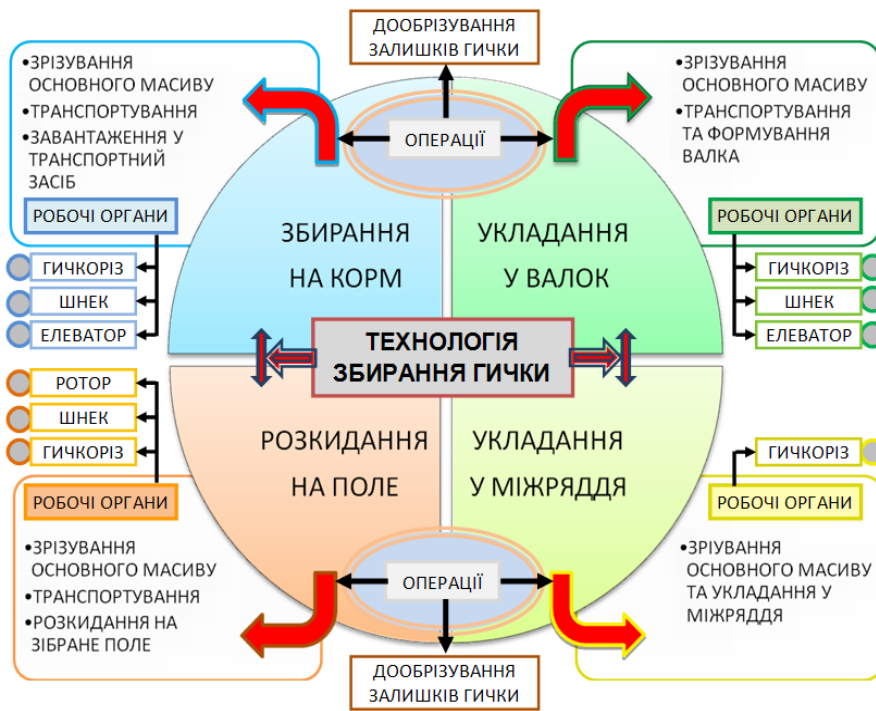


Рисунок 1.7 – Структурна схема технологій збирання гички коренеплодів



Рисунок 1.8 – Завантаження зрізаної гички коренеплодів у транспортний засіб

Перший критерій передбачає виконання таких послідовних операцій збирання основного масиву гички коренеплодів:

- зрізування та подрібнення гички ножами роторного гичкоріза;
- переміщення зрізаної та подрібненої гички по траєкторії направляючого кожуха до шнекового конвеєра;
- переміщення та вивантаження витками шнекового конвеєра зрізаної та подрібненої гички на зібране поле у поздовжній валок відносно руху самохідного коренезбирального комбайна, рис. 1.9.



Рисунок 1.9 – Укладання зрізаної гички коренеплодів у валок на поверхню зібраного поля

Другий критерій передбачає виконання таких послідовних операцій збирання основного масиву гички коренеплодів:

- зрізування та подрібнення гички ножами роторного гичкоріза;
- переміщення зрізаної та подрібненої гички по траєкторії направляючого кожуха до шнекового конвеєра;
- переміщення та вивантаження витками шнекового конвеєра зрізаної та подрібненої гички на ротор гичкометальника;
- розкидання ротором гичкометальника зрізаної гички на поверхню зібраного поля, рис. 1.10.

Третій критерій передбачає виконання таких послідовних операцій збирання основного масиву гички коренеплодів:

- зрізування та подрібнення гички ножами роторного гичкоріза з одночасним її переміщенням під дією повітряного потоку до вхідного отвору направляючого каналу;
- переміщення зрізаної та подрібненої гички по траєкторії направляючого каналу до фартуха;
- вільне укладання зрізаної та подрібненої гички коренеплодів на поле у міжряддя незібраних коренеплодів, рис. 1.11.

Узагальнена класифікація реалізації способів збирання гички наведена на рис. 1.12 [40, 41].



Рисунок 1.10 – Розкидання зрізаної гички коренеплодів
на поверхню зібраного поля

Гичкозбиральні машини призначені для збирання або зрізування гички з головок коренеплодів залежно від способу використання та технології збирання основного масиву гички.

Спосіб збирання гички з копіюванням головок коренеплодів застосовували для збирання основного масиву гички, яка була придатна для згодовування на корм тваринам. Цей спосіб збирання гички на корм переважно був широко поширений у СРСР і країнах Східної Європи. Гичку основного масиву коренеплодів зрізували гичкозрізувальними машинами (додаток Б.1.1) на заданому рівні головки коренеплодів, який мав механізм поєднання ножа та копіра різних типів.



Рисунок 1.11 – Розкидання зрізаної гички
у міжряддя незібраних коренеплодів

За основу побудови класифікаційної схеми гичкозбиральних машин (рис. 1.13) прийнято основні чотири критерії систематизації – спосіб агрегування, функціональне призначення, спосіб збирання та форма гичкоріза [12, 42].

Таким чином, можна констатувати наступне [38]:

- вивантаження зрізаної та подрібненої ножами роторного гичкоріза гички на зібране поле у поздовжній валок відносно руху коренезбирального комбайна, або розкиданням гички на поверхню зібраного поля реалізується шляхом зрізування основного масиву гички ножами роторного гичкоріза з одночасним її подрібненням та подачею подрібненої гички по траєкторії руху

до шнекового конвеєра, який транспортує зрізану та подрібнену гичку та вивантажує її з вихідного торця шнека у валок, або вивантажена гичка переміщується на робочі органи гичкометальника роторного типу, який встановлюється за вихідним торцем шнекового конвеєра та розкидається ними на поверхню зібраного поля, рис. 1.14а;

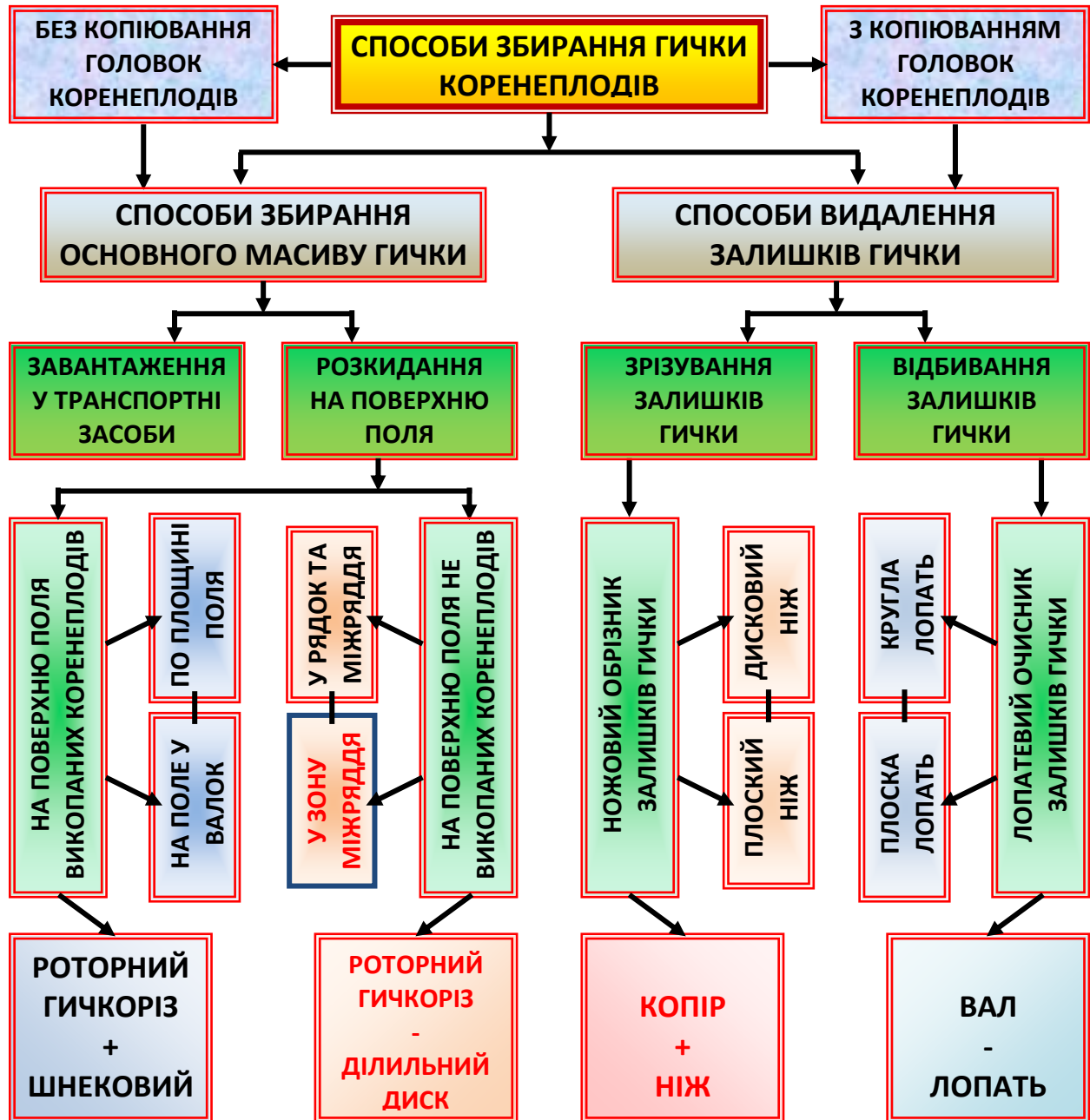


Рисунок 1.12 – Класифікація реалізації способів збирання гички коренеплодів

- розкидання зрізаної гички на поверхню незібраного поля у міжряддя невикопаних коренеплодів реалізується шляхом зрізування основного масиву гички ножами роторного гичкоріза з одночасним її подрібненням та подачею

подрібненої гички по траєкторії руху на поверхню поля у рядок і міжряддя невикопаних коренеплодів. рис. 1.146.

Механізоване збирання коренеплодів цукрових, кормових буряків і цикорію кореневого, є однією з найбільш трудомістких і енерговитратних операцій в загальному контексті виробництва сільськогосподарських культур і переробки сировини не тільки в Україні, але і в високорозвинених державах світового співтовариства [40, 42].



Рисунок 1.13 – Класифікація гичкозбиральних машин

Економічні відносини, що складаються в агропромисловому комплексі України на сучасному етапі, тісно пов'язані зі зміною в діяльності підприємств і організацій, основною діяльністю яких є матеріально-технічне забезпечення ресурсами та енергозберігаючими технологіями сільських товаровиробників. Головна проблема технічної політики в сільськогосподарському виробництві полягає в тому, щоб забезпечити виконання всіх технологічних операцій із дотриманням вимог агротехніки і одночасно зниженням затрат матеріально-технічних, трудових і енергетичних ресурсів [39, 43, 44].

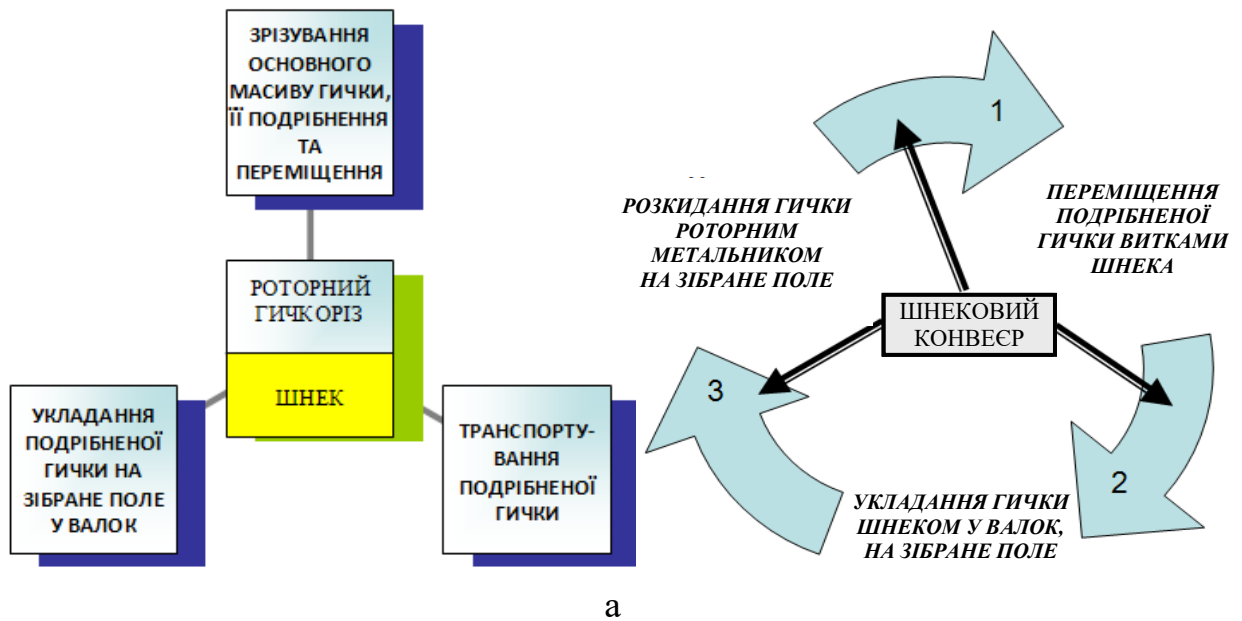


Рисунок 1.14 – Технологічні операції збирання основного масиву гички

Ефективність технологічних процесів збирання коренеплодів, або ефективність зрізування гички, викопування та очищення коренеплодів від домішок залежить не тільки від конструкції та параметрів робочих органів коренезбиральної машини, але й від агробіологічних і фізико-механічних характеристик коренеплодів у період їх збирання.

Вибір конструкції робочих органів і налаштування параметрів і режимів роботи основних робочих технологічних модулів, або модуля для зрізування

гички, викопувальних і очисних модулів самохідних коренезбиральних комбайнів регламентовані розмірними параметрами та формою коренеплодів і фізико-механічним станом навколоплідного ґрунтового середовища.

Агробіологічні характеристики гички коренеплодів, до яких відносять розмірно-масові параметри гички коренеплодів і фізико-механічні властивості гички коренеплодів під час їх збирання, показники яких мають випадковий характер і коливаються в певних межах, значно впливають, або вносять корективи на технологічний процес роботи робочих органів гичкозбиральних модулів [45-53].

Для зрізування гички коренеплодів на корені використовуються два основні типи гичкозрізувальних апаратів, які виконують двостадійний спосіб збирання гички:

- роторні з віссю обертання перпендикулярній осі рядка коренеплодів;
- дискові, що включають різні комбінації копіра та ріжучого ножа: пасивний копір-активний дисковий ніж; активний катковий копір-пасивний ріжучий ніж; пасивний полозковий копір-пасивний ріжучий ніж.

У теперішній час для зрізування основного масиву гички коренеплодів, або реалізації першої стадії збирання гички переважно застосовують перший тип гичкозрізувальних апаратів (у подальшому – роторний гичкоріз), якими збирають до 75...85 % площ посівів великорозмірних і довгоплідних коренеплодів [54-57].

При цьому для обрізування залишків гички з головок коренеплодів застосовують комбінацію обрізника, який виконано за схемою пасивний полозковий копір-пасивний плоский ніж, який виконує другу стадію збирання гички коренеплодів [58, 59].

Одним з шляхів підвищення ефективності технологічного процесу збирання гички коренеплодів, яке являє собою комплексну науково-технічну задачу, є пошук нових конструктивних схем робочих органів і створених на їх базі удосконалених гичкозбиральних модулів, які є складовими системами сучасних самохідних коренезбиральних машин, рис. 1.15 [60].



Рисунок 1.15 – Загальна схема самохідного бункерного комбайна

Розглянемо основні конструктивні особливості прототипів модулів для збирання гички коренеплодів, які реалізують двостадійний спосіб її збирання.

Переважно структурно-компонувальні схеми самохідних бункерних комбайнів і коренезбиральних машин провідних фірм світу однотипні та мають подібну будову, рис. 1.15. На рамне шасі, яке опирається на опорні колеса, спереду керованих коліс машини начіплюють гичкозбиральний модуль для реалізації двостадійного способу збирання гички (рис. 1.16а) та модуль для викопування коренеплодів (рис. 1.16б), у міжбазовому просторі шасі – модуль очищення та транспортування викопаного вороху коренеплодів (рис. 1.16в) та модуль накопичення очищених коренеплодів від домішок, який, як правило, виконаний у вигляді бункера-накопичувача коренеплодів і вивантажувального транспортера, а позаду бункера-накопичувача – силовий модуль, або двигун. Кабіну з органами керування машиною та робочими органами встановлюють над передніми керованими колесами машини.

Двостадійний модуль збирання гички (рис. 1.16а) призначений для збирання основного масиву гички методом безкопірного зрізування гички з наступним її вивантаженням на зібране суміжне міжряддя, або рівномірного розкидання на зібране поле та обрізування головок коренеплодів від залишків гички.

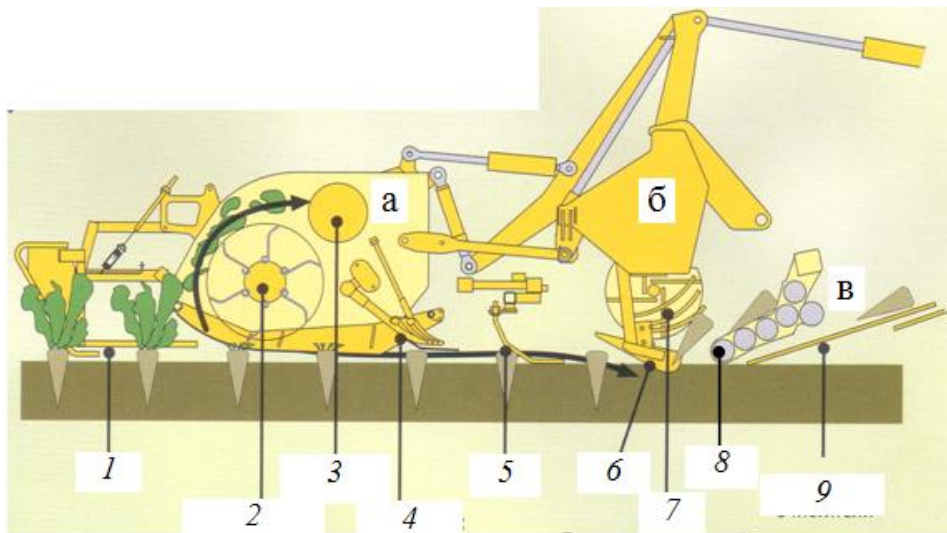


Рисунок 1.16 – Конструктивна схема модуля збирання гички (а), модуля викопування коренеплодів (б) і модуля очищення та транспортування викопаного вороху коренеплодів (в): 1 – сенсор управління машини по рядках; 2 – роторний гичкоріз; 3 – шнековий конвеєр; 4 – обрізник залишків гички; 5 – сенсор управління копачів; 6 – лемішні вібраційні копачі; 7 – бітер-виштовхувач; 8, 9 – шнековий і роторний очисник вороху

Він складається з встановлених на рамному шасі сенсора 1 (рис. 1.16) управління руху гичкозбирального модуля по рядках коренеплодів, роторного гичкоріза 2, шнекового конвеєра 3, обрізника залишків гички 4.

Роторний гичкоріз виконано у вигляді барабана 1 (рис. 1.17) на якому шарнірно закріплено молоткові плоскі ножі 2, а обрізник залишків гички з головок коренеплодів виконано у вигляді пасивного полозкового копіра (рис. 1.18) та встановленого за ним пасивного ріжучого плоского ножа 2.

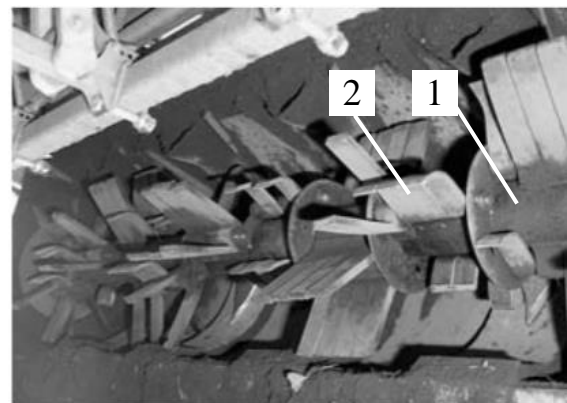
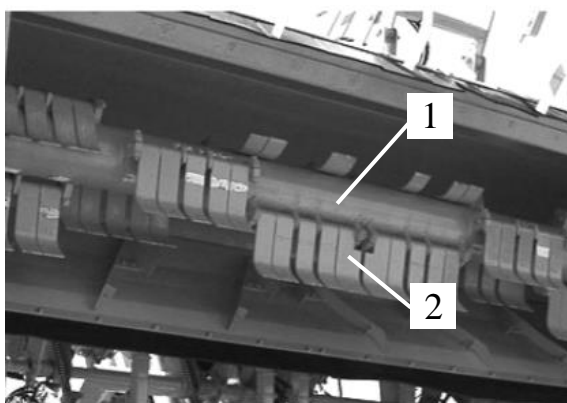


Рисунок 1.17 – Загальний вигляд роторного гичкоріза: 1 – барабан; 2 – ніж

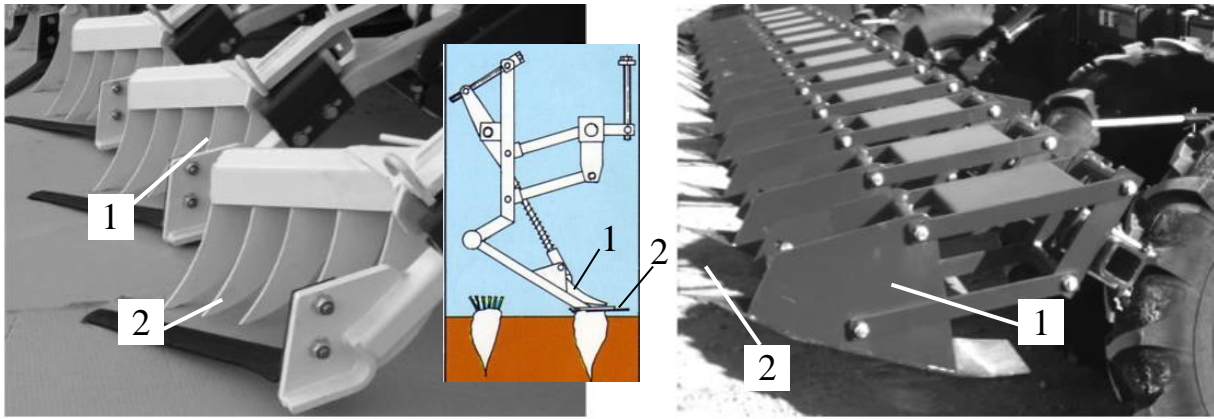


Рисунок 1.18 – Загальний вигляд обрізника гички: 1 – копір; 2 – ніж

Роторний гичкоріз зрізує і подрібнює основну масу гички та бур'янів за допомогою шарнірно підвішених сталевих ножів лопатевого типу (рис. 17). Такий спосіб кріплення ножа запобігає його поломці при зіткненні з камінням та іншими сторонніми предметами. Висоту зрізу встановлюють на рівні високостоячих коренеплодів. Збільшення частоти обертання ротора гичкоріза призводить до зростання підсосу повітря, що сприяє піднесенню сухих і низьковисячих листків гички коренеплодів та їх подрібнення. У більшості бурякозбиральних машин зрізана гичка відкидається ножами, які закріплено на роторі гичкоріза в сторону різання. При цьому зрізана гичка подрібнюється та одночасно переміщується по лінії направляючого контура, який утворює кожух в поперечний транспортер (зазвичай шнековий конвеєр). Далі за допомогою витків шнека подрібнена гичка транспортується з машини та може укладатися на поверхню зібраного поля у валок, або розкидатися по поверхні поля.

Гичкозбиральний модуль коренезбиральної машини KR-6-II (рис. 1.19а) та гичкозбиральної машини К-6-II (рис. 1.19б, в) за своєю будовою практично аналогічний гичкозбиральному модулю, який наведено на рис. 1.16а. Незначна відмінність полягає в тому, що в технологічну схему збирання гички модулями коренезбиральної машини KR-6-II та гичкозбиральної машини К-6-II введено лопатевий доочишник 4 (рис. 1.19б), плоскі прогумовані лопаті якого під час свого обертання методом ударного відбивання доочищують залишків гички з головок коренеплодів, а обрізник 5 виконує прикінцеве обрізування головки на заданому рівні. Цей спосіб застосовують для цукрових буряків.

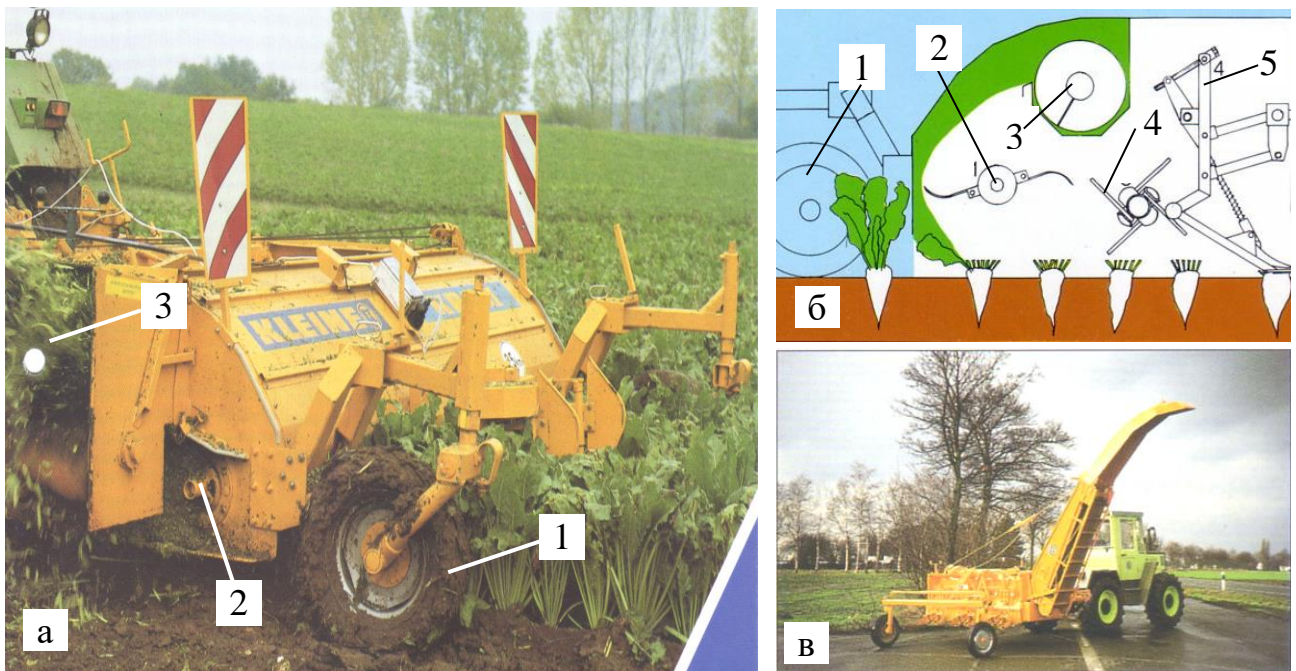


Рис. 1.19 – Загальний вигляд гичкозбирального модуля:

а – коренезбиральної машини KR-6-II; в – гичкозбиральної машини К-6-II;

б – схема гичкозбирального модуля К-6-II: 1 – опорне регулювальне колесо; 2 – роторний гичкоріз; 3 – шнековий конвеєр; 4 – лопатевий доочисник головок коренеплодів; 5 – обрізник головок коренеплодів

Незважаючи на наявні недоліки, роторні гичкорізи в складі багаторядних самохідних коренезбиральних машин є ефективними робочими органами на першій фазі видалення основного масиву гички. Перевагами роторного ріжучого апарату є простота конструкції, висока надійність в роботі, багатофункціональність і універсальність. Одним ротором забезпечується зрізування гички на всій ширині захоплення машини.

1.2. Аналіз теоретично-експериментальних досліджень робочих органів гичкозбиральних модулів

Теоретичні та експериментальні результати наукових досліджень технологічних процесів збирання гички коренеплодів з визначення основних параметрів робочих органів гичкозбиральних модулів наведено в працях вчених Аванесова Ю.Б., Барановського В.М., Березового М.Г., Булгакова В.М.,

Василенка П.М., Василенка А.А., Гевка Р.Б., Головача І.В., Зуєва М.М., Козаченка О.В., Кобца О.М., Мартиненка В.А., Мартинова В.М., Мишина М.А., Погорілого Л.В., Татьяна М.В., Топоровського С.А., Хелемендика М.М., Цимбала О.Г. та інших вітчизняних і зарубіжних дослідників [19, 25, 32, 42, 45 – 47, 49, 51, 59, 61 – 106].

За результатами наукових досліджень описано основні загальні процеси взаємодії робочих органів роторних гичкорізів з головкою коренеплодів, обґрунтування параметрів і режимів їх роботи, викладено методики проведення експериментальних досліджень і оцінки технологічних параметрів.

У працях Зуєва М.М. і Топоровського [72, 73, 87] наведено аналіз досліджень, які відносилися до вирішення технічної задачі пошуку способів зрізування гички та методів його зрізування.

При цьому досліджували вплив висоти безкопірного зрізування ріжучими пристроями на показники якості обрізування головок коренеплодів цукрових буряків, моделюючи при цьому форму головки коренеплоду та формалізуючи розподіл висоти розташування головок над рівнем поверхні ґрунту нормальним законом розподілу.

За результатами проведених експериментів безкопірного зрізування гички коренеплодів було встановлено відсоткові втрати цукроносної маси та кількість залишків гички на головці коренеплоду за встановлення ріжучого ножа на висоті 10...50 мм відносно рівня поверхні ґрунту.

Борис М.М. у праці [97] доповнив дослідження, за результатами яких було розроблено математичну модель процесу безкопірного зрізування гички коренеплодів, за допомогою якої є можливість розрахувати прогнозовані відходи цукроносної маси (цукрові буряки), або втрати коренеплодів (кормові буряки) та залишки гички на головках коренеплодів з розрахунку одиниці зібраної площі:

- відходи цукроносної маси, або втрати коренеплодів

$$BM(h, h_3) = \sum_{i=h_3}^n NF\left(\frac{h_i + h_{i+1}}{2}\right) \left(\frac{h_{i+1} - h_i}{3n} \sum_{j=0}^n c_j \cdot f(h)\right); \quad (1.1)$$

- залишки гички на головках коренеплодів

$$GM(h, h_3) = \sum_{i=h_2}^n NF_c \left(\frac{h_i + h_{i+1}}{2} \right) \left(\frac{h_{i+1} - h_i}{3n} \sum_{j=0}^n c_j \cdot f(h) \right), \quad (1.2)$$

де n – кількість інтервалів класів зони зрізування гички з головки коренеплоду;

N – кількість коренеплодів на одиниці площі; $F = f(h, h_3)$ – функція визначення відходів цукроносної маси, або втрат коренеплодів залежно від певного інтервалу висоти розташування головок коренеплодів; $F_c = f(h, h_3)$ – функція визначення залишки гички залежно від певного інтервалу висоти розташування головок коренеплодів; h_i і h_{i+1} – межі зміни інтервалу; c_j – члени відповідного ряду, $c_j = 1, 4, 2, 4, 2, \dots, 2, 4, 1$; $f(h)$ – функція щільності закону розподілу висоти розташування головок коренеплодів.

За результатами досліджень було побудовано залежності відходів цукроносної маси та залишків гички залежно від висоти розташування пучка гички відносно поверхні рівня ґрунту, рис. 1.20.

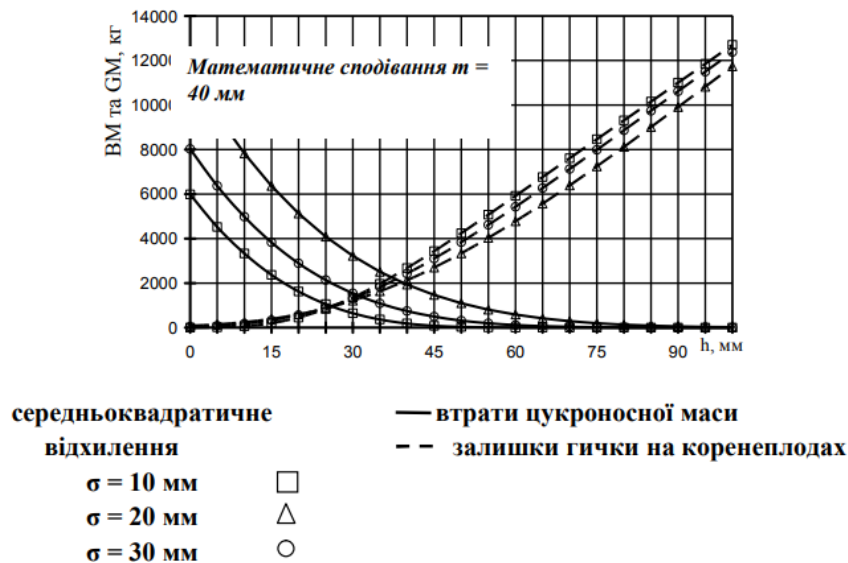


Рисунок 1.20 – Залежності втрат цукроносної маси та залишків гички на головках коренеплодів при безкопірному зрізі гички коренеплодів

Також ним було обґрунтовано, що раціональними параметрами роботи експериментальної гичкозбиральної машини для безкопірного зрізування гички коренеплодів є робоча швидкість машини до 2 м/с та частоти обертання роторного гичкоріза у межах від 700 до 800 об/хв.

Погорілий Л.В. та Татянянко М.В. [19, 49, 85] проаналізував процеси динаміки та кінематики обрізування одного ізольованого коренеплоду шляхом поділу всього циклу на окремі технологічні етапи. При цьому ними розроблено динамічну модель процесу зрізування гички, яка характеризує умову обмеження робочої швидкості руху машини для збирання гички

$$V_M \leq \sqrt{\frac{Q_{Hi} \cos \psi_n}{2M_n \delta} [L - d_k + (\delta/i) \operatorname{tg} \psi]}, \quad (1.3)$$

де Q_{Hi} – сума приведених статичних сил до ріжучого робочого органу; ψ_n – вертикальний кут нахилу осі обертання ножа; M_n – маса рухомих частин ріжучого пристрою, які приведені до ножа; δ – різниця висоти розміщення суміжних коренеплодів над рівнем ґрунту; L – відстань між суміжними коренеплодами у рядку; d_k – діаметр коренеплоду; i – вертикальна похибка відносного переміщення ріжучого ножа.

За результатами дослідження побудовано графічні залежності якості обрізування гички від швидкості руху гичкозбиральної машини, рис. 1.21.

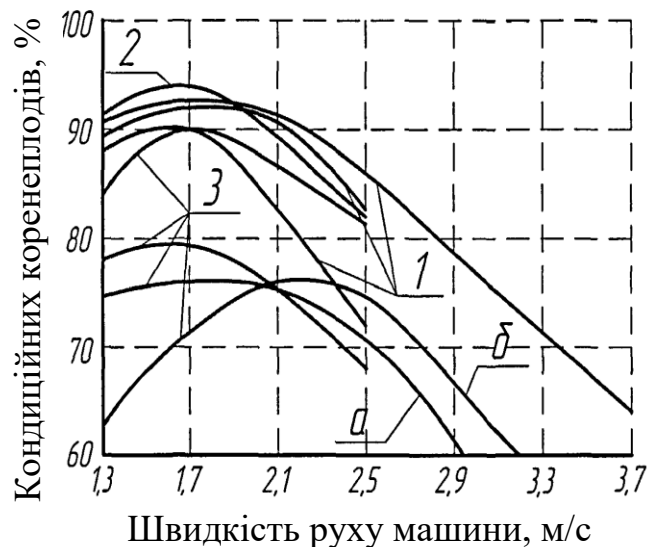


Рисунок 1.21 – Залежність якості обрізування залишків гички від швидкості руху гичкозрізувальної машини

Чорновол М.І. і Свирень Н.О. [65] за результатами теоретичного аналізу безкопірного зрізування гички коренеплодів побудували номограму для визначення параметрів ротора гичкоріза, рис. 1.22.

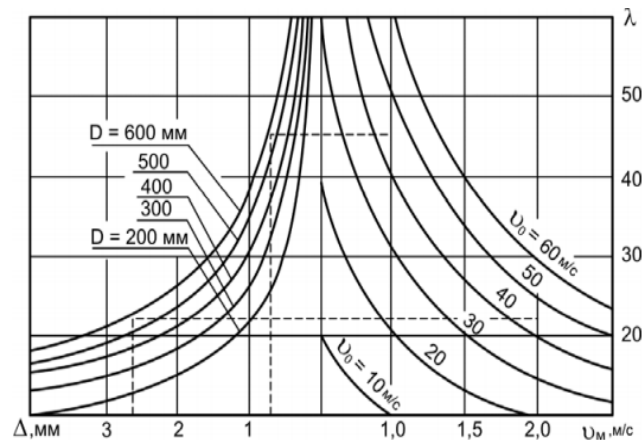


Рисунок 1.22 – Номограма для визначення параметрів роторного гичкоріза

Ними акцентовано, що в прямокутній системі координат:

- нижні торці леза ножів роторного гичкоріза в абсолютному русі переміщуються по видовженим циклоїдам, які мають такі параметри

$$x = r(\omega t - \lambda \sin \omega t); \quad y = r(1 - \cos \omega t) \quad (1.4)$$

- рівняння руху торця ножа, або кромки його леза в параметричній формі мають вигляд

$$x = \mathcal{G}_M t + R \sin \omega t; \quad y = R \cos \omega t, \quad (1.5)$$

де r – радіус барабана ротора, м; ω – кутова швидкість ротора, рад/с; $\lambda = R/r$ – коефіцієнт відношення радіуса кінця леза ножа до радіуса барабана м; \mathcal{G}_M – швидкість руху гичкозбиральної машини, м/с; R – описаний радіус обертання торця ножа, м.

На основі теоретичного аналізу було встановлено, що практичний радіус R роторного гичкоріза знаходиться в межах $0,3 \dots 0,35$ м.

Мартинов В.М. досліджував вплив висоти зрізування гички на показники якості збирання гички. У праці [83] наведено узагальнюючий висновок, що:

- зміна висоти встановлення вала роторного гичкоріза над ґрунтом забезпечує різний середній розмір Δl черешків гички, який визначається за формулою

$$\Delta l = \int_0^a (a_c - h_k) f(h_k) dh_k; \quad (1.6)$$

- за результатами статистичної обробки даних для різних сортів кормових буряків було встановлено нормальний закон розподілення $f(h_k)$, який записано у вигляді

$$f(h_k) = 0,887 \exp \left[-2,469 \left(h_k / \bar{h} - 1 \right)^2 \right] / \bar{h}_k, \quad (1.7)$$

де a_c – висота зрізування гички відносно поверхні ґрунту; $f(h_k)$ – закон розподілення розміщення висоти h_k над ґрунтом; h_k і \bar{h}_k – середня висота розміщення головок коренеплодів над ґрунтом;

- маса зрізаної частини головки коренеплодів визначається за формулою

$$m_c = \pi \rho_k k_\varphi (h_k - a_c)^2 \left[6D - 4,8 \sqrt{k_\varphi D (h_k - a_c)} + k_\varphi (h_k - a_c) \right] / 12, \quad (1.8)$$

де $k_\varphi = D / l_m$, D – максимальний діаметр коренеплоду, l_m – довжина коренеплоду; ρ_k – питома маса коренеплоду.

За результатами теоретичних досліджень побудовано залежність відходів маси головок коренеплодів у зрізану гичку залежно від висота a_c зрізування гички відносно поверхні ґрунту, рис. 1.23

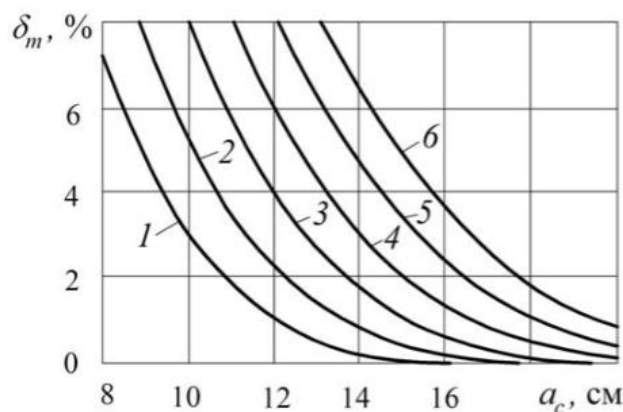


Рисунок 1.23 – Залежність відходів маси головок у зрізану гичку від висоти зрізування головок коренеплодів кормових буряків сорту «Победитель»: 1, 2, 3, 4, 5, 6 – за середньої висоти розміщення головки над поверхнею ґрунту, відповідно, 8, 9, 10, 11, 12, 13 см

Також ним [84] на основі проведеного аналізу процесу взаємодії ножа роторного гичкоріза з пучком гички ним було встановлено, що:

- виходячи з передумов відсутності реакції в шарнірі при ударі ножа по інерідному предметі та наявності неповторних ударів ножа об той же предмет і швидкого загасання коливань ножа встановлено, що оптимальними є співвідношення:

$$R_o = (0,373...0,425) R_n ; R_n = (1,595...1,739) (R_n - R_o), \quad (1.9)$$

де R_o – радіус розташування осі шарніра ножа, м;

R_n – радіус кола, описаного ножем, м.

- визначені алгебраїчні співвідношення між основними конструктивними параметрами ножа, а також маса m_n і момент інерції ножа I_A , що забезпечують якісне безпідірне зрізування гички і головок коренеплодів

$$I_A = m_n a_c (R_n - R_o). \quad (1.10)$$

Проте наведені результати відомих теоретично-експериментальних досліджень не в повному обсязі враховують особливості критеріальної оцінки кожного з етапів виконання технологічного процесу зрізування основного масиву гички запропонованими удосконаленими робочими органами гичкозбирального модуля та наступним послідовним переміщення подрібненої гички в направляючому каналі.

При цьому, технологічний процес роботи удосконаленого гичкозбирального модуля має свої специфічні властивості та технологічні відмінності, які повинні забезпечити гарантоване транспортування зрізаної та подрібненої гички до місця її призначення, або вивантаження та її укладання на поверхню поля у зону між двома суміжними ділильними дисками, що розташовані у міжрядді невикопаних коренеплодів.

Тому виникає потреба в розроблені та дослідженні нових математичних моделей, аналіз яких забезпечать виконання поставленої задачі на основі уточненого дослідження технологічного процесу взаємодії робочих органів гичкозбирального модуля з гичкою та її гарантованого переміщення до фартуха та укладання на поверхню поля.

1.3. Обґрунтування вибору конструктивної схеми гичкозбирального модуля для проведення досліджень

У країнах Європейського Союзу, РФ, США, де великорозмірні та довгоплідні коренеплоди вирощують на значних площах, застосовують переважно однофазний спосіб збирання, і в меншій мірі – роздільний із застосуванням валкової технології [36].

Однофазний спосіб збирання реалізують сучасні шестирядні самохідні бункерні комбайни (рис. 1.24, рис. 1.25), які за один прохід виконують усі технологічні операції від збирання гички робочими органами гичкозбирального модуля до завантаження коренеплодів у бункер.



Рисунок 1.24 – Загальний вигляд шестирядного бункерного самохідного коренезбирального комбайна

Основними модулями сучасного самохідного бункерного комбайна для збирання великорозмірних і довгоплідних коренеплодів є модуль для збирання гички, модуль для викопування коренеплодів, модуль транспортування та очищення коренеплодів від домішок, завантажувальний бункер, кабіна з органами керування робочим процесом і силова установка.

Гичкозбиральний модуль, який виконує двостадійний спосіб збирання гички, як правило має автомат керування по рядках, опорне регульовальне колесо 1 (рис. 1.25), роторний гичкоріз 2, шнековий конвеєр 3, обрізник залишків гички типу пасивний пластинчастий копір-пасивний ніж.

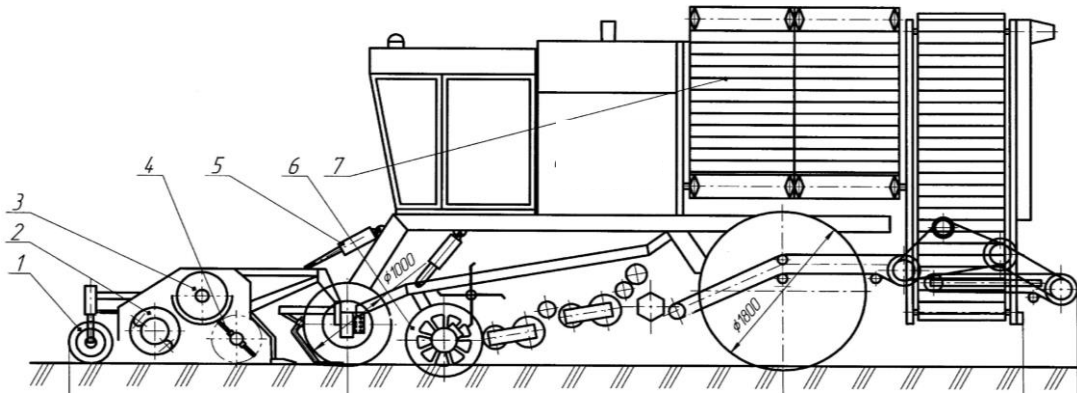


Рисунок 1.25 – Узагальнена конструктивна схема самохідного бункерного коренезбирального комбайна: 1 – регулювальне колесо гичкозбирального модуля; 2 – роторний гичкоріз; 3 – шнековий конвеєр; 4 – очисник залишків гички; 5 – механізм підйому гичкозбирального модуля; 6 – модуль для викопування коренеплодів; 7 – бункер

Велика різноманітність конструктивних та компоувальних схем гичкозбиральних модулів тісно пов'язана, як з існуючими способами збирання гички, так і з агротехнічними вимогами до показників якості їх роботи [9, 10].

За час розробки та практичного застосування перших механізованих пристроїв для викопування коренеплодів (Франція, 1890 р. та Бельгія, 1907 р.) інженерами та науковцями розроблено багато різновидностей робочих органів складових модулів машин, які призначені для збирання коренеплодів.

За різноманітності технологій збирання гички найбільш поширеним способом, який застосовується в теперішній час є двостадійний спосіб збирання гички робочими органами гичкозбирального модуля. Збирання гички з головок коренеплодів реалізується шляхом різання пучка гички лезом ножа, яке застосовують, як для збирання основного масиву гички за принципом безкопірного зрізування, так і для обрізування залишків гички з головок коренеплодів за принципом безпідпірного різання [107].

Це зумовлено, в першу чергу, фізико-механічними властивостями коренеплодів та технологією збирання гички – збирання гички в транспортний засіб шляхом зрізування гички роторним гичкорізом 1 (рис. 1.26а), переміщення зрізаної гички шнековим конвеєром і завантаження її через

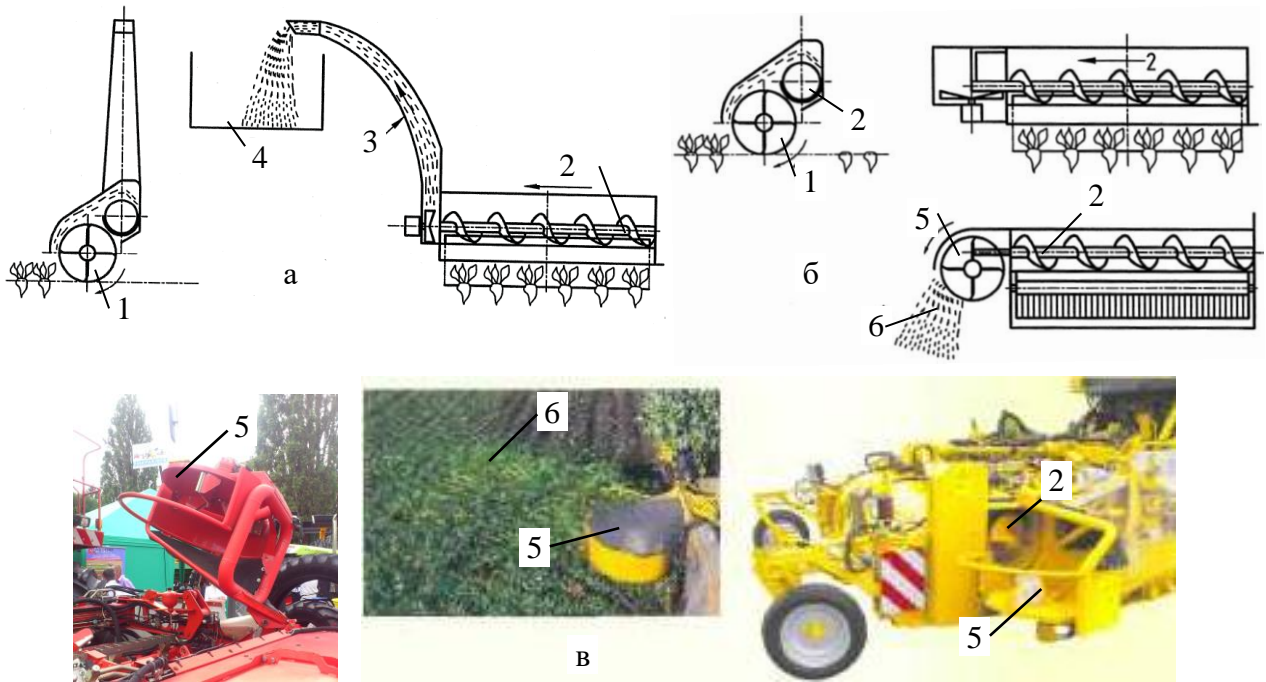


Рисунок 1.26 – Схеми та загальний вигляд використання зібраної гички:
 а – збирання гички в причіп транспортного засобу; б, в – розкидання гички
 на зібране поле; 1 – роторний гичкоріз; 2 – шнековий конвеєр;
 3 – дефлектор; 4 – причіп транспортного засобу; 5 – горизонтальний
 роторний розкидач гички; 6 – подрібнена гичка

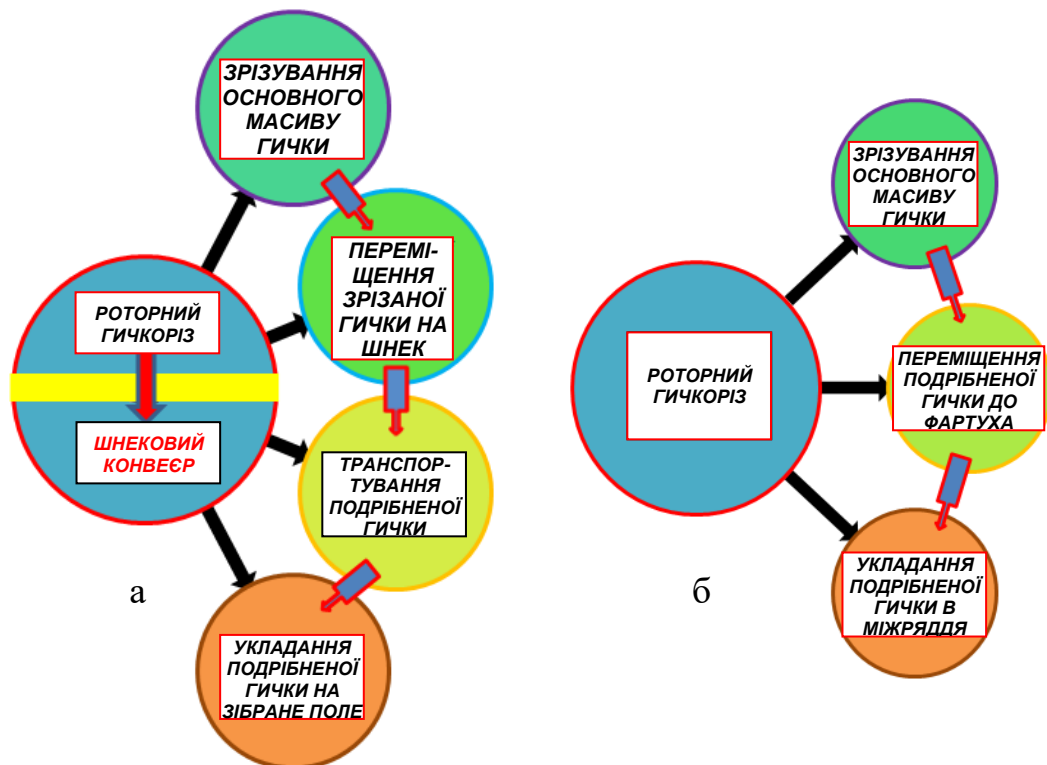


Рисунок 1.27 – Схеми технології збирання гички коренеплодів:
 а – існуючий спосіб; б – удосконалений спосіб

дефлектор 3 у причіп 4 транспортного засобу, або у якості органічних добрив шляхом зрізування гички роторним гичкорізом 1 (рис. 1.26б, в) і переміщення зрізаної гички шнековим конвеєром 2 до роторного розкидача 5 та розкидання подрібненої гички 6 горизонтальним ротором 5 на зібране поле [107].

Розкидання гички на поверхню поля систематизують за двома критеріями класифікації – розкидання подрібненої гички на поверхню поля з якої викопано коренеплоди та розкидання гички на поверхню поля невикопаних коренеплодів.

Перший критерій передбачає вивантаження зрізаної та подрібненої ножами роторного гичкоріза гички коренеплодів на зібране поле у поздовжній валок відносно руху коренезбирального комбайна, або розкиданням гички на поверхню зібраного поля, рис. 1.27а. Другий критерій передбачає розкидання зрізаної та подрібненої ножами роторного гичкоріза гички на поверхню поля у рядок та міжряддя невикопаних коренеплодів, рис. 1.27б [34, 108 – 110].

Розкидання зрізаної гички на поверхню незібраного поля у рядок та міжряддя невикопаних коренеплодів реалізується шляхом зрізування основного масиву гички ножами 1 (рис. 1.28) роторного гичкоріза 2 з одночасним її подрібненням та переміщенням подрібненої гички по траєкторії руху на поверхню поля у рядок і міжряддя не викопаних коренеплодів [107].

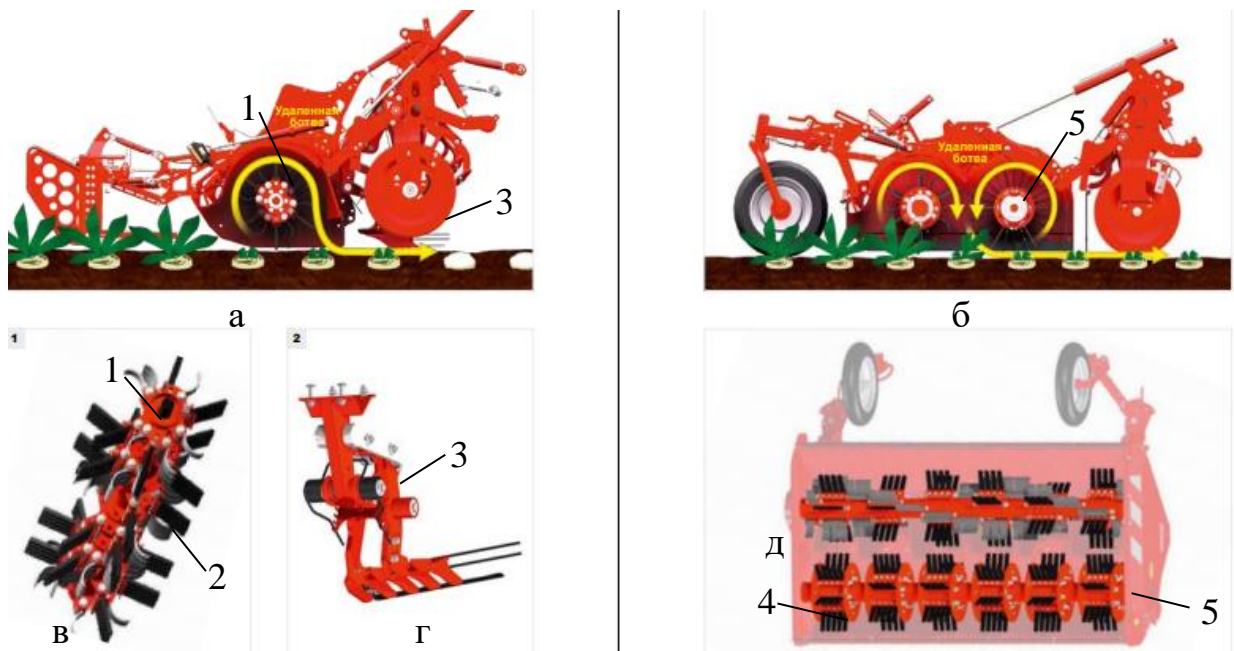


Рисунок 1.28 – Схеми робочих органів гичкозбирального модуля: 1 – ніж; 2 – роторний гичкоріз; 3 – обрізник головок коренеплодів; 4 – очисні елементи; 5 – приводний вал

Спосіб, за якого зрізану та подрібнену гичку розкидають на поверхню поля незібраних коренеплодів є значно менш енергомістким, порівняно з способом вивантаження гички у валок, або її розкиданням на поверхню зібраного поля.

Проте основними недоліками двох способів збирання основного масиву гички коренеплодів розкидання зрізаної гички в межі рядка захисної зони коренеплодів – у першому випадку це втрати гички під час її зрізування ножами роторного гичкоріза, а в другому – втрати та технологічне переміщення гички у рядки невикопаних коренеплодів; значні затрати енергії, які необхідні для виконання технологічного процесу збирання основного масиву гички в першому випадку.

Наявність гички на поверхні поля незібраних коренеплодів значно знижує технологічні можливості коренезбиральної машини у контексті дотримання агротехнічних вимог до показників якості викопування та очищення викопаних коренеплодів від домішок [107 – 109].

Вибір перспективних конструвальних схем і розробка нових конструкцій робочих органів і технічних засобів для збирання гички, в загальному, повинні базуватися на світовому досвіді зменшення енергетичних ресурсів, враховуючи при цьому особливості вітчизняних агротехнічних, техніко-економічних, екологічних та інших виробничих вимог.

Розробка та впровадження у аграрне виробництво енергозберігаючих технологічних процесів збирання основного масиву гички коренеплодів можливе на основі наукового підходу до вирішення актуальних задач подальшого конструктивного удосконалення робочих органів гичкозбиральних модулів коренезбиральних машин.

Таким чином, на основі проведеного аналізу відомих способів і конструкцій машин для збирання гички можна зробити узагальнений висновок, що на сучасному етапі застосовують спосіб збирання основного масиву гички довгоплідних і великорозмірних коренеплодів, який реалізується робочими органами гичкозбирального модуля, узагальнена конструктивна схема якого наведена на рис. 1.29 [111 – 116].

Такий спосіб передбачає, окрім зрізування основного масиву гички ножами 7 (рис. 1.29а) роторного гичкоріза 3, додаткової проміжної операції транспортування зрізаної та подрібненої гички витками 11 шнекового конвеєра 9, який встановлений у просторі жолоба 8. Переміщення зрізаної та подрібненої гички відбувається за рахунок обертання барабана 10 та витків 11.

Додаткова проміжна операція транспортування зрізаної та подрібненої гички шнековим конвеєром значно збільшує загальні затрати енергії процесу.

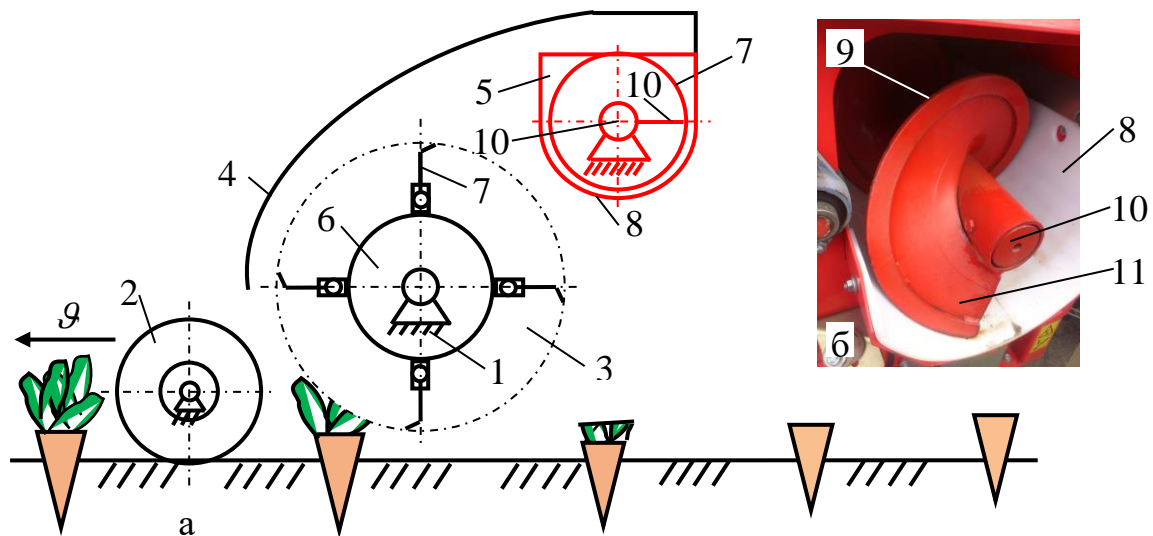


Рисунок 1.29 – Конструктивна схема узагальненого гичкозбирального модуля (а) та загальний вигляд пристрою для транспортування гички (б):

1 – рама; 2 – колесо опорне; 3 – роторний гичкоріз; 4 – кожух направляючий; 5 – пристрій для транспортування гички; 6, 10 – барабан;
7 – ніж; 8 – жолоб; 9 – шнековий конвеєр; 11 – виток

В основу рішення наукової задачі зменшення витрат енергії в процесі збирання основного масиву гички нами запропоновано удосконалений спосіб збирання гички коренеплодів [34, 39, 107] та висунуто робочу гіпотезу, яка передбачає усунення в конструктивно-компонувальній схемі гичкозбирального модуля проміжної ланки у вигляді транспортного елемента, виконаного у вигляді шнекового конвеєра, який встановленого в направляючому жолобі.

Спосіб збирання основного масиву гички коренеплодів за якого зрізана та подрібнена ножами роторного гичкоріза гичка укладається тільки на поверхню поля у міжряддя незібраних коренеплодів передбачає відсутність гички у

захисній зоні рядка незібраних коренеплодів, яка передбачена для переміщення робочих органів копачів.

Це забезпечує значне зменшення енергетичних затрат процесу збирання основного масиву гички за рахунок усунення операції вивантаження зрізаної та подрібненої ножами роторного гичкоріза гички у валок, або її розкидання на зібране поле. Реалізація такого енергоощадного способу збирання основного масиву гички коренеплодів можлива шляхом переміщення та укладання зрізаної гички у міжряддя невикопаних коренеплодів [34, 38].

Цей спосіб, який дозволить знизити енергоємність та значно підвищити технологічні можливості процесу збирання коренеплодів цикорію, реалізується шляхом застосування удосконаленого гичкозбирального модуля (рис. 1.30), який складається з основної рами 1, яка опирається на колесо 2 та на якій встановлено роторний гичкоріз 3 з шарнірними Г-подібними ножами 9, дугоподібного кожуха 4, що огинає траєкторію руху ножів. Дугоподібний кожух виконано у вигляді направляючого каналу 5 для транспортування зрізаної та подрібненої гички, який має вхідну горловину 6, а за вихідною горловиною 7 направляючого каналу встановлено фартух 11 [108, 117].

Між Г-подібними ножами на барабані 8 роторного гичкоріза встановлено обмежувальні ділильні диски 10, які розміщено у міжрядді невикопаних коренеплодів. Вихідна частина кожного направляючого каналу і фартуха розташована між суміжними ділильними дисками [117], додаток Б.2.3. Роторний гичкоріз обертається назустріч напрямку руху гичкозбирального модуля.

Зрізана Г-подібними ножами 9 гичка за рахунок створеного ножами повітряного потоку надходить до вхідної горловини 6 направляючого каналу 5 та переміщується по його поверхні до вихідної горловини 7, де відбувається вивантаження зрізаної та подрібненої гички ножами роторного гичкоріза у міжряддя невикопаних коренеплодів у зону розташування двох суміжних ділильних дисків 10, шляхом вільного переміщення гички по фартуху 11 на поверхню міжряддя невикопаних коренеплодів.

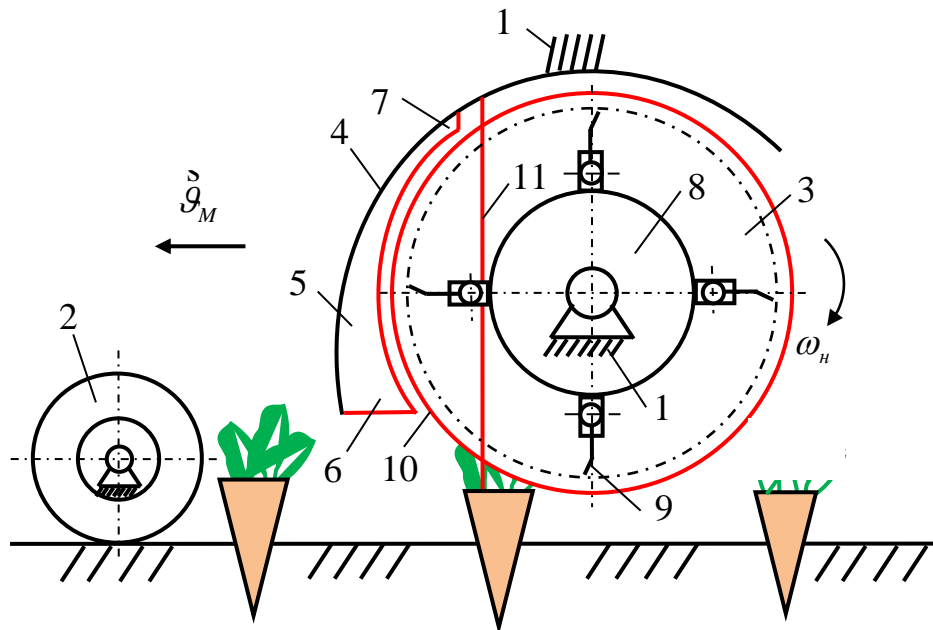


Рисунок 1.30 – Конструктивна схема удосконаленого гичкозбирального модуля: 1 – рама; 2 – колесо опорне; 3 – роторний гичкоріз; 4 – кожух; 5 – направляючий канал транспортування гички; 6, 7 – вхідна та вихідна горловина; 8 – барабан; 9 – Г-подібний ніж; 10 – ділильний диск; 11 – фартух

Таким чином, за рахунок усунення проміжної операції транспортування зрізаної і подрібненої гички шнековим конвеєром та її вивантаження на зібране поле значно зменшуються енерговитрати на реалізацію технологічного процесу збирання основного масиву гички коренеплодів. При цьому робочі органи удосконаленого гичкозбирального модуля дозволяють реалізувати транспортування та укладання зрізаної гички на поверхню поля фактично одним робочим органом – роторним гичкорізом у поєднанні з кожухом.

Тому перспективним напрямком є подальше проведення поглиблених теоретичних і експериментальних досліджень технологічного процесу збирання основного масиву гички удосконаленим гичкозбиральним модулем з метою розробки методології та методики обґрунтування раціональних параметрів і режимів роботи робочих органів для збирання гички коренеплодів.

Комплексна оцінка параметрів і режимів роботи є передумовами для подальшої інтенсифікації зменшення енерговитрат процесу збирання гички коренеплодів, або обґрунтування параметрів і режимів роботи коренезбиральної машини загалом.

1.4. Висновки, мета та задачі дослідження

Виходячи із аналізу стану питання, можна зробити такі висновки:

1. Удосконалення традиційних способів збирання гички коренеплодів можливе за рахунок розробки енергоощадних способів збирання основного масиву гички шляхом мінімізації кількості етапів процесу їх реалізації.

2. Запропоновано удосконалений технологічний процес збирання гички коренеплодів, який забезпечує зниження енергоємності за рахунок одночасного зрізування, подрібнення та укладання зрізаної гички на поверхню поля між двома суміжними дисками, які закріплено на барабані роторного гичкоріза та розташовані у міжрядді незібраних коренеплодів.

Зниження енергоємності процесу досягається за рахунок одночасного поєднання операцій зрізування та переміщення зрізаної гички одним активним (роторний гичкоріз) і пасивним (направляючий канал) робочим органом.

3. Енергоощадний спосіб збирання основного масиву гички реалізується шляхом усунення проміжної операції транспортування основного масиву зрізаної гички шнековим конвеєром та її укладання у валок, або розкидання на зібране поле шляхом розроблення удосконалених робочих органів гичкозбирального модуля.

4. На основі аналіз наукових праць можна констатувати, що застосувати результати та методи для розрахунку процесу роботи запропонованого гичкозбирального модуля в повному обсязі неможливо, тому що його робочі органи мають ряд специфічних конструктивних особливостей.

Тому метою дослідження є зменшення енергетичних витрат технологічного процесу збирання основного масиву гички коренеплодів шляхом удосконалення та обґрунтування раціональних параметрів робочих органів гичкозбирального модуля.

Вирішення даної мети зведено до розв'язання таких прикладних задач:

- на основі аналізу технологічних процесів зрізування основного масиву гички коренеплодів розробити конструктивно-технологічну схему удосконаленого гичкозбирального модуля;

- розробити математичні моделі, які описують та характеризують функціональну залежність зміни технологічної подачі зрізаної гички в міжряддя

невикопаних коренеплодів залежно від агробіологічних характеристик коренеплодів і умов роботи гичкозбирального модуля;

- провести математичне моделювання процесу переміщення зрізаної гички в направляючому каналі та визначити його раціональний профіль;

- розробити залежність, яка характеризує зменшення енергетичних витрат технологічного процесу збирання основного масиву гички удосконаленим гичкозбиральним модулем;

- провести експериментальні дослідження:

- технологічної подачі зрізаної гички в міжряддя невикопаних коренеплодів залежно від агробіологічних характеристик коренеплодів і умов роботи гичкозбирального модуля;

- довжини різання головки коренеплодів лезом жорстко-закріпленого та підпружиненого плоского ножа;

- провести порівняльні дослідження показників якості роботи коренезбиральної машини для способу укладання зрізаної гички в міжряддя невикопаних коренеплодів та в зону між двома суміжними ділильними дисками, що розташовані в міжрядді невикопаних коренеплодів;

- визначити економічну ефективність застосування удосконаленого гичкозбирального модуля у виробничих умовах.

Структурними базовими складовими, які дозволять провести обґрунтування конструктивно-кінематичних параметрів робочих органів гичкозбирального модуля, повинні бути:

- теоретичне обґрунтування та аналіз секундної та питомої подачі зрізаної гички у міжряддя невикопаних коренеплодів у зону між двома суміжними ділильними дисками;

- дослідження процесу переміщення зрізаної гички по направляючому каналі та обґрунтування його раціонального профілю;

- проведення експериментальних досліджень основних показників якості виконання процесу збирання гички коренеплодів та перевірки адекватності розроблених теоретичних моделей.

Основні наукові результати розділу опубліковано в працях [34, 38 – 41, 106 – 110, 117].

РОЗДІЛ 2

ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ РОБОТИ ГИЧКОЗБИРАЛЬНОГО МОДУЛЯ

2.1. Аналіз теоретичної подачі зрізаної гички в міжряддя невикопаних коренеплодів

На стадії конструктивної розробки та проектування гичкозбирального модуля необхідно обґрунтувати його раціональні параметри. Обґрунтування конструктивно-кінематичних параметрів робочих органів гичкозбирального модуля доцільно провести на основі визначення та теоретичного аналізу кількості зрізаної гички, яка зрізується ножами роторного гичкоріза та яка укладається на поле у міжряддя невикопаних коренеплодів.

Мета дослідження – розробка аналітичних функціональних закономірностей, які описують характер зміни технологічної подачі гички у міжряддя невикопаних коренеплодів залежно від параметрів насаджень коренеплодів, технологічних параметрів роботи та конструктивно-кінематичних параметрів робочих органів гичкозбирального модуля.

З огляду на світову тенденцію однофазного способу збирання коренеплодів сучасними самохідними машинами, які передбачають блочно-модульний принцип їх побудови, нами запропоновано удосконалений енергоощадний спосіб збирання основного масиву гички коренеплодів.

Спосіб збирання передбачає три суміжних операції: зрізання основного масиву гички ножами роторного гичкоріза з одночасним її подрібненням; транспортування подрібненої гички в направляючих каналах кожуха роторного гичкоріза; укладання подрібненої гички в міжряддя невикопаних коренеплодів у зону розташування ділільних дисків.

При цьому зрізання основного масиву гички і розкидання подрібненої гички в міжряддя незібраних коренеплодів здійснюється одним робочим органом – роторним гичкорізом.

Для аналітичного обґрунтування функціональної зміни технологічної подачі зрізаної гички у міжряддя невикопаних коренеплодів розглянемо складену конструктивно-технологічну схему способу збирання основного масиву гички коренеплодів, загальний вигляд якого наведено на рис. 2.1.



Рисунок 2.1 – Загальний вигляд коренеплодів і гички на період збирання

Схему енергоощадного способу збирання основного масиву гички з головок коренеплодів наведено на рис. 2.2 [40, 118].

Під час руху гичкозбирального модуля уздовж рядків коренеплодів 1 (рис. 2.2) з гичкою на їх головках з поступальною робочою швидкістю руху \mathcal{G}_M Г-подібні ножі 5 за рахунок обертання роторного гичкоріза 3 зрізують з головок коренеплодів основний масив гички і подають її по траєкторії руху до вхідній горловині 9 направляючого каналу 8. За рахунок створеного обертанням ножів Г-подібної форми направленою повітряного потоку зрізана та подрібнена гичка 12 по траєкторії направляючого каналу переміщується до його вихідній горловині 10, а далі до фартуха 11, де подрібнена гичка 12 укладається в міжряддя невикопаних коренеплодів у зону розташування ділильних дисків 6.

Обґрунтування конструктивно-кінематичних параметрів робочих органів гичкозбирального модуля доцільно провести на основі визначення або розрахунку та подальшого аналізу кількості зрізаної з головок коренеплодів 1 (рис. 2.3) основного масиву гички 2, яка зрізується Г-подібними ножами 4 роторного гичкоріза 3, який рухається зі швидкістю \mathcal{G}_M та переміщується на

шлях $L_g = g_M t$, де t – час переміщення гичкозбирального модуля, s . Зрізана гичка 5 у подальшому укладається на поверхню поля між двома невикопаними суміжними рядками коренеплодів у зону шириною b_n , яка розташована між двома суміжними ділильними дисками, що встановлені у одному міжрядді невикопаних коренеплодів, ширина якого становить b_k .

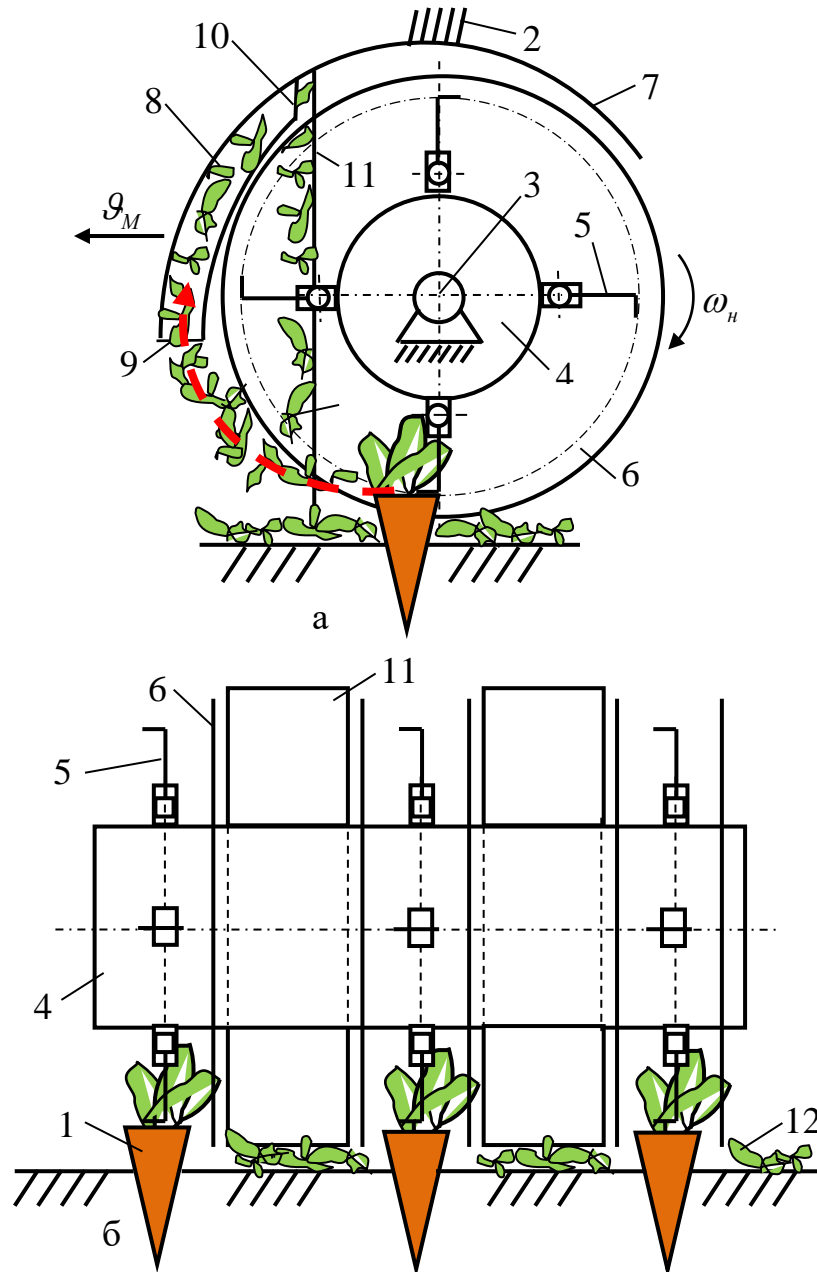


Рисунок 2.2 – Схема способу збирання гички у міжряддя невикопаних коренеплодів: а – вигляд збоку; б – вигляд ззаду; 1 – коренеплід з гичкою; 2 – рама; 3 – роторний гичкоріз; 4 – барабан; 5 – ніж; 6 – ділильний диск; 7 – кожух; 8 – направляючий канал; 9, 10 – вхідний і вихідний отвір; 11 – фартух; 12 – укладена у міжряддя подрібнена гичка

Формалізуємо технологічний процес роботи гичкозбирального модуля, або об'єкт дослідження наступним чином, приймаючи при цьому такі припущення [40, 118]:

- гичкозбиральний модуль рухається вздовж рядків коренеплодів 1 (рис. 2.3) рівномірно з постійною поступальною швидкістю руху, яку позначимо через \mathcal{G}_M , м/с;

- ділильні диски встановлено у міжрядді коренеплодів із захисною зоною, ширина якої відносно центра рядка та встановленого біля нього ділильного диска дорівнює c_k ;

- після зрізування основного масиву гички Г-подібними ножами на головках деяких коренеплодів, які знаходяться у ґрунті нижче за основний масив розташування коренеплодів над рівнем поверхні поля, або нижче високостоячих коренеплодів залишаються залишки гички 7, рис. 2.3.

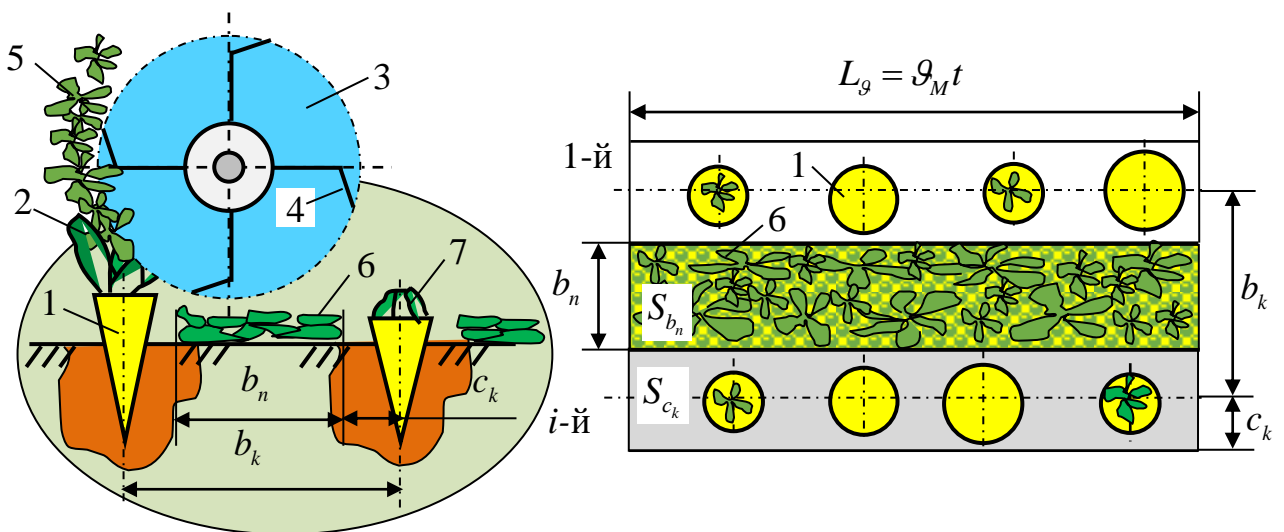


Рисунок 2.3 – Схема до розрахунку технологічної подачі зрізаної гички роторним гичкорізом: 1 – коренеплід; 2 – гичка; 3 – роторний гичкоріз; 4 – ніж; 5 – зрізана гичка; 6 – гичка укладена у міжряддя невикопаних коренеплодів; 7 – залишки гички на головках коренеплодів

Аналіз кількості зрізаної з головок коренеплодів основного масиву гички проведемо шляхом розрахунку дійсної сумарної подачі та укладання на поверхню поля зрізаної та подрібненої ножами роторного гичкоріза гичкозбирального модуля гички в зони між двома суміжними ділильними

дисками та розрахунку питомої подачі гички, укладеної у міжряддя невикопаних коренеплодів.

У загальному контексті отримані дані аналізу секундної подачі та питомої маси зрізаної та подрібненої гички є передумовою для подальшого обґрунтування технологічного процесу та параметрів робочих органів викопування коренеплодів і їх очищення від домішок враховуючи при цьому агробіологічні характеристики коренеплодів [119]

Проаналізуємо технологічний процес роботи гичкозбирального модуля, або процес зрізування основного масиву гички ножами роторного гичкоріза за певний проміжок часу t переміщення гичкозбирального модуля.

Якщо гичка з головок коренеплодів одночасно зрізується з декількох рядків, кількість яких позначимо через n_k , тоді сумарна маса зрізаної гички M_p у загальному випадку дорівнює сумі маси зрізаної гички з кожного i -го рядка

$$M_p = \sum_{i=1}^{n_i} m_{pi} = m_{1p} + m_{2p} + \dots + m_{n_i p}, \quad (2.1)$$

де $\sum_{i=1}^{n_i} m_{pi}$ – сумарна маса зрізаної гички з n_k рядків коренеплодів, кг.

$m_{1p}, m_{2p}, \dots, m_{n_i p}$ – маса зрізаної гички з головок коренеплодів з 1-го, 2-го, ..., n_i -го рядка, кг.

Сумарна маса зрізаної гички $\sum_{i=1}^{n_i} m_{pi}$ з головок коренеплодів є не що інше, як сумарна подача зрізаної гички з n_i -х рядків коренеплодів, яка в свою чергу дорівнює сумі подачі зрізаної гички $\Pi_{ip}(t)$ з кожного одного i -го рядка коренеплодів за проміжок часу t переміщення гичкозбирального модуля, або часу руху гичкозбирального модуля зі швидкістю \mathcal{G}_M .

Сумарна подача зрізаної гички $\Pi_{ip}(t)$ з кожного одного i -го рядка коренеплодів за проміжок часу t , або часу руху гичкозбирального модуля буде залежати від загальної кількості коренеплодів $K_{iz}(t)$ (шт.) із яких зрізано гичку ножами роторного гичкоріза та урожайності гички кожного окремого i -го рядка коренеплодів $U_{ip}(t)$ (кг/м²), або [120]

$$\Pi_{ip}(t) = \left[(U_{ip} K_{iz}) (t) \right], \quad (2.2)$$

при цьому

$$K_{iz}(t) = L_g k_{iz}(t) = \mathcal{G}_M t k_{iz}(t) = \mathcal{G}_M t b_k \Gamma_{ik}(t), \quad (2.3)$$

де L_g – шлях, який пройде гичкозбиральний модуль за час t , м;

k_{iz} – кількість коренеплодів на одному погонному метрі у кожному i -го рядку, шт.

\mathcal{G}_M – швидкість руху гичкозбирального модуля, м/с;

b_k – ширина міжряддя коренеплодів, м;

$\Gamma_{ik}(t)$ – густина насаджень коренеплодів у кожному i -му рядку на час збирання коренеплодів, шт./м²;

$$\Pi_{ip}(t) = \frac{dL_g}{dt} t b_k \left[(\Gamma_{ik} U_{ip}) (t) \right]. \quad (2.4)$$

Тоді згідно з (2.1) – (2.4) можна записати, що сумарна подача гички з n_k рядків коренеплодів, або у подальшому загальна подача $\Pi_p(t)$ гички з n_k рядків коренеплодів визначається за формулою

$$\Pi_p(t) = \left(\frac{dL_g}{dt} t b_k \left[(\Gamma_{1k} U_{1p}) (t) \right] + \frac{dL_g}{dt} t b_k \left[(\Gamma_{2k} U_{2p}) (t) \right] + \dots + \frac{dL_g}{dt} t b_k \left[(\Gamma_{nk} U_{np}) (t) \right] \right). \quad (2.5)$$

При цьому, питома подача зрізаної та подрібненої гички $\Pi_{np}(t)$ на площі S_{b_n} (рис. 2.2) визначається за формулою

$$\Pi_{np}(t) = \Pi_p(t) / S_{b_n}(t), \quad (2.6)$$

де S_{b_n} – площа поля з якої зрізана гичка з головок n_k рядків коренеплодів, м².

Або згідно з (2.5) маємо

$$\Pi_{np}(t) = \frac{1}{S_{b_n}} \left(\frac{dL_g}{dt} t b_k \left[(\Gamma_{1k} U_{1p}) (t) \right] + \frac{dL_g}{dt} t b_k \left[(\Gamma_{2k} U_{2p}) (t) \right] + \dots + \frac{dL_g}{dt} t b_k \left[(\Gamma_{nk} U_{np}) (t) \right] \right). \quad (2.7)$$

Отримана функціональна залежність (2.6) та (2.7) характеризують зміну загальної подачі $\Pi_p(t)$ і питому подачу $\Pi_{np}(t)$ зрізаної та подрібненої гички з n_k рядків коренеплодів за умови однакової (постійної) урожайності гички $U_{ip}(t) = const$ та густоти насаджень коренеплодів $\Gamma_{ik}(t) = const$ у кожному i -му рядку на шляху $L_g = \mathcal{G}_M t$ переміщення гичкозбирального модуля за час t та ширини міжряддя коренеплодів b_k .

Згідно з даними дослідження [121 – 123] показники $U_{ip}(t)$ та $\Gamma_{ik}(t)$ є непостійними та мають значну мінливість їх зміни, яку запишемо у вигляді $U_{ip}(t) \pm \Delta U_{ip}(t)$ та $\Gamma_{ik}(t) \pm \Delta \Gamma_{ik}(t)$, де $\Delta U_{ip}(t)$ – величина зміни урожайності гички $U_{ip}(t)$, кг/м²; $\Delta \Gamma_{ik}(t)$ – величина зміни густоти насадження коренеплодів $\Gamma_{ik}(t)$, шт./м².

Тоді з врахуванням значної мінливої зміни урожайності гички $U_{ip}(t) \pm \Delta U_{ip}(t)$ та густоти насаджень $\Gamma_{ik}(t) \pm \Delta \Gamma_{ik}(t)$ коренеплодів на ділянках поля, залежності (2.5) і (2.7) набудуть вигляду:

$$\Pi_p(t) = \frac{dL_g}{dt} b_k t \left\{ \left[\Gamma_{1k}(t) \pm \Delta \Gamma_{1k}(t) \right] \left[U_{1p}(t) \pm \Delta U_{1p}(t) \right] + \left[\Gamma_{2k}(t) \pm \Delta \Gamma_{2k}(t) \right] \times \right. \\ \left. \times \left[U_{2p}(t) \pm \Delta U_{2p}(t) \right] + \dots + \left[\Gamma_{nk}(t) \pm \Delta \Gamma_{nk}(t) \right] \left[U_{np}(t) \pm \Delta U_{np}(t) \right] \right\}; \quad (2.8)$$

$$\Pi_{np}(t) = \left(\frac{dL_g}{dt} \right) \frac{b_k t}{S_{b_n}} \left\{ \left[\Gamma_{1k}(t) \pm \Delta \Gamma_{1k}(t) \right] \left[U_{1p}(t) \pm \Delta U_{1p}(t) \right] + \left[\Gamma_{2k}(t) \pm \Delta \Gamma_{2k}(t) \right] \times \right. \\ \left. \times \left[U_{2p}(t) \pm \Delta U_{2p}(t) \right] + \dots + \left[\Gamma_{nk}(t) \pm \Delta \Gamma_{nk}(t) \right] \left[U_{np}(t) \pm \Delta U_{np}(t) \right] \right\}. \quad (2.9)$$

При цьому, отримані функціональні залежності (2.8) та (2.9) характеризують зміну загальної подачі $\Pi_p(t)$ і питому подачу $\Pi_{np}(t)$ зрізаної та подрібненої гички з n_k рядків коренеплодів за умови повного (100 відсоткового) зрізування гички з усіх $K_{iz}(t)$ коренеплодів з яких зрізана гичка.

Але висоту безкопінного зрізування основного масиву гички встановлюють за характером розташування більшості коренеплодів над рівнем поверхні ґрунту та за принципом вибору схеми зрізування основного масиву

гички на рівні високостоячих, або превалюючої кількості найвище розміщених головок коренеплодів [124]. Згідно з дослідженнями [124, 125], після безкопінного зрізування гички з головок коренеплодів ножами роторного гичкоріза на деяких головках коренеплодів, які розміщені відносно рівня поверхні ґрунту нижче за основний масив розташування превалюючої кількості коренеплодів залишаються залишки гички 7, рис. 2.3.

Тому для врахування маси цих залишків введемо поправочний коефіцієнт $k_{i_e}(t)$, який корегує зменшення загальної подача $\Pi_p(t)$ зрізаної гички з кожного i -го рядка та зменшення питомої подачі $\Pi_{np}(t)$ зрізаної та подрібненої гички у кожному міжрядді невикопаних коренеплодів.

Тоді загальна подача $\Pi_p(t)$ зрізаної гички з n рядків і питома подача зрізаної та подрібненої гички $\Pi_{np}(t)$ на площі S_{b_n} згідно з залежностями (2.8) та (2.9) визначається за формулою:

$$\Pi_p(t) = \frac{dL_g}{dt} b_k t \left\{ \begin{aligned} & \left[\Gamma_{1k}(t) \pm \Delta\Gamma_{1k}(t) \right] \left[U_{1e}(t) \pm \Delta U_{1p}(t) \right] k_{1e}(t) + \\ & + \left[\Gamma_{2k}(t) \pm \Delta\Gamma_{2k}(t) \right] \left[U_{2e}(t) \pm \Delta U_{2p}(t) \right] k_{2e}(t) + \dots + \\ & + \left[\Gamma_{nk}(t) \pm \Delta\Gamma_{nk}(t) \right] \left[U_{ne}(t) \pm \Delta U_{np}(t) \right] k_{ne}(t) \end{aligned} \right\}; \quad (2.10)$$

$$\Pi_{np}(t) = \left(\frac{dL_g}{dt} \right) \frac{b_k t}{S_{b_n}} \left\{ \begin{aligned} & \left[\Gamma_{1k}(t) \pm \Delta\Gamma_{1k}(t) \right] \left[U_{1e}(t) \pm \Delta U_{1p}(t) \right] k_{1e}(t) + \\ & + \left[\Gamma_{2k}(t) \pm \Delta\Gamma_{2k}(t) \right] \left[U_{2e}(t) \pm \Delta U_{2p}(t) \right] k_{2e}(t) + \dots + \\ & + \left[\Gamma_{nk}(t) \pm \Delta\Gamma_{nk}(t) \right] \left[U_{ne}(t) \pm \Delta U_{np}(t) \right] k_{ne}(t) \end{aligned} \right\}. \quad (2.11)$$

Для подальших розрахунків і спрощення теоретичного аналізу технологічної подачі зрізаної з головок коренеплодів і подрібненої ножами роторного гичкоріза гички у міжрядді невикопаних коренеплодів приймемо час переміщення гичкозбирального модуля рівного 1 с.

Тоді згідно з (2.10) та (2.11), отримаємо вирази для визначення загальної подачі Π_p (кг) та питомої подачі Π_{np} (кг/м²) зрізаної та подрібненої гички 5 (рис. 2.3), яка укладається на поверхню поля у зону між двома суміжними

ділильними дисками 6 (рис. 2.2), які розташовано у одному міжрядді невикопаних коренеплодів 1 за час руху гичкозбирального модуля рівного 1 с:

$$P_p = \left(\frac{dL_g}{dt} \right) b_k t \left[\begin{array}{l} (\Gamma_{1k} \pm \Delta\Gamma_{1k})(U_{1z} \pm \Delta U_{1p})k_{1z} + \\ + (\Gamma_{2k} \pm \Delta\Gamma_{2k})(U_{2z} \pm \Delta U_{2p})k_{2z} +, \dots, + \\ + (\Gamma_{nk} \pm \Delta\Gamma_{nk})(U_{nz} \pm \Delta U_{np})k_{nz} \end{array} \right]; \quad (2.12)$$

$$M_{np} = \left(\frac{dL_g}{dt} \right) \frac{b_k t}{S_{b_n}} \left[\begin{array}{l} (\Gamma_{1k} \pm \Delta\Gamma_{1k})(U_{1z} \pm \Delta U_{1p})k_{1z} + \\ + (\Gamma_{2k} \pm \Delta\Gamma_{2k})(U_{2z} \pm \Delta U_{2p})k_{2z} +, \dots, + \\ + (\Gamma_{nk} \pm \Delta\Gamma_{nk})(U_{nz} \pm \Delta U_{np})k_{nz} \end{array} \right]. \quad (2.13)$$

Згідно з рис. 2.3 можна записати, що

$$S_{b_n} = L_g b_k - S_{c_k} = \mathcal{G}_M t b_k - \mathcal{G}_M t 2c_k = \mathcal{G}_M t (b_k - 2c_k), \text{ або } S_{b_n} = L_g b_n = \mathcal{G}_M t b_n, \quad (2.14)$$

де S_{c_k} – площа міжкоренеплідної захисної зони поверхні поля посіву коренеплодів, м²;

c_k – відстань від центра рядка коренеплодів до ділильного диска, або ширина міжкоренеплідної захисної зони, м;

$b_n = b_k - 2c_k$ – відстань між двома ділильними дисками, які встановлено у одному міжрядді коренеплодів, м.

Підставивши значення (2.14) у залежність (2.13) та після спрощення виразу, отримаємо функціональну залежність для визначення питомої подачі P_{np} зрізаної гички з урахуванням ширини міжкоренеплідної захисної зони c_k , або відстані b_n між двома суміжними ділильними дисками, які встановлено у одному міжрядді коренеплодів, тобто:

$$P_{np} = \frac{b_k}{b_k - 2c_k} \left[\begin{array}{l} (\Gamma_{1k} \pm \Delta\Gamma_{1k})(U_{1z} \pm \Delta U_{1p})k_{1z} + \\ + (\Gamma_{2k} \pm \Delta\Gamma_{2k})(U_{2z} \pm \Delta U_{2p})k_{2z} +, \dots, + \\ + (\Gamma_{nk} \pm \Delta\Gamma_{nk})(U_{nz} \pm \Delta U_{np})k_{nz} \end{array} \right]; \quad (2.15)$$

$$M_{np} = \frac{b_k}{b_n} \left[\begin{aligned} &(\Gamma_{1k} \pm \Delta\Gamma_{1k})(U_{1z} \pm \Delta U_{1p})k_{1z} + \\ &+(\Gamma_{2k} \pm \Delta\Gamma_{2k})(U_{2z} \pm \Delta U_{2p})k_{2z} + \dots + \\ &+(\Gamma_{nk} \pm \Delta\Gamma_{nk})(U_{nz} \pm \Delta U_{np})k_{nz} \end{aligned} \right]. \quad (2.16)$$

Для зручності практичного застосування залежностей (2.12), (2.15) і (2.16) можна прийняти умову, що густина насаджень $\Gamma_{ik} \pm \Delta\Gamma_{ik}$ коренеплодів та урожайність гички $U_{ip} \pm \Delta U_{ip}$ коренеплодів і поправочний коефіцієнт k_{iz} кожного i -го рядка дорівнюють середнім значення для певного сорту коренеплодів, або

$$\Gamma_{ik} \pm \Delta\Gamma_{ik} = \Gamma_k \pm \Delta\Gamma_k; \quad U_{ip} \pm \Delta U_{ip} = U_p \pm \Delta U_p; \quad k_{iz} = k_z. \quad (2.17)$$

Тоді залежності (2.12), (2.15) і (2.16) набудуть вигляду:

$$\Pi_p = \left(\frac{dL_M}{dt} \right) b_k t k_z n_k (\Gamma_k \pm \Delta\Gamma_k) (U_p \pm \Delta U_p); \quad (2.18)$$

$$M_{np} = \frac{\Pi_p}{S_{b_n}} = \frac{b_k k_z}{b_k - 2c_k} (\Gamma_k \pm \Delta\Gamma_k) (U_p \pm \Delta U_p) = \frac{b_k k_z}{b_n} (\Gamma_k \pm \Delta\Gamma_k) (U_p \pm \Delta U_p). \quad (2.19)$$

За початкових умов $b_k = 0,45$ м, $k_{zc} = 0,9$, $c_k = 0,075$ м, або $b_n = 0,3$ м, $t = 1$ с, $n_k = 6$ шт. та згідно з рівняннями (2.18) і (2.19) побудовано теоретичні залежності зміни, відповідно:

- секундної подачі Π_p (кг/с) зрізаної гички у міжряддя невикопаних коренеплодів як функція: $\Pi_p = f_{\Pi}(\mathcal{G}_M; U_p \pm \Delta U_p)$ та $\Pi_p = f_{\Pi}(\mathcal{G}_M; \Gamma_k \pm \Delta\Gamma_k)$, відповідно, рис. 2.4 та рис. 2.5;

- питомої маси M_{np} (кг/м²) зрізаної та укладеної гички в міжряддя невикопаних коренеплодів $M_{np} = f_M(\mathcal{G}_M; U_p \pm \Delta U_p)$, рис. 2.6.

На основі аналізу графічних побудов (рис. 2.4) встановлено, що:

- у межах зміни швидкості руху \mathcal{G}_M гичкозбирального модуля від 1,2 до 1,6 м/с та зміни урожайності гички $U_p \pm \Delta U_p = U_p \pm 0,2$ кг/м² секундна подача

гички Π_p , яку зрізано і подрібнено ножами роторного гичкоріза та укладено на поверхню поля у зону суміжних ділільних дисків, що розташовані в міжрядді невикопаних коренеплодів знаходиться у діапазоні:

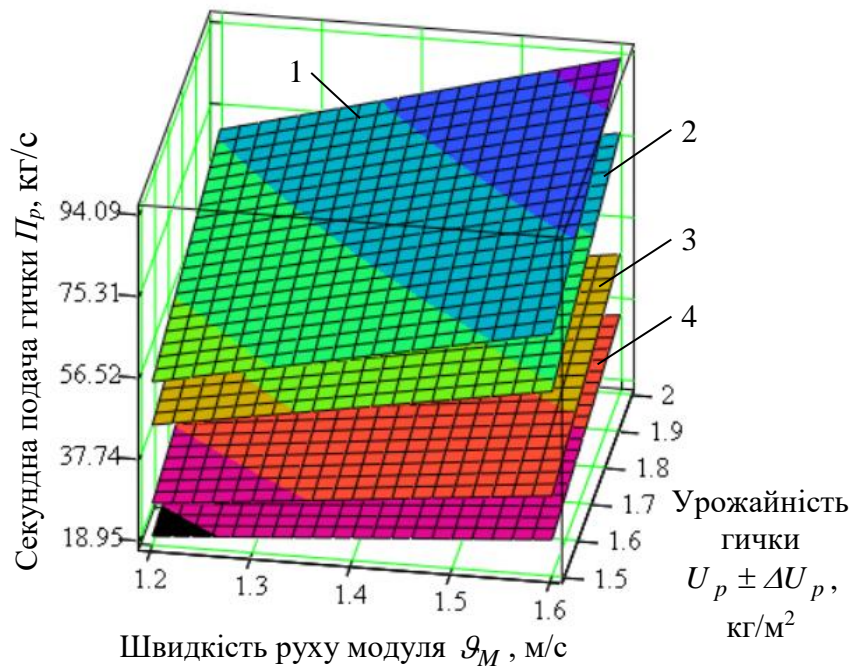


Рисунок 2.4 – Залежність зміни секундної подачі гички як функція $\Pi_p = f_{II}(\mathcal{Q}_M; U_p \pm \Delta U_p)$: 1 – $\Delta U_p = +0,2 \text{ кг/м}^2$, $\Gamma_k + \Delta\Gamma_k = 9 + 2 \text{ шт./м}^2$;

2 – $\Delta U_p = +0,2 \text{ кг/м}^2$, $\Gamma_k + \Delta\Gamma_k = 7 + 2 \text{ шт./м}^2$; 3 – $\Delta U_p = -0,2 \text{ кг/м}^2$,

$\Gamma_k - \Delta\Gamma_k = 9 - 2 \text{ шт./м}^2$; 4 – $\Delta U_p = -0,2 \text{ кг/м}^2$,

$\Gamma_k - \Delta\Gamma_k = 7 - 2 \text{ шт./м}^2$

- за зміни густоти насадження коренеплодів $\Gamma_k + \Delta\Gamma_k = 7 + 2 \text{ шт./м}^2$ – від 56,6 до 94,1 кг/с за кількості рядків коренеплодів $n_k = 6 \text{ шт.}$, поверхня 1;

- за зміни густоти насадження коренеплодів $\Gamma_k + \Delta\Gamma_k = 5 + 2 \text{ шт./м}^2$ – від 37,7 до 75,3 кг/с за кількості рядків коренеплодів $n_k = 6 \text{ шт.}$, поверхня 2.

- у межах зміни швидкості руху \mathcal{Q}_M гичкозбирального модуля від 1,2 до 1,6 м/с та зміни урожайності гички $U_p - \Delta U_p = U_p - 0,2 \text{ кг/м}^2$ секундна подача гички Π_p , яку зрізано ножами роторного гичкоріза та укладено на поверхню поля у зону ділільних дисків, що розташовані у міжрядді невикопаних коренеплодів знаходиться в діапазоні:

- за зміни густоти насадження коренеплодів $\Gamma_k - \Delta\Gamma_k = 9 - 2$ шт./м² – від 23,1 до 42,3 кг/с за кількості рядків коренеплодів $n_k = 6$ шт., поверхня 3;

- за зміни густоти насадження коренеплодів $\Gamma_k - \Delta\Gamma_k = 7 - 2$ шт./м² – від 18,9 до 34,7 кг/с за кількості рядків коренеплодів $n_k = 6$ шт., поверхня 4.

Ці функціональні закономірності зміни секундної подачі гички Π_p у міжряддя невикопаних коренеплодів підтверджуються також отриманими даними згідно з графічними залежностями, які наведено на рис. 2.7.

На основі аналізу графічних побудов (рис. 2.5) встановлено, що:

- у межах зміни швидкості руху \mathcal{G}_M гичкозбирального модуля від 1,2 до 1,6 м/с та зміни густоти насадження коренеплодів $\Gamma_k \pm \Delta\Gamma_k = \Gamma_k \pm 2$ секундна подача гички Π_p , яку зрізано і подрібнено ножами роторного гичкоріза та укладено на поверхню поля у зону суміжних ділільних дисків, що розташовані в міжрядді невикопаних коренеплодів знаходиться у діапазоні:

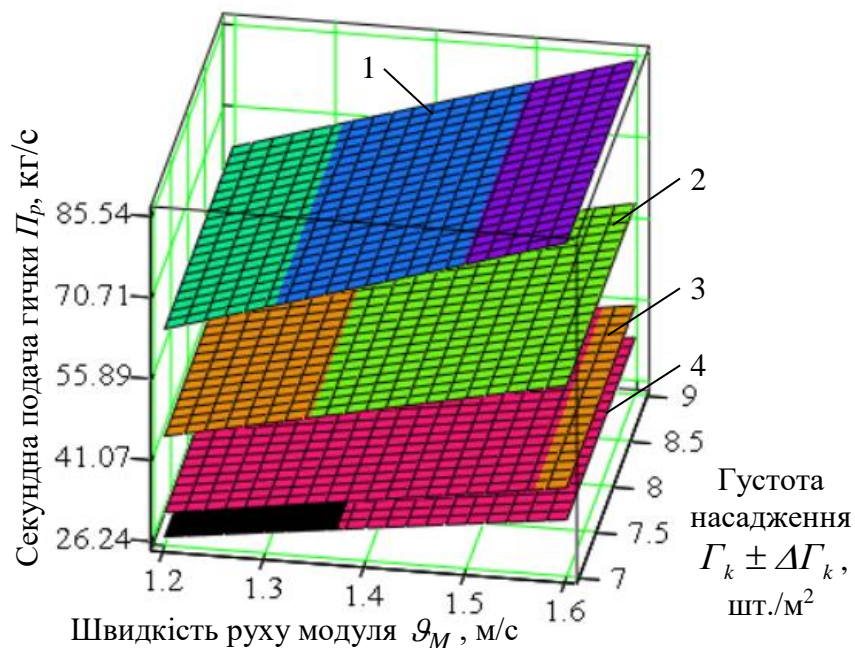


Рисунок 2.5 – Залежність зміни секундної подачі гички як функція $\Pi_p = f_{\Pi}(\mathcal{G}_M; \Gamma_k \pm \Delta\Gamma_k)$: 1 – $\Delta\Gamma_k = +2$ шт./м², $U_p + \Delta U_p = 1,8 + 0,2$ кг/м²;

$$2 - \Delta\Gamma_k = +2 \text{ шт./м}^2, U_p + \Delta U_p = 1,5 + 0,2 \text{ кг/м}^2;$$

$$3 - \Delta\Gamma_k = -2 \text{ шт./м}^2; U_p - \Delta U_p = 2,0 - 0,2 \text{ кг/м}^2;$$

$$4 - \Delta\Gamma_k = -2 \text{ шт./м}^2; U_p - \Delta U_p = 1,7 - 0,2 \text{ кг/м}^2$$

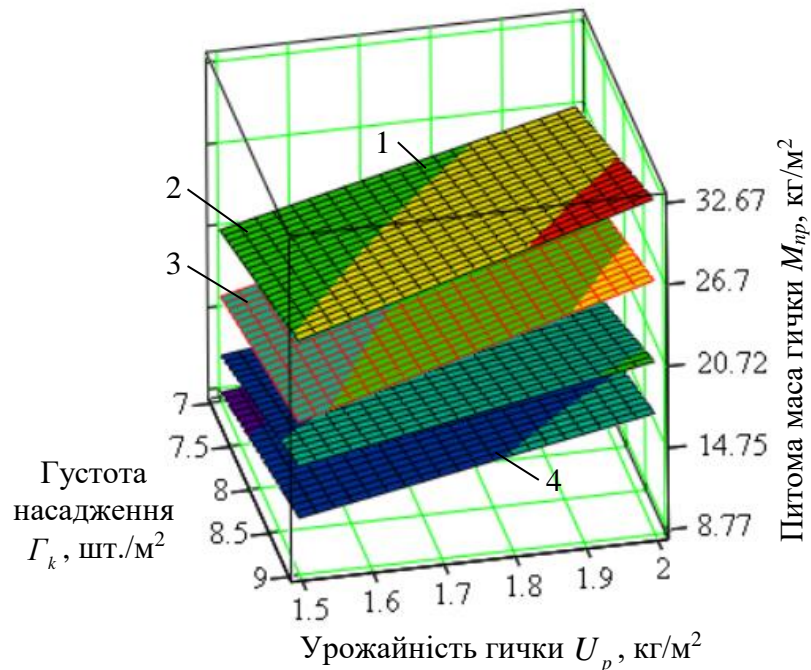


Рисунок 2.6 – Залежність зміни питомої маси гички як функція $M_{np} = f_M(\Gamma_k \pm \Delta\Gamma_k; U_p \pm \Delta U_p)$: 1 – $\Delta U_p = +0,2 \text{ кг/м}^2$, $\Delta\Gamma_k = +2 \text{ шт./м}^2$;
 2 – $\Delta U_p = -0,2 \text{ кг/м}^2$, $\Delta\Gamma_k = +2 \text{ шт./м}^2$; 3 – $\Delta U_p = +0,2 \text{ кг/м}^2$,
 $\Delta\Gamma_k = +2 \text{ шт./м}^2$; 4 – $\Delta U_p = -0,2 \text{ кг/м}^2$, $\Delta\Gamma_k = -2 \text{ шт./м}^2$

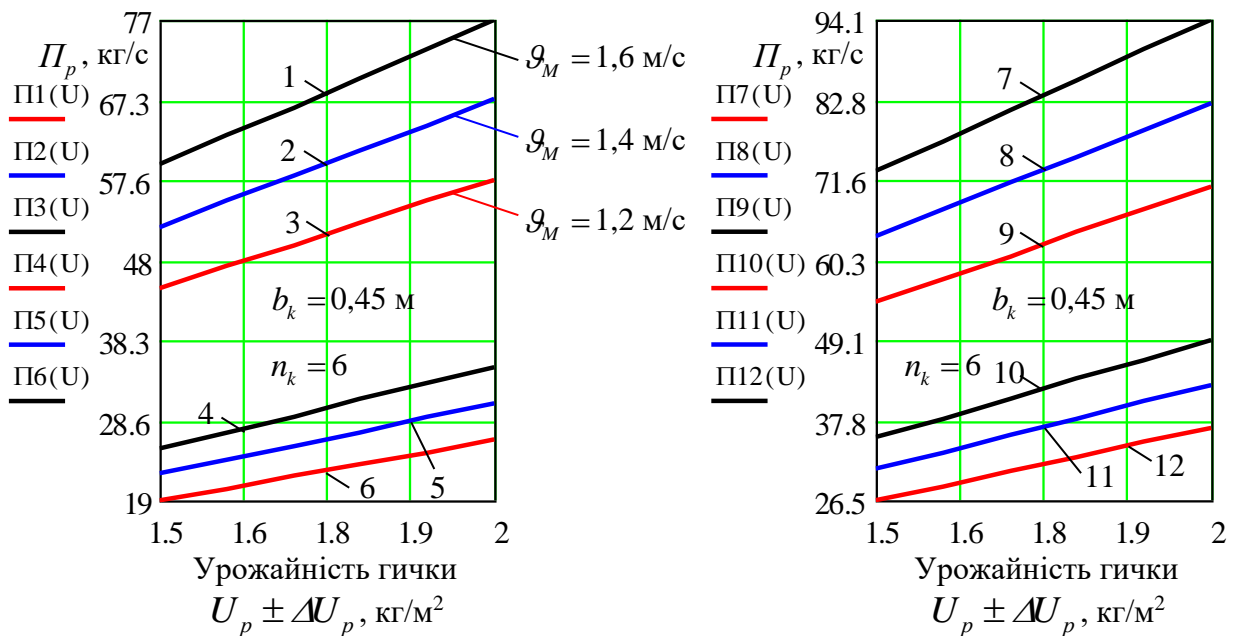


Рисунок 2.7 – Залежність зміни секундної подачі зрізаної гички як функція $\Pi_p = f_{\Pi}(U_p \pm \Delta U_p)$: 1, 2, 3 – $\Gamma_k + \Delta\Gamma_k = 7 + 2 \text{ шт./м}^2$, $U_p + 0,2 \text{ кг/м}^2$; 4, 5, 6 – $\Gamma_k + \Delta\Gamma_k = 7 + 2 \text{ шт./м}^2$, $U_p - 0,2 \text{ кг/м}^2$;
 7, 8, 9 – $\Gamma_k + \Delta\Gamma_k = 9 + 2 \text{ шт./м}^2$, $U_p + 0,2 \text{ кг/м}^2$;
 10, 11, 12 – $\Gamma_k + \Delta\Gamma_k = 9 + 2 \text{ шт./м}^2$, $U_p - 0,2 \text{ кг/м}^2$

- за зміни урожайності гички коренеплодів $U_p + \Delta U_p = 1,8 + 0,2$ кг/м² – від 53,7 до 85,5 кг/с за кількості рядків коренеплодів $n_k = 6$ шт., поверхня 1;

- за зміни урожайності гички коренеплодів $U_p + \Delta U_p = 1,5 + 0,2$ кг/м² – від 37,8 до 69,7 кг/с за кількості рядків коренеплодів $n_k = 6$ шт., поверхня 2.

- у межах зміни швидкості руху \mathcal{G}_M гичкозбирального модуля від 1,2 до 1,6 м/с та зміни урожайності гички $U_p - \Delta U_p = U_p - 0,2$ кг/м² секундна подача гички Π_p , яку зрізано ножами роторного гичкоріза та укладено на поверхню поля у зону ділільних дисків, що розташовані у міжрядді невикопаних коренеплодів знаходиться в діапазоні:

- за зміни урожайності гички коренеплодів $U_p - \Delta U_p = 2,0 - 0,2$ кг/м² – від 25,4 до 45,9 кг/с за кількості рядків коренеплодів $n_k = 6$ шт., поверхня 3;

- за зміни урожайності гички коренеплодів $U_p - \Delta U_p = 1,4 - 0,2$ кг/м² – від 21,9 до 39,3 кг/с за кількості рядків коренеплодів $n_k = 6$ шт., поверхня 4.

Ці функціональні закономірності зміни секундної подачі гички Π_p на незібране поле у міжряддя невикопаних коренеплодів підтверджуються також отриманими даними згідно з графічними залежностями, які наведено на рис. 2.8.

На основі аналізу графічних побудов, які наведено на рис. 2.6 було встановлено, що:

- у межах зміни урожайності гички $U_p + \Delta U_p = U_p + 0,2$ кг/м² питома маса гички M_{np} , яку зрізано ножами роторного гичкоріза та укладено на поверхню поля у зону ділільних дисків, що розташовані у міжрядді невикопаних коренеплодів знаходиться у діапазоні:

- за зміни густоти насадження коренеплодів $\Gamma_k + \Delta \Gamma_k = 9 + 2$ шт./м² – від 24,3 до 32,6 кг/м², поверхня 1;

- за зміни густоти насадження коренеплодів $\Gamma_k + \Delta \Gamma_k = 7 + 2$ шт./м² – від 18,5 до 26,7 кг/м², поверхня 2;

- у межах зміни урожайності гички $U_p - \Delta U_p = U_p - 0,2$ кг/м² питома маса гички M_{np} , яку зрізано ножами роторного гичкоріза та укладено на поверхню поля у зону ділільних дисків, що розташовані у міжрядді невикопаних коренеплодів знаходиться у діапазоні:

- за зміни густоти насадження коренеплодів $\Gamma_k - \Delta\Gamma_k = 9 - 2$ шт./м² – від 11,8 до 16,7 кг/м², поверхня 3;

- за зміни густоти насадження коренеплодів $\Gamma_k - \Delta\Gamma_k = 7 - 2$ шт./м² – від 8,7 до 12,7 кг/м², поверхня 4.

Ця закономірність констатації функціональної зміни питомої маси гички M_{np} , яку зрізано ножами роторного гичкоріза та укладено на поверхню поля в міжряддя невикопаних коренеплодів у зону ділільних дисків, підтверджується отриманими графічними даними, які наведено на рис. 2.9.

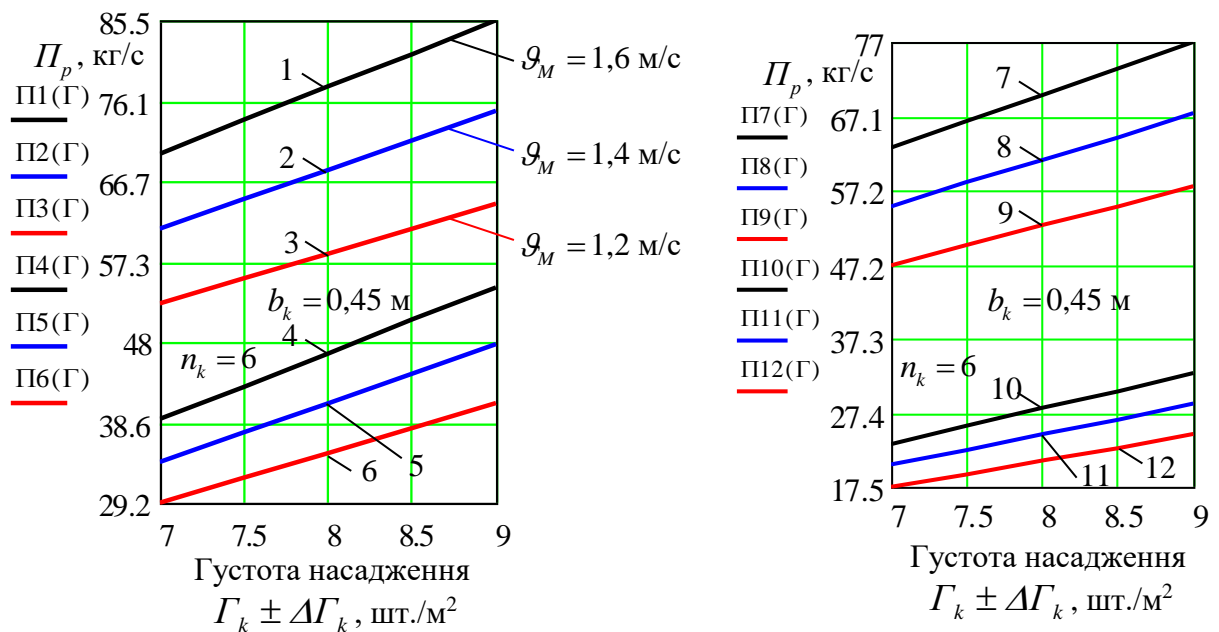


Рисунок 2.8 – Залежність зміни секундної подачі зрізаної гички як функція $P_p = f_{II}(\Gamma_k \pm \Delta\Gamma_k)$: 1, 2, 3 – $U_p + \Delta U_p = 1,8 + 0,2$ кг/м²,

$$\Gamma_k + \Delta\Gamma_k = \Gamma_k + 2 \text{ шт./м}^2; 4, 5, 6 – U_p + \Delta U_p = 1,2 + 0,2 \text{ кг/м}^2,$$

$$\Gamma_k - \Delta\Gamma_k = \Gamma_k - 2 \text{ шт./м}^2; 7, 8, 9 – U_p - \Delta U_p = 2,0 - 0,2 \text{ кг/м}^2,$$

$$\Gamma_k + \Delta\Gamma_k = \Gamma_k + 2 \text{ шт./м}^2 \text{ кг/м}^2; 10, 11, 12 – U_p - \Delta U_p = 1,4 - 0,2 \text{ кг/м}^2,$$

$$\Gamma_k - \Delta\Gamma_k = \Gamma_k - 2 \text{ шт./м}^2$$

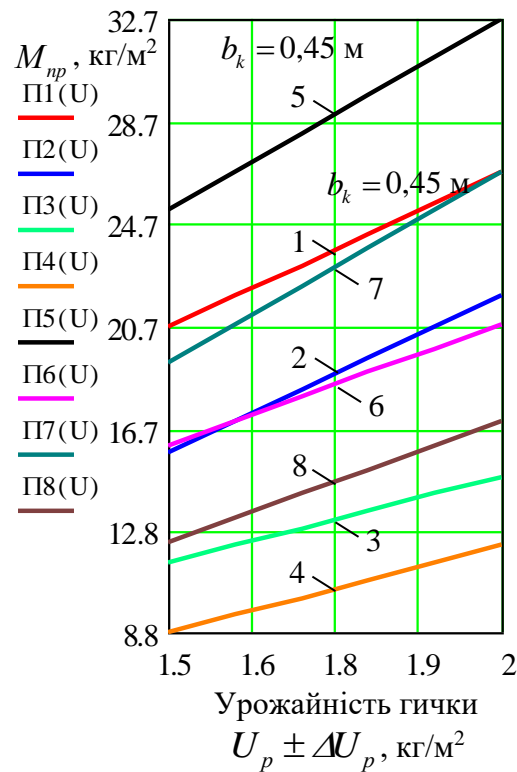


Рисунок 2.9 – Залежність зміни питомої маси гички як функція

$M_{np} = f_{II}(U_p \pm \Delta U_p)$: 1, 3 – $\Gamma_k + \Delta\Gamma_k = 7 + 2$ шт./м², відповідно, при $U_p + 0,2$ кг/м² та $U_p - 0,2$ кг/м²; 2, 4 – $\Gamma_k + \Delta\Gamma_k = 7 - 2$ шт./м², відповідно, при $U_p + 0,2$ кг/м² та $U_p - 0,2$ кг/м²; 5, 7 – $\Gamma_k + \Delta\Gamma_k = 9 + 2$ шт./м², відповідно, при $U_p + 0,2$ кг/м² та $U_p - 0,2$ кг/м²; 6, 8 – $\Gamma_k + \Delta\Gamma_k = 9 - 2$ шт./м², відповідно, при $U_p + 0,2$ кг/м² та $U_p - 0,2$ кг/м²

Функціональна зміна, як секундної подачі P_p , так і питомої подачі маси M_{np} зрізаної та подрібненої гички залежно від зміни складових правої частини рівняння (2.18) і (2.19), або залежно від зміни швидкості руху гичкозбирального модуля, урожайності гички та густоти насадження коренеплодів має лінійний, прямопропорційний характер.

Таким чином, за наявної середньої урожайності гички великорозмірних довгоплідних коренеплодів 170...190 ц/га, або відповідно, 1,7...1,9 кг/м², густоти насадження коренеплодів 8...10 шт./м² та усередненого значення робочої швидкості руху гичкозбирального модуля від 1,5 до 1,6 м/с середнє значення секундної подачі гички становить від 60 до 80 кг/с, а питомої маси укладеної гички в міжряддя невикопаних коренеплодів – від 25 до 30 кг/м².

Підставивши в формули (2.18) і (2.19) аналітичне значення поправочного коефіцієнта k_2 згідно з (1.2), отримаємо остаточні прикінцеві математичні залежності, які описують характер функціональної зміни секундної подачі та питомої маси зрізаної та подрібненої ножами роторного гичкоріза гички коренеплодів залежно від параметрів процесу, яка укладається на поверхню поля між двома суміжними ділильними дисками, що розміщені у міжряддях невикопаних коренеплодів:

$$\begin{aligned} \Pi_p = & \left(\frac{dL_M}{dt} \right) b_k t n_k (\Gamma_k \pm \Delta\Gamma_k) (U_p \pm \Delta U_p) - \\ & - \sum_{i=h_z}^n \left[k_{iz} f_c \left(\frac{h_i + h_{i+1}}{2} \right) \left(\frac{h_{i+1} - h_i}{3n} \sum_{j=0}^n c_j [f(h)] \right) \right]; \end{aligned} \quad (2.20)$$

$$\begin{aligned} M_{np} = & \frac{b_k}{b_k - 2c_k} (\Gamma_k \pm \Delta\Gamma_k) (U_p \pm \Delta U_p) - \sum_{i=h_z}^n \left[k_{iz} f_c \left(\frac{h_i + h_{i+1}}{2} \right) \left(\frac{h_{i+1} - h_i}{3n} \sum_{j=0}^n c_j [f(h)] \right) \right] = \\ = & \frac{b_k}{b_n} (\Gamma_k \pm \Delta\Gamma_k) (U_p \pm \Delta U_p) - \sum_{i=h_z}^n \left[k_{iz} f_c \left(\frac{h_i + h_{i+1}}{2} \right) \left(\frac{h_{i+1} - h_i}{3n} \sum_{j=0}^n c_j [f(h)] \right) \right], \end{aligned} \quad (2.21)$$

де n – кількість встановлених інтервалів поділу на класи зони висоти зрізування гички;

f_c – функція визначення залишків гички певного інтервалу розташування головок відносно рівня поверхні ґрунту;

h_i та h_{i+1} – межі зміни встановленого інтервалу;

c_j – відповідні члени ряду;

$f(h)$ – функція щільності нормального розподілення.

Таким чином, розроблені математичні моделі (2.18) і (2.19) на теоретичному рівні дозволяють прогнозувати загальну секундну подачу та питому масу зрізаної та укладеної у міжряддя невикопаних коренеплодів гички, яка розташовується у зоні між двома суміжними ділильними дисками, що встановлені між секціями Г-подібних ножів на барабані роторного гичкоріза.

Отримані дані є вихідними умовами для подальшого розрахунку та обґрунтування робочих органів для викопування та очищення коренеплодів.

2.2. Математичне моделювання процесу переміщення зрізаної гички в направляючому каналі

Показники якості зрізування гички коренеплодів ножами роторного гичкоріза та енергетичні показники переміщення зрізаної гички в більшості випадків визначаються вибором профілю дугоподібного кожуха, або адекватного профілю направляючого каналу.

Для математичного моделювання профілю направляючого каналу гичкозбирального модуля розглянемо складену розрахункову схему, яку наведено на рис. 2.9.

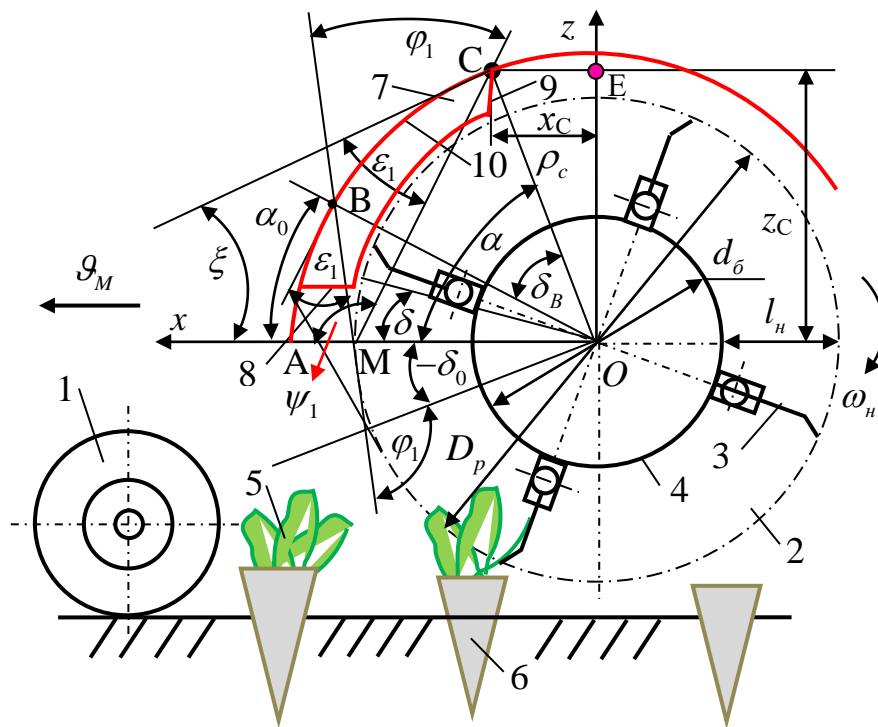


Рисунок 2.9 – Схема до розрахунку профілю направляючого каналу:
 1 – опорне колесо; 2 – роторний гичкоріз; 3 – Г-подібний ніж; 4 – барабан ротора; 5 – гичка коренеплодів; 6 – коренеплід; 7 – направляючий канал;
 8, 9 – вхідна та вихідна горловина відповідно; 10 – внутрішня бокова поверхня профілю направляючого каналу

Відомо, що гичка 5 (рис. 2.9) коренеплодів 6 зрізується ножами 3 роторного гичкоріза 2 на куті його повороту, який близький до кута рівного $\pi/2$ [65, 84], після чого вона за рахунок тиску повітряного потоку, який створений

за рахунок обертання ножів роторного гичкоріза з кутовою швидкістю ω_n , переміщується до вхідної горловини 8 та співударяється з поверхню направляючого кожуха в різних її місцях (точках) по довжині профілю внутрішньої поверхні 10 направляючого каналу 7.

Тому необхідно, щоб по всій довжині профілю внутрішньої поверхні направляючого каналу виконувалася умова, яка забезпечує гарантований післяударний рух гички та її вивантаження через вихідний отвір 9 (точка С) направляючого каналу до фартуха (на схемі фартух не показано).

Рівняння профілю направляючого каналу находимо з умови, за якої мінімальна за геометричними розмірами зрізана ножем гичка (або гичка мінімальної маси) сходила з поверхні ножа при повороті роторного гичкоріза на заданий кут повороту, а вся наступна гичка більших геометричних розмірів (або гичка більшої маси) – при повороті роторного гичкоріза на кут повороту більший за заданий на мінімальне значення.

Зрізана ножами ротора гичка з доударною швидкістю польоту \mathcal{G}_0 , співударяючись з поверхнею направляючого каналу, втрачає частину своєї кінетичної енергії згідно з теорією удару [126] та набуває післяударну швидкість руху \mathcal{G}_n , яка визначається за формулою

$$\mathcal{G}_n = \frac{dL_B}{dt} = \mathcal{G}_0 \left[\cos \varepsilon_1 - (1 - k_g) f_m \sin \varepsilon_1 \right], \quad (2.22)$$

де L_B – переміщення зрізаної частинки гички, м;

\mathcal{G}_0 – швидкість польоту зрізаної гички до співудару з поверхнею направляючого каналу, м/с;

ε_1 – кут між напрямком вектора доударної швидкості \mathcal{G}_0 та дотичною до профілю направляючого каналу в точці удару, град.

k_g – коефіцієнт відновлення до ударної швидкості;

f_m – коефіцієнт тертя гички по матеріалу внутрішньої поверхні направляючого каналу.

Приймаючи час удару гички безкінцево малим [126] за якого $k_g = 0$ з рівняння (2.22) визначаємо значення кута ε_1 , за якого можливий рух гички після її співару з поверхнею направляючого каналу, при цьому

$$\varepsilon_1 < (\pi / 2) - \varphi_m, \quad (2.23)$$

де φ_m – кут тертя гички по матеріалу направляючого каналу, рад.

У разі неоптимального вибору профілю направляючого каналу частина зрізаної ножами роторного гичкоріза гички може, не досягаючи вихідної горловини, розкидатися по поверхні поля у захисну зону рядка коренеплодів.

Цей недолік при виконанні умови (2.23) усувається шляхом збільшення кутової швидкості ω_n ножів і, як наслідок, швидкості \mathcal{Q}_0 . Проте на практиці кутову швидкість ω_n ножів встановлюють з умови забезпечення якісного безпідпирного зрізування гички. Будь-яке ж збільшення ω_n призводить до зростання споживаної роторним гичкорізом потужності на опір повітря та надання додаткової кінетичної енергії гичці. Тому нормальне збирання гички повинно досягатися не за рахунок збільшення оборотів ножа, а обґрунтуванням профілю направляючого каналу.

Для подальшого аналізу розглянемо процес руху гички по поверхні направляючого каналу та визначимо сили, які діють на частинку гички масою m_2 згідно з наведеним рис. 2.10.

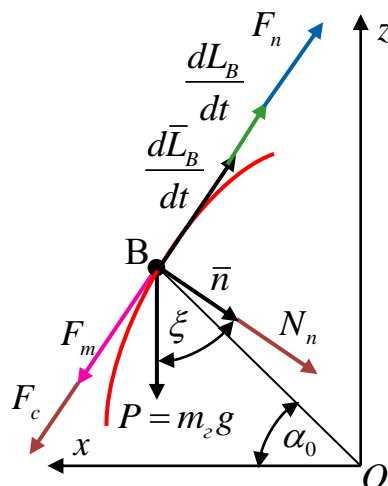


Рисунок 2.10 – Схема сил, які діють на частинку гички під час її руху

При цьому на частинку гички масою m_2 діють такі сили: сила тяжіння частинки маси гички $P = m_2 g$, Н; сила тертя гички по внутрішній поверхні направляючого каналу F_m , Н; сила нормальної реакції N_n , Н; сила дії повітряного потоку F_n , Н; сила опору повітряного середовища F_c , Н.

Складемо диференціальні рівняння руху частинки зрізаної гички в формі рівнянь Ейлера [127] для загального випадку:

$$\left. \begin{aligned} m_2 \frac{d\mathcal{G}}{dt} &= F_n - F_m - F_c - m_2 g \sin \xi; \\ m_2 \rho_k \left(\frac{dL_B}{dt} \right)^2 &= N_n + m_2 g \cos \xi \end{aligned} \right\}, \quad (2.24)$$

де \mathcal{G} – швидкість руху частинки гички, м/с;

$d\mathcal{G}/dt$ – прискорення руху частинки гички, м/с²;

ξ – кут між дотичною до профілю направляючого каналу та віссю Ox , град.;

ρ_k – кривина кривої профілю направляючого каналу.

При цьому:

- кривина кривої ρ_k профілю направляючого каналу визначається за формулою [128]

$$\rho_k = \frac{|\frac{d^2y}{dx^2}|}{\sqrt{1 + \left(\frac{dy}{dx}\right)^2}} = \frac{|\frac{d^2y}{dx^2}|}{\left(\frac{dx}{ds} + \frac{dy}{ds}\right) \sqrt{1 + \left(\frac{dy}{dx}\right)^2}}; \quad (2.25)$$

- сила дії повітряного потоку F_n визначається за формулою [129]

$$F_n = 0,5 k_o S_2 \gamma_n \left(\mathcal{G}_{n.n} - \frac{dL_B}{dt} \right)^2 \operatorname{sign} \left(\mathcal{G}_{n.n} - \frac{dL_B}{dt} \right), \quad (2.26)$$

де k_o – коефіцієнт аеродинамічного опору;

S_2 – площа перерізу Міделя, або площа січення гички, м²;

γ_n – щільність повітря, кг/м³;

$\mathcal{G}_{n.n}$ – швидкість повітряного потоку, м/с;

- сила опору повітряного середовища F_c визначається за формулою [130]

$$F_c = 0,5k_o S_z \gamma_n \left(\frac{dL_B}{dt} \right)^2. \quad (2.27)$$

Приймаємо умову, що дія сили повітряного потоку F_n направлена в сторону переміщення частинки гички, тобто F_n є позитивною силою.

Тоді з врахуванням швидкості витання частинки \mathcal{G}_g (м/с), яка визначається за формулою $\mathcal{G}_g = \sqrt{2m_z g / k_o S_z}$ [131] залежність (2.26) набуде вигляду

$$F_n = m_z g \left(\mathcal{G}_{n.n} - \frac{dL_B}{dt} \right)^2 \operatorname{sign} \left(\mathcal{G}_{n.n} - \frac{dL_B}{dt} \right) / \mathcal{G}_g^2, \quad (2.28)$$

або

$$F_n = \frac{k_o S_z}{2} \left(\mathcal{G}_{n.n} - \frac{dL_B}{dt} \right)^2 \operatorname{sign} \left(\mathcal{G}_{n.n} - \frac{dL_B}{dt} \right), \quad (2.28^*)$$

Силу нормальної реакції N_n визначимо з другого рівняння системи (2.24), враховуючи, що $F_m = f_m N_n$. При цьому отримаємо:

$$N_n = m_z k_o \left(\frac{dL_B}{dt} \right)^2 - m_z g \cos \xi. \quad (2.29)$$

$$F_m = m_z f_m \left(k_o \left(\frac{dL_B}{dt} \right)^2 - g \cos \xi \right). \quad (2.30)$$

Тоді підставивши (2.26) – (2.30) у першу залежність системи (2.24), отримаємо диференціальне рівняння руху частинки гички, зрізаної Г-подібними ножами роторного гичкоріза у направляючому каналі, де порядок перетворення та спрощення залежності (2.31) наведено у додатку В.1.2

$$\frac{d\mathcal{G}}{dt} = \frac{k_o S_z \gamma_n}{2m_z} g \left(\mathcal{G}_{n.n} - 2\mathcal{G}_{n.n} \frac{dL_B}{dt} \right) \operatorname{sign} \left(\mathcal{G}_{n.n} - \frac{dL_B}{dt} \right) - f_m \left[k_o \left(\frac{dL_B}{dt} \right)^2 - g \left(\cos \xi - \frac{\sin \xi}{f_m} \right) \right], \quad (2.31)$$

або

$$\frac{d\vartheta}{dt} = \frac{k_o S_z \gamma_n}{2m_z} g(\vartheta_{n.n} - 2\vartheta_{n.n} \vartheta) \operatorname{sign}(\vartheta_{n.n} - \vartheta) - f_m \left[k_o \vartheta^2 - g \left(\cos \xi - \frac{\sin \xi}{f_m} \right) \right]. \quad (2.31)$$

Розроблене диференціальне рівняння (2.31) є вихідним положенням для подальшої розробки профілю внутрішньої поверхні направляючого каналу.

Відомо, що залежно від умов і характеру впливу частинок матеріалу на поверхню дотику та їх руху можуть бути змодельовані наступні види поверхонь, по яких транспортується матеріал [83]: рівних післяударних швидкостей; рівних швидкостей руху матеріалу; постійної кривизни; рівного тиску; вільного польоту матеріалу, рівноуповільнених швидкостей, а також у вигляді пневмотранспортера з нагнітаючим робочим пристроєм.

У нашому випадку для переміщення зрізаної і подрібненої гички 5 (рис. 2.9) коренеплодів 6 по внутрішній боковій поверхні 10 у задану точку С, або вивантаження гички через вихідну горловину 9 направляючого каналу 7 найбільш прийнятним є профіль поверхні направляючого каналу за принципом рівних післяударних швидкостей і рівних швидкостей руху зрізаної гички [132].

Дані профілі дозволяють мати післяударну швидкість частинки в будь-якій точці на поверхні направляючого каналу, рівну швидкості частинок, що рухаються по поверхні та пройшли певний відрізок шляху. Таким чином, незалежно від кута сходження зрізаної гички коренеплодів з Г-подібних ножів роторного гичкоріза в будь-якій точці направляючого каналу забезпечується сталість швидкостей всіх частинок гички.

Такий профіль направляючого каналу за мінімальної висоти і, відповідно, мінімізованої матеріаломісткості забезпечує надійне транспортування зрізаної маси гички і її вивантаження через вихідну горловину до фартуха.

На першому етапі розглянемо розробку профілю направляючого каналу за принципом рівних післяударних швидкостей.

Приймаємо умову руху зрізаної гички згідно з (2.23) та те, що гичка 5 (рис. 2.9) коренеплодів 6 зрізується ножами 3 роторного гичкоріза 2 на куті його повороту, який близький до кута рівного $\pi/2$. При цьому зрізана гичка має різну довжину різання та під час свого переміщення до вихідної горловини

співударяється з поверхнею направляючого каналу в різних точках, які належать площині його профілю по всій довжині.

Рівняння профілю направляючого каналу за принципом рівних післяударних швидкостей визначимо із умови, за якої кут профілю ε_1 (рис. 2.9) є постійним по всій довжині профілю та менший за граничний [133].

Згідно з рис. 2.9 маємо такі співвідношення:

$$\begin{cases} \psi_1 = \pi - \varepsilon_1 - \xi = \varphi_1 + \delta; \\ x = 0,5D_p \cos \delta + \frac{z - 0,5d_\delta + l_n}{\operatorname{tg}(\varphi_1 + \delta)}, \end{cases} \quad (2.32)$$

де φ_1 – кут між напрямком вильоту гички з Г-подібного ножа та діаметром роторного гичкоріза D_p , град.;

δ – кут повороту Г-подібного ножа, або ротора гичкоріза, град.;

d_δ – діаметр барабана роторного гичкоріза, м;

l_n – довжина Г-подібного ножа, м.

$$\operatorname{tg} \xi = -dz / dx. \quad (2.33)$$

Враховуючи першу рівність (2.32) формула (2.33) набуде вигляду

$$dz / dx = \operatorname{tg}(\varepsilon_1 + \varphi_1 + \delta). \quad (2.34)$$

Запишемо диференціальне рівняння (2.34) у полярних координатах, при цьому

$$x = \rho_c \cos \alpha; \quad z = \rho_c \sin \alpha, \quad (2.35)$$

де $\rho_c = OC$ – радіус-вектор точки C , м;

α – кут між радіусом-вектором точки C та віссю Ox , град.

Тоді, враховуючи (2.34) і (2.35) друга рівність (2.32) після перетворення матиме вигляд

$$\varphi_1 + \delta = \alpha + \operatorname{arcsin} \left(\frac{(d_\delta + l_n) \sin \varphi_1}{2\rho_c} \right), \quad (2.36)$$

а диференціальне рівняння (2.34) із врахуванням отриманої залежності (2.36) та після проведення математичного перетворення і спрощення запишеться у вигляді

$$\frac{dz}{dx} = \frac{\left(1 + \frac{1}{\rho_c} \frac{d\rho_c}{d\alpha} \operatorname{tg}\alpha\right)}{\frac{1}{\rho_c} \frac{d\rho_c}{d\alpha} \operatorname{tg}\alpha}. \quad (2.37)$$

Із врахуванням залежностей (2.34) – (2.36) та після перетворення і спрощення рівняння (2.37), отримаємо диференціальне рівняння з розділними перемінними, або

$$\frac{d\rho_c}{d\alpha} = \rho_c \frac{\sqrt{\rho_c^2 - (0,5d_{\bar{o}} + l_n)^2 \sin^2 \varphi_1} - (0,5d_{\bar{o}} + l_n) \sin \varphi_1 \operatorname{tg} \varepsilon_1}{(0,5d_{\bar{o}} + l_n) \sin \varphi_1 + \operatorname{tg} \alpha_1 \sqrt{\rho_c^2 - (0,5d_{\bar{o}} + l_n)^2 \sin^2 \varphi_1}}. \quad (2.38)$$

Інтегруємо диференціальне рівняння (2.38) у межах границь інтегрування:

- лівої частини від α_0 до α , а
- правої частини від $MC = \rho_{c0}$ до ρ .

При цьому перетворимо вираз (2.38) таким чином

$$d\rho_c = \rho_c \frac{\sqrt{\rho_c^2 - (0,5d_{\bar{o}} + l_n)^2 \sin^2 \varphi_1} - (0,5d_{\bar{o}} + l_n) \sin \varphi_1 \operatorname{tg} \varepsilon_1}{(0,5d_{\bar{o}} + l_n) \sin \varphi_1 + \operatorname{tg} \alpha_1 \sqrt{\rho_c^2 - (0,5d_{\bar{o}} + l_n)^2 \sin^2 \varphi_1}} d\alpha, \quad (2.39)$$

або

$$d\alpha = \frac{\left[(0,5d_{\bar{o}} + l_n) \sin \varphi_1 + \operatorname{tg} \varepsilon_1 \sqrt{\rho_c^2 - (0,5d_{\bar{o}} + l_n)^2 \sin^2 \varphi_1} \right] d\rho_c}{\rho_c \sqrt{\rho_c^2 - (0,5d_{\bar{o}} + l_n)^2 \sin^2 \varphi_1} - (0,5d_{\bar{o}} + l_n) \sin \varphi_1 \operatorname{tg} \varepsilon_1}. \quad (2.39^*)$$

Після інтегрування правої та лівої частини виразу (2.39*), отримаємо рівняння профілю кривини поверхні направляючого каналу в полярних координатах, де порядок перетворення та спрощення рівняння (2.40) наведено у додатку В.2.2

$$\alpha = \alpha_0 + tg \varepsilon_1 \ln \left| \frac{\sqrt{\rho_c^2 - (0,5d_{\delta} + l_n)^2 \sin^2 \varphi_1 - (0,5d_{\delta} + l_n) \sin \varphi_1 tg \varepsilon_1}}{\sqrt{\rho_{c0}^2 - (0,5d_{\delta} + l_n)^2 \sin^2 \varphi_1 - (0,5d_{\delta} + l_n) \sin \varphi_1}} \right| +$$

$$+ \arccos \frac{(0,5d_{\delta} + l_n) \sin \varphi_1}{\rho_c} - \arccos \frac{(0,5d_{\delta} + l_n) \sin \varphi_1}{\rho_{c0}} \quad (2.40)$$

Для спрощення рівняння (2.40) позначимо у ньому складову виразу $(0,5d_{\delta} + l_n) \sin \varphi_1$ через Θ , тобто $(0,5d_{\delta} + l_n) \sin \varphi_1 = \Theta$.

Тоді рівняння (2.40) матиме вигляд

$$\alpha = \alpha_0 + tg \varepsilon_1 \ln \left| \frac{\sqrt{\rho_c^2 - \Theta^2 - \Theta tg \varepsilon_1}}{\sqrt{\rho_{c0}^2 - \Theta^2 - \Theta}} \right| + \arccos \frac{\Theta}{\rho_c} - \arccos \frac{\Theta}{\rho_{c0}} \quad (2.41)$$

У рівняння (2.41) невизначеним є лише кут профілю поверхні ε_1 направляючого каналу. Цей кут ε_1 регламентує положення за якого частинки зрізаної гички масою m_2 , які знаходяться в найгіршому стані при надходженні до внутрішньої поверхні направляючого каналу, як до поверхні вхідної горловини з параметрами ρ_{c0} , α_0 , так і до поверхні вихідної горловини з параметрами ρ_c , α завжди мали умову, за якої $\mathcal{G} > 0$ та $N_n > 0$.

Визначення кута профілю поверхні ε_1 направляючого каналу проведемо наступним чином. Запишемо рівняння прискорення руху частинки зрізаної гички масою m_2 у полярних координатах

$$\frac{d^2 \rho_c}{dt^2} \cos \alpha = \frac{k_o S_e \gamma_n}{2m_2} g (\mathcal{G}_{n.n} - 2\mathcal{G}_{n.n} \rho_c \cos \alpha) \operatorname{sign}(\mathcal{G}_{n.n} - \rho_c \cos \alpha) -$$

$$- f_m \left[k_o \rho_c^2 \cos^2 \alpha - g \left(\cos \xi - \frac{\sin \xi}{f_m} \right) \right] \quad (2.42)$$

Враховуючи (2.41) та після перетворення і спрощення, отримаємо

$$\frac{d^2 \rho_c}{dt^2} = \left(\frac{d \rho_c}{dt} \right)^2 \frac{\Theta (\Theta + tg \varepsilon_1 \sqrt{\rho_c^2 - \Theta^2} - f_m \rho_c^2 tg \varepsilon_1)}{\rho_c \sqrt{\rho_{c0}^2 - \Theta^2} (\sqrt{\rho_{c0}^2 - \Theta^2} - \Theta tg \varepsilon_1)} - \frac{g}{\rho_c (\sqrt{\rho_{c0}^2 - \Theta^2} - \Theta tg \varepsilon_1)} \times$$

$$\times \left[(\sqrt{\rho_{c0}^2 - \Theta^2} - \Theta tg \varepsilon_1) (\sin \alpha + f \cos \alpha) - (\Theta + tg \varepsilon_1 \sqrt{\rho_{c0}^2 - \Theta^2}) (\sin \alpha - \cos \alpha) \right] \quad (2.43)$$

Необхідно зазначити, що кут α , або кут між радіусом-вектором точки C та віссю Ox визначається із рівняння (2.41).

При цьому початковими вихідними умовами є

$$\left. \begin{aligned} \rho_{c0} &= R_p + b_k + \Delta_{min}; \quad \alpha_0 = \varphi_1 + \delta_0 \arcsin(\Theta / \rho_{c0}); \\ \delta_0 &\leq 0; \quad \rho_{co} = \rho_n \left[(\rho_c^2 - \Theta^2 - \Theta \operatorname{tg} \varepsilon_1) / \rho_{co} \sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \varepsilon_1} \right] (\cos \varepsilon_1 - f_m \sin \varepsilon_1) \end{aligned} \right\}, \quad (2.44)$$

де b_k – найбільша ширина направляючого каналу, м;

Δ_{min} – мінімально допустимий зазор між зовнішньою поверхнею направляючого каналу та твірною роторного гичкоріза, м;

δ_0 – кут повороту барабана роторного гичкоріза за якого відбувається сходження зрізаної гички з Γ -подібного ножа, град.

Згідно з поставленою задачею та умовою, за якої зрізана та подрібнена гичка 5 (рис. 2.9) коренеплодів 6 повинна безперешкодно переміститися в точку C , де гичка гарантовано буде вивантажуватися через вихідну горловину 9 направляючого каналу 7.

При цьому в точці C нормальна реакція N_{nC} внутрішньої поверхні 10 профілю направляючого каналу 7 може стрімко наближатися до нуля, або $N_{nC} \cong 0$.

За таких обставин, відповідно, і нормальний тиск P_{nC} в цій точці C також буде адекватно наближатися до нуля, або $P_{nC} \cong 0$.

Але наявність дії нормального тиску $P_{n(A-C)}$ на проміжку шляху від точки A до точки C , або на всьому шляху переміщення зрізаної та подрібненої гички коренеплодів до точки C гарантує умову її досягання цієї точки.

Ця умова забезпечується тільки тоді, коли нормальна реакція $N_{n(A-C)}$ на проміжку шляху від точки A до точки C буде більше нуля, або

$$N_n = m_z k_o \left(\frac{dL_B}{dt} \right)^2 - m_z g \cos \xi > 0, \quad (2.45)$$

при цьому також повинна виконуватися умова

$$\left(\frac{d\rho_c}{dt}\right)^2 \geq \frac{g\sqrt{\rho_c^2 - \Theta^2} \left(\sqrt{\rho_c^2 - \Theta^2} - \Theta \operatorname{tg} \varepsilon_1\right)^2}{\rho_c^3 v \sqrt{\rho_{c0}^2 - \Theta^2} (1 + \operatorname{tg}^2 \varepsilon_1)} \times \left[\left(\Theta + \operatorname{tg} \varepsilon_1 \sqrt{\rho_{c0}^2 - \Theta^2}\right) \sin \alpha - \left(\sqrt{\rho_{c0}^2 - \Theta^2} - \Theta \operatorname{tg} \varepsilon_1\right) \cos \alpha \right]. \quad (2.46)$$

Визначимо координати точки C . При цьому координати точки C визначаються відстанями x_C та z_C , які можуть бути знайдені із взаємного розташування роторного гичкоріза, зовнішньої поверхні профілю направляючого каналу та фартуха.

Згідно з прямокутним трикутником OCE маємо:

$$\begin{aligned} x_C &= \rho_c \sin(90 - \alpha) = \\ &= \rho_c \cos \alpha = \rho_c \alpha_0 + \operatorname{tg} \varepsilon_1 \ln \left| \frac{\sqrt{\rho_c^2 - \Theta^2} - \Theta \operatorname{tg} \varepsilon_1}{\sqrt{\rho_{c0}^2 - \Theta^2} - \Theta} \right| + \arccos \frac{\Theta}{\rho_c} - \arccos \frac{\Theta}{\rho_{c0}}; \\ z_C &= \rho_c \cos(90 - \alpha) = \\ &= \rho_c \sin \alpha = \rho_c \alpha_0 + \operatorname{tg} \varepsilon_1 \ln \left| \frac{\sqrt{\rho_c^2 - \Theta^2} - \Theta \operatorname{tg} \varepsilon_1}{\sqrt{\rho_{c0}^2 - \Theta^2} - \Theta} \right| + \arccos \frac{\Theta}{\rho_c} - \arccos \frac{\Theta}{\rho_{c0}} \end{aligned} \quad (2.47)$$

На другому етапі розглянемо розробку профілю направляючого каналу за принципом рівних швидкостей.

Така форма профілю дозволяє мати післяударну швидкість руху частинки зрізаної та подрібненої гички масою m_2 в будь-якій точці, яка належить внутрішній поверхні направляючого каналу, рівнозначну швидкості руху частинки гички, яка переміщується в направляючому каналі, проходячи при цьому деякий шлях.

За такої умови в будь-якій точці поверхні направляючого каналу забезпечується постійна величина швидкостей руху всіх i -тих частинок зрізаної гички масою m_{2i} незалежно від кута сходження гички з Γ -подібного ножа роторного гичкоріза. Застосування даного профілю направляючого каналу забезпечує гарантоване переміщення зрізаної та подрібненої гички Γ -подібними ножами роторного гичкоріза та її вивантаження через вихідну горловину за мінімальної висоти профілю та металомісткості направляючого каналу [133].

Форму профілю направляючого каналу визначимо із умови рівності швидкостей руху зрізаної і подрібненої гички 5 (рис. 2.9) коренеплодів 6, яка переміщується по внутрішній частині 10 направляючого каналу 7 та післяударної швидкості частинки зрізаної гички в будь-якій точці C , яка належить профілю кривої довжиною AC .

Згідно з (2.22) та прийнятої умови, що коефіцієнт відновлення доударної швидкості дорівнює нулю, або $k_g = 0$, післяударна швидкість руху частинки зрізаної гички коренеплодів для абсолютно непружного тіла буде визначатися за формулою

$$\mathcal{G}_n = \mathcal{G}_n (\cos \varepsilon_1 - f_m \sin \varepsilon_1), \quad (2.48)$$

де \mathcal{G}_n – колова швидкість руху Γ -подібного ножа, за якої відбувається сходження зрізаної частинки гички з його ріжучої поверхні, м/с.

Запишемо в (2.22) значення післяударної швидкості \mathcal{G}_n частинки зрізаної гички в будь-якій точці C , яка належить профілю кривої довжиною AC та її першої похідної $\frac{d\mathcal{G}_n}{dt}$, які визначимо з залежності (2.48).

При цьому маємо такі співвідношення:

$$\left\{ \begin{array}{l} \sin \xi = \frac{-\frac{dz}{dt}}{\sqrt{1 + \left(\frac{dz}{dt}\right)^2}}; \quad \cos \xi = \left(\sqrt{1 + \left(\frac{dz}{dt}\right)^2} \right)^{-1}; \\ k_g = \sqrt[3]{1 + \left(\frac{dz}{dt}\right)^2}; \quad \frac{d\mathcal{G}_n}{dt} = \frac{-\mathcal{G}(d\mathcal{G})}{\sqrt{1 + \left(\frac{dz}{dt}\right)^2} dx} \leq 0 \end{array} \right. \quad (2.49)$$

Визначимо в (2.49) значення z' , або швидкість переміщення частинки зрізаної гички відносно осі Oz та другої похідної z'' , або прискорення руху частинки гички відносно осі Oz

$$z' = \frac{dz}{dx}; \quad z'' = \frac{d^2z}{dx^2}. \quad (2.50)$$

Враховуючи (2.43) і (2.49), (2.50) та після перетворення і спрощення залежності, отримаємо диференціальне рівняння профілю направляючого каналу, який встановлено за принципом рівних швидкостей

$$\frac{d^2z}{dt^2} = \frac{-\sqrt{1 + \left(\frac{dz}{dt}\right)^2} \left[g \left(f_m + \frac{dz}{dt} \right) + \mathcal{G} \left(\sqrt{(x^2 + z^2) - (0,5D_p \sin \varphi_1)^2} \eta + 0,5D_p \sin \varphi_1 \lambda \right) \mu \right]}{(x^2 + z^2) \sqrt{(x^2 + z^2) - (0,5D_p \sin \varphi_1)^2} [\mathcal{G}(f_m \mathcal{G} + \mu)]}, \quad (2.51)$$

$$\text{де } \eta = z - x \frac{dz}{dt}; \quad \lambda = x + z \frac{dz}{dt};$$

$$\mu = \frac{\mathcal{G}_H \left[\begin{array}{l} f_m \left(\sqrt{(x^2 + z^2) - (0,5D_p \sin \varphi_1)^2} \left(x + z \frac{dz}{dt} \right) - \right) \\ -0,5D_p \sin \varphi_1 \eta \end{array} \right] - \left(\sqrt{(x^2 + z^2) - (0,5D_p \sin \varphi_1)^2} \left(z - x \frac{dz}{dt} \right) + 0,5D_p \sin \varphi_1 \left(x + z \frac{dz}{dt} \right) \right)}{\sqrt{1 + \left(\frac{dz}{dt}\right)^2} (x^2 + z^2)};$$

$$\mathcal{G} = \frac{\mathcal{G}_H \left[\begin{array}{l} f_m \left(\sqrt{(x^2 + z^2) - (0,5D_p \sin \varphi_1)^2} \left(x + z \frac{dz}{dt} \right) - \right) \\ -0,5D_p \sin \varphi_1 \eta \end{array} \right] + \left(\sqrt{(x^2 + z^2) - (0,5D_p \sin \varphi_1)^2} \left(z - x \frac{dz}{dt} \right) + 0,5D_p \sin \varphi_1 \left(x + z \frac{dz}{dt} \right) \right)}{\sqrt{1 + \left(\frac{dz}{dt}\right)^2} (x^2 + z^2)}.$$

Отримане диференціальне рівняння (2.51) буде забезпечувати рівність післяударної швидкості та швидкості руху частинки зрізаної гички масою m_z в будь-якій точці профілю внутрішньої поверхні направляючого кожуха незалежно від того, у якій точці частинки гички співударялися з цією поверхнею.

Таким чином, отримані диференціальні рівняння (2.43) та (2.51) є вихідними рівняннями, рішення яких відносно заданих конструктивно-кінематичних параметрів роторного гичкоріза дозволить визначити кутові параметри профілю направляючого каналу.

Диференціальне рівняння (2.43) профілю направляючого каналу вирішується за початкових умов (2.44). При цьому в диференціальному рівнянні (2.43) необхідно визначити раціональний кут $\varepsilon_{1рац.}$ за якого забезпечується переміщення зрізаної частинки гички по внутрішній боковій поверхні профілю направляючого каналу до його вихідної горловини в точку C .

Диференціальне рівняння (2.51) вирішується за початкових умов x_0 , z_0 і dz_0/dt та дотримання на кожному кроці інтегрування умови (2.45), за якої $N_n \geq 0$, або безвідривного руху частинок гички по поверхні профілю направляючого каналу.

Шляхом підстановки конструктивних і кінематичних параметрів роторного гичкоріза в розроблені диференціальні рівняння (2.43) і (2.51) та їх рішення методом Рунге-Кута за допомогою програмного забезпечення «Mathematica» для персонального комп'ютера було визначено кутові параметри профілю направляючого каналу.

У результаті рішення диференціальних рівнянь профілю направляючого каналу було встановлено, що за вхідних даних параметрів роторного гичкоріза, а саме діаметра роторного гичкоріза $D_p = 0,35...0,4$ м, частоти обертання роторного гичкоріза $\omega = 62,8$ рад/с (колова швидкість руху Γ -подібного ножа $\mathcal{G}_n = 11,0...12,6$ м/с), $\Delta_{min} = 0,045$ м, коефіцієнта тертя $f_m = 0,95$, кута $\varphi_1 = 85$ град, або кута між напрямком вильоту зрізаної гички з Γ -подібного ножа та біжучим радіусом роторного гичкоріза R_p , кута повороту Γ -подібного ножа, або роторного гичкоріза ($-\delta_0 = 8$ град.), раціональний кут між напрямком вектора доударної швидкості \mathcal{G}_0 та дотичною до профілю направляючого каналу в точці удару знаходиться в діапазоні $\varepsilon_{1рац.} = 30...35$ град.

За значення кута $\varepsilon_{1рац.} = 30...35$ град. початкова швидкість руху \mathcal{G}_0 зрізаної частинки гички знаходиться у діапазоні $\mathcal{G}_0 = 9,5...10,5$ м/с, а на виході з вихідної горловини $\mathcal{G}_c = 2,5...3,5$ м/с, при цьому час переміщення гички по направляючому каналу становить $0,15...0,2$ с.

За значення кута ε_1 більше ніж $30...35$ град. зрізана частинка гички буде відриватися від поверхні направляючого каналу перш ніж переміститися до точки *C*. При цьому можливий випадок коли частинка гички не буде досягати свого переміщення до вихідної горловини направляючого каналу.

Форма профілю направляючого каналу в значній мірі залежить від кута зіткнення ε_{10} зрізаної гички з поверхнею профілю направляючого каналу, де перевага повинна надаватися такому профілю за якого досягається мінімізація висоти вивантаження зрізаної гички через вихідну горловину направляючого каналу та, відповідно, мінімізація його металомісткості.

На рис. 2.11 наведено графічне відтворення залежності зміни дальності вертикального переміщення гички в направляючому каналі від зміни абсциси *Ox*, або зміни відстані від центра обертання *O* роторного гичкоріза.

Але при цьому повинен забезпечуватися компроміс між висотою направляючого каналу та габаритними розмірами послідовно встановлених за роторним гичкорізом інших робочих органів коренезбиральної машини при неухильному забезпеченні гарантованого переміщення зрізаної та подрібненої гички до фартуха, або забезпечення необхідної дальності польоту зрізаної гички.

На основі аналізу рис. 2.11 можна констатувати, що:

- мінімальна висота профілю $z_1 \leq 1$ м направляючого каналу досягається за кута зіткнення $\varepsilon_{10} = 35$ град., крива 1. Але згідно конструктивних особливостей і габаритних розмірів модулів для викопування коренеплодів [134, 135] їх габаритна висота завжди більше 1 м, тобто за такого профілю виникатимуть проблеми конструктивного характеру при проектуванні коренезбиральної техніки;

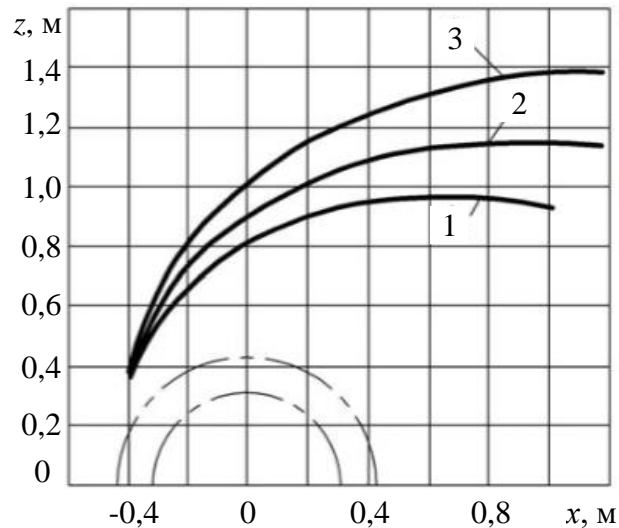


Рисунок 2.11 – Залежність зміни висоти транспортування зрізаної гички від абсциси x : 1, 2, 3 – відповідно, кут зіткнення $\varepsilon_{10} = 35^\circ, 25^\circ$ і 15°

- профіль, у якого кут зіткнення $\varepsilon_{10} = 15$ град. (крива 3) призводить до значного збільшення матеріаломісткості направляючого каналу та збільшення кутової швидкості ω роторного гичкоріза, або збільшення енергозатрат процесу;

- найбільш прийнятним є профіль, у якого кут зіткнення $\varepsilon_{10} = 25$ град. (крива 2), при цьому висота профілю направляючого каналу становить 1,2 м, яка є достатньою для вільного розміщення за роторним гичкорізом робочих органів наступного модулю для викопування коренеплодів.

2.3. Висновки до розділу

2.3.1. У межах зміни швидкості руху гичкозбирального модуля від 1,2 до 1,6 м/с, урожайності гички в межах 1,5...2,0 кг/м² (150...200 ц/га), густоти насадження коренеплодів в межах 5...11 шт./м² та за одночасного збирання коренеплодів з 6 рядків секундна подача та питома маса зрізаної та укладеної у зону між двома суміжними ділильними дисками, що розташовані в міжрядді невикопаних коренеплодів становить, відповідно, 9...94 кг/с та 8...32 кг/м².

2.3.2. За середньої урожайності гички великорозмірних довгоплідних коренеплодів 170...190 ц/га, або відповідно, 1,7...1,9 кг/м² та усередненого

значення робочої швидкості руху гичкозбирального модуля від 1,5 до 1,6 м/с середнє значення секундної подачі гички становить від 60 до 80 кг/с, питома подача гички – від 25 до 30 кг/м².

2.3.3. Встановлено, що за діаметра роторного гичкоріза 0,35...0,4 м, частоти обертання роторного гичкоріза 62,8 рад/с або колової швидкості Г-подібного ножа 11,0...12,6 м/с, кут між напрямком вильоту зрізаної гички з Г-подібного ножа та напрямком біжучого радіуса роторного гичкоріза становить 85 град., а раціональний кут між напрямком вектора доударної швидкості та дотичною до профілю направляючого каналу в точці удару знаходиться в діапазоні 30...35 град.

2.3.4. За значення кута $\varepsilon_{1рац.} = 30...35$ град. початкова швидкість руху зрізаної частинки гички знаходиться у діапазоні $\mathcal{V}_0 = 9,5...10,5$ м/с, а на виході з вихідної горловини $\mathcal{V}_c = 2,5...3,5$ м/с, при цьому час переміщення гички по направляючому каналу становить 0,15...0,2 с.

Основні наукові результати розділу опубліковано у працях [40, 118 – 120].

РОЗДІЛ 3

ПРОГРАМА ТА МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ГИЧКОЗБИРАЛЬНОГО МОДУЛЯ

3.1. Програма, об'єкт і предмет дослідження робочих органів гичкозбирального модуля

Згідно з сформульованою метою дисертаційної роботи та поставлених наукових завдань, а також для перевірки адекватності результатів теоретичних досліджень технологічного процесу зрізування основного масиву гички з головок коренеплодів і укладання подрібненої гички у міжряддя невикопаних коренеплодів, програма експериментальних досліджень була такою:

1. Розробити технічну документацію та виготовити удосконалені робочі органи експериментального зразка гичкозбирального модуля.

2. Провести польові експериментальні дослідження для розробки емпіричних моделей, які характеризують:

- функціональну залежність зміни секундної подачі та питомої маси основного масиву гички, яка зрізуються ножами роторного гичкоріза та укладається в міжряддя невикопаних коренеплодів залежно від основних параметрів процесу;

- залежність довжини різання головки коренеплодів лезом ріжучої кромки плоского ножа та плоского підпружиненого ножа з застосуванням маятникового копра;

3. Провести порівняльні польові дослідження показників якості роботи коренезбиральної машини для двох способів збирання основного масиву гички:

- укладання зрізаної гички в міжряддя невикопаних коренеплодів;
- укладання зрізаної гички в зону між двома суміжними ділильними дисками, що розташовані в міжрядді невикопаних коренеплодів.

Об'єктом дослідження експериментального зразка гичкозбирального модуля та його робочих органів є основні операції технологічного процесу

зрізування основного масиву гички та її укладання в зону між двома суміжними ділильними дисками, що розташовані в міжрядді невикопаних коренеплодів.

Предметом дослідження є конструктивно-кінематичні параметри робочих органів гичкозбирального модуля.

Реалізацію польових експериментальних досліджень проводили згідно з структурною схемою, яку наведено на рис. 3.1.

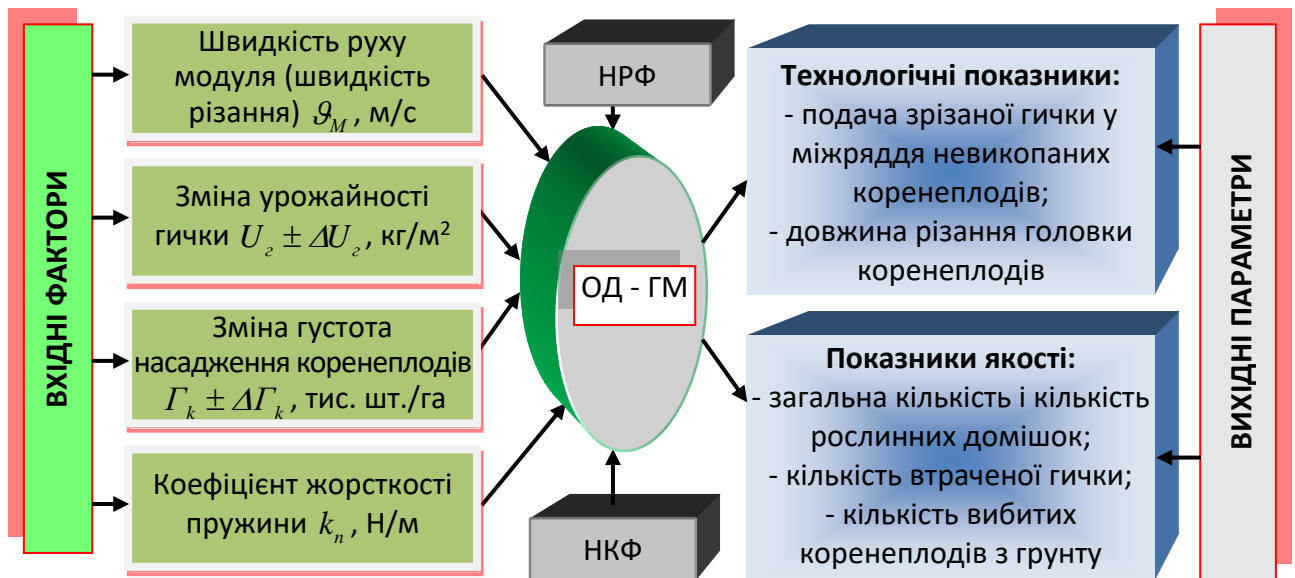


Рисунок 3.1 – Структурна модель проведення експериментальних досліджень гичкозбирального модуля

Вхідними змінними факторами структурної моделі об'єкту дослідження, або робочих органів гичкозбирального модуля є агробіологічні характеристики насаджень коренеплодів і основні конструктивно-кінематичні параметри робочих органів гичкозбирального модуля, а її вихідними величинами – основні технологічні показники подачі гички в міжряддя невикопаних коренеплодів і показники якості роботи.

Для реалізації експериментальних досліджень з визначення технологічної подачі зрізаної гички в міжряддя невикопаних коренеплодів застосовували розроблений макетний зразок удосконаленого гичкозбирального модуля.

Конструктивна схема гичкозбирального модуля наведена на рис. 1.30. Загальний вигляд експериментального макетного зразка гичкозбирального модуля наведено на рис. 3.2, рис. 3.3, додаток Г.1.1. Технічна характеристика та конструктивні особливості гичкозбирального модуля наведено в додатку Г.2.1.

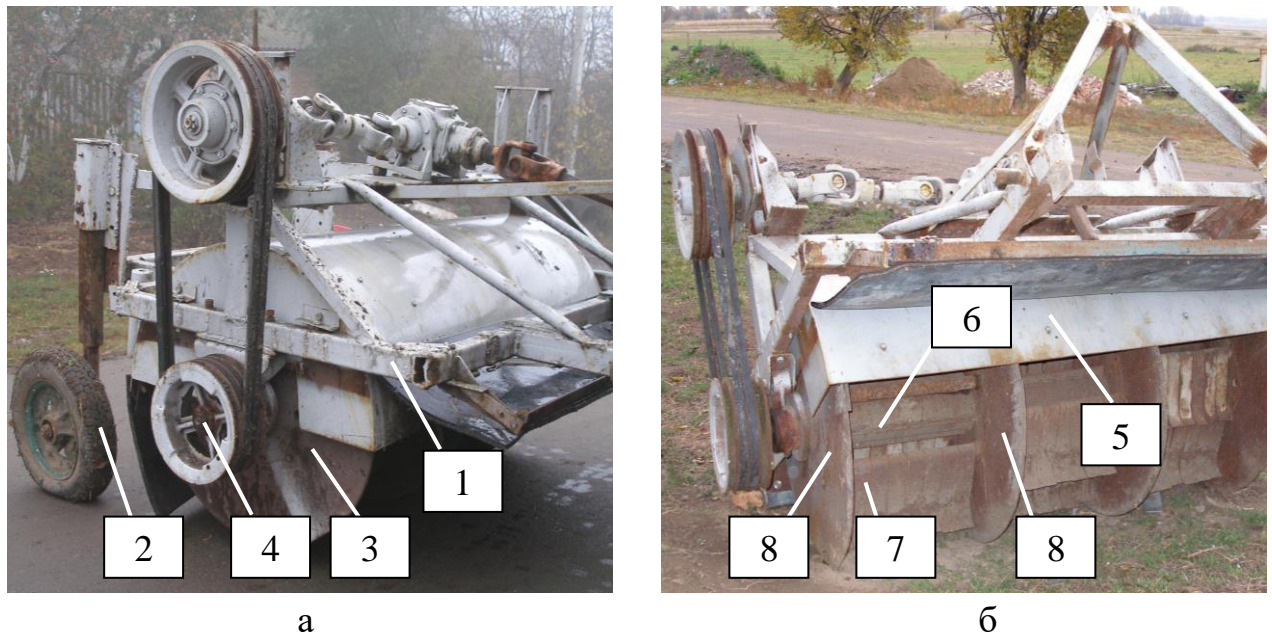


Рис. 3.2. Загальний вигляд гичкозбирального модуля:

а, б – вигляд збоку, спереду; 1 – рама; 2 – опорне колесо; 3 – роторний гичкоріз; 4 – клинопасова передача; 5 – направляючий кожух;
 б – барабан; 7 – Г-подібний ніж; 8 – ділильні диски

Гичкозбиральний модуль складається з рами 1 (рис. 3.2) на якій послідовно встановлено опорні колеса 2, горизонтальний роторний гичкоріз 3. Горизонтальний роторний гичкоріз виконано у вигляді барабана 6, на якому встановлено Г-подібні пластинчасті плоскі ножі 7 [41, 108].

Кожен Г-подібної форми пластинчастий ніж за допомогою опорних пластин, які закріплено на барабані роторного гичкоріза та пальця, встановлено шарнірно, а його радіальний поворот в шарніри обмежено упором.

На барабані роторного гичкоріза між суміжними Г-подібними ножами, або в одному міжрядді встановлено пару ділильних дисків 8.

Роторний гичкоріз за рахунок клинопасової передачі 4 обертається зустрічно напрямку руху гичкозбирального модуля з частотою обертання n_p , а висота зрізування основного масиву гички регулюється вертикальним переміщенням опорних коліс на рамі.

Над верхньою частиною периферії обертання роторного гичкоріза встановлено направляючий кожух 5, на внутрішній частині якого закріплено

боковини, які утворюють направляючий канал для транспортування зрізаної та подрібненої ножами роторного гичкоріза основного масиву гички коренеплодів. За вихідною горловиною направляючого каналу встановлено фартух.

Принцип роботи гичкозбирального модуля наступний.

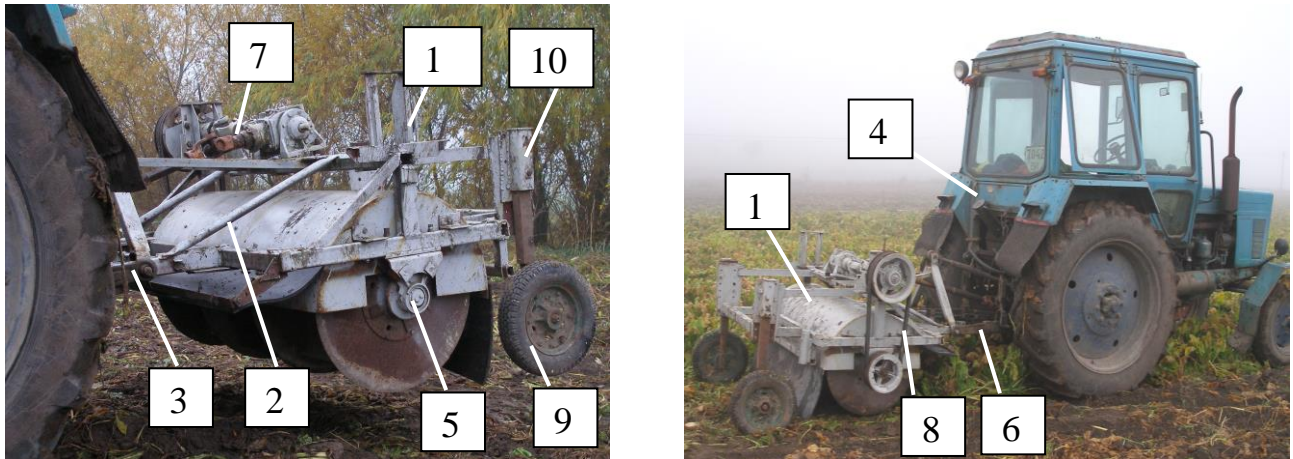


Рис. 3.3. Загальний вигляд агрегату «ГМ+МТЗ-82»: 1 – гичкозбиральний модуль; 2 – сниця; 3 – начіпна система трактора; 4 – трактор; 5 – роторний гичкоріз; 6 – ВВП трактора; 7 – привод роторного гичкоріза; 8 – клинопасова передача; 9 – опорне колесо; 10 – стояк; 11 – рама

Під час переміщення трактора 4 (рис. 3.3) та відповідно гичкозбирального модуля 1 вздовж рядків коренеплодів і обертання від ВВП трактора приводу 7 та передачі обертання приводу клинопасовій передачі 8, або відповідно, і барабану 8 (рис. 1.30) горизонтального роторного гичкоріза 3, Г-подібні ножі 9 зрізують основний масив гички та подають її за рахунок створеного повітряного потоку до вхідної горловини 6 направляючого каналу 5.

Далі зрізана гичка переміщується (транспортується) по траєкторії профілю направляючого каналу до його вихідної горловини 7, де відбувається вивантаження гички та її подальше переміщення до фартуха 11.

Після взаємодії гички з поверхнею фартуха вона переміщується на поле в міжряддя невикопаних коренеплодів у зону між двома суміжними ділильними дисками 10, що розташовані у одному міжрядді незібраних коренеплодів.

Для проведення експериментальних досліджень з визначення довжини різання L_d головок коренеплодів цикорію застосовували виготовлену польову експериментальну установку. На рис. 3.4 наведено конструктивну схему експериментальної установки, на рис. 3.5 – її загальний вигляд [136].

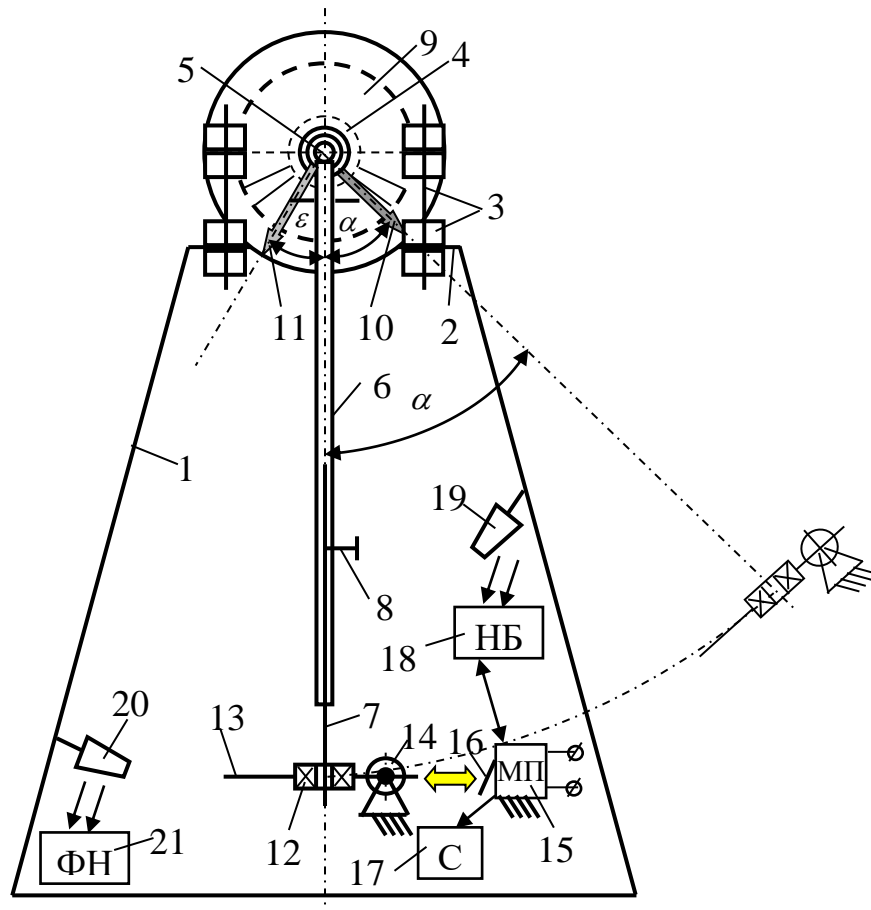


Рис. 3.4. Конструктивна схема експериментальної установки: 1 – станина; 2 – опорна плита; 3 – механізм регулювання; 4 – корпус з підшипником; 5 – поворотна вісь; 6 – маятник; 7 – подовжувач; 8 – фіксатор; 9 – шкала; 10, 11 – стрілка; 12 – корпус з підшипником; 13 – плоский ніж; 14 – пружина; 15 – мікроперемикач (МП); 16 – рухомий контакт; 17 – секундомір (С); 18 – ноутбук (НБ); 19 – відеокамера; 20 – відеореєстратор; 21 – флеш-накопичувач (ФН)

Експериментальна польова установка виконана у вигляді маятникового копра, який складається з станини 1 (рис. 3.4) на якій змонтовано опорну плиту 2. На опорній плиті встановлено механізм регулювання 3, який виконано у вигляді чотирьох гвинтових пар «болт-гайка», на які встановлено два корпуси з

підшипниками 4. У підшипники встановлено поворотну вісь 5, на торцеву частину якої посаджено маятник 6, в якому змонтовано подовжувач 7 і фіксатор 8. До переднього корпусу з підшипником закріплено градуйовану шкалу 9, яка має два рухомі та поворотні покажчики, які виконано у вигляді стрілок 10 і 11. Відповідні стрілки показують, на який кут відхилено маятник до різання (кут α) і на який кут відхилиться маятник після закінчення процесу зрізування головки коренеплоду (кут ε). На нижній кінець подовжувача встановлено корпус 12 з підшипником, який посаджено на вісь подовжувача. До корпусу закріплено поворотний плоский двоплечевий ніж 13, який за допомогою пружини 14 виконаний підпружиненим у горизонтальній площині його повороту.

На подовжувачі закріплено контактний мікроперемикач 15 (додаток Г.3.1а), при цьому рухомий контакт 16 мікроперемикача має початковий контакт з торцем вільного плеча поворотного ножа. Мікроперемикач зв'язаний електричною схемою з електросекундоміром 17 ноутбука 18.

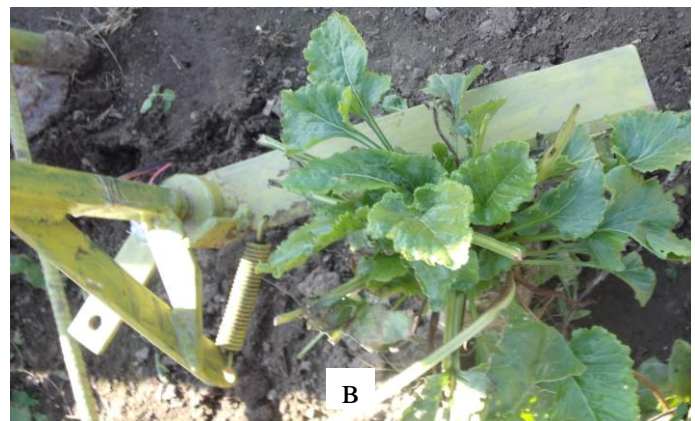


Рис. 3.5. Загальний вигляд: а – експериментальної установки;
б – механізму регулювання; в – підпружиненого ножа

Також на станині встановлено мультимедійну швидкісну відеокамеру 19 (додаток Г.3.1в), яка зв'язана з ноутбуком та відеореєстратором 20 (додаток Г.3.1б) з флеш-накопичувачем файлів 21 для відеофіксації процесу різання головок коренеплодів підпружиненим ножом і фіксації тривалості (часу) різання.

Принцип роботи маятникового копра наступний.

Перед початком проведення експерименту встановлюють положення ножа 13 відносно розташування головки коренеплоду над рівнем поверхні ґрунту, або необхідну висоту зрізування головки. Попереднє грубе регулювання положення ножа відносно головки коренеплоду виконують шляхом переміщення корпусів підшипників 4 «вверх-вниз» по болту та їх фіксації гайками механізму регулювання 3. Більш точне, або остаточне регулювання положення ножа встановлюють за рахунок переміщення подовжувача 7 в порожнині маятника 6 та його фіксації фіксатором 8. Крім того, маятник розташовують так, щоб передній торець леза підпружиненого ножа у стані спокою торкався поверхні тіла головки коренеплоду, при цьому кут $\alpha = 0$.

У подальшому встановлюють необхідний кут α повороту (відхилення) маятника, або задану початкову швидкість різання V_p головки коренеплоду, або відповідної швидкості руху V_M гичкозбирального модуля. Необхідне значення кута α відхилення маятника визначають згідно з положенням поворотної стрілки 10 відносно показника градуйованої шкали 9.

Відхиленням маятника встановлюють початковий кут α та відпускають маятник, який починає переміщуватися разом з ножом по траєкторії руху до головки коренеплоду.

Під час проходження леза ріжучої кромки ножа крайньої нижньої точки його траєкторії руху, або початку його дотику з тілом головки коренеплоду, ріжуча кромка леза ножа з початковою швидкістю V_p методом різання ковзанням зрізує головку коренеплоду на заданій висоті зрізування. При цьому з початком повороту підпружиненого ножа, або з початком різання головки коренеплоду, рухомий контакт 16 замикає контакти мікроперемикача 15, який

включає електронний секундомір 17, який показує час з моменту дотику леза до тіла головки коренеплоду до моменту закінчення процесу зрізування головки коренеплоду, або до моменту повного виходу леза ножа з площини різання.

При повному виході леза ножа з площини різання, або закінчення процесу зрізування головки коренеплоду, пружина 14 повертає ніж в початкове положення, при цьому рухомий контакт також повертається у початкове положення та розмикає контакти мікроперемикача, який роз'єднує схему підключення електронного секундоміра та виключає відлік часу ним. Після закінчення зрізування головки коренеплоду маятник під дією сили інерції продовжує рухатися вгору, при цьому рухома стрілка 10 відхиляється на кут ε .

Відеокамера 19 та відеореєстратор 20 у режимі «онлайн» фіксують процес різання головки коренеплоду з позиції «вигляд збоку» та «вигляд зверху» за рахунок надходження відповідних сигналів до ноутбука 18 та запису процесу на флеш-накопичувач 21.

Для проведення польових порівняльних досліджень процесу викопування коренеплодів і дослідження впливу запропонованого способу збирання основного масиву гички на основні показники якості роботи коренезбиральної машини було застосовано польову установку, конструктивно-компонувальну схему якої наведено на рис. 3.6, а загальний вигляд – на рис. 3.7 [Скальський].

На рис. 3.8 наведено загальний вигляд викопуючого пристрою крупних коренеплодів.

Базовими вузлами польової експериментальної установки є викопуючий пристрій, який призначений для викопування довгоплідних коренеплодів, наприклад, коренеплодів цикорію, система транспортерів 8-11, очисна система вороху коренеплодів 12.

Викопуючий пристрій складається із одностороннього сферичного диска 1 (рис. 3.6), який встановлено з кутом атаки відносно напрямку рядка коренеплодів, або руху коренезбиральної машини, встановленого над ним приводного горизонтального вала 5 з пружними очисними лопатями 6 та розміщеного за сферичним диском розрихлювача 7.

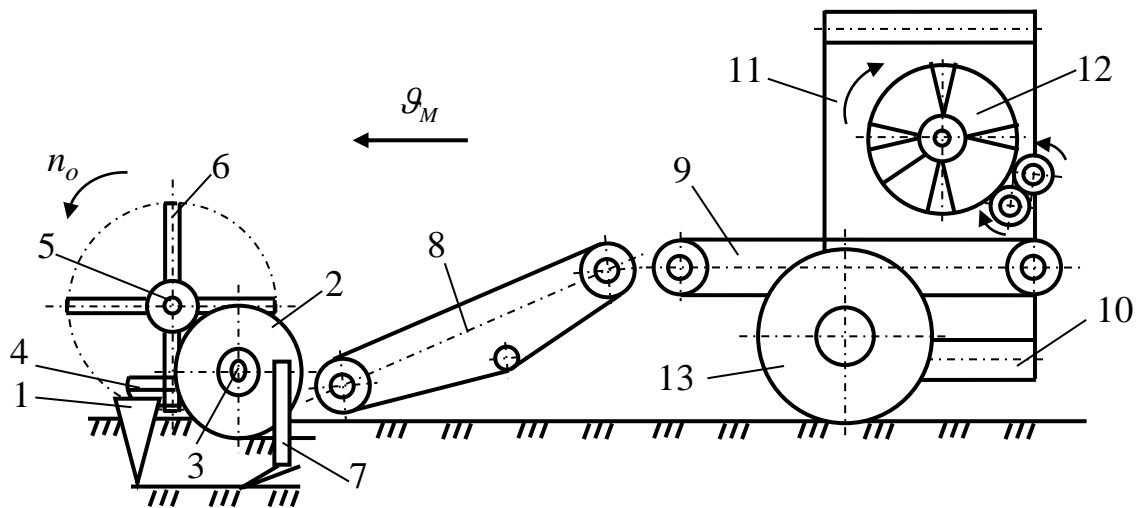


Рисунок 3.6 – Конструктивна схема польової установки:

- 1 – коренеплід; 2 – односторонній сферичний диск; 3 – вісь обертання диска; 4 – корененапрямник; 5 – приводний горизонтальний вал;
 6 – пружні очисні лопаті; 7 – розрихлювач; 8-11 – відповідно, поздовжній похилий, горизонтальний, поперечний, вивантажувальний транспортери;
 12 – очисна система вороху коренеплодів; 13 – опорне колесо

Очисна система вороху коренеплодів являє собою горизонтальний транспортер 9 над яким із зазором встановлено гвинтовий конвеєр з очисними пружними елементами, які закріплено між витками шнека, а за шнеком встановлено пара циліндричних відминальних вальців, які обертаються назустріч один одному.

Процес викопування коренеплодів є таким.

Попередньо гичку зрізують роторним гичкорізом гичкозбиральної машини, наприклад, МБП-2,7 на рівні високостоячих коренеплодів.

Під час руху коренезбиральної машини розрихлювач 8 (рис. 3.6) руйнує зв'язок коренеплодів з ґрунтовим середовищем на глибині ходу розрихлювача, а сферичний диск 1 одночасно викопує довгоплідні коренеплоди. Також одночасно з процесом викопування коренеплодів відбувається очищення їх головок від залишків гички за рахунок ударної взаємодії лопатей 6 приводного горизонтального вала 5. Крім того, лопаті проштовхують викопаний ворох коренеплодів на поздовжній похилий транспортер 8.



Рисунок 3.7 – Загальний вигляд полової експериментальної установки, вигляд збоку

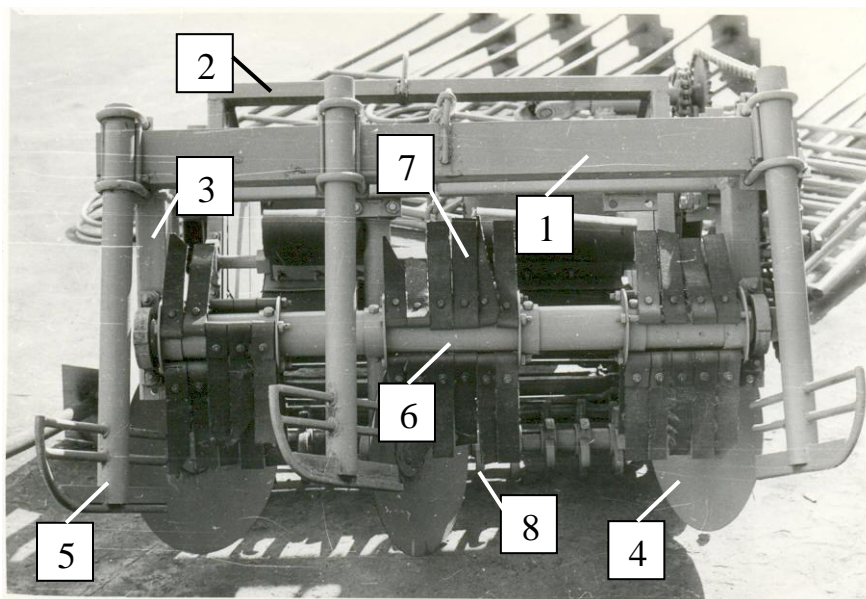


Рисунок 3.8 – Загальний вигляд викопуючого пристрою: 1 – рухома рама; 2 – основна рама; 3 – стояк сферичного диска; 4 – сферичний диск; 5 – корененапрямник; 6 – очисний вал; 7 – пружні очисні лопаті; 8 – розрихлювач

Похилий транспортер 8 переміщує ворох коренеплодів до горизонтального транспортера 9, а далі до шнекового конвеєра очисної системи 12, де відбувається очищення коренеплодів від ґрунтових і рослинних домішок. Очищені коренеплоди витками шнека очисної системи переміщуються на

поздовжній транспортер 10, а далі на вивантажувальний транспортер 11. Вивантажувальний транспортер завантажує коренеплоди в транспортний засіб.

Копач має опорні копіювальні колеса із механізмом регулювання глибини ходу сферичних дисків і розрихлювача, а коренезбиральна машина – елементи гідравлічного обладнання.

Привод робочих органів здійснюється від ВВП трактора МТЗ-82.

Технічну характеристику польової установки, або причіпної коренезбиральної машини наведено в додатку Г.4.1.

3.2. Методика проведення експериментальних досліджень з визначення технологічної подачі зрізаної гички в міжряддя невикопаних коренеплодів

Для перевірки адекватності отриманих аналітичних моделей (2.18) і (2.19) було проведено експериментальні дослідження 3-х рядного модуля для збирання гички на основі побудови та реалізації планованих факторних експериментів. Конструктивна схема гичкозбирального модуля наведена на рис. 1.30, а загальний вигляд 3-х рядного гичкозбирального модуля для збирання гички коренеплодів, які посіяно з шириною міжряддя $b_k = 0,45$ м, або шириною захвату гичкозбирального модуля 1,35 м наведена на рис. 3.2.

Експерименти проводили на дослідних полях посівів коренеплодів цикорію сорту Софіївський 7 Хмельницької державної науково-дослідної сільськогосподарської станції.

Для отримання рівняння регресії, яке характеризує зміну секундної подачі P_p (кг/с) та питомої маси M_{np} (кг/м²) гички, яка зрізана та укладена у міжряддя не зібраних коренеплодів між двома суміжними ділильними дисками залежно від параметрів процесу, вибирали симетричний план планованого трифакторного експерименту на трьох рівнях варіювання факторами. При цьому змінними факторами приймали швидкість руху модуля \mathcal{Q}_M , урожайність гички $U_p \pm \Delta U_p$, густоту насаджень коренеплодів цикорію $\Gamma_k \pm \Delta \Gamma_k$ [40, 120].

Рівні варіювання факторами наведено у таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Назва, рівні та інтервал варіювання факторами

Фактори	Інтервал варіювання	Рівні варіювання факторами		
		Нижній (-1)	Нульовий (0)	Верхній (+1)
Швидкість руху модуля \mathcal{Q}_M , м/с	0,2	1,2	1,4	1,6
Урожайність гички $U_p + \Delta U_p$, кг/м ²	0,2	1,2 + 0,2	1,4 + 0,2	1,6 + 0,2
Урожайність гички $U_p - \Delta U_p$, кг/м ²	0,2	1,6 - 0,2	1,8 - 0,2	2,0 - 0,2
Густота насаджень коренеплодів $\Gamma_k + \Delta \Gamma_k$, шт./м ²	2	5 + 2	7 + 2	9 + 2
Густота насаджень коренеплодів $\Gamma_k - \Delta \Gamma_k$, шт./м ²	2	9 - 2	11 - 2	13 - 2

Технічна характеристика польової установки гичкозбирального модуля наведена в додатку Г.2.1.

При цьому інші параметри макетного зразка гичкозбирального модуля становили:

- частота обертання ножів роторного гичкоріза – 610 об/хв;
- відстань між двома суміжними ділильними дисками – $b_n = 0,3$ м;
- час проведення одного експерименту становив $t = 5$ с.

При цьому, відповідно, довжина L_q залікової ділянки посівів коренеплодів цикорію була такою:

- за швидкості руху гичкозбирального модуля рівній 1,2 м/с – $L_{1,2} = 6$ м;
- за швидкості руху гичкозбирального модуля рівній 1,4 м/с – $L_{1,4} = 7$ м;
- за швидкості руху гичкозбирального модуля рівній 1,6 м/с – $L_{1,6} = 8$ м;

Умови проведення досліджень і загальну характеристику культури та залікової ділянки поля наведено у додатку Г.5.2, при цьому наведені показники визначали згідно з стандартними методиками [137, 138].

Густоту насадження рослин у тисячах штук на один гектар визначали шляхом множення кількості довжини рядків на гектарі на число рослин на одному метрі рядку, тобто

$$G_k = k \cdot n, \text{ тис. шт./га}, \quad (3.1)$$

де $k = 22222$ м – число погонних метрів рядка за якого площа посіву коренеплодів з шириною міжряддя 0,45 м рівна 1 га;

n – середнє число рослин на одному погонному метрі, шт.

Біологічний урожай гички залікової ділянки визначили за формулою

$$U_z = \frac{q}{S}, \text{ кг/м}^2 \quad (3.2)$$

де q – маса гички з облікової площадки, кг,

S – площа облікової ділянки, м².

Густоту насадження та урожайність гички коренеплодів цикорію визначали перед початком і після закінчення залікової ділянки, довжину якої (початок і закінчення) позначали прапорцями.

Порядок реалізації польових експериментальних досліджень з визначення зміну секундної подачі P_p та питомої маси M_{np} гички проводили за стандартними методиками при трикратній повторюваності кожного експерименту згідно з положеннями [139].

План-матрицю проведення експерименту типу ПФЕ 3³ наведено у додатку Г.6.2. Вплив неконтрольованих факторів усували шляхом розробки рандомізованої план-матриці проведення експерименту типу ПФЕ 3³, яку наведено у додатку Г.6.2.

Послідовність проведення першого та наступних експериментів встановлювали згідно з нумерованим порядком рандомізованої план-матриці планованого експерименту типу ПФЕ 3³.

Порядок проведення, умови відбору проб і визначення технологічної подачі гички у міжряддя невикопаних коренеплодів цикорію проводили за стандартними методиками згідно з встановленими положеннями [137, 138].

Після проходу гичкозбирального модуля відповідної залікової ділянки коренеплодів цикорію зрізану та укладену гичку у міжряддя невикопаних коренеплодів між двома суміжними ділильними дисками підбирали вручну та зважували на терезах з точність $\pm 0,1$ кг;

Секундну подачу Π_p визначали за формулою

$$\Pi_p = M_z / t, \quad (3.3)$$

де M_z – маса підібраної гички, кг

Питому масу гички M_{np} визначали за формулою

$$M_{np} = M_p / S_d = M_p / \mathcal{G}_M t b_n n_k, \quad (3.4)$$

де S_d – площа залікової ділянки, м².

Обробку отриманого експериментального масиву даних проводили за загальновідомими методиками та методами статистичної обробки з використанням кореляційного і регресійного аналізу.

Перевірку відтворюваності одержаних значень експериментального масиву даних при однаковому числі повторюваності для кожного досліді проводили за критерієм Кохрена [140]

$$G = \frac{D_{Y_{max}}}{\sum_{U=1}^N D_{YU}}, \quad (3.5)$$

де G – розрахункове значення критерію Кохрена;

$D_{Y_{max}}$ – числове значення максимальної дисперсії в u -й точці;

N – число дослідів у плані;

D_{YU} – дисперсія, яка характеризує розсіювання результатів проведених досліджень u -го експерименту.

Дисперсію відтворюваності експериментів визначали за формулою [140]

$$D_{YU} = \frac{1}{m-1} \sum_{U=1}^N (Y_{Uj} - \bar{Y}_U)^2; \quad \bar{Y}_U = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m Y_{Uj}, \quad (3.6)$$

де $m - 1$ – число ступеня вільності;

Y_{Uj} – числове значення j -го відгуку u -го експерименту;

\bar{Y}_U – середньоарифметичне значення відгуку u -го експерименту;

m – число повторності кожного u -го експерименту.

Знайдені розрахункові значення критерію Кохрена порівнювали з табличним G_T [140]. Якщо умова $G \leq G_T(0,05; N; m - 1)$ виконувалася, то дисперсії вважались однорідними, це означає, що процес відтворюється.

Якщо гіпотеза про однорідність дисперсії приймалася, визначали дисперсію відтворюваності (середня дисперсія математичних очікувань) усього експерименту за формулою

$$D_{\bar{Y}_U} = \frac{1}{n} \sum_{U=1}^N D_{Y_U}, \quad (3.7)$$

де $n = mN$ – загальне число вимірів у план-матриці.

Коефіцієнти апроксимуючої функції при умові ортогональності й симетрії визначали за формулою [141]:

- вільний член b_0 і коефіцієнти b_i i -го фактора рівняння регресії

$$b_0 = \frac{\sum_{u=1}^n x_{iu} \bar{y}_u}{n}; \quad b_i = \frac{\sum_{u=1}^n x_{iu} \bar{y}_u}{\sum_{u=1}^n x_{iu}^2}; \quad (3.8)$$

- коефіцієнти взаємодії b_{ij} і b_{ijk}

$$b_{ij} = \frac{\sum_{u=1}^n x_{iu} x_{ju} \bar{y}_u}{n}; \quad b_{ijk} = \frac{\sum_{u=1}^n x_{iu} x_{ju} x_{ku} \bar{y}_u}{n}, \quad (3.9)$$

де x_{iu} – значення кодової змінної у відповідному стовпці плану експерименту;

\bar{y}_u – середній результат u -го експерименту;

u – порядковий номер експерименту;

i – номер змінного фактора;

j, k – номер змінного фактора, відмінного від i -го.

Після визначення коефіцієнтів рівняння регресії наводили загальний вигляд рівняння регресії факторного експерименту, перевірку адекватності якого проводили за допомогою F_p -критерію Фішера [142]

$$F_p = \frac{D_{Ya}}{D_{\bar{Y}U}}, \quad (3.10)$$

де D_{Ya} – оцінка дисперсії адекватності, яку визначали за формулою

$$D_{Ya} = \frac{1}{N - S} \sum_{U=1}^N (Y_{Pi} - \bar{Y}_U)^2, \quad (3.11)$$

де Y_{Pi} – розрахункове значення відгуку в U -му досліді отриманого регресійного рівняння.

Значення оцінки дисперсії адекватності $D_{\bar{Y}U}$ визначали із рівняння (3.12), а потім визначали розрахункове значення F_p -критерію Фішера.

Отримане значення F_p порівнювали з табличним F_T , яке визначали згідно з [142].

Якщо умова $F_p < F_T(0,05, r_1, r_2)$ виконувалася, тобто розрахункове значення F_p -критерію Фішера менше табличного F_T при 5%-му рівні значущості, числі ступеня вільності дисперсії адекватності $r_1 = N - S$ та числі ступеня вільності дисперсії відтворюваності $r_2 = N(m - 1)$, то рівняння регресії факторного експерименту адекватно описує отриманий реальний експериментальний масив даних.

Після перевірки адекватності розподілу випадкових величин реальному процесу проводили оцінку статистичної значущості коефіцієнтів регресії за допомогою t -критерію Стюдента [143].

Коефіцієнт вважався значущим, коли виконувалася нерівність

$$|b_i| \geq \Delta b_i = t(0,05; r_2) \sqrt{\frac{D_{\bar{Y}0}}{\sum_{U=1}^N x_i^2}}, \quad (3.12)$$

де b_i – коефіцієнти рівняння регресії факторного експерименту;

Δb_i – довірча границя;

$t(0,05; r_2)$ – табличне значення критерію Стюдента при 5%-му рівні значущості та числі ступеня вільності дисперсії відтворюваності r_2 .

Коефіцієнт регресії вважали значущим, коли довірча границя Δb_i була менше значення коефіцієнта.

За результатами розрахунків, які проводили за допомогою пакета прикладних статистичних програм обробки та аналізу результатів експериментальних досліджень для персонального комп'ютера, будували тривимірні просторові залежності поверхні відгуку параметра оптимізації та її двомірний переріз для наочного зображення результатів проведених експериментальних досліджень.

3.3. Методика проведення експериментальних досліджень з використанням маятникового копра

Експериментальні дослідження довжини різання L_d головок коренеплодів кормових буряків з використанням маятникового копра, які формалізовано у вигляді структурної моделі (рис. 3.9), проведено з метою визначення функціональних закономірностей впливу вхідних факторів на вихідну величину, або параметр оптимізації.

Для отримання рівняння регресії, яке характеризує зміну довжини ходу ножа в площині зрізування або довжину різання L_d головок коренеплодів залежно від основних технологічних параметрів процесу, вибирали відповідний план двофакторного експерименту, при цьому незалежними змінними факторами приймали:

- швидкість різання \mathcal{G}_p , яка відповідає, або буде адекватна швидкості руху гичкозбирального модуля \mathcal{G}_M ($\mathcal{G}_p = \mathcal{G}_M$), яку кодували індексом x_1 ;
- коефіцієнт пружності пружини k_n , який кодували індексом x_2 [136].

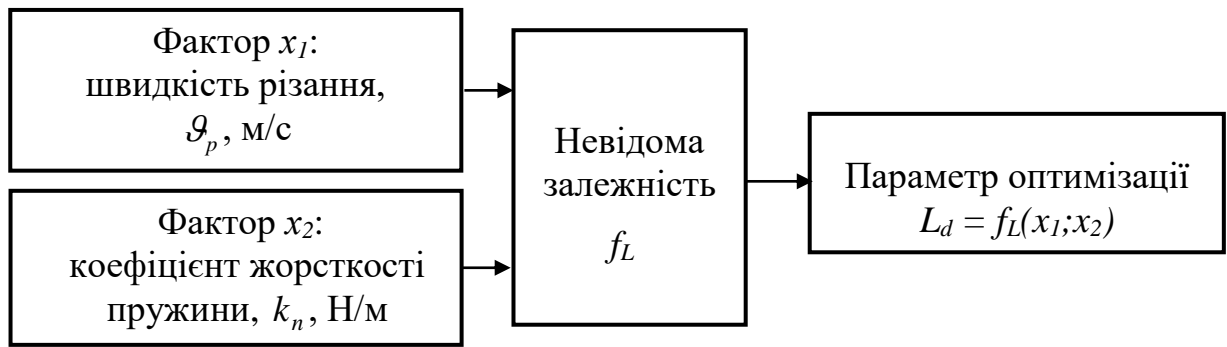


Рисунок 3.9 – Схема моделі факторного експерименту типу ПФЕ 3^2

Дослідження функціональної зміни параметра оптимізації L_d провели для двох випадків конструктивного виконання гичкозрізувального ножа – у першому випадку ніж закріплено жорстко на маятнику під кутом $\alpha_p = 35^0$ до площини різання головки коренеплодів, а в другому випадку ніж виконано підпружиненим і закріплено з можливістю його повороту на осі маятника до $\alpha_{p,max} = 40^0$.

Порядок побудови та проведення експериментальних досліджень апроксимуючої математичної моделі як функції $L_d = f_L(x_1; x_2)$, або $L_d = f_L(V_p; k_n)$, яка на емпіричному рівні характеризує зміну довжини різання L_d головок коренеплодів кормових буряків, був наступним:

- визначення змінних вхідних факторів і проведення кодування факторів;
- встановлення верхнього, нижнього рівнів і інтервалу варіювання фактора;
- складання план-матриці проведення факторних експериментів;
- проведення рандомізації складеної план-матриці;
- реалізацію експериментів згідно з нумерованим порядком проведення рандомізованої план-матриці;
- обробку експериментального масиву даних з метою одержання рівняння регресії вихідного параметра з визначенням вигляду апроксимуючої функції та її невідомих коефіцієнтів;
- перевірку відтворюваності одержаних функціональних даних експериментальному масиву даних;
- оцінку значущості коефіцієнтів регресії емпіричної моделі за відповідним критерієм;

- перевірку адекватності отриманої математичної моделі реальному експериментальному процесу за встановленим критерієм.

При побудові план-матриці експериментів вводили кодовані позначення верхнього, нижнього та нульового рівнів варіювання факторами, відповідно +1, -1, 0 [144], тобто двофакторний експеримент з визначення довжини різання L_d головок коренеплодів провели на трьох рівнях варіювання змінних факторів, або реалізували планований факторний експеримент типу ПФЕ 3^2 , рис. 3.7.

Оскільки при проведенні експериментів незалежні фактори неоднорідні і мають різні одиниці вимірювання, а числа, що виражають їх значення – різні порядки, то їх приводили до єдиної системи обрахунків шляхом переходу від введених позначень кодованих величин до дійсних (натуральних) значень.

Зв'язок між кодованими x_i та натуральними X_i значеннями змінних вхідних факторів планованого двофакторного експерименту типу ПФЕ 3^2 встановлювали згідно з залежністю [145]:

$$X_i = (x_i - x_0) / \Delta x_i, \quad (3.13)$$

де x_{i0} – значення i -го фактору на нульовому рівні;

x_i – натуральне позначення i -го фактору.

Нульовий рівень x_0 , або середнє значення та інтервали варіювання Δx_i кожного діючого змінного фактору, визначали за формулами [145]:

$$x_0 = 0,5(x_{max} + x_{min}), \quad \Delta x_i = 0,5(x_{max} - x_{min}), \quad (3.14)$$

де x_0 , x_{max} , x_{min} – значення нульового, верхнього та нижнього рівнів фактору;

Δx_i – числове значення інтервалу варіювання i -го фактору.

Результати кодування факторів і рівні їх варіювання наведено у табл. 3.2.

Після кодування вхідних факторів складали план-матрицю двофакторного планованого експерименту типу ПФЕ 3^2 для загального числа дослідів $N = P^k$, де P – кількість рівнів варіювання, k – кількість діючих вхідних факторів у експерименті. Експерименти провели в трикратній повторності.

Таблиця 3.2 – Результати кодування факторів та рівні їх варіювання

Фактори	Позначення		Інтерв. варіюв.	Рівні варіювання, натуральні/кодовані		
	Натур.	Код.				
Швидкість різання, \mathcal{G}_p , м/с	X_1	x_1	0,4	1,6/-1	2,0/0	2,4/+1
Коефіцієнт жорсткості пружини, k_n , н/см	X_2	x_2	15	25/-1	40/0	55/+1

План-матрицю проведення двофакторного планованого експерименту типу ПФЕ 3^2 , наведено у додатка Г.7.3.

Загальну будову та принцип роботи маятникового копра наведено у пункті 3.1. Кут відхилення осі маятника α або зміна положення леза підпружиненого ножа відносно вертикальної площини регулюється в межах $0 \dots 90^\circ$, а довжина маятника – в межах $0,6 \dots 1,2$ м. Жорсткість пружини визначали згідно з [146].

Перед початком реалізації експериментів установку леза підпружиненого ножа на необхідну висоту різання головки коренеплоду проводили у наступній послідовності.

Маятниковий копер розміщували у рядку коренеплодів так, щоб у стані спокою маятника лезо ножа доторкалося до поверхні тіла головки коренеплоду на заданій висоті різання, або за умови $\alpha = 0$, $\mathcal{G}_p = 0$.

Висоту різання головки коренеплоду встановлювали на рівні проростання стебел гички на його головці та регулювали шляхом підведення леза ножа за допомогою переміщення осі повороту маятника. Також штангельциркулем вимірювали діаметр коренеплоду з точністю ± 1 см, а рулеткою – довжину маятника з точністю ± 1 см.

Згідно з визначеною довжиною маятника встановлювали необхідний кут α відхилення осі маятника шляхом візуального спостереження за переміщенням стрілки відносно градуйованої шкали, який забезпечує необхідну початкову швидкість різання головки коренеплоду $\mathcal{G}_p = \mathcal{G}_M$, при цьому необхідний кут α відхилення осі маятника визначали за відомою формулою [127]

$$g_p = g_M = 2 \sin(0,5\alpha) \sqrt{gl}, \text{ або } \alpha = \arcsin(V_p / \sqrt{gl}), \quad (3.15)$$

де α – кут відхилення осі маятника від вертикальної площини, град;

$g = 9,8 \text{ м/с}^2$ – прискорення вільного падіння;

l – довжина маятника копра, м.

Довжина маятника l копра під час проведення польових експериментів з визначення довжини різання головок коренеплодів була постійною та становила $l = 0,55 \text{ м}$.

Співвідношення кута відхилення маятника, довжини маятника копра та відповідної швидкості різання під час проведення експериментів наведено у додатку Г.8.3.

При відхиленні осі маятника, або, відповідно, леза ножа на фіксований кут α , або початком проходження маятника крайньої нижньої точки траєкторії його руху, лезо ножа, одночасно з його поворотом від початкового (нульового) положення, входить в тіло головки коренеплоду, виконуючи при цьому різання методом ковзання.

Довжина ходу ножа в площині зрізування або довжина різання L_d головки коренеплоду буде залежати від накопиченої енергії різання або, відповідно, від кута α відхилення маятника. При цьому за недостатньої енергії різання або початкової швидкості різання V_p лезо ножа не буде виконувати повне зрізування головки коренеплоду за рахунок зупинки ножа в площині зрізу.

Після повної зупинки маятника копра в площині різання головки коренеплоду, або повного проходження леза ножа по площини різання, визначали довжину різання L_d головки коренеплоду шляхом її вимірювання лінійкою з точністю $\pm 1 \text{ мм}$.

Отримані експериментальні значення довжини різання L_d головки коренеплодів кормових буряків для граничних значень відповідних точок композиційного плану двофакторного експерименту типу ПФЕ 3^2 , заносили у відповідні графи план-матриці експериментів.

Обробку отриманого експериментального масиву даних проводили за загальновідомими методиками та методами статистичної обробки результатів досліджень для отримання в кінцевому випадку емпіричної математичної моделі у вигляді функціонала $L_d = f_L(x_1; x_2)$ з використанням методів кореляційного і регресійного аналізу апроксимуючої функції, яка характеризує вплив факторів і їх взаємодію на параметр оптимізації, тобто довжини різання L_d головки коренеплодів.

Порядок обробки експериментальних даних довжини різання L_d головки коренеплодів був аналогічний порядку, який наведено у п.3.2.

3.4. Методика проведення порівняльних досліджень базового та удосконаленого способу збирання основного масиву гички

З метою подальшого удосконалювання робочих органів для збирання основного масиву гички та оцінки показників якості роботи процесу викопування коренеплодів в умовах реальної експлуатації за двох способів збирання гички (перший спосіб – суцільне укладання гички у міжряддя невикопаних коренеплодів, тобто за відсутності ділильних дисків; другий спосіб – укладання гички у міжряддя невикопаних коренеплодів у зону між двома суміжними дисками) було застосовано загальноприйняту та загальновідому методику випробовування коренезбиральних машин [137, 138].

Для проведення порівняльного аналізу було сформульовано агротехнічні вимоги до показників якості роботи коренезбиральної машини під час проведення експериментальних досліджень, при цьому показники визначено відносно загальної маси викопаних коренеплодів цикорію з однієї залікової ділянки або проби [137]:

- кількість втрачених коренеплодів цикорію викопувальним робочим органом не повинна перевищувати 2,5 %;
- загальна кількість домішок у зібраному воросі коренеплодів цикорію – не більше 8 %, у тому числі:

- вільного ґрунту – не більше 2,5 %;
- вільних рослинних домішок – не більше 3,5 %;
- налиплого ґрунту
- залишків гички на головках коренеплодів цикорію – не більше 1,5 %;
- кількість пошкоджених коренеплодів – не більше 15 %, у тому числі сильнопошкоджених коренеплодів цикорію – не більше 7 %;
- втрати гички у захисній зоні невикопаного рядка коренеплодів – не більше 3,5 %.

Порівняльні дослідження провели на полі коренеплодів цикорію сорту Софіївський 7 Хмельницької державної дослідної сільськогосподарської станції. Умови проведення порівняльних досліджень наведено у додатку Г.5.2.

У першому випадку, або способу збирання гички за якого відбувалося суцільне укладання гички у міжряддя невикопаних коренеплодів, тобто за відсутності ділильних дисків, ділильні диски демонтували з барабана роторного гичкоріза.

Урожайність поля коренеплодів цикорію і урожайність гички під час визначення показників якості роботи процесу викопування коренеплодів визначали за загальновідомою методикою [146]. Довжина залікової ділянки була рівною 15 м і шириною 1,35 м (три рядки посівів коренеплодів). Основний масив гички залікової ділянки зрізували гичкозбиральним модулем, застосовуючи два способи збирання гички.

Характеристика культури та умови проведення експериментальних досліджень наведено у додатку Г.5.2

Технічну характеристику польової установки наведено у додатку Г.4.1.

Порядок проведення, умови відбору та обробки проб проводили за відомими стандартними методиками згідно встановлених діючих положень та рекомендацій згідно з [138, 139]. Після кожного суміжного проходу залікової ділянки, тобто викопування коренеплодів цикорію комбінованим копачем за кожного способу збирання основного масиву гички визначали втрати коренеплодів, загальні домішки у викопаному воросі коренеплодів цикорію,

вільні ґрунтові та рослинні домішки, залишки гички на головках коренеплодів, пошкодження коренеплодів.

Порядок розрахунку показників якості процесу викопування коренеплодів цикорію був наступним.

Викопаний ворох коренеплодів цикорію кожної проби розбирали на окремі складові компоненти – вільні домішки і коренеплоди, які зважували на терезах з точністю, відповідно, до 0,01 кг і 0,1 кг. Далі з поверхні тіла коренеплодів цикорію вручну зрізували залишки гички з головок коренеплодів. Відокремлені залишки гички зважували на вазі з точністю 0,01 кг.

Загальну масу домішок викопаного вороху коренеплодів цикорію визначали як арифметичну суму всіх складових компонентів домішок. Втрати та пошкодження коренеплодів, загальну кількість домішок, вільних ґрунтових і рослинних домішок, кількість залишків гички на головках коренеплодів у відсотках визначали згідно стандартної методики [138, 139].

Одержані дані показників якості процесу викопування коренеплодів цикорію заносили у таблицю результатів порівняльних досліджень.

3.5. Висновки до розділу

3.5.1. За результатами аналізу теоретичних досліджень розроблено технічну документацію та виготовлено робочі органи експериментального зразка гичкозбирального модуля.

3.5.2. Запропоновано часткову методику експериментального визначення технологічної подачі зрізаної гички у міжряддя невикопаних коренеплодів, довжини різання головки коренеплодів підпружиненим ножом та показників якості збирання коренеплодів.

Основні положення розділу опубліковано у наукових працях [40, 41, 108, 120, 136].

РОЗДІЛ 4

РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ГИЧКОЗБИРАЛЬНОГО МОДУЛЯ

4.1. Експериментальні дослідження технологічної подачі зрізаної гички в міжряддя невикопаних коренеплодів

Полеві експериментальні дослідження удосконаленого гичкозбирального модуля (рис. 3.1, рис. 3.2) для визначення показників технологічної подачі зрізаної гички в міжряддя невикопаних коренеплодів цикорію провели згідно методики, яку описано в підпункті 3.1 третього розділу дисертаційної роботи.

Технічну характеристику удосконаленого гичкозбирального модуля наведено у додатку Г.2.1, а характеристику ділянки поля – у додатку Г.5.1.

Загальний вигляд агрегату для збирання основного масиву гички наведено на рис. 4.1, а процес роботи макетного зразка удосконаленого гичкозбирального модуля – на рис. 4.2.



Рисунок 4.1 – Загальний вигляд агрегату для збирання гички

Для побудови емпіричної математичної моделі, яка характеризує зміну технологічної подачі основного масиву зрізаної гички в міжряддя невикопаних коренеплодів цикорію було реалізовано трифакторний планований експеримент типу ПФЕ 3^3 , після проведення якого утворювали таблицю отриманих результатів

точок симетричного композиційного плану трифакторного експерименту, або таблицю експериментальних значень (додаток Д.1.1), яку побудовано згідно з нумерованим порядком рандомізованої план-матриці (додаток Г.6.2).



Рисунок 4.2 – Загальний вигляд гичкозбирального модуля в роботі

Після обробки експериментального масиву даних (додаток Д.2.1) було встановлено вигляд апроксимуючої залежності, яка функціонально описує зміну секундної подачі Π_p^\pm та питомої маси M_p^\pm укладеної гички на поверхню поля між ділільними дисками, які встановлено на барабані роторного гичкоріза та розташовано в міжрядді невикопаних коренеплодів залежно від зміни вхідних незалежних факторів (табл. 3.1) та яку записано у вигляді апроксимуючої функції [40, 120]:

- $\Pi_p^+ = f_{\Pi^+}(\mathcal{G}_M; U_p + \Delta U_p; \Gamma_k + \Delta \Gamma_k)$ – секундної подачі гички в міжряддя невикопаних коренеплодів цикорію за збільшення урожайності гички та густоти насадження коренеплодів цикорію;

- $\Pi_p^- = f_{\Pi^-}(\mathcal{G}_M; U_p - \Delta U_p; \Gamma_k - \Delta \Gamma_k)$ – секундної подачі гички в міжряддя невикопаних коренеплодів цикорію за зменшення урожайності гички та густоти насадження коренеплодів цикорію;

- $M_p^+ = f_{M^+}(\mathcal{G}_M; U_p + \Delta U_p; \Gamma_k + \Delta \Gamma_k)$ – питомої маси гички, яка розташована в міжряддях невикопаних коренеплодів цикорію за збільшення урожайності гички та густоти насадження коренеплодів;

- $M_p^- = f_{II^-}(\mathcal{G}_M; U_p - \Delta U_p; \Gamma_k - \Delta \Gamma_k)$ – питомої маси гички, яка розташована в міжряддях невикопаних коренеплодів цикорію за зменшення урожайності гички та густоти насадження коренеплодів.

При цьому апроксимуючу функцію, яка характеризує технологічну подачу зрізаної гички у міжряддя невикопаних коренеплодів цикорію було прийнято у вигляді лінійної моделі за найбільшим значенням коефіцієнта множинної детермінації D за рівня достовірності $P = 0,95$ (додаток Д.3.1):

$$\Pi_p^\pm = b_0 + b_1 \mathcal{G}_M + b_2 (U_p \pm \Delta U_p) + b_3 (\Gamma_k \pm \Delta \Gamma_k); \quad (4.1)$$

$$M_{np}^\pm = b_0 + b_1 \mathcal{G}_M + b_2 (U_p \pm \Delta U_p) + b_3 (\Gamma_k \pm \Delta \Gamma_k). \quad (4.2)$$

Числові значення коефіцієнтів рівняння апроксимуючої функції, які визначали з використанням програми «Статистика 10», наведено у табл. 4.1.

Таблиця 4.1 – Числові значення коефіцієнтів рівняння регресії

Показник	Значення коефіцієнтів			
	b_0	b_1	b_2	b_3
$\Pi_p^+ = f_{II^+}(\mathcal{G}_M; U_p + \Delta U_p; \Gamma_k + \Delta \Gamma_k)$	-39,38	18,67	14,81	2,11
$\Pi_p^- = f_{II^-}(\mathcal{G}_M; U_p - \Delta U_p; \Gamma_k - \Delta \Gamma_k)$	-42,26	11,17	11,36	2,81
$M_{np}^+ = f_{II^+}(\mathcal{G}_M; U_p + \Delta U_p; \Gamma_k + \Delta \Gamma_k)$	-42,31	11,19	11,36	2,81
$M_{np}^- = f_{II^-}(\mathcal{G}_M; U_p - \Delta U_p; \Gamma_k - \Delta \Gamma_k)$	-20,27	-0,64	9,03	2,23

Після перевірки адекватності моделі за F -критерієм Фішера ($F = 100,8$) та значимості коефіцієнтів функціональної залежності за критерієм Стюдента (t -альфа критерій, $t = 2,05$) було отримано рівняння регресії у вигляді лінійної моделі для натуральних значень факторів (додаток Д.2.1) [40, 120]:

- секундної подачі Π_p^\pm зрізаної гички коренеплодів цикорію, відповідно, $D = 0,929; 0,963$:

$$\Pi_p^+ = -39,38 + 18,67 \mathcal{G}_M + 14,81 (U_p + \Delta U_p) + 2,11 (\Gamma_k + \Delta \Gamma_k); \quad (4.3)$$

$$\Pi_p^- = -42,26 + 11,17 \mathcal{G}_M + 11,36 (U_p - \Delta U_p) + 2,81 (\Gamma_k - \Delta \Gamma_k); \quad (4.4)$$

- питомої маси гички M_p^\pm , яку зрізано ножами роторного гичкоріза та укладено у міжряддя невикопаних коренеплодів між двома суміжними ділильними дисками, відповідно, $D = 0,963; 0,968$:

$$M_{np}^+ = -42,31 + 11,19\mathcal{G}_M + 11,36(U_p + \Delta U_p) + 2,81(\Gamma_k + \Delta\Gamma_k); \quad (4.5)$$

$$M_{np}^- = -20,27 - 0,64\mathcal{G}_M + 9,03(U_p - \Delta U_p) + 2,23(\Gamma_k - \Delta\Gamma_k). \quad (4.6)$$

При цьому було встановлено, що вибрана математична модель у вигляді лінійної функції є адекватною відносно отриманого експериментального масиву даних, а всі коефіцієнти рівняння регресії є значущими.

Отримані рівняння регресії (4.3) – (4.6) є емпіричними моделями які характеризують і визначають кількісні показники зміни технологічної подачі зрізаної Г-подібними ножами роторного гичкоріза гички в міжряддя невикопаних коренеплодів залежно від параметрів процесу – швидкості руху гичкозбирального модуля \mathcal{G}_M , зміни урожайності гички коренеплодів цикорію $(U_p + \Delta U_p)$ та зміни густоти насадження коренеплодів цикорію $(\Gamma_k + \Delta\Gamma_k)$ у таких межах їх зміни: $1,2 \text{ см} \leq \mathcal{G}_M \leq 1,6 \text{ см}$; $1,4 \text{ кг/м}^2 \leq (U_p + \Delta U_p) \leq 1,8 \text{ кг/м}^2$; $7 \text{ тис. шт./м}^2 \leq (\Gamma_k + \Delta\Gamma_k) \leq 11 \text{ тис. шт./м}^2$.

Згідно з рівнянням регресії (4.3) і (4.4) побудовано поверхню відгуку, яка характеризує функціональну зміну секундної подачі гички Π_p^\pm у міжряддя невикопаних коренеплодів цикорію залежно від зміни швидкості руху гичкозбирального модуля \mathcal{G}_M , урожайності гички $U_p \pm \Delta U_p$ та густоти насадження коренеплодів цикорію $\Gamma_k \pm \Delta\Gamma_k$ як функція:

$$- \quad \Pi_p^+ = f_{\Pi^+}(\mathcal{G}_M; (U_p + 0,2)), \quad \Pi_p^+ = f_{\Pi^+}(\mathcal{G}_M; (\Gamma_k + 2)), \quad \text{рис. 4.3,}$$

$$\Pi_p^+ = f_{\Pi^+}((U_p + 0,2); (\Gamma_k + \Delta\Gamma_k)), \text{ рис. 1.Д.4.1 додатка Д.4.1;}$$

$$- \quad \Pi_p^- = f_{\Pi^-}(\mathcal{G}_M; (U_p - 0,2)), \quad \Pi_p^- = f_{\Pi^-}(\mathcal{G}_M; (\Gamma_k - 2)), \quad \text{рис. 4.4,}$$

$$\Pi_p^- = f_{\Pi^-}((U_p - 0,2); (\Gamma_k - \Delta\Gamma_k)), \text{ рис. 2.Д.4.1 додатка Д.4.1.}$$

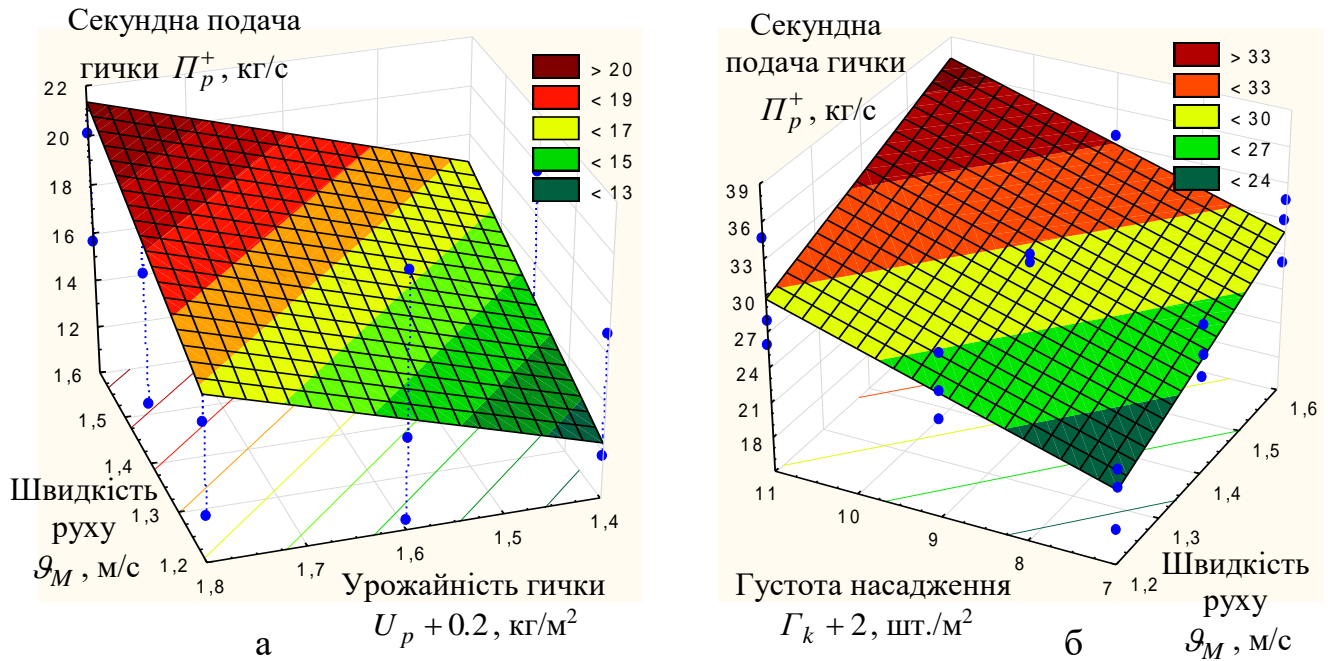


Рисунок 4.3 – Поверхня відгуку зміни секундної подачі зрізаної гички як функція: а – $\Pi_p^+ = f_{\Pi^+}(\mathcal{G}_M; (U_p + 0,2))$; б – $\Pi_p^+ = f_{\Pi^+}(\mathcal{G}_M; (\Gamma_k + 2))$

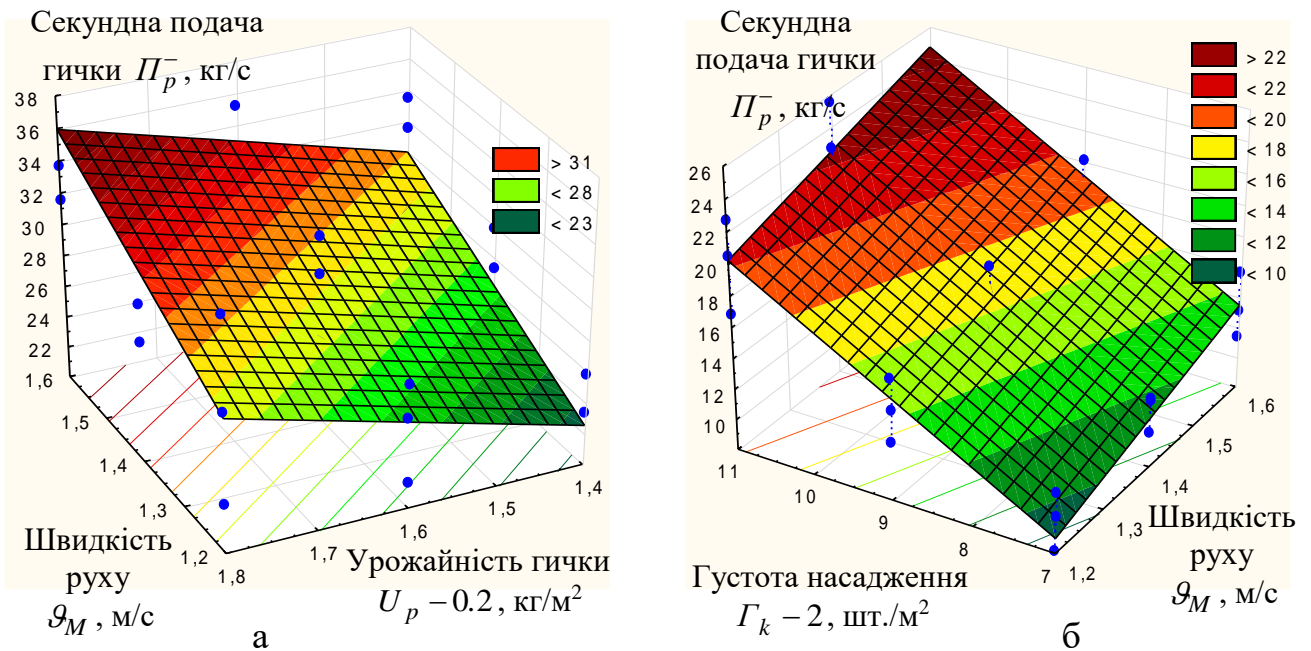


Рисунок 4.4 – Поверхня відгуку зміни секундної подачі зрізаної гички як функція: а – $\Pi_p^- = f_{\Pi^-}(\mathcal{G}_M; (U_p - 0,2))$; б – $\Pi_p^- = f_{\Pi^-}(\mathcal{G}_M; (\Gamma_k - 2))$

За мінливого збільшення зміни урожайності гички $U_p + \Delta U_p$ у межах від $1,4 + 0,2$ (кг/м²) до $1,6 + 0,2$ (кг/м²) та густоти насадження коренеплодів цикорію $\Gamma_k + \Delta \Gamma_k$ у межах від $7 + 2$ (шт./м²) до $9 + 2$ (шт./м²) секундна подача гички Π_p^+ у міжряддя невикопаних коренеплодів збільшується пропорційно

збільшенню кожного фактора та знаходиться у діапазоні від 18 кг/с до 40 кг/с за швидкості руху модуля \mathcal{G}_M від 1,2 м/с до 1,6 м/с – за збільшення швидкості руху \mathcal{G}_M , урожайності гички U_p та густоти насадження Γ_k коренеплодів приблизно в 1,3 рази Π_p^+ збільшується в 1,7 рази, рис. 4.3, рис. 1.Д.4.1 додатка Д.4.1.

За мінливого зменшення зміни урожайності гички $U_p - \Delta U_p$ у межах від 1,6 – 0,2 (кг/м²) до 2,0 – 0,2 (кг/м²) та густоти насадження коренеплодів цикорію $\Gamma_k - \Delta \Gamma_k$ у межах від 7 – 2 до 11 – 2 (шт./м²) секундна подача гички Π_p^- у міжряддя невикопаних коренеплодів збільшується пропорційно збільшенню кожного фактора та знаходиться у діапазоні від 6 кг/с до 26 кг/с за швидкості руху модуля \mathcal{G}_M від 1,2 м/с до 1,6 м/с – за збільшення швидкості руху \mathcal{G}_M , урожайності гички U_p та густоти насадження Γ_k коренеплодів приблизно в 1,3 рази Π_p^- збільшується в 2,6 рази, рис. 4.4, рис. 2.Д.4.1 додатка Д.4.1.

Ці закономірності характеру функціональної зміни секундної подачі Π_p^\pm гички у міжряддя невикопаних коренеплодів цикорію підтверджуються також отриманими даними згідно з побудованими графічними залежностями, які наведено на рис. 4.5.

Згідно з рівнянням регресії (4.5) і (4.6) побудовано поверхню відгуку, яка характеризує функціональну зміну питомої маси гички M_{np}^\pm , яку зрізано ножами роторного гичкоріза та укладено в зону між двома суміжними ділильними дисками, які розташовано у одному міжрядді невикопаних коренеплодів залежно від зміни швидкості руху гичкозбирального модуля \mathcal{G}_M , урожайності гички $U_p \pm \Delta U_p$ та густоти насадження коренеплодів цикорію $\Gamma_k \pm \Delta \Gamma_k$ як функція:

$$- \quad M_{np}^+ = f_M(\mathcal{G}_M; (U_p + 0,2)), \quad M_{np}^+ = f_M(\mathcal{G}_M; (\Gamma_k + 2)), \quad \text{рис. 4.6,}$$

$$M_{np}^+ = f_{M^+}((U_p + 0,2); (\Gamma_k + \Delta \Gamma_k)), \quad \text{рис. 3.Д.4.1 додатка Д.4.1;}$$

$$- \quad M_{np}^- = f_M(\mathcal{G}_M; (U_p - 0,2)), \quad M_{np}^- = f_M(\mathcal{G}_M; (\Gamma_k - 2)), \quad \text{рис. 4.7,}$$

$$M_{np}^- = f_{M^-}((U_p - 0,2); (\Gamma_k - \Delta \Gamma_k)), \quad \text{рис. 4.Д.4.1 додатка Д.4.1.}$$

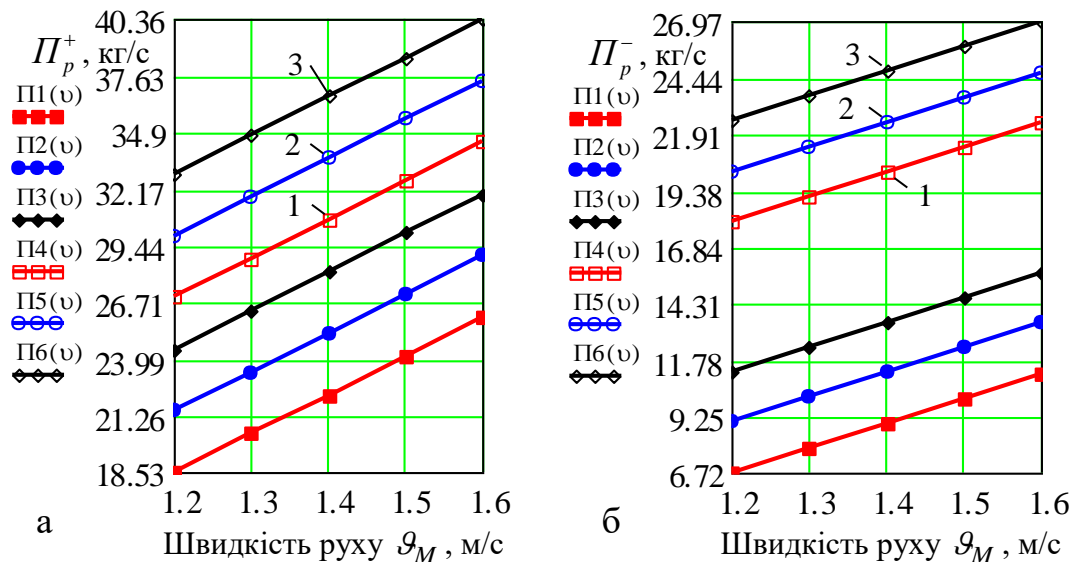


Рисунок 4.5 – Залежність зміни секундної подачі зрізаної гички як функція:

а – $P_p^+ = f_{II}(\mathcal{G}_M)$, П1(v), П2(v), П3(v) – $\Gamma_k + \Delta\Gamma_k = 5 + 2$ шт./м², П4(v), П5(v), П6(v) – $\Gamma_k + \Delta\Gamma_k = 9 + 2$ шт./м², 1, 2, 3 – відповідно, $U_p + \Delta U_p = 1,2 + 0,2$ кг/м²,
 $U_p + \Delta U_p = 1,4 + 0,2$ кг/м², $U_p + \Delta U_p = 1,6 + 0,2$ кг/м²;

б – $P_p^- = f_{II}(\mathcal{G}_M)$, П1(v), П2(v), П3(v) – $\Gamma_k + \Delta\Gamma_k = 9 - 2$ шт./м², П4(v), П5(v), П6(v) – $\Gamma_k + \Delta\Gamma_k = 13 - 2$ шт./м², 1, 2, 3 – відповідно, $U_p - \Delta U_p = 1,6 - 0,2$ кг/м²,
 $U_p - \Delta U_p = 1,8 - 0,2$ кг/м², $U_p - \Delta U_p = 2,0 - 0,2$ кг/м²

Домінуючими факторами, вплив яких призводить до значної зміни питомої маси гички M_{np}^\pm , яку зрізано ножами роторного гичкоріза та укладено у міжряддя невикопаних коренеплодів між двома суміжними ділільними дисками є урожайність гички $U_p \pm \Delta U_p$ та густина насадження коренеплодів цикорію $\Gamma_k \pm \Delta\Gamma_k$. При цьому питома маса гички M_{np}^\pm за зміни швидкості руху гичкозбирального модуля \mathcal{G}_M від 1,2 м/с до 1,6 м/с знаходиться у діапазоні: $M_{np}^+ = 18...27$ кг/м², рис. 4.6, рис. 3.Д.4.1 додатка Д.4.1; $M_{np}^- = 10...18$ кг/м², рис. 4.7, рис. 4.Д.4.1 додатка Д.4.1.

За мінливого збільшення зміни урожайності гички $U_p + \Delta U_p$ у межах від $1,4 + 0,2$ до $1,6 + 0,2$ (кг/м²) та густоти насадження коренеплодів цикорію $\Gamma_k + \Delta\Gamma_k$ у межах від $7 + 2$ до $9 + 2$ (шт./м²) питома маса гички M_{np}^+ збільшується у середньому, відповідно, на $5,5...6,5$ кг/м² та $6,5...7,5$ кг/м².

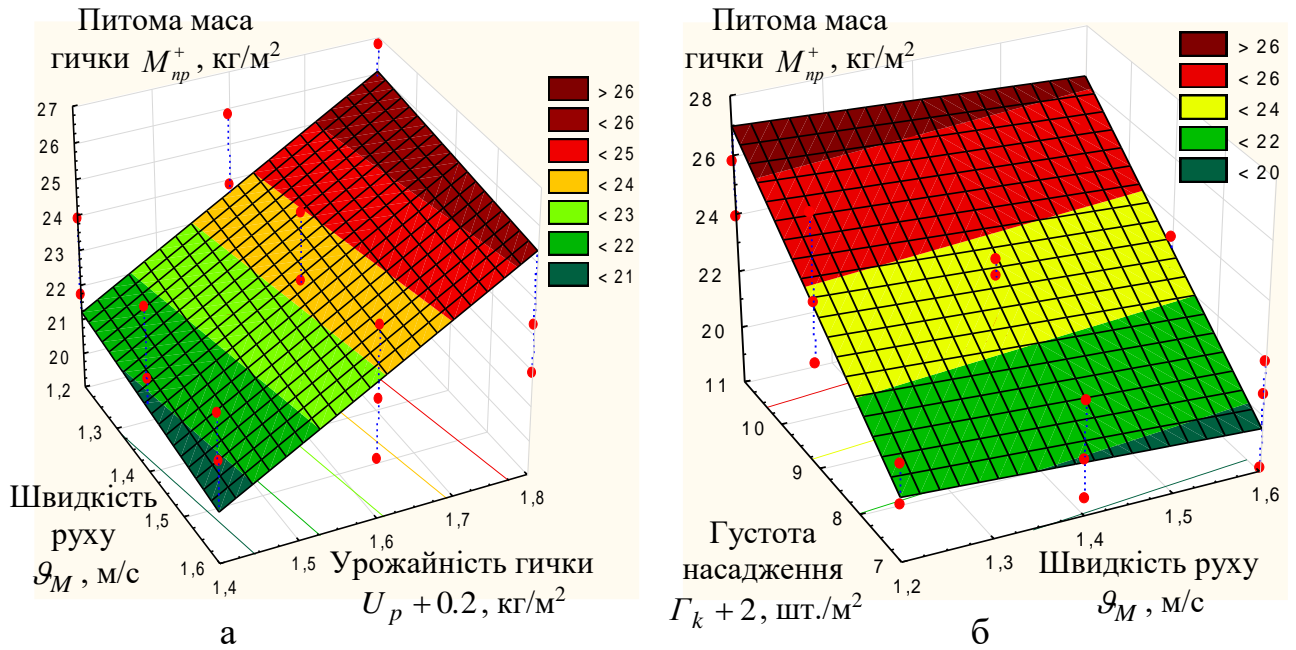


Рисунок 4.6 – Поверхня відгуку зміни питомої маси зрізаної гички як функція: а – $M_{np}^+ = f_{M^+}(\mathcal{G}_M; (U_p + 0,2))$; б – $M_{np}^+ = f_{M^+}(\mathcal{G}_M; (\Gamma_k + 2))$

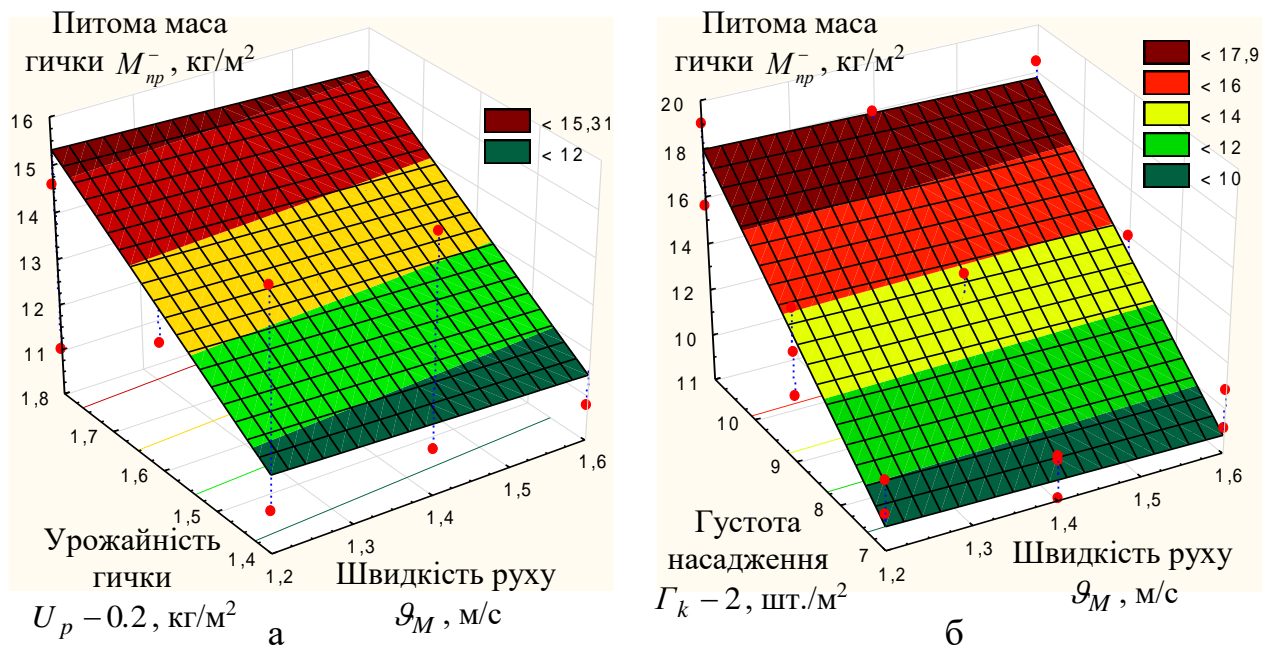


Рисунок 4.7 – Поверхня відгуку зміни питомої маси зрізаної гички як функція: а – $M_{np}^- = f_{M^-}(\mathcal{G}_M; (U_p - 0,2))$; б – $M_{np}^- = f_{M^-}(\mathcal{G}_M; (\Gamma_k - 2))$

За мінливого зменшення зміни урожайності гички $U_p - \Delta U_p$ у межах від $1,6 - 0,2$ до $2,0 - 0,2$ (кг/м²) та густоти насадження коренеплодів цикорію $\Gamma_k - \Delta \Gamma_k$ у межах від $9 - 2$ до $13 - 2$ (шт./м²) питома маса гички M_{np}^- збільшується у середньому, відповідно, на $3,5 \dots 4,5$ кг/м² та $8,5 \dots 9,5$ кг/м².

Зміна швидкості руху \mathcal{G}_M гичкозбирального модуля у межах від 1,2 м/с до 1,6 м/с має несуттєвий вплив на збільшення питомої маси гички M_{np}^{\pm} – зростання становить 0,1...0,3 кг/м².

При цьому питома маса гички M_{np}^+ та M_{np}^- , яку укладено в міжряддя невикопаних коренеплодів збільшується пропорційно збільшенню урожайності гички та густоти насадження коренеплодів цикорію – за збільшення урожайності гички U_p та густоти насадження Γ_k коренеплодів приблизно в 1,3 рази M_{np}^+ збільшується в 1,5 рази, рис. 4.6, рис. 3.Д.4.1 додатка Д.4.1, а M_{np}^- збільшується в 1,8 рази, рис. 4.7, рис. 4.Д.4.1 додатка Д.4.1.

Ці закономірності характеру функціональної зміни питомої маси гички M_{np}^{\pm} , яку укладено в міжряддя невикопаних коренеплодів цикорію підтверджуються також отриманими даними згідно з побудованими графічними залежностями, які наведено на рис. 4.8.

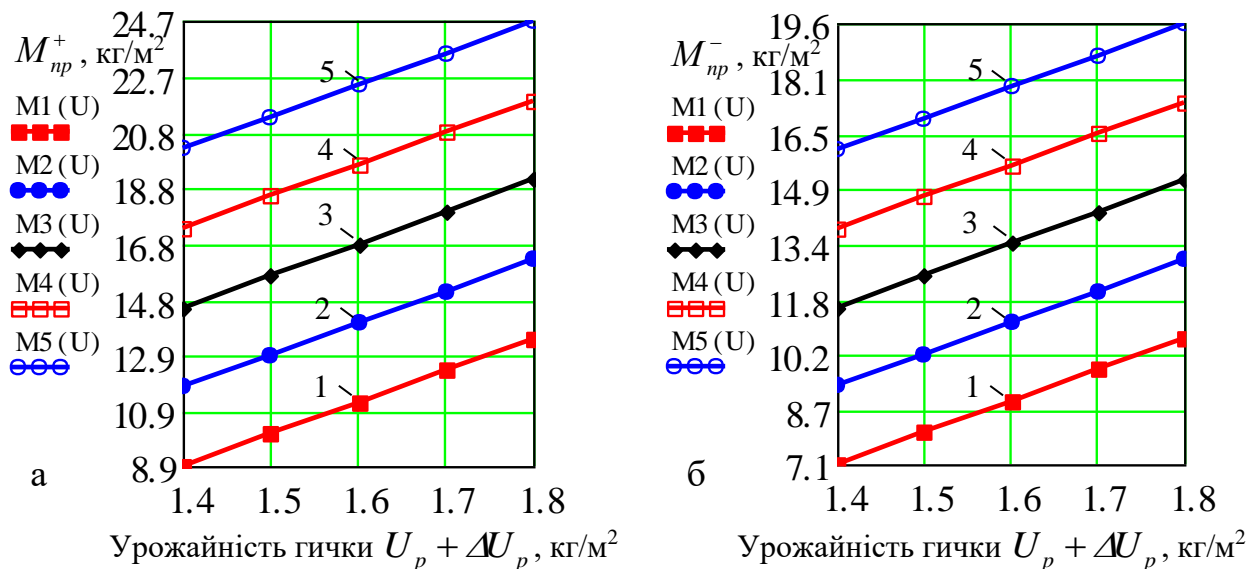


Рисунок 4.8 – Залежність зміни питомої маси зрізаної гички як функція:

$$\begin{aligned}
 \text{а} - M_{np}^+ &= f_{M^+}(U_p + \Delta U_p), 1, 2, 3 - \text{відповідно, } \Gamma_k + \Delta \Gamma_k = 5 + 2 \text{ шт./м}^2, \\
 &\Gamma_k + \Delta \Gamma_k = 6 + 2 \text{ шт./м}^2, \Gamma_k + \Delta \Gamma_k = 7 + 2 \text{ шт./м}^2, \Gamma_k + \Delta \Gamma_k = 8 + 2 \text{ шт./м}^2, \\
 &\Gamma_k + \Delta \Gamma_k = 9 + 2 \text{ шт./м}^2; \text{б} - M_{np}^- = f_{M^-}(U_p - \Delta U_p); 1, 2, 3 - \text{відповідно,} \\
 &\Gamma_k - \Delta \Gamma_k = 9 - 2 \text{ шт./м}^2, \Gamma_k - \Delta \Gamma_k = 10 - 2 \text{ шт./м}^2, \Gamma_k - \Delta \Gamma_k = 11 - 2 \text{ шт./м}^2, \\
 &\Gamma_k - \Delta \Gamma_k = 12 - 2 \text{ шт./м}^2, \Gamma_k - \Delta \Gamma_k = 13 - 2 \text{ шт./м}^2
 \end{aligned}$$

На рис. 4.9, рис. 4.10 наведено графічні залежності, які характеризують розбіжність значення теоретичної секундної подачі Π_p зрізаної гички в міжряддя невикопаних коренеплодів цикорію та які побудовано згідно з аналітичною залежністю (2.18) та експериментального апроксимованого значення секундної подачі Π_p^\pm , які отримано згідно з емпіричними моделями (4.3) і (4.4).

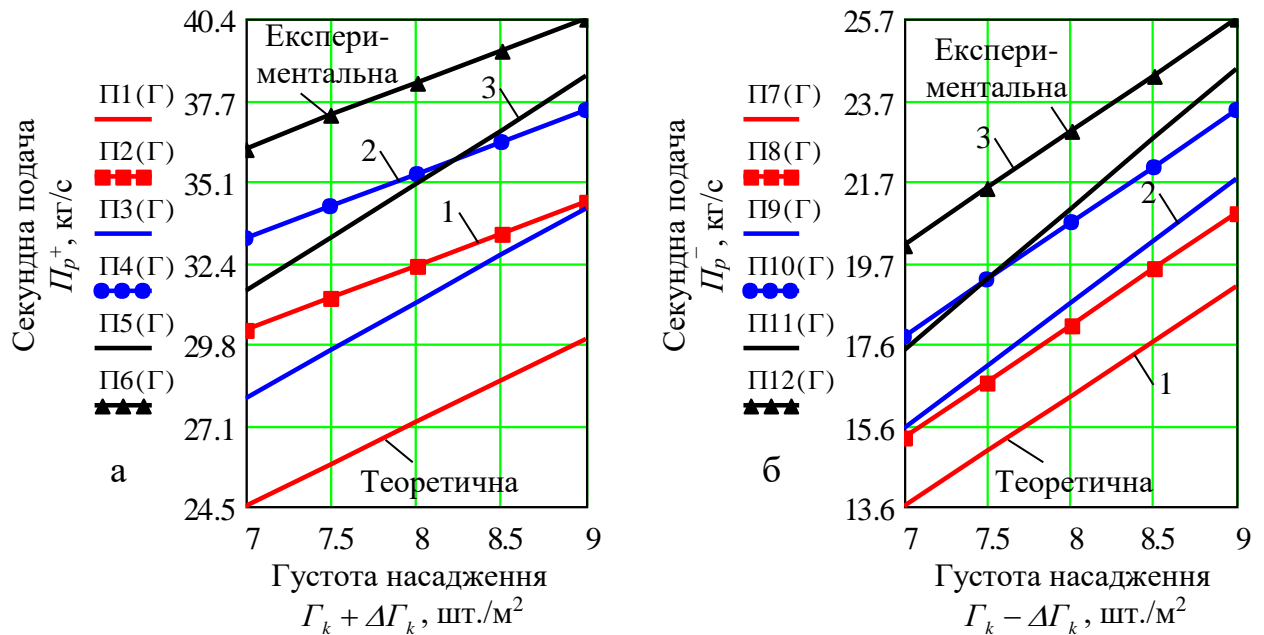


Рисунок 4.9 – Залежність зміни секундної подачі зрізаної гички як функція:

$$a - \Pi_p^+ = f_{\Pi^+}(\Gamma_k + \Delta\Gamma_k), \quad 1, 2, 3 - \text{відповідно, } U_p + \Delta U_p = 1,2 + 0,2 \text{ кг/м}^2, \\ U_p + \Delta U_p = 1,4 + 0,2 \text{ кг/м}^2, \quad U_p + \Delta U_p = 1,6 + 0,2 \text{ кг/м}^2;$$

$$б - \Pi_p^- = f_{\Pi^-}(\Gamma_k - \Delta\Gamma_k), \quad 1, 2, 3 - \text{відповідно, } U_p - \Delta U_p = 1,6 - 0,2 \text{ кг/м}^2, \\ U_p - \Delta U_p = 1,8 - 0,2 \text{ кг/м}^2, \quad U_p - \Delta U_p = 2,0 - 0,2 \text{ кг/м}^2$$

На основі числового аналізу графічних залежностей зміни значень секундної подачі зрізаної гички в міжряддя невикопаних коренеплодів було встановлено, що:

- розбіжність між теоретичними та експериментальними значеннями секундної подачі Π_p^+ зрізаної гички в міжряддя невикопаних коренеплодів цикорію при збільшенні густоти насадження $\Gamma_k + \Delta\Gamma_k$ та урожайності гички $U_p + \Delta U_p$ знаходиться в діапазоні від 12 % до 20 %, рис. 4.9а, рис. 4.10а;

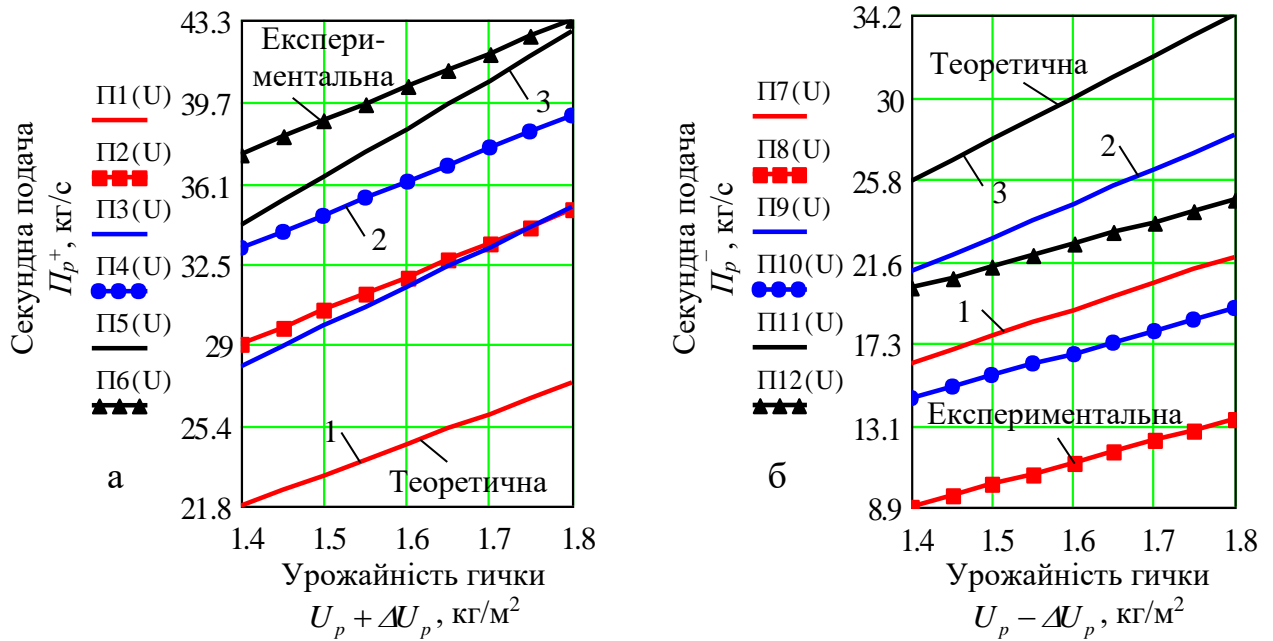


Рисунок 4.10 – Залежність зміни секундної подачі гички як функція:

а – $P_p^+ = f_{P^+}(U_p + \Delta U_p)$, 1, 2, 3 – відповідно, $\Gamma_k + \Delta \Gamma_k = 5 + 2$ шт./м²,

$$\Gamma_k + \Delta \Gamma_k = 7 + 2 \text{ шт./м}^2, \Gamma_k + \Delta \Gamma_k = 9 + 2 \text{ шт./м}^2;$$

б – $P_p^- = f_{P^-}(U_p - \Delta U_p)$; 1, 2, 3 – відповідно, $\Gamma_k - \Delta \Gamma_k = 9 - 2$ шт./м²,

$$\Gamma_k - \Delta \Gamma_k = 11 - 2 \text{ шт./м}^2, \Gamma_k - \Delta \Gamma_k = 13 - 2 \text{ шт./м}^2$$

- розбіжність між теоретичними та експериментальними значеннями секундної подачі P_p^- зрізаної гички в міжряддя невикопаних коренеплодів цикорію при зменшенні густоти насадження $\Gamma_k - \Delta \Gamma_k$ та урожайності гички $U_p - \Delta U_p$ коренеплодів знаходиться в діапазоні від 15 % до 25 %, рис. 4.9б, рис. 4.10б;

На рис. 4.11, рис. 4.12 наведено графічні залежності, які характеризують розбіжність значення питомої маси M_{np} зрізаної та подрібненої гички, яку укладено в зону між двома суміжними ділильними дисками, що розташовані в міжряддя невикопаних коренеплодів цикорію та які побудовано згідно з аналітичною залежністю (2.19) та експериментального апроксимованого значення питомої маси гички M_{np}^\pm , які отримано згідно з емпіричними моделями (4.5) і (4.6).

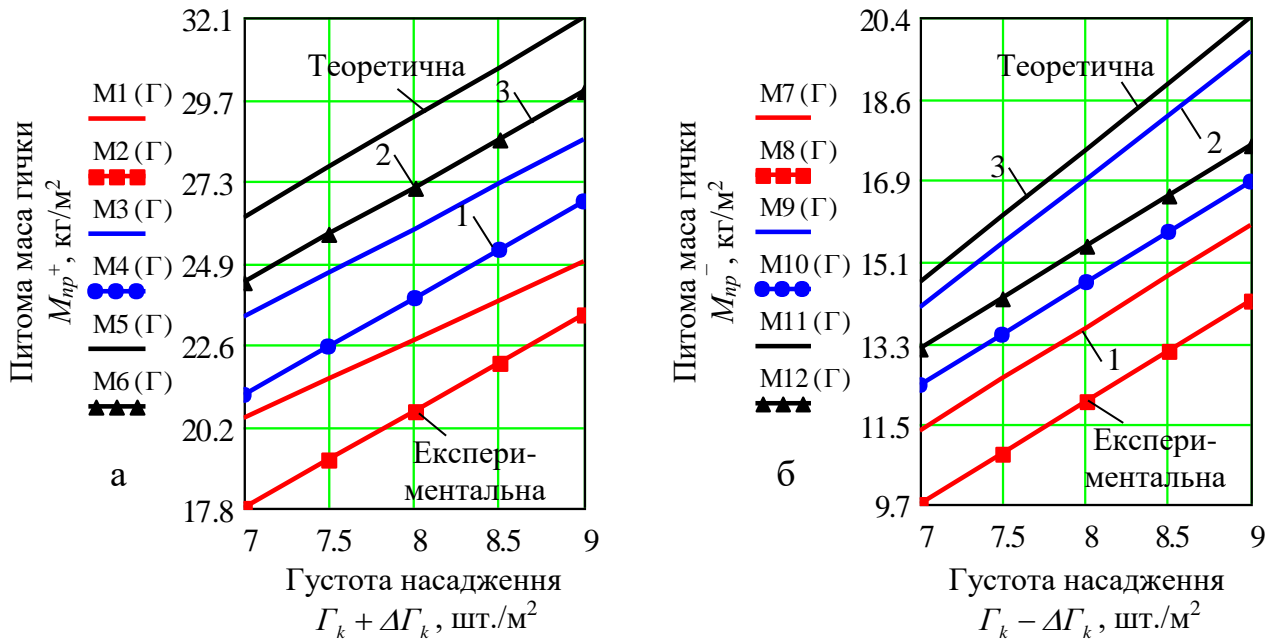


Рисунок 4.11 – Залежність зміни питомої маси зрізаної гички як функція:

$$a - M_{np}^+ = f_{M^+}(\Gamma_k + \Delta\Gamma_k), 1, 2, 3 - \text{відповідно, } U_p + \Delta U_p = 1,2 + 0,2 \text{ кг/м}^2,$$

$$U_p + \Delta U_p = 1,4 + 0,2 \text{ кг/м}^2, U_p + \Delta U_p = 1,6 + 0,2 \text{ кг/м}^2;$$

$$б - M_{np}^- = f_{M^-}(\Gamma_k - \Delta\Gamma_k), 1, 2, 3 - \text{відповідно, } U_p - \Delta U_p = 1,6 - 0,2 \text{ кг/м}^2,$$

$$U_p - \Delta U_p = 1,8 - 0,2 \text{ кг/м}^2, U_p - \Delta U_p = 2,0 - 0,2 \text{ кг/м}^2$$

На основі числового аналізу графічних залежностей зміни значень питомої маси зрізаної та подрібненої гички, яку укладено в зону між двома суміжними ділильними дисками, що розташовані в міжрядді невикопаних коренеплодів цикорію було встановлено, що:

- розбіжність між теоретичними та експериментальними значеннями питомої маси M_{np}^+ зрізаної та подрібненої гички, яку укладено в зону між двома суміжними ділильними дисками, що розташовані в міжрядді невикопаних коренеплодів цикорію при збільшені густоти насадження $\Gamma_k + \Delta\Gamma_k$ та урожайності гички $U_p + \Delta U_p$ знаходиться в діапазоні від 10 % до 15 %, рис. 4.11а, рис. 4.12а;

- розбіжність між теоретичними та експериментальними значеннями питомої маси M_{np}^- зрізаної та подрібненої гички, яку укладено в зону між двома суміжними ділильними дисками, що розташовані в міжрядді невикопаних

коренеплодів цикорію при зменшені густоти насадження $\Gamma_k + \Delta\Gamma_k$ та урожайності гички $U_p + \Delta U_p$ знаходиться в діапазоні від 7 % до 18 %, рис. 4.116, рис. 4.126.

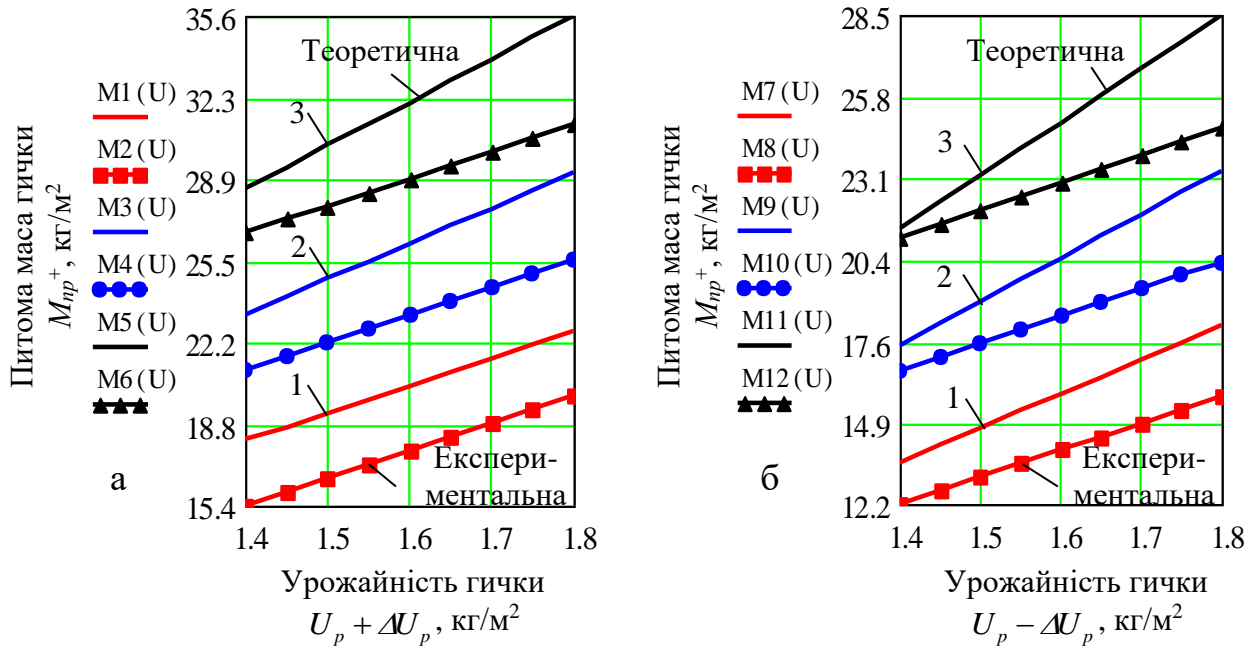


Рисунок 4.12 – Залежність зміни питомої маси зрізаної гички як функція:

$$a - M_{np}^+ = f_{M^+}(U_p + \Delta U_p), \quad 1, 2, 3 - \text{відповідно, } \Gamma_k + \Delta\Gamma_k = 5 + 2 \text{ шт./м}^2,$$

$$\Gamma_k + \Delta\Gamma_k = 7 + 2 \text{ шт./м}^2, \quad \Gamma_k + \Delta\Gamma_k = 9 + 2 \text{ шт./м}^2;$$

$$б - M_{np}^- = f_{M^-}(U_p - \Delta U_p); \quad 1, 2, 3 - \text{відповідно, } \Gamma_k - \Delta\Gamma_k = 9 - 2 \text{ шт./м}^2,$$

$$\Gamma_k - \Delta\Gamma_k = 11 - 2 \text{ шт./м}^2, \quad \Gamma_k - \Delta\Gamma_k = 13 - 2 \text{ шт./м}^2$$

Таким чином, на основі проведеного аналізу можна констатувати, що:

- розроблені аналітичні моделі (2.18) і (2.19), які, відповідно, описують функціональний характер зміни секундної подачі P_p і питомої маси M_{np} зрізаної та подрібненої гички коренеплодів є адекватними та такими, які на теоретичному рівні задовільно описують характер зміни експериментального масиву даних P_p^\pm і M_{np}^\pm ;

- розроблені емпіричні моделі (4.3) – (4.6) дозволяють прогнозувати та розраховувати числові значення секундної подачі та питомої маси зрізаної і подрібненої гички в міжряддя невикопаних коренеплодів в межах зміни швидкості руху гичкозбирального модуля $1,2 \leq \mathcal{G}_M \leq 1,6$ (м/с), урожайності

гички $1,4 \leq U_p \leq 1,8$ (кг/м²), густоти насадження коренеплодів $7 \leq \Gamma_k \leq 11$ (шт./м²), що є передумовою для проектування та розрахунку робочих органів для викопування та очищення коренеплодів від домішок.

4.2. Експериментальні дослідження процесу різання головок коренеплодів з використанням маятникового копра

Експериментальні дослідження процесу різання головок коренеплодів кормових буряків ножем, який встановлено на маятнику копра (рис. 3.4, рис. 3.5а, в) провели з метою визначення максимально можливої довжини різання L_d тіла коренеплодів залежно від початкової швидкості руху ножа, виконаного в двох варіантах: перший варіант виконання ножа – встановленого жорстко на маятнику копра під кутом $\alpha_p = 35^0$; другий варіант виконання ножа – підпружиненого ножа, який встановленого на нерухомому вертикальному пальці з можливістю повороту на максимальний кут $\alpha_{p,max} = 35^0$ [136].

Опис експериментальної установки наведено у підрозділі 3.1, а методику проведення експериментальних досліджень процесу різання головок коренеплодів з використанням маятникового копра – у підрозділі 3.3 розділу 3 дисертаційної роботи.

Довжина маятника l копра під час проведення експериментів була постійною та становила $l = 0,55$ м.

Результати реалізації план-матриці експериментальних досліджень двофакторного (в другому випадку) та однофакторного (в першому випадку) експерименту з визначення довжина різання, відповідно, L_{2d} , L_{1d} головки коренеплоду, або експериментальний масив даних наведено у табл. 4.2.

Обробку одержаного експериментального масиву даних, який наведено у табл. 4.2 та додатку Г.5.2, трактування та аналіз отриманих результатів довжини різання L_{id} головки коренеплоду кормових буряків провели згідно з методикою, яку наведеною в пункті 3.3 розділу 3 дисертаційної роботи з використанням наведених залежностей (3.5)-(3.12).

Таблиця 4.2

Результати дослідження довжини різання L_d головки коренеплоду

№ експ.	Фактори		Другий випадок, L_{2d} , см				Перший випадок, L_{1d} , см			
	V_M , м/с	k_n , Н/см	Повторності			L_{2cd}	Повторності			L_{1cd}
			L_{21d}	L_{22d}	L_{23d}		L_{11d}	L_{12d}	L_{13d}	
1	1,2	15	8,8	8,7	8,6	8,7	8,0	8,4	8,8	8,6
2	1,6	15	9,7	10,0	10,0	9,9	10,1	9,6	9,1	9,6
3	2,0	15	12,0	11,9	11,8	11,8	11,7	11,8	11,0	11,5
4	1,2	35	9,4	9,5	9,9	9,6				
5	1,6	35	13,0	12,8	12,3	12,7				
6	2,0	35	16,0	15,8	16,4	16,1				
7	1,2	55	10,3	11,0	10,2	10,5				
8	1,6	55	15,0	15,5	15,1	15,3				
9	2,0	55	18,8	18,1	18,3	18,4				

Апроксимуючу функцію відгуку, або параметра оптимізації, тобто зміну довжини різання L_{id} головки коренеплоду, визначену експериментальним шляхом, знаходили у вигляді математичної моделі полінома другої степені

$$L_{2d} = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_{12}x_{12} + b_{11}x_1^2 + b_{22}x_2^2; \quad (4.7)$$

$$L_{1d} = b_0 + b_1x_1 + b_{11}x_1^2, \quad (4.8)$$

де L_{1d} , L_{2d} – довжина різання головки коренеплоду, см;

$b_0, b_1, b_2, b_{12}, b_{11}, b_{22}$ – коефіцієнти відповідних значень x_i ;

x_1, x_2, x_3 – відповідні кодовані фактори.

Невідомі значення коефіцієнтів рівняння регресії у вигляді функціонала $L_{2d} = f_{2L}(x_1; x_2)$, $L_{1d} = f_{1L}(x_1)$ у кодованих величинах визначали за формулами (3.8) і (3.9), а перехід від кодованих величин до натуральних, або визначення коефіцієнтів рівняння регресії апроксимуючої моделі $L_{2d} = f_{2L}(V_p; k_n)$, $L_{1d} = f_{1L}(V_p)$ у натуральних величинах – за формулами (3.13) і (3.14).

Натуральні значення коефіцієнтів b_i рівняння регресії, які характеризують зміну довжини різання головок коренеплодів кормових буряків зміни L_{1d} , L_{2d} наведено у табл. 4.3.

Таблиця 4.3

Натуральні значення коефіцієнтів b_i рівняння регресії, які характеризують зміну довжини різання головок коренеплодів кормових буряків L_{1d} , L_{2d}

Позначення	Натуральні значення коефіцієнтів рівняння регресії					
	b_0	b_1	b_2	b_{12}	b_{11}	b_{22}
$L_{2d} = f_{2L}(V_p; k_n)$	4,52	2,3	-0,08	0,18	-0,42	-0,001
$L_{1d} = f_{1L}(V_p)$	11	-5,38			2,81	

Після оцінки статистичної значущості коефіцієнтів рівняння регресії і перевірки адекватності моделі згідно з (3.10), (3.12) (додаток Г.6.2) та переходу від кодованих позначень змінних факторів до натуральних, одержано рівняння регресії, яке характеризує зміну довжини різання L_{2d} , L_{1d} головки коренеплоду:

$$L_{2d} = 4,52 + 2,3V_p - 0,08k_n + 0,18V_p k_n - 0,42(V_p)^2 - 0,001(k_n)^2; \quad (4.9)$$

$$L_{1d} = 11,0 - 5,38V_p + 2,81(V_p)^2. \quad (4.10)$$

Отримані регресійні залежності (4.9) і (4.10) можуть бути використані для визначення довжини різання L_{2d} , L_{1d} головки коренеплоду згідно з апроксимуючою моделлю $L_{2d} = f_{2L}(V_p; k_n)$ та $L_{1d} = f_{1L}(V_p)$ у наступних межах зміни діапазону значень вхідних факторів: початкової швидкості різання $1,2 \leq V_p \leq 2,0$ м/с; жорсткості пружини $15 \leq k_n \leq 55$ Н/см [136].

На рис. 4.13 наведено поверхню відгуку та двомірний переріз поверхні відгуку зміни довжини різання L_{2d} головок коренеплодів кормових буряків для другого варіанту виконання ножа (підпружиненого ножа, який встановлено на вертикальному пальці) як функціонал $L_{2d} = f_{2L}(V_p; k_n)$, які побудовано згідно рівняння регресії (4.9).

Довжина різання L_{2d} головок коренеплодів кормових буряків у межах зміни діючих вхідних факторів $1,2 \leq V_p \leq 2,0$ м/с та $15 \leq k_n \leq 55$ Н/см у другому випадку змінюється в діапазоні від 8,7 до 18,4 см, що також характерно аналізу графічної інтерпретації, яку наведено на рис. 4.14а.

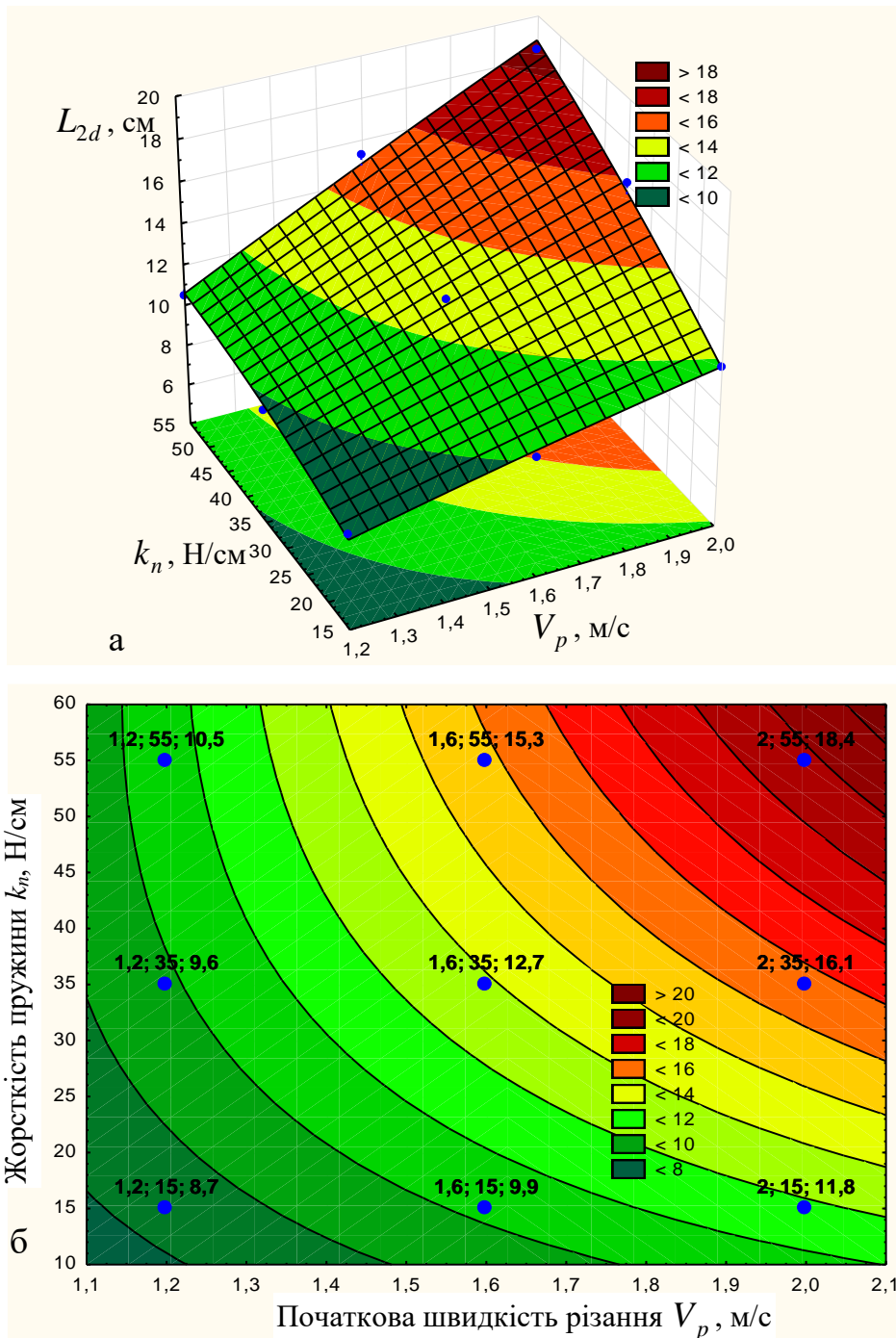


Рис. 4.13. Поверхня відгуку (а) та двомірний переріз поверхні відгуку зміни довжини різання L_{2d} як функціонал $L_{2d} = f_{2L}(V_p; k_n)$

Довжина різання L_{1d} головок коренеплодів кормових буряків у межах зміни діючого вхідного фактора $1,2 \leq V_p \leq 2,0$ м/с у першому випадку змінюється в діапазоні від 8,6 до 11,5 см (рис. 4.14б) згідно з апроксимованою поліноміальною залежністю 1, яка найбільш адекватно описує функціональну залежність зміни $L_{1d} = f_{1L}(V_p)$.

При цьому в обох випадках виконання ріжучого ножа (у другому випадку – підпружиненого ножа, який встановлено на вертикальному пальці; у першому випадку – жорстко встановленого ножа, або серійного ножа) довжина різання L_{2d} та L_{1d} головок коренеплодів кормових буряків зростає зі збільшенням, як початкової швидкості різання V_p , так і жорсткості пружини k_n у другому випадку, що також адекватно характеру залежності зміни довжини різання головок коренеплодів кормових буряків L_{2d} і L_{1d} , яку наведено на рис. 4.15.

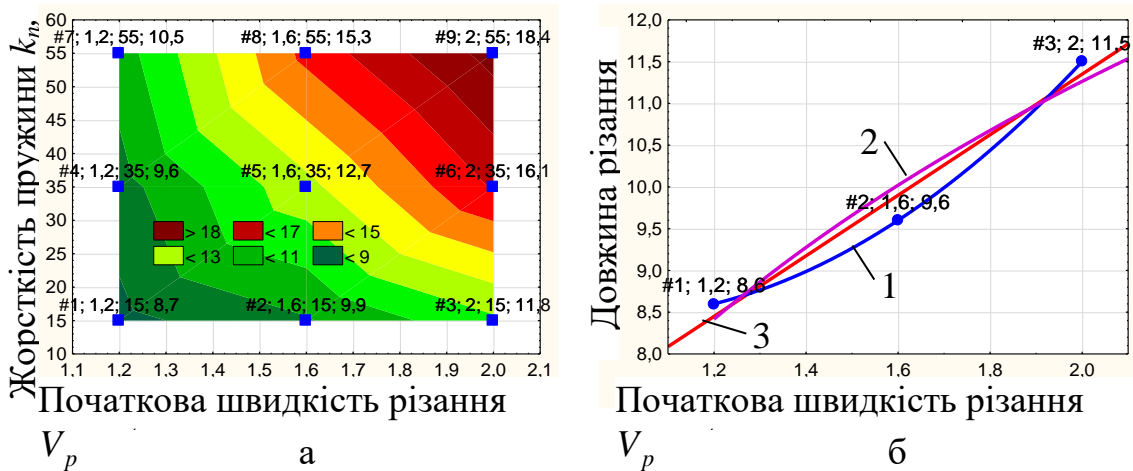


Рис. 4.14. Залежності зміни довжини різання головок коренеплодів:

а – зміна проекції L_{2d} від V_p і k_n ; б – апроксимація залежності

зміни L_{1d} як функціонал $L_{1d} = f_{1L}(V_p)$: 1 – поліноміальна;

2 – логарифмічна; 3 – лінійна

На основі порівняльного графічного аналізу встановлено, що за значення жорсткості пружини $k_n = 15$ Н/см довжина різання головок коренеплодів для обох випадків конструктивного виконання ріжучого ножа практично однакова та становить 8,5...11,5 см в межах зміни початкової швидкості різання $1,2 \leq V_p \leq 2,0$ м/с (рис. 4.12а, залежності $L(V)$ і $L_1(V)$), при цьому за жорсткості пружини k_n , яка знаходиться в межах від 15 до 35 Н/см та початкової швидкості різання V_p в межах від 1,2 до 1,4 м/с довжина різання не перевищує 12 см (рис. 4.13).

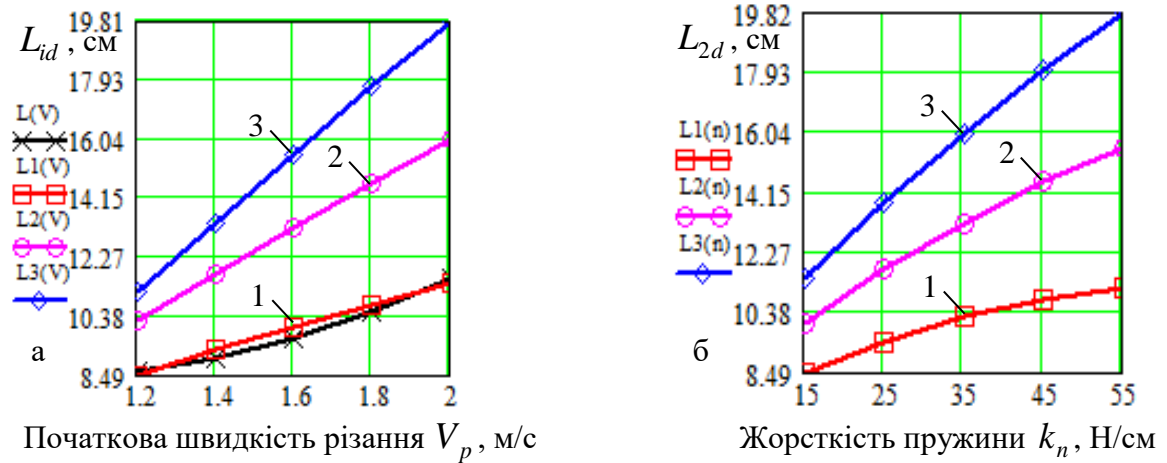


Рис. 4.13. Залежність зміни довжини різання головок коренеплодів:

а – від початкової швидкості різання V_p : $L(V)$ – як функціонал

$$L_{1d} = f_{1L}(V_p), L1(V)-3(V) - L_{2d} = f_{2L}(V_p), 1, 2, 3 - \text{за } k_n = 15, 35, 55 \text{ Н/см};$$

б – від жорсткості пружини k_n як функціонал $L_{2d} = f_{2L}(k_n)$,

$$1, 2, 3 - \text{за } V_p = 1,2; 1,4; 2,0 \text{ м/с}$$

У зв'язку з цим можна констатувати, що:

- застосування пружини жорсткістю більше 35 Н/см, або $k_n \leq 35$ Н/см за початкової швидкості різання $V_p \leq 1,6$ м/с для збільшення швидкості різання головок коренеплодів або довжини різання L_d головок коренеплодів кормових буряків в другому випадку конструктивного виконання ріжучого ножа (підпружиненого ножа) є практично не раціональним;

- при цьому в вказаних межах зміни жорсткості пружини $15 \leq k_n \leq 35$ Н/см та початкової швидкості різання $1,2 \leq V_p \leq 1,6$ м/с довжина різання L_d головок коренеплодів кормових буряків у другому випадку конструктивного виконання ріжучого ножа (підпружиненого ножа) практично однакова, або є незмінною та не перевищує 12 см.

Ефективне підсилення швидкості різання головок коренеплодів, або довжини різання головок коренеплодів кормових буряків відбувається в другому випадку конструктивного виконання ріжучого ножа (підпружиненого ножа) за жорсткості пружини більше 35 Н/см, або $k_n > 35$ Н/см.

4.3. Результати порівняльних досліджень способів збирання основного масиву гички коренеплодів

Порівняльні польові експериментальні дослідження модернізованого гичкозбирального модуля провели з метою встановлення технологічної ефективності процесу викопування коренеплодів цикорію за двох способів збирання основного масиву гички гичкозбиральним модулем: суцільного укладання зрізаної та подрібненої ножами роторного гичкоріза гички в міжряддя невикопаних коренеплодів; укладання зрізаної та подрібненої ножами роторного гичкоріза гички в зону між двома суміжними ділильними дисками, що розташовані у одному міжрядді невикопаних коренеплодів.

Технологічну ефективність процесу викопування коренеплодів цикорію за двома способами збирання основного масиву гички встановлювали згідно отриманих показників якості роботи коренезбиральної машини .

Сформульовані агротехнічні вимоги до процесу збирання коренеплодів цикорію, які наведено у п. 3.4 розділу 3 дисертаційної роботи.

Польові порівняльні дослідження процесу викопування коренеплодів цикорію за двох способів збирання основного масиву гички гичкозбиральним модулем проводили в однакових умовах і згідно з методикою, яку наведено у підрозділі 3.4 розділу 3 дисертаційної роботи.

Спершу зрізували основний масив гички першим, або другим способом. У подальшому збирали коренеплоди цикорію коренезбиральною машиною.

Загальна технічна характеристика конструктивно-кінематичних параметрів гичкозбирального модуля наведена у додатку Г 2.1, а коренезбиральної машини – у додатку Г.4.1.

Умови порівняльних досліджень процесу збирання гички та викопування коренеплодів і характеристика плантації насадження коренеплодів цикорію наведено у додатку В.5.2.

Визначали агротехнічні показники якості роботи коренезбиральної машини і на основі порівняльної характеристики показників якості роботи за

двох способів збирання основного масиву гички гичкозбиральним модулем визначали загальну технологічну ефективність процесу збирання коренеплодів.

Агротехнічні вимоги до показників якості роботи коренезбиральної машини сформульовано в п. 3.4 розділу 3 дисертаційної роботи.

На основі проведеного комплексу теоретичних та експериментальних досліджень вибрані основні раціональні конструктивно-кінематичні параметри розробленого гичкозбирального модуля, які були застосовані при проведенні порівняльних експериментальних дослідженнях: робоча швидкість руху гичкозбирального модуля – 1,6 м/с; частота обертання ротора гичкоріза – 610 об/хв; діаметр роторного гичкоріза – 0,45 м; діаметр ділильних дисків – 0,5 м; відстань між двома суміжними ділильними дисками – $b_n = 0,3$ м.

Час проведення однієї проби становив 5 с, при цьому довжина L_g залікової ділянки посівів коренеплодів цикорію становила $L_{1,6} = 8$ м.

Результати показників якості виконання технологічного процесу викопування коренеплодів цикорію за двох способів збирання основного масиву гички під час проведення порівняльних польових досліджень наведено в табл. 4.4.

На основі порівняльного аналізу показників якості збирання коренеплодів цикорію (табл. 4.4) можна констатувати, що за другого способу збирання гички коренеплодів цикорію, або за наявності ділильних дисків, які встановлено на барабані роторного гичкоріза порівняно з першим способом збирання гички (відсутності ділильних дисків), отримано такі показники технологічної ефективності:

- загальна кількість домішок у зібраному воросі коренеплодів зменшується на 0,8 %;

- у тому числі: загальна кількість ґрунтових домішок у зібраному воросі коренеплодів зменшується на 0,5 %; загальна кількість рослинних домішок у зібраному воросі коренеплодів зменшується на 0,3 %; кількість вільного ґрунту в зібраному воросі коренеплодів зменшується на 0,2 %; кількість вільних рослинних домішок у зібраному воросі коренеплодів зменшується на 0,5 %.

Таблиця 4.4 – Результати порівняльних досліджень показників якості роботи коренезбиральної машини за базового та удосконаленого способу збирання основного масиву гички

Найменування показників	Значення показників		
	Базовий спосіб збирання гички	Удосконалений спосіб збирання гички	АТВ
Робоча швидкість руху машини, м/с	1,4	1,4	до 1,5
Глибина ходу диска, см	9,0	9,0	-
Глибина ходу лапи розрихлювача, см	16,0	16,0	-
Якість підкопування та підбирання коренеплодів, %:			
- зібрано коренеплодів машиною	97,8	97,8	
- втрати коренеплодів, всього	2,2	2,2	до 2,5
Склад вороху зібраних коренеплодів, %:			
- коренеплоди	91,6	92,4	
- домішки, всього	8,4	7,6	до 8,5
у тому числі:			
- ґрунтових домішок, всього	3,0	2,5	3,0
- рослинних домішок, всього	5,4	5,1	5,5
у тому числі:			
- вільного ґрунту	2,1	1,9	2,5
у тому числі:			
- вільних рослинних решток	3,9	3,4	4,0
- залишків гички на головках коренеплодів	1,3	1,3	1,5
Втрати гички у захисній зоні невикопаного рядка коренеплодів, %	4,5	2,1	3,5
Пошкодження коренеплодів, %:	11,2	11,1	до 15,0

* - показники якості виконання технологічного процесу визначено відносно маси коренеплодів однієї проби; АТВ – агротехнічні вимоги

Крім того, окремо визначали кількість зрізаної та укладеної гички в захисні зони невикопаних рядків коренеплодів цикорію. Цей показник

регламентує оптимальні умови протікання та показники якості процесу викопування коренеплодів викопувальним робочими органами.

Було встановлено, що кількість зрізаної та укладеної гички в захисні зони невикопаних рядків коренеплодів для першого способу збирання гички дорівнювала 4,5 %, а для другого способу збирання гички – 2,1 %, тобто кількість зрізаної та укладеної гички в захисні зони невикопаних рядків коренеплодів для другого способу збирання гички зменшується в 2,2 рази порівняно з першим способом збирання гички.

Зменшення кількості домішок у викопаному воросі коренеплодів цикорію, як у загальному аспекті, так і за окремими показниками та кількості зрізаної та укладеної гички в захисну зону рядка невикопаних коренеплодів за другого способу збирання основного масиву гички досягнуто за рахунок встановлення ділильних дисків на барабані роторного гичкоріза.

Із порівняльного аналізу показників якості виконання технологічного процесу збирання коренеплодів цикорію (табл. 4.4) можна цілком стверджувати, що застосування розробленої конструкції удосконаленого гичкозбирального модуля, або застосування другого способу збирання гички дозволяє підвищити агротехнічні показники якості виконання технологічного процесу збирання коренеплодів відносно показників першого способу.

4.4. Висновки до розділу

За результатами проведених польових експериментальних досліджень можна зробити такі висновки.

4.4.1. За мінливого збільшення або зменшення урожайності гички у межах $\pm 0,2$ кг/м² та густоти насадження коренеплодів у межах ± 2 шт./м² секундна подача гички P_p^+ та P_p^- у міжряддя невикопаних коренеплодів збільшується пропорційно збільшенню кожного фактора та знаходиться у діапазоні, відповідно, від 18 кг/с до 40 кг/с та від 6 кг/с до 26 кг/с за швидкості руху модуля \mathcal{G}_M від 1,2 м/с до 1,6 м/с – за збільшення швидкості руху \mathcal{G}_M ,

урожайності гички U_p та густоти насадження Γ_k коренеплодів приблизно в 1,3 рази P_p^+ збільшується в 1,7 рази, а P_p^- – в 2,6 рази.

4.4.2. Домінуючими факторами, вплив яких призводить до значної зміни питомої маси гички M_{np}^\pm , яку зрізано ножами роторного гичкоріза та укладено у міжряддя невикопаних коренеплодів між двома суміжними ділільними дисками є урожайність гички $U_p \pm \Delta U_p$ та густина насадження коренеплодів цикорію $\Gamma_k \pm \Delta \Gamma_k$. При цьому питома маса гички M_{np}^\pm за зміни швидкості руху гичкозбирального модуля \mathcal{G}_M від 1,2 м/с до 1,6 м/с знаходиться у діапазоні: $M_{np}^+ = 18 \dots 27$ кг/м²; $M_{np}^- = 10 \dots 18$ кг/м².

4.4.3. Застосування пружини жорсткістю $k_n \leq 35$ Н/см за початкової швидкості різання $V_p \leq 1,6$ м/с для збільшення швидкості різання головок коренеплодів або довжини різання L_d є практично не раціональним, тому що у межах зміни жорсткості пружини $15 \leq k_n \leq 35$ Н/см та початкової швидкості різання $1,2 \leq V_p \leq 1,6$ м/с довжина різання L_d головок коренеплодів практично однакова та не перевищує 12 см. Ефективне підсилення швидкості різання головок коренеплодів відбувається за жорсткості пружини $k_n > 35$ Н/см.

4.4.4. За результатами порівняльних досліджень встановлено, що загальна кількість домішок у зібраному воросі коренеплодів зменшується на 0,8 %, у тому числі: загальна кількість ґрунтових домішок зменшується на 0,5 %; загальна кількість рослинних домішок зменшується на 0,3 %; кількість вільного ґрунту зменшується на 0,2 %; кількість вільних рослинних домішок зменшується на 0,5 %.

4.4.5. Встановлено, що кількість зрізаної та укладеної гички в захисні зони невикопаних рядків коренеплодів для базового способу збирання гички дорівнює 4,5 %, а для удосконаленого способу збирання гички – 2,1 %, тобто кількість гички зменшується в 2,2 рази.

Основні наукові результати розділу опубліковані у працях [40, 120, 136].

РОЗДІЛ 5

ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ЗАСТОСУВАННЯ ГИЧКОЗБИРАЛЬНОГО МОДУЛЯ

5.1. Перспективні напрямки вдосконалення робочих органів гичкозбиральних модулів

Проведений на основі отриманих наукових результатів теоретично-експериментальних досліджень аналіз технологічного процесу роботи удосконаленого гичкозбирального модуля вказує на те, що оптимальні технологічні показники якості збирання гички коренеплодів, які задовольняють агротехнічні вимоги залежать від багатьох об'єктивних і суб'єктивних факторів: розмірно-масових параметрів коренеплодів і гички, типу ґрунту, його вологості, режимів роботи гичкозбирального модуля, а також від конструктивних особливостей робочих органів роторного гичкоріза, направляючого каналу та обрізника залишків гички з головок коренеплодів.

Підвищити показники якості роботи робочих органів і гичкозбиральних модулів загалом можна за рахунок подальшого вдосконалення технологічного процесу їх роботи на основі реалізації запропонованих напрямків, якими із них можуть бути:

1. Зменшення кількості зрізаної та укладеної гички в захисну зону невикопаного рядка коренеплодів, вибитих з ґрунту та пошкоджень коренеплодів робочими поверхнями роторного гичкоріза, або збільшення повноти зрізування основного масиву гички та викопування коренеплодів можна досягнути шляхом удосконалення конструкції роторного гичкоріза.

2. Підвищення надійності роботи гичкозбирального модуля можна досягти за рахунок виготовлення робочих органів з конструктивних матеріалів, які мають якісно нові властивості та характеристики.

3. Проведення подальшого детального аналізу впливу конструктивних і кінематичних параметрів робочих органів на технологічний процес збирання гички коренеплодів дозволить ефективніше інтенсифікувати процес зрізування

основного масиву гички та переміщення зрізаної гички по направляючому каналі, що дозволить покращити загально-технологічні показники роботи гичкозбирального модуля загалом.

4. Процес переміщення зрізаної ножами роторного гичкоріза основного масиву гички по направляючому каналу можна інтенсифікувати шляхом теоретично-експериментального обґрунтування розмірних параметрів і висоти розміщення вхідної горловини направляючого каналу відносно осі обертання ротора.

5. Подальше вдосконалення технологічного процесу виробництва коренеплодів цукрових, кормових буряків і цикорію кореневого є головним напрямком для подальшого вдосконалення процесу їх збирання і, відповідно, першого етапу – збирання гички.

Для зменшення кількості зрізаної та укладеної гички в захисну зону невикопаного рядка коренеплодів нами запропоновано удосконалену конструкцію роторного гичкоріза гичкозбирального модуля, конструктивну схему якого наведено на рис. 5.1, додаток Ж.1.1 [148].

На відмінну від конструкції, яка наведена на рис. 1.30, у даному гичкозбиральному модулі запропоновано встановлювати дугоподібні лопаті 13 (рис. 5.1), які розміщені на барабані 6 між суміжними гичкозрізувальними ножами 7, або ділильними дисками 8. Дугоподібні лопаті 13 розміщені під певним кутом до поперечного січення барабана 6. За рахунок створеного обертання вала 3, або гичкозрізувальних ножів 7 повітряного потоку та додаткового повітряного потоку, який створюється дугоподібними лопатями 14 зрізана та подрібнена гичка по направляючому каналу 10 транспортується до його вихідного отвору 12, а далі до фартуха 13, де гичка розкидається в міжряддя коренеплодів у зону між ділильними дисками 9.

Таким чином, обертання дугоподібних лопатей 13 створює додатковий направлений повітряний потік за рахунок якого знижуються втрати зрізаної гички у захисній зоні, або її розкидання у захисну зону рядка невикопаних коренеплодів, що підвищує технологічні можливості коренезбиральної машини.

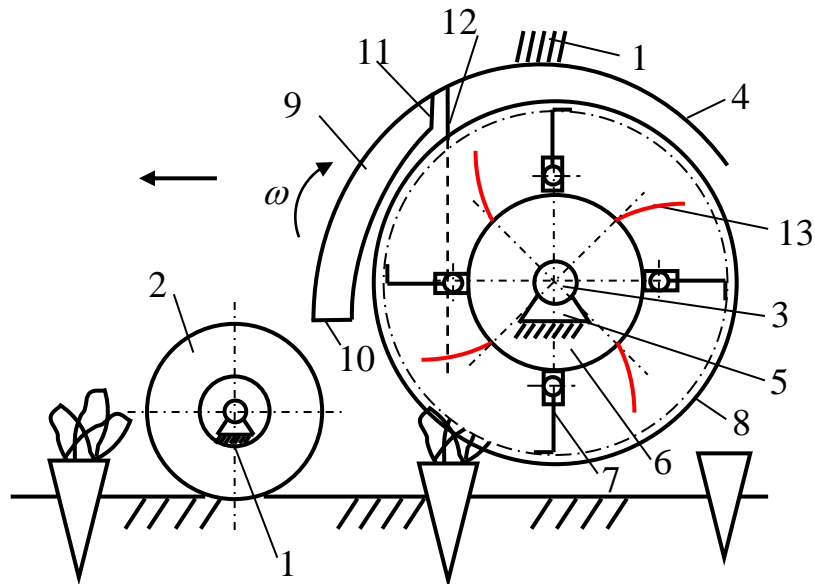


Рисунок 5.1 – Конструктивна схема удосконаленого гичкозбирального модуля: 1 – рама; 2 – опорне колесо; 3 – вал; 4 – направляючий кожух; 5 – опора вала; 6 – барабан; 7 – ніж; 8 – ділильний диск; 9 – направляючий канал; 10, 11 – вхідна та вихідна горловина; 12 – фартух; 13 – дугоподібні лопаті

Крім того, втрати зрізаної гички у захисній зоні також можна знизити за рахунок дослідження та обґрунтування впливу висоти та довжини розміщення вхідної горловини 10 (рис. 5.1) відносно горизонтальної та вертикальної осі обертання роторного гичкоріза, застосування матеріалу направляючого каналу з меншим коефіцієнтом тертя тощо.

Вдосконалення робочих органів гичкозбирального модуля та дослідження процесу їх роботи проведено відповідно до державної НДР Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя «Розробка та комплексне дослідження синтезованих транспортно-технологічних механізмів виробничих систем» (№ державної реєстрації 0117U003998).

Отримані результати дослідження є наслідком вирішення науково-технічної задачі з розробки та впровадження машин для збирання коренеплодів, яку затверджено МОН України у 2015 р. згідно з цільовою державною науково-технічною програмою наукових робіт та експериментальних розробок молодих вчених «Програма діяльності КМУ «Україна-2020».

Копії сертифікатів, які підтверджують апробацію результатів наукових досліджень на Міжнародних науково-практичних конференціях і симпозиумах наведено в додатку Ж.2.1.

Отримані наукові результати та закінчені результати конструкторських розробок, теоретичних і експериментальних досліджень передано Хмельницькій державній сільськогосподарській дослідній станції (додаток Ж.3.1) для удосконалення машин для збирання коренеплодів цикорію.

Також будова, принцип роботи та теоретичні основи досліджень використовуються у навчальному процесі Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя під час викладання дисципліни «Робочі процеси сільськогосподарських машин» (додаток Ж.3.1) для проведення лекційних і практичних занять.

Результати польових випробувань шестирядної коренезбиральної машини KR-6-II фірми Kleine в УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого підтвердили зменшення енергетичних затрат процесу збирання основного масиву гички удосконаленим шестирядним гичкозбиральним модулем приблизно в 1,2...1,3 рази залежно від урожайності гички коренеплодів.

За результатами досліджень було рекомендовано раціональні параметри робочих органів удосконаленого гичкозбирального модуля, значення яких наведено у табл. 5.1.

Таблиця 5.1

Рекомендовані параметри робочих органів гичкозбирального модуля

Основні параметри робочих органів	Значення параметрів
Робоча швидкість руху, м/с	1,4...1,6
Діаметр роторного гичкоріза, м	0,45...0,55
Частота обертання роторного гичкоріза, об/хв	600...700
Діаметр ділильних дисків, м	0,5...0,6
Ширина захисної зони рядка коренеплодів, м	0,15
Відстань між двома суміжними ділильними дисками, м	0,3
Висота розміщення вхідної горловини, м	0
Ширина фартуха, м	0,2

5.2. Обґрунтування зменшення енергетичних витрат процесу роботи гичкозбирального модуля

За основу розрахунків зменшення енергетичних витрат процесу роботи удосконаленого гичкозбирального модуля приймаємо базовий варіант гичкозбирального модуля (рис. 1.29) та конструктивну схему, яку запропоновано нами та наведено на рис. 1.30.

Відмінність конструктивної схеми удосконаленого гичкозбирального модуля (рис. 1.30) полягає у відсутності шнекового конвеєра 9 (рис. 1.29), який має базовий варіант гичкозбирального модуля.

Для розрахунку зниження витрат потужності на виконання процесу роботи удосконаленої конструкції гичкозбирального модуля розглянемо складену кінематичну схему базового варіанту гичкозбирального модуля, яку наведено на рис. 5.2.

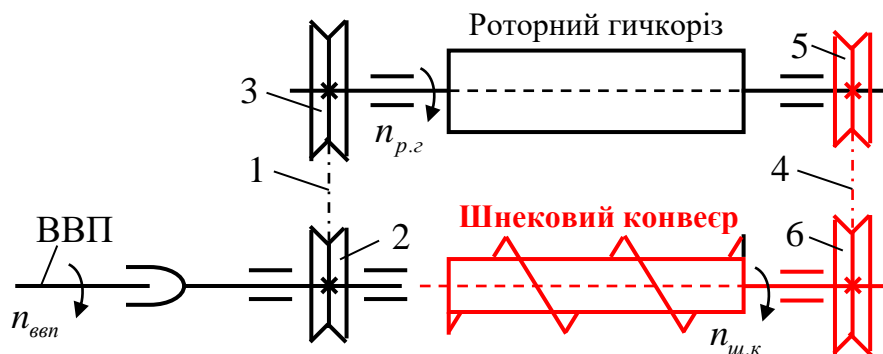


Рисунок 5.2 – Кінематична схема базового гичкозбирального модуля:

1, 4 – відповідно, клинопасова передача приводу роторного гичкоріза та шнекового конвеєра; 2, 5 – відповідно, ведучий шків роторного гичкоріза та шнекового конвеєра; 3, 6 – відповідно, ведений шків роторного гичкоріза та шнекового конвеєра; ВВП – вал відбору потужності трактора МТЗ-82

Тоді загальні витрати потужності N_i на виконання процесу роботи визначаються за формулою:

- для базового варіанту гичкозбирального модуля $N_{\bar{o}}$

$$N_{\bar{o}} = N_{p.z} + N_{ш.к.}, \quad (5.1)$$

де $N_{p.z}$ – затрати потужності роторного гичкоріза, кВт;

$N_{ш.к}$ – затрати потужності шнекового конвеєра, кВт;

- для удосконаленого гичкозбирального модуля N_y

$$N_y = N_{p.z}. \quad (5.2)$$

Таким чином, зменшення енергетичних витрат технологічного процесу збирання основного масиву гички удосконаленим гичкозбиральним модулем буде визначатися енергетичними витратами на виконання процесу переміщення та вивантаження зрізаної та подрібненої гички шнековим конвеєром на зібране поле, рис. 2.5.

Зменшення енергетичних витрат удосконаленого гичкозбирального модуля визначимо за показником питомих затрат споживчої потужності шнековим конвеєром.

У загальному питоми затрати споживчої потужності $P_{ш.к}$ (кВт с/кг м) шнекового конвеєра визначаються за формулою [149]

$$P_{ш.к} = N_{ш.к} / Q_{ш.к} L_{ш}, \quad (5.3)$$

де $N_{ш.к}$ – розвинена потужність на приводі шнекового конвеєра, або на веденому шківу 6, кВт;

$Q_{ш.к}$ – продуктивність шнекового конвеєра, кг/с;

$L_{ш}$ – довжина шнека, м.

Потужність на приводі $N_{ш.к}$ шнекового конвеєра, або на веденому шківу 6 (рис. 5.2) та крутний момент $M_{ш}$ шнекового конвеєра визначаються за формулою:

$$N_{ш.к} = M_{ш} n_{ш} / 9550; \quad M_{ш} = 9550 N_{4к.н} / n_{6к.н} = 9550 N_{4к.н} / n_{p.z} i_{4к.н}, \quad (5.4)$$

де $n_{ш}$ – частота обертання вала шнека, об/хв;

$M_{ш}$ – крутний момент вала шнека, Н м;

$N_{4к.н}$ – розвинена потужність веденого шківа 5 (рис. 5.2) клинопасової передачі 4, кВт;

$n_{5к.н}$ – частота обертання веденого шківa 5 клинопасової передачі 4, об/хв;

$n_{р.г}$ – частота обертання роторного гичкоріза, об/хв.

Тоді згідно з (5.3) та (5.4) питомі затрати споживчої потужності $P_{ш.к}$ шнековим конвеєром визначаються за формулою

$$N_{ш.к} = N_{4к.н} n_{ш} / Q_{ш.к} L_{ш} n_{р.г} i_{4к.н}. \quad (5.5)$$

Частота обертання веденого шківa 5 клинопасової передачі 4, або частота обертання роторного гичкоріза гичкозбирального модуля визначається за формулою

$$n_{4к.н} = n_{р.г} = n_{ввп} i_{1к.н}, \quad (5.6)$$

де $n_{ввп}$ – частота обертання вала відбору потужності (ВВП) трактора МТЗ-82, об/хв;

$i_{1к.н}$ – передаточне відношення клинопасової передачі 1, рис. 5.2.

Розвинена потужність $N_{4к.н}$ веденого шківa 5 та розвинену потужність ведучого шківa 6 клинопасової передачі 4 визначається за формулою:

$$N_{4к.н} = N_{mp} K_{\delta} i_{1к.н} / 100; \quad N_{6к.н} = N_{mp} K_{\delta} i_{1к.н} i_{4к.н} / 100, \quad (5.5)$$

де N_{mp} – номінальна потужність двигуна трактора, кВт;

K_{δ} – коефіцієнт використання номінальної потужності двигуна трактора;

$i_{4к.н}$ – передаточне відношення клинопасової передачі 4, рис. 5.2.

Продуктивність шнекового конвеєра, або ідентична продуктивність шнека визначається за формулою згідно з [111, 150]

$$Q_{ш.к} = W_L \mathcal{G}_c \psi_g \rho_z \varphi_z, \quad (5.7)$$

де $Q_{ш.к}$ – продуктивність шнекового конвеєра, кг/с;

W_L – питомий об'єм матеріалу, який приходить на одиницю довжини шнека, м³/м.

\mathcal{G}_c – середня теоретична швидкість переміщення зрізаної гички витками шнека вздовж осі обертання шнека, м/с;

ψ_g – коефіцієнт, який враховує відхилення (зниження) середньої швидкості руху потоку зрізаної гички відносно середньої теоретичної швидкості переміщення зрізаної гички вздовж осі обертання шнека;

ρ_z – об'ємна маса гички, кг/м³;

φ_z – коефіцієнт заповнення робочого простору шнекового конвеєра.

Виразимо питомий об'єм матеріалу W_L , який приходить на одиницю довжини шнека через секундну подачу зрізаної ножами роторного гичкоріза та подрібненої гички Π_p до шнекового конвеєра, яка припадає на одиницю довжини шнека L_k , тобто

$$W_L = M_p / \rho_z L_k = \Pi_p / \rho_z L_k, \quad (5.8)$$

де M_p – маса зрізаної гички, яка надходить до шнекового конвеєра за час рівний $t = 1$ с, кг.

Підставивши значення секундної подачі зрізаної гички Π_p до шнекового конвеєра з (2.18) у формулу (5.8), отримаємо залежність для визначення питомої секундної подачі зрізаної гички до шнекового конвеєра, або питомої секундної подачі зрізаної гички, яка приходить на одиницю робочої довжини шнека L_k

$$W_L = \frac{\left(\frac{dL_M}{dt}\right) b_k t k_z n_k (\Gamma_k \pm \Delta\Gamma_k) (U_p \pm \Delta U_p)}{\rho_z L_k}. \quad (5.9)$$

Тоді продуктивність шнекового конвеєра або продуктивність шнека з врахуванням (5.7) визначається за формулою

$$Q_{ш.к} = \frac{\left(\frac{dL_M}{dt}\right) b_k t k_z n_k (\Gamma_k \pm \Delta\Gamma_k) (U_p \pm \Delta U_p)}{L_{ш}} \mathcal{G}_c \psi_g \varphi_z. \quad (5.10)$$

Середня теоретична швидкість переміщення зрізаної гички вздовж осі обертання шнека визначається за формулою

$$g_c = \frac{T_{ш} \omega_{ш}}{2\pi} = \frac{T_{ш} n_{ш}}{60}, \quad (5.11)$$

де $T_{ш}$ – крок шнека, м;

$\omega_{ш.k}$ – частота обертання шнека, рад/с.

З врахуванням (5.11) продуктивність шнекового конвеєра визначається

$$Q_{ш.k} = \frac{\left(\frac{dL_M}{dt}\right) b_k t k_z n_k (\Gamma_k \pm \Delta\Gamma_k) (U_p \pm \Delta U_p)}{60 L_{ш}} T_{ш} n_{ш.k} \psi_g \varphi_z. \quad (5.12)$$

Тоді питомі затрати споживчої потужності $P_{ш.к}$ (кВт с/кг м) шнековим конвеєром згідно з (5.3) – (5.12) визначаються за формулою

$$P_{ш.к} = \frac{3 N_{mp} K_\delta}{5 n_{\text{вн}} i_{4к.н} g_M b_k t k_z n_k (\Gamma_k \pm \Delta\Gamma_k) (U_p \pm \Delta U_p) T_{ш} \psi_g \varphi_z}. \quad (5.13)$$

За початкових умов: $T_{ш} = 0,15$ м; $\psi_g = 0,85$; $\varphi_z = 0,75$ [111]; номінальної потужності трактора МТЗ-82 $N_{mp} = 51,5$ кВт; $K_\delta = 0,8$; частоти обертання вала відбору потужності трактора МТЗ-82 $n_{\text{вн}} = 1000$ об/хв; [151]; $\Gamma_k = 7$ шт./м²; $b_k = 0,45$ м; $n_k = 6$; $i_{4к.н} = 0,5$ побудовано залежність зміни питомих затрат споживчої потужності $P_{ш.к}$ шнекового конвеєра, рис. 5.3.

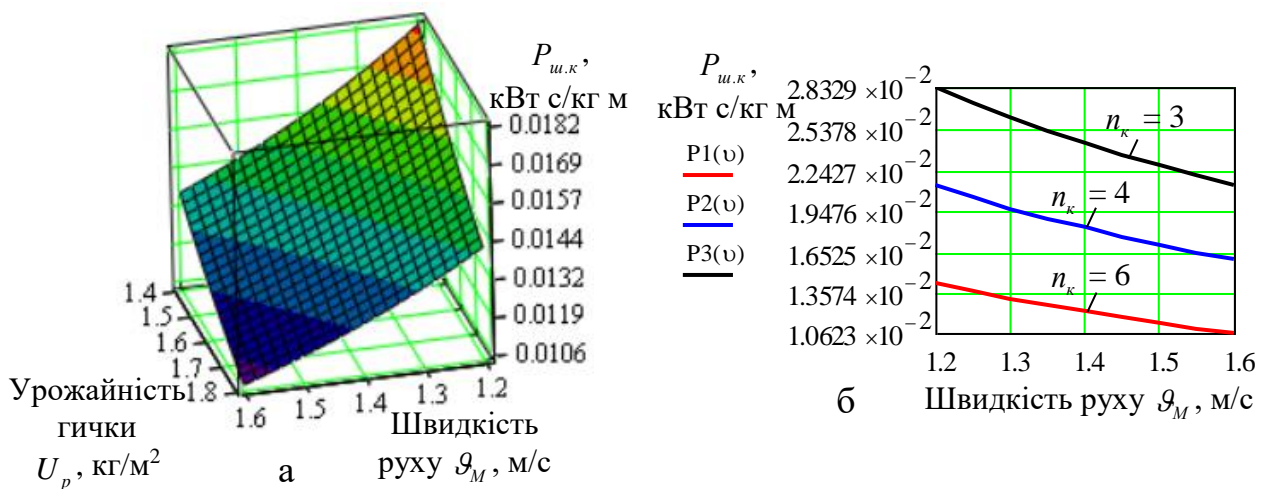


Рисунок 5.3 – Залежність зміни питомих затрат споживчої потужності

шнекового конвеєра: а – як функція $P_{ш.к} = f_P(g_M; U_p)$, $n_k = 6$;

б – як функція $P_{ш.к} = f_P(g_M)$, $U_p = 1,8$ кг/м²

Аналіз графічних залежностей показує, що питомі затрати споживчої потужності $P_{ш.к}$ шнекового конвеєра при збиранні гички з 6 рядків коренеплодів і урожайністю гички від 1,4 до 1,8 кг/м² за зміни швидкості руху гичкозбирального модуля від 1,2 до 1,6 м/с змінюються в діапазоні від 0,011 кВт до 0,018 кВт с/ кг м, рис. 5.2 а. Функціональна зміна $P_{ш.к}$ має зворотний характер – за збільшення швидкості руху \mathcal{G}_M гичкозбирального модуля, урожайності гички U_p та кількості рядків коренеплодів n_k питомі затрати потужності $P_{ш.к}$ шнекового конвеєра зменшуються, рис. 5.2б.

Таким чином, можна стверджувати, що за одночасного збирання 3-х, 4-х і 6-ти рядків коренеплодів питомі затрати споживчої потужності удосконаленого гичкозбирального модуля зменшуються, відповідно, на: 0,023...0,028 кВт с/ кг м; 0,017...0,022 кВт с/ кг м; 0,011...0,014 кВт с/ кг м, рис.5.2б.

Загальні витрати потужності, які необхідні для виконання процесу транспортування зрізаної та подрібненої гички шнековим конвеєром визначається за формулою згідно з [152]

$$N_{ш.к} = Q_{ш.к}^* L_{ш} (k_o \pm \sin \alpha) / 367. \quad (5.13)$$

де $k_o = 1,1$ – коефіцієнт опору переміщення подрібненої гички [152];

$\alpha = 0$ – кут установки шнека до горизонту, град;

$Q_{ш.к}^*$ – продуктивність шнекового конвеєра, т/год.

Згідно з рис. 2.8, за наявної середньої урожайності гички коренеплодів 170...190 ц/га, або відповідно, 1,7...1,9 кг/м², густоти насадження коренеплодів 8...10 шт./м² та усередненого значення робочої швидкості руху шестирядного гичкозбирального модуля від 1,5 до 1,6 м/с середнє значення секундної подачі Π_p гички до шнекового конвеєра становить від 60 до 80 кг/с.

При цьому продуктивність шнека $Q_{ш.к}^*$ повинна бути рівна, або більша за значення секундної подачі Π_p гички до шнекового конвеєра.

У зв'язку з цим приймаємо продуктивність шнека $Q_{ш.к}^*$ рівній значенню секундної подачі $\Pi_p = 60...80$ кг/с. Тобто $Q_{ш.к}^* = 60...80$ кг/с = 216...288 т/год.

Тоді $N_{ш.к} = (216...288) 2,8 1,1/367 = 1,81...2,42$ кВт.

5.3. Розрахунок показників економічної ефективності застосування удосконалено гичкозбирального модуля

Тому що, в удосконаленого (рис. 1.30) на відмінну від базового (рис. 1.29) гичкозбирального модуля відсутній шнековий конвеєр для переміщення подрібненої гички, основою для розрахунку показників економічної ефективності застосування удосконаленого гичкозбирального модуля приймаємо прямі експлуатаційні витрати [153], які є сумою витрат на виготовлення шнекового конвеєра (виготовлення конструкції шнекового конвеєра згідно з рис. 2.29), витрат на переміщення та транспортування зрізаної гички на зібране поле шнековим конвеєром, або витрати на паливно-мастильні матеріали, які необхідні для виконання процесу переміщення та транспортування подрібненої гички на зібране поле та витрати на монтажні роботи, або встановлення шнекового конвеєра на раму гичкозбирального модуля, витрати на покупні комплектуючі вироби.

У нашому випадку сума цих витрат буде визначати економічний ефект, або суму зменшення приведених прямих експлуатаційних витрат, які отримано від застосування одного удосконаленого гичкозбирального модуля за один рік експлуатації, тобто

$$E_{заг} = (P_{ш.к} + P_{п.м} + P_{м.р} + P_{п.в}); E_{заг}^* = (P_{ш.к} + P_{п.м} + P_{м.р} + P_{п.в}) / H_{р.н}, \quad (5.14)$$

де $E_{заг}$ – економічний ефект, або загальні приведені прямі експлуатаційні витрати, грн/га;

$P_{ш.к}, P_{п.м}, P_{м.р}, P_{п.в}$ – відповідно, сумарні витрати виготовлення шнекового конвеєра (собівартість виготовлення шнекового конвеєра), енергетичні витрати на переміщення та транспортування зрізаної гички (витрати на паливно-мастильні матеріали), витрати на установку шнекового конвеєра на раму гичкозбирального модуля (витрати на монтажні роботи), грн; витрати на покупні комплектуючі, грн.

$H_{р.н}$ – нормативний річний наробіток машини для збирання коренеплодів, га.

Приймаємо $H_{p.n} = 300$ га згідно з даними [154].

При цьому витрати на виготовлення конструкції шнекового конвеєра, або собівартість виготовлення шнекового конвеєра приймаємо у вигляді витрат, які необхідно затратити на вартість матеріалу для виготовлення, витрат на амортизаційні відрахування обладнання та витрати на заробітну плату робітникам, які виготовляють складові деталі шнекового конвеєра, тобто шнека та жолоба

$$P_{ш.к} = P_{mat} + P_{a.в} + P_{з.п}, \quad (5.15)$$

де $P_{mat}, P_{a.в}, P_{з.п}$ – відповідно, витрати на матеріали для виготовлення шнекового конвеєра, витрати на амортизаційні відрахування обладнання, витрати на заробітну плату робітників, грн.

Витрати на матеріали, або вартість матеріалів для виготовлення шнекового конвеєра визначається за формулою

$$P_{mat} = (M_{ш} + M_{ж})C_m, \quad (5.16)$$

де $M_{ш}, M_{ж}$ – відповідно, маса шнека та жолоба, кг;

C_m – вартість 1 кг матеріалу, грн/кг.

Приймаємо матеріал для виготовлення шнекового конвеєра Ст.3. Вартість Ст.3 ($C_m = 45$ грн/кг) приймаємо згідно з даними [155].

Витрати на переміщення та транспортування зрізаної та подрібненої гички коренеплодів, або витрати на паливно-мастильні матеріали визначаються за формулою [188]

$$P_{п-м} = N_{ш.к} q_n \lambda_n C_{II} T_{p.n}, \quad (5.17)$$

де $N_{ш.к}$ – затрати потужності шнекового конвеєра, кВт;

q_n – питомі витрати палива, кг/кВт год;

λ_n – коефіцієнт використання потужності;

C_{II} – комплексна вартість пального, грн/кг;

$T_{p.n}$ – річний наробіток коренезбиральної машини, год.

Затрати потужності шнекового конвеєра ($N_{ш.к} = 2,42$ кВт) приймаємо для шестирядного гичкозбирального модуля згідно з даними розрахунку $N_{ш.к}$ за формулою (5.13).

Питомі витрати палива ($q = 0,26$ кг/кВт год) і середній відсоток використання потужності двигуна трактора МТЗ -82 ($K_d = 0,8$) приймаємо згідно з даними [151], річний наробіток коренезбиральної машини $T_{p.n} = 300$ год приймаємо згідно з даними [156], а вартість дизельного пального ($C_n = 28,0$ грн/кг) приймаємо станом на 01.03.2021 р.

Витрати на монтажні роботи, які передбачають встановлення шнекового конвеєра на раму гичкозбирального модуля, або заробітна плата робітників визначається за формулою

$$P_{m.p} = C_{nm} T_m K_{pm}, \quad (5.18)$$

де C_{nm} – погодинна тарифна ставка робітника, грн/год;

T_m – час монтажу виробу, або час роботи працівника, год;

K_{pm} – кількість робітників зайнятих на монтажних роботах.

Кількість робітників зайнятих на монтажних роботах ($K_p = 2$ чол.), погодинну тарифну ставку слюсаря-складальника ($C_n = 39,12$ грн/год) [157], орієнтовний час монтажною роботи кожного робітника ($T_e = 3,0$ год), приймаємо згідно з даними [158].

Масу шнека та масу жолоба визначаємо за формулою згідно з [128]:

$$M_{ш} = V_{ш} \rho_m = (V_b + V_e) \rho_m; \quad M_{ж} = V_{ж} \rho_m, \quad (5.19)$$

де $V_b, V_e, V_{ж}$ – відповідно, об'єм барабана шнека, об'єм витків шнека, об'єм кожуха, м³;

ρ_m – об'ємна маса матеріалу, або Ст.3, кг/м³.

Об'ємну масу матеріалу, або Ст.3 ($\rho_m = 7,87 \text{ г/см}^3$, або $\rho_m = 7870 \text{ кг/м}^3$) приймаємо згідно з даними [159].

Відповідні об'єми барабана шнека, витків шнека та жолоба визначаємо за формулою згідно з [128]:

$$V_{\sigma} = 0,25\pi(d_{3.\sigma}^2 - d_{\sigma.\sigma}^2)L_{\sigma} = 0,25\pi\left[d_{3.\sigma}^2 - (d_{3.\sigma}^2 - 4\delta_{\sigma}^2)\right]L_{\sigma}; \quad V_{\sigma} = h_{\sigma}\delta_{\sigma}L_{\sigma.l}; \quad (5.20)$$

$$V_{\omega} = 0,125\pi(d_{3.\omega}^2 - d_{\sigma.\omega}^2)L_{\omega} = 0,125\pi L_{\omega}\left[(D_{\omega} + 2c_{\omega\omega} + 2\delta_{\omega})^2 - (D_{\omega} + 2c_{\omega\omega})^2\right], \quad (5.21)$$

де $d_{3.\sigma}, d_{\sigma.\sigma}, L_{\sigma}, \delta_{\sigma}$ – відповідно, зовнішній і внутрішній діаметр барабана шнека, довжина барабана, товщина стінки труби барабана шнека, м;

$h_{\sigma}, \delta_{\sigma}, L_{\sigma.l}$ – відповідно, висота та товщини витка шнека, довжина гвинтової лінії шнека, м;

$d_{3.\omega}, d_{\sigma.\omega}, L_{\omega}$ – відповідно, зовнішній і внутрішній діаметр жолоба, довжина жолоба, м;

$D_{\omega}, c_{\omega\omega}, \delta_{\omega}$ – відповідно, діаметр шнека, зазор між шнеком і жолобом, товщина стінки жолоба, м.

Витрати на амортизацію обладнання приймаємо згідно з даними [160]

$$P_{a.\sigma} = 0,1 \sum_{i=1}^n B_{\sigma.o.i}, \quad (5.22)$$

де $\sum_{i=1}^n B_{\sigma.o.i}$ – сума балансової вартості обладнання, яке необхідне для виготовлення шнекового конвеєра, грн.

Для відрізування труби барабана роторного гичкоріза застосовуємо електроножівку TIGER виробництва компанії Rems, балансова вартість електричної пили $B_1 = 29438$ грн [161]. Для прорізування листового металу для виготовлення витків шнека застосовуємо стрічкова пила по металу Optimum OPTIsaw SQ-V13, балансова вартість електричної пили $B_2 = 13125$ грн [162]. Для зварювання витків з барабаном шнека застосовуємо зварювальний апарат інверторний Патон ВДІ-160Р DC MMA/TIG, балансова вартість зварювального апарату $B_3 = 6799$ грн [163].

Витрати на заробітну плату робітникам, які виготовляють складові деталі шнекового конвеєра визначаються за формулою

$$P_{з.п} = C_{не} T_{г} k_p, \quad (5.23)$$

де $C_{не}$ – погодинна тарифна ставка робітника, грн/год;

$T_{г}$ – час роботи працівника, год;

k_p – кількість робітників зайнятих на виробництві деталей шнекового конвеєра.

Кількість робітників зайнятих на виробництві деталей шнекового конвеєра ($k_p = 3$ чол.), погодинну тарифну ставку токаря, слюсаря, зварника, ($C_{не} = 39,12$ грн/год), орієнтовний середній час роботи кожного робітника ($T_{г} = 3,0$ год) приймаємо згідно з даними [158].

Вихідні дані для проведення розрахунків маси шнекового конвеєра, або конструктивні параметри шнека та жолоба, які наведено у додатку Ж.4.3 приймаємо згідно з конструктивними даними шнекового конвеєра гичкозбирального модуля шестирядної коренезбиральної машини KR-6-II фірми Kleine, Німеччина [164].

Перелік та суму балансової вартості обладнання, яке необхідне для виготовлення шнекового конвеєра, наведено в додатку Ж.5.3.

На основі розрахунків, які наведено в додатку Ж.6.3 встановлено, що економічний ефект за 1 рік використання одного удосконаленого шестирядного гичкозбирального модуля на збиранні коренеплодів становить 14678 грн, або 48,93 грн/га.

5.4. Висновки до розділу

5.3.1. Подальше підвищення показників якості роботи гичкозбиральних модулів можливе за рахунок удосконалення конструкції роторного гичкоріза та обґрунтування розмірних параметрів направляючого каналу та висоти розміщення його вхідного отвору.

5.3.2. Запропоновано та рекомендовано основні раціональні конструктивно-кінематичні параметри робочих органів гичкозбирального модуля та наведено їх табличні дані.

5.3.3. Встановлено, що за одночасного збирання 3-х, 4-х і 6-ти рядків коренеплодів питомі затрати споживчої потужності удосконаленого гичкозбирального модуля зменшуються, відповідно, на 0,023...0,028 кВт с/ кг м; 0,017...0,022 кВт с/ кг м; 0,011...0,014 кВт с/ кг м, а загальні затрати – на 1,81...2,42 кВт.

5.3.3. Результати розрахунку економічної ефективності процесу роботи гичкозбирального модуля свідчать про доцільність його практичного застосування. Загальний економічний ефект за 1 рік експлуатації становить 14678 грн, або 48,93 грн на 1 га.

Основні наукові результати розділу опубліковані у праці [148].

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі вирішено нове наукове завдання зниження енерговитрат процесу збирання основного масиву гички коренеплодів шляхом розробки та обґрунтування раціональних параметрів робочих органів гичкозбирального модуля.

Зниження енергоємності процесу збирання гички коренеплодів досягається за рахунок одночасного поєднання операцій зрізування та переміщення зрізаної гички одним активним (роторним гичкорізом) і пасивним (направляючим каналом) робочим органом.

1. За середньої врожайності гички коренеплодів 170...190 ц/га, густоти насадження коренеплодів 80...100 тис. шт./м² і усередненого значення швидкості руху гичкозбирального модуля від 1,5 до 1,6 м/с секундна подача та питома маса зрізаної гички, яка надходить у міжряддя невикопаних коренеплодів становить від 60 до 80 кг/с та від 25 до 30 кг/м².

2. Встановлено, що за діаметра роторного гичкоріза 0,35...0,4 м, частоти обертання роторного гичкоріза 62,8 рад/с, або колової швидкості Г-подібного ножа 11,0...12,6 м/с, кут вильоту зрізаної гички з ножа становить 85 град., а раціональний кут між напрямком вектора доударної швидкості та дотичною до профілю направляючого каналу в точці удару знаходиться в діапазоні 30...35 град., за якого початкова швидкість руху зрізаної гички знаходиться у діапазоні 9,5...10,5 м/с, а на виході з вихідної горловини – 2,5...3,5 м/с, при цьому час переміщення гички по направляючому каналу становить 0,15...0,2 с.

3. На основі експериментальних досліджень встановлено, що секундна подача та питома маса гички урожайністю від 140 до 180 ц/га, яку зібрано з 3-х рядків коренеплодів знаходиться, відповідно, у діапазоні від 17 до 36 кг/с та від 19 до 27 кг/м². Зміна швидкості руху гичкозбирального модуля від 1,2 до 1,6 м/с має несуттєвий вплив на збільшення питомої маси гички – зростання становить 0,3...0,5 кг/м². Розбіжність теоретичних і експериментальних значень секундної подачі та питомої маси гички знаходиться від 15 до 20 %.

4. На основі порівняльного графічного аналізу встановлено, що за значення жорсткості пружини $k_n = 15$ Н/см довжина різання головок коренеплодів для конструктивного виконання жорстко закріпленого та підпружиненого ріжучого ножа практично однакова та становить 8,5...11,5 см в межах зміни початкової швидкості різання від 1,2 до 2,0 м/с. У межах зміни жорсткості пружини від 15 до 35 Н/см та початкової швидкості різання від 1,2 до 1,6 м/с довжина різання головок коренеплодів практично не змінюється та не перевищує 12 см. Ефективне підсилення швидкості різання головок коренеплодів відбувається за жорсткості пружини більше 35 Н/см.

5. За результатами порівняльних досліджень встановлено, що загальна кількість домішок у зібраному воросі коренеплодів зменшується на 0,8 %, у тому числі: загальна кількість ґрунтових домішок – на 0,5 %; загальна кількість рослинних домішок – на 0,3 %; кількість вільного ґрунту – на 0,2 %; кількість вільних рослинних домішок – на 0,5 %. При цьому кількість зрізаної та укладеної гички в захисні зони невикопаних рядків коренеплодів для базового способу збирання гички дорівнює 4,5 %, а для удосконаленого способу – 2,1 %, тобто кількість гички зменшується в 2,2 рази.

6. На основі аналізу теоретично-експериментальних досліджень було обґрунтовано такі раціональні параметри гичкозбирального модуля: діаметр роторного гичкоріза 0,35 м; частота обертання роторного гичкоріза 600...650 об/хв; діаметр ділильних дисків 0,4 м; відстань між ділильними дисками 0,35 м; швидкість руху гичкозбирального модуля 1,6...1,8 м/с.

7. Встановлено, що за одночасного збирання 3-х, 4-х і 6-ти рядків коренеплодів питомі витрати споживчої потужності удосконаленого гичкозбирального модуля зменшуються, відповідно, на 0,023...0,028 кВт с/ кг м; 0,017...0,022 кВт с/ кг м; 0,011...0,014 кВт с/ кг м, а загальні витрати потужності – на 1,8...2,4 кВт, або в 1,2...1,3 рази залежно від урожайності гички.

8. Загальний економічний ефект за 1 рік експлуатації шестирядного гичкозбирального модуля від зниження енерговитрат процесу збирання гички

становить 14678 грн, або 48,93 грн на 1 га. Результати досліджень впроваджено в Хмельницькій державній с.-г. дослідній станції для удосконалення машин для збирання коренеплодів цикорію і використовуються у навчальному процесі Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя під час викладання дисципліни «Робочі процеси сільськогосподарських машин».

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Барановський В.М. Основи розробки робочих органів комбінованих систем коренезбиральних машин : монографія / [В.М. Барановський, Г.А. Герасимчук, А.Ю. Виговський, М.В. Потапенко, О.Ю. Скальський]. К.: ЦП Компринт, 2016. 286 с.
2. Ігнат'єв Є.І. Обґрунтування параметрів комбінованого агрегату для збирання гички на основі орно-просапного трактора : дис... на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: спец. 05.05.11 / Євген Ігорович Ігнат'єв. Мелітополь, 2018. 169 с.
3. Барановський В.М. Напрямки вдосконалення технологічного процесу видалення залишків гички з головок коренеплодів / В.М. Барановський, В.Б. Онищенко, В.В. Теслюк, І.М. Сторожук. Механізація та електрифікація сільського господарства. 2013. С. 207 – 213.
4. Белокобыльский В.А. Повышение эффективности обрезки корнеплодов сахарной свеклы за счет совершенствования конструкции ботвосрезающего аппарата : дисс... на соискание науч. степени канд. техн. наук: спец. 05.20.01 / Виталий Александрович Белокобыльский. Белгород, 2005. 155 с.
5. Baranovsky V., Dubchak N., Pankiv M. Experimental research of stripping the leaves from root crops. Acta Technologica Agriculturae. 2017. Vol. 20 (3). P. 69– 73.
6. Барановський В.М. Розрахунок параметрів робочих органів гичкозбиральних машин : монографія / [В.М. Барановський, А.Ю. Виговський, М.І. Сторожук, В.Р. Паньків]. К. : Аграр Медія Груп, 2015. 242 с.
7. Скальський А.Ю., Потапенко Н.В., Барановський В.Н. Агробиологические и физико-механические характеристики цикория корневого. Механизация и электрификация сельского хозяйства. РУП Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по механизации сельского хозяйства. Минск, 2016. Вып. 50. Т. 1. С. 158 – 162.
8. Барановський В.М. Підгурський М.І., Паньків М.Р. Методологічні та конструктивно-технологічні аспекти розробки адаптованих коренезбиральних машин. Вісник ТНТУ. Тернопіль, 2014. Т. 2 (74). С. 106 – 113.

9. Барановський В. М., Труханська О.О. Експериментальні дослідження процесу відминання гички від коренеплодів. Науковий огляд. 2014. № 6 (7). С. 79 – 83.

10. Борис Н. М. Обоснование технологического процесса и параметров рабочего органа для отделения ботвы сахарной свеклы: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: спец. 05.05.11 / Н.М. Борис. Вінниця: ВДАУ, 2009. 20 с.

11. Вовк П.Ф. Агрофизические свойства корней сахарной свеклы в связи с механизацией уборки. В сборнике : «Теория, конструкция и производство сельскохозяйственных машин». Т. 11. М. – Л.: Сельхозгиз, 1936. С. 269 – 284.

12. Вовк П.Ф. Основы теории режущего аппарата свеклоуборочных машин. В сборнике : «Теория, конструкция и производство сельскохозяйственных машин». М. – Л.: Сельхозгиз, 1936. Т. 4. С. 135 – 178.

13. Гументик М.Я. Особливості цикорію кореневого і агротехніка його вирощування. Зб. наук. праць ІЦБ УААН. К., 2003. С. 339 – 341.

14. Зуев М.М., Гументик М.Я., Миколюк Ю.В. Густота насаждения цикория и его урожай. Сахарная свекла. 2002. № 6. С. 27.

15. Зуев М.М., Гументик М.Я. Розміщення головок коренеплодів цикорію над поверхнею ґрунту. Цукрові буряки. 2002. № 2. С. 29.

16. Кузьмич В.М. Удосконалення технології вирощування цикорію кореневого в умовах Північно-західного лісостепу України : автореф. дис. канд. с.-г. наук. К., 1998. 19 с.

17. Кузьмич В.М., А.О. Яценко. Рекомендації по вирощуванню цикорію кореневого. Самчики: ХІАВ НААНУ, 2010. 15 с.

18. Погорілий Л.В., Волянський М.С., Фомічов А.М. Агробіологічні і фізико-механічні властивості кормових буряків як основа для розробки механізованого процесу збирання. Вісник сільськогосподарської науки. 1993. № 1. С. 64 – 69.

19. Погорелый Л.В., Татьяна М.В. Свеклоуборочные машины: история, конструкция, теория, прогноз. К.: Феникс, 2004. 232 с.

20. Погорілий Л.В., Брей В.В. Фізико-механічні властивості коренів цукрових буряків у зв'язку з механізацією процесу їх збирання. Вісник сільськогосподарської науки. 1971. № 3. С. 31 – 37.

21. Татьяна Н.В., Бирюкова А.И. Исследование некоторых агрофизических свойств сахарной свеклы в связи с разработкой ботвосрезающих аппаратов. М.: ВИСХОМ, 1967. Вып. IV.

22. Особенности развития и формирования кормовой свеклы к моменту уборки / Шабельник Б.П., Полупанов В.Н., Завгородний А.Ф та др. Механизация и электрификация сельского хозяйства. 1985. Вып. 62. С. 8 – 11.

23. Яценко О.Я. Цикорій коренеплідний: Біологія, селекція, виробництво і переробка коренеплодів : Навч. посібник. Умань: ФІЦБ УААН, 2003. 161 с.

24. Яценко А.О. Продуктивність цикорію коренеплідного залежно від густоти і рівномірності розміщення рослин. Зб. наукових праць, присвячений 100-річчю з дня народження С.С. Рубіна. Умань: УСГА, 2000. С. 220 – 223.

25. Булгаков В.М., Черновол М.И., Свирень Н.А. Теория свеклоуборочных машин : Монография. Кировоград: "КОД", 2009. 256 с.

26. Барановский В.Н. Онищенко В.Б., Сторожук И.М. Экспериментальные исследования пассивного дообрезчика остатков ботвы. Механизация и электрификация сельского хозяйства. Минск: РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства», 2014. Вып. 48. Т. 1. С. 177 – 84.

27. Шевцов І.А., Фомічов А.М. Біологія і агротехніка кормових буряків. К.: Наукова думка, 1980. 250 с.

28. Скальский А.Ю., Потапенко Н.В., Барановский В.Н. Агробиологические и физико-механические характеристики цикория корневого. Механизация и электрификация сельского хозяйства. Минск: РУП Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по механизации сельского хозяйства, 2016. Вып. 50. Т. 1. С. 158 – 162.

29. Baranovsky V.M., Potapenko M.V. Theoretical analysis of the technological feed of lifted root crops. INMATEH – Agricultural engineering. Bucharest, 2017. Vol. 51. No. 1/2017. Pg. 29 – 30.

30. Smal Maria. Investigation of Work of Rotor Haulm Cutter. Fundamental and Applied Studies in EU and CIS Countries : The 1st International Academic Conference (United Kingdom, Oxford, 23 July 2014). Oxford, 2014. V.I “Oxford IADCES Press”. P. 14 – 21.

31. Напрямки вдосконалення технологічного процесу видалення залишків гички з головок коренеплодів / Онищенко В.Б., Теслюк В.В., Сторожук І.М., Барановський В.М. Механізація та електрифікація сільського господарства. XIV міжн. наук.-техн. конф. «Сучасні проблеми землеробської механіки», присвячена пам'яті академіка П.М. Василенка. Глеваха: ННЦ «ІМЕСГ», 2013. С. 207 – 213.

32. Погорілий Л.В. Сучасні проблеми землеробської механіки і машинознавства при створенні сільськогосподарської техніки нового покоління. Механізація сільськогосподарського виробництва. Х.: ХДТУСГ, 2003. Вип. 20. С. 10 – 28.

33. Паньків М.Р., Барановський В.М. Конструктивно-технологічні принципи адаптованого застосування коренезбиральних машин. Зб. наук. праць міжнародної науково-практичної конференції “Динаміка, міцність і надійність сільськогосподарських машин”. Тернопіль: ТДТУ, 2004. С. 192 – 198.

34. **Berezhenko E.B.**, Baranovsky V.M. Researching of energy saving technology for harvesting tops of root crops. Наукові нотатки. 2017. № 60. С. 50 – 55.

35. Гурченко, О. П., Барановський, В. М. Результати випробування модернізованої коренезбиральної машини МКК-6А. Механізація та електрифікація сільського господарства. 1995. №. 81. С. 57 – 60.

36. Сторожук І.М. Конструктивно-технологічний аналіз робочих органів гичкозбиральних машин. The scientific journal. Scientific review. Т. 2. № 12 (2015). С. 63 – 71.

37. Storozhuk I.M., Pankiv V.R. Research results of harvesting haulm remnants of root crops // INMATEH – Agricultural Engineering. 2015. Vol. 46. No. 2/2015. P. 101 – 108.

38. **Береженко Є.** Технологічний процес зрізування гички коренеплодів цикорію. Фундаментальні та прикладні проблеми сучасних технологій : тези доп. Міжн. наук.-техн. конф. до 100-річчя з дня заснування НАН України та на вшанування пам'яті Івана Пулюя (100-річчя з дня смерті), 23-24 трав. 2018 р. Тернопіль: ТНТУ, 2018. С. 281 – 282.

39. **Береженко Є.Б.,** Барановський В.М. Енергозберігаюча технологія збирання гички коренеплодів цикорію кореневого. Актуальні задачі сучасних технологій : тези доп. VI Міжн. наук.-техн. конф. молодих учених та студентів, 16-17 лист. 2017 р. Тернопіль: ТНТУ, 2017. С. 198 – 199.

40. **Berezhenko E.,** Pankiv M., Jobbagy Jan, Berezhenko V. Experimental research of the module for gathering plant of chicory roots. Scientific Journal of TNTU. Ternopil, 2021. No. 101(1). P. 56 – 67.

41. Барановський В.М., **Береженко Є.Б.** Класифікація способів збирання гички коренеплодів цикорію : тези доп. VI Міжн. наук.-техн. конф. «Крамаровські читання» з нагоди 112-ї річниці від дня народження д.т.н., проф., чл.-кор. ВАСГНІЛ, віце-президента УАСГН Крамарова Володимира Савовича (1906-1987) 21-22 лют. 2019 р., м. Київ. К.: Видавничий центр НУБіП України, 2019. С. 117 – 120.

42. Березовий М.Г. Обґрунтування технологічних і конструктивних параметрів робочих органів машини для збирання гички цукрового буряку : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спец. 05.20.11 “Машини і засоби механізація сільськогосподарського виробництва” / М.Г. Березовий. – К. : НАУ, 2007. – 19 с.

43. Андрієнко В.В., Лапенко Г.О., Дудніков А.А., Чорненький С.І. Про розвиток енергозберігаючих технологій у сільському господарстві на сучасному етапі. Вісник Полтавської державної аграрної академії. 2006. № 4. с. 9 – 11.

44. Адамчук В.В., Булгаков В.М., Іванишин В.В. Про розробку і створення в Україні сільськогосподарських машин сучасного рівня. Зб. наук. праць Вінницького націон. аграрного університету. Серія: Технічні науки. 2012. Вип. 11. Т. 2 (66). С. 8 – 14.

45. Мартиненко В.Я. Механіко-технологічні основи підвищення ефективності робочих органів гичкозбиральних машин : автореф. дис. на здобуття наук. ступення докт. техн. наук : спец. 05.05.11 «Машини і засоби сільськогосподарського виробництва» / В.Я. Мартиненко. Тернопіль, 2000. 33 с.

46. Хелемендик М.М. Підвищення механіко-технологічної ефективності трудомістких процесів у буряківництві: дис... доктора техн. наук : 05.20.01 / Хелемендик Микола Михайлович. Луцьк, 1996. 233 с.

47. Зуев Н.М. Исследование качества работы свеклоуборочных комбайнов в зависимости от агрофизических свойств сахарной свеклы при различных способах формирования насаждения растений : автореф. дисс. на соиск. уч. степени канд. техн. наук : спец. 05.20.01 Механизация сельскохозяйственного производства / Н.М. Зуев. Харьков, 1971. 33 с.

48. Ždarsky I. Biologické a fyzikálne mechanické vlastnosti cukrovky z hlediska mechanizace sklirne. Zemědělska technika. 1964. № 11. S. 657 – 672.

49. Погорелый Л.В. Технологические и технические основы совершенствования механизированных процессов уборки сахарной свеклы: дисс. кандидата техн. наук : 05.20.01 / Погорелый Леонид Владимирович. К., 1974. 418 с.

50. Bulich C. Biotechnische Einflussfaktoren auf die Köpfgualität von Zuckerrüben : inang. Diss / Bulich C.. Bonn, 1990. 153 s.

51. Булгаков В.М. Теория свеклоуборочных машин : монография / В.М. Булгаков, М.И. Черновол, Н.А. Свирень Н.А. Кировоград : "КОД", 2009. 256 с.

52. Барановський В.М., Паньків М.Р. Розрахунок масових характеристик коренеплодів. Сільськогосподарські машини. 2007. Вип. 15. С. 30 – 43.

53. Барановський Віктор, Герасимчук Галина, Дубчак Наталія, **Береженко Євген**, Бойко Володимир. Експериментальні дослідження агробіологічних характеристик коренеплодів. Вісник Львівського національного аграрного університету: агроінженерні дослідження. 2020. № 24. С. 13 – 21.

54. **Berezenko E.** Analysis of methods for harvesting haulm root crops and designs of harvest modules. Innovative Solutions in Modern Science. USA, New

York: Center for international scientific cooperation ТК Meganom, LLC. 2020. № 2(38). С. 46 – 54.

55. Барановський, В. М. Основні етапи та загальні принципи сучасних тенденції розвитку коренезбиральних машин. Вісник ТНТУ. 2006. № 11 (2). С. 67 – 75.

56. Клімук, М. В., Герасимчук, О. О., Подоляк, В. М. Огляд машин для видалення гички з головок коренеплодів цукрових буряків. Наукові нотатки. 2002. № 11. С. 182 – 186.

57. Патент № 315766, Швеція, МКИ А 01D 23/02. Пристрій для зрізування гички. Опубл. в 1968.

58. Патент 2663986, США, МКИ А 01D 23/02. Устройство для срезания свекловичной ботвы / Лайл Грансден; заявл. 13.08.1951; опубл. 1953; № 241523.

59. Погорельый Л.В. Оценка показателей работы ботвосрезающих аппаратов. Механизация и электрификация социалистического сельского хозяйства. 1963. № 5. С. 49 – 50.

60. Клімук М. Обґрунтування параметрів роторного гичкозрізувального апарату. Вісник Тернопільського державного університету. Тернопіль: ТДТУ, 2003. Т. 8. № 3. С. 64 – 68.

61. Аванесов Ю.Б. Свеклоуборочная техника на современном этапе / Ю.Б. Аванесов // Механизации и электрофикация социалистического сельского хозяйства. – 1973. – № 8. – С. 53 – 57.

62. Барановський В., Підгурський М., Герасимчук Г. Аналіз технологічного процесу видалення залишків гички комбінованим викопуючим робочим органом. Вісник Тернопільського державного технічного університету. 2010. Том 15. № 4. С. 55 – 62.

63. Булгаков В.М. Теорія бурякозбиральних машин. К.: Видавничий центр НАУ, 2005. 245 с.

64. Булгаков В.М., Борис А.М. Методика та засоби лабораторних досліджень процесу відокремлення гички експериментальними робочими органами. Вісник харківського національного технічного університету

сільського господарства імені Петра Василенка. «Механізація сільськогосподарського виробництва». Технічні науки. 2011. Вип. 107. Том 1. С. 175 – 188.

65. Булгаков В.М., Черновол М.И., Свирень Н.А. Теоретические исследования роторного ботвосрезающего аппарата. Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. КНТУ, 2008. Вип. 38. С. 3 – 16.

66. Василенко П.М. Введение в земледельческую механику. К.: „Сільгососвіта”, 1996. 251 с.

67. Василенко А.А. Теория, конструкция и производство сельскохозяйственных машин. Основания для проектирования свеклоуборочных машин. М.-Л.: НКТМ СССР, 1940. Т.5.

68. Гевко Р.Б., Ткаченко І.Г., Павх І.І. Система машин і механізмів АПК Тернопіль, 2002. 264 с.

69. Bulgakov V., Holovach I., Bandura V., Ivanovs S. A theoretical research of the grain milling technological process for roller mills with two degrees of freedom. INMATEH - Agricultural Engineering. Vol. 52. Issue 2. P. 99 – 106.

70. Bulgakov V., Nikolaenko S., Arak M., Holovach I., Ruzhylo Z., Olt. J. Mathematical model of cleaning potatoes on surface of spiral separator. Agronomy Research. 2018. No.16 (4). P. 1590 – 1606.

71. Bylgakov Volodymyr, Beloiev Hristo, Holovach Ivan, Krocko Vladimir, v NozdrovickyLadislav, Findura Pavol. The most complex theory of the symmetric impact of the vibrating digging working tool on the sugar beet root. Journal of Agricultural Engineering. Vol. 49. No. 4(2018). P. 207 – 219.

72. Зуев Н.М. Топоровский С.А. Бескопирный срез головок корнеплодов. Сахарная свекла. 1988. № 6. С. 42 – 45

73. Зуев Н. М. Методика исследований качества работы свеклоуборочных машин. К.: ВНИС, 1989. 75 с.

74. Kozachenko O., Pakhuchyi A., O.Shkregal, Sorokin S., Dyakonov S., Gusarenko N., Kadenko V. Experimental substantiation of the rational parameters for

a reaping machine of the comb type for harvesting oil flax seeds. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2020. Vol. 5. Issue 1(107). P. 52 – 59.

75. Kozachenko O., Pahuchiy A. Modeling of Interaction with Plants Linseed Occupancy Drum ТЕКА. An International Quarterly Journal on Motorization, Vehicle Operation, Energy Efficiency and Mechanical Engineering. 2019. Vol. 19. No. 1. P. 59 – 64.

76. Козаченко О.В., Пахучий А.М., Шкрегаль О.М. Вплив конструктивно-режимних параметрів на формування повітряного потоку обчисувальні жнивarki. Machinery & Energetics. 2020. Vol. 11. № 1. С. 21 – 27.

77. Кобець О.М. Обґрунтування робочого процесу і параметрів робочих органів для видалення гички кормових буряків : Дис. ... канд. техн. наук: 05.05.11 / Кобець Олександр Миколайович. Вінниця, 2007. 166 с.

78. Мартиненко В. Я. Гичкозбиральні машини. Тернопіль: Поліграфіст, 1997. 110 с.

79. Мартиненко В.Я., Головка С.І. Визначення деяких кінематичних параметрів апаратів для зрізування гички цукрових буряків // Вісник національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». Харків, 2002. Вип. 7. С. 97 – 100.

80. Мартиненко В.Я., Головка С.І. Експериментальне дослідження роботи плоских ножів з коливним рухом при збиранні цукрових буряків. Конструювання, виробництво та експлуатація с/г машин. Загальнодержавний міжвідомчий наук.-техн. зб. Кіровоград, 2005. Вип. 35. С. 78 – 81.

81. Мартиненко В.Я., Головка С.І. Експериментальні дослідження роботи плоского ножа з зворотно – поступальним рухом // Вісник Харківського національного університету сільського господарства ім. Петра Василенка. «Механізація с/г виробництва», Т.2. Харків, 2006. Вип. 44. С. 304 – 308.

82. Мартиненко В.Я., С.І. Головка Обґрунтування конструкції копіюючого механізму з коливним плоским ножом при зрізуванні гички // Вісник Харківського національного університету сільського господарства ім. Петра Василенка. Технічний сервіс АПК. Техніка і технологія у с/г машинобудуванні. Харків, 2005. Вип. 39. С. 227– 231.

83. Мартынов В.М. Проектирование рабочих органов и машин для уборки корнеплодов. Уфа : Изд-во Башкирского государственного аграрного университета, 2011. 250 с.

84. Мартынов В.М. Разработка технологии и универсальных технических средств с многофункциональными рабочими органами для уборки корнеплодов : автореф...дисс. на соискание ученой степени доктора технических наук : 05.20.01 – Технологии и средства механизации сельского хозяйства / В.М. Мартынов. Уфа, 2012. 44 с.

85. Мишин М.А., Бабко И.П., Борщевская Э.Б. Анализ конструкций режущих аппаратов к свеклоуборочным машинам. Тракторы и сельскохозяйственные машины. 1992. № 4. С. 21 – 24.

86. Погорелый Л.В. Технологические и технические основы совершенствования механизированных процессов уборки сахарной свеклы. Автореф. дисс... на соиск. уч. степ. докт. техн. наук. К.: УСХА, 1974. С. 41.

87. Татьянко Н.В. Исследование и усовершенствование аппарата для срезания ботвы с корнями сахарной свеклы до их выкопки : автореф. дис. на соискание уч. степени канд. техн. наук : спец. 05.20.11 “Механизация сельскохозяйственного производства” / Н.В. Татьянко. Х., 1967. 28 с.

88. Топоровский С.А. Обоснование технологического процесса и основных параметров рабочего органа для уборки ботвы сахарной свеклы без копирования головок корнеплодов : автореф. дис. на соискание уч. степени канд. техн. наук : спец. 05.20.11 “Механизация сельскохозяйственного производства” / С.А. Топоровский. К.: УСХА, 1974. 19 с.

89. Хелемендик М.М. Напрями і методи розробки робочих органів сільськогосподарських машин. К.: Аграрна наука, 2001. 208 с.

90. Хелемендик Н.М. Исследование технологического процесса и рабочих органов для уборки сахарной свеклы в условиях Западной степи УССР : автореф. дис. на соискание уч. степени канд. техн. наук : спец. 05.20.11 “Механизация сельскохозяйственного производства” / Н.М. Хелемендик. Воронеж, 1968. 18 с.

91. Машины для свеклопроизводства / Под ред. А.Г. Цымбала и Ю.И. Ковтуна. М.: Машиностроение, 1976. 368 с.

92. Орехівський В. Д. Обґрунтування конструктивно-технологічних параметрів вертикального доочисника головок коренеплодів цукрових буряків: автореф. дис. на здобуття наукового степеню канд. техн. наук.: спец. 05.05.11 - машини і засоби сільськогосподарського виробництва / Орехівський В. Д. Глеваха, 2002. 20 с

93. Черняков Ф.А. Изыскание, исследование и обоснование аппарата для обрезки корней сахарной свеклы в условиях зоны повышенного увлажнения : автореф. дис. на соискание уч. степени канд. техн. наук : спец. 05.20.11 “Механизация сельскохозяйственного производства” / Ф.А. Черняков. Минск, 1971. 28 с.

94. Алдохин В.Г. К совершенствованию режущего аппарата ботвоуборочной машины / В.Г. Алдохин, В.И. Бессарабов, И.Д. Еремеев [та др.] Труды ВИМ. М.: ВИМ, 1978. Т. 80. С. 11 – 21.

95. Смаль М.В. Математичні моделі процесу копіювання головок коренеплодів копіром пасивного дообрізчика залишків гички / М.В. Смаль, О.О. Герасимчук, В.М. Барановський // Зб. наук. праць Вінницького націон. аграр. ун-ту. Серія: Технічні науки. – Вінниця : ВНАУ, 2012. – Вип. 11. – Т. 1 (65). – С. 206–212.

96. Смаль М.В., Герасимчук О.О., Барановський В.М. Математична модель процесу різання головок коренеплодів пасивним ножом дообрізчика. Сільськогосподарські машини. Луцьк: ЛНТУ, 2013. Вип. 24. С. 343 – 353.

97. Борис М.М. Обґрунтування конструктивної схеми машини для відокремлення гички цукрових буряків. Збірник наукових праць Вінницького національного аграрного університету. Серія: Технічні науки. 2012. № 11. Т. 1(65). С. 98 – 102.

98. Борис М.М. Моделювання процесу зрізу гички від коренеплодів цукрових буряків. Збірник Наукових праць Національного аграрного університету. Перспективні технології вирощування та збирання цукрових буряків. Київ: НАУ, 1997. Том 2. с. 77 – 80.

99. Gruber W. Trends bei der Technik für die Zuckerrübenenernte // Landtechnik. 2001. Jg. 56. No. 6. S. 380 – 381.

100. Gute fachliche Praxis zur Vorsorge gegen Bodenschadverdichtungen und Bodenerosion, Referat 516: Bonn: Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft (BMVEL). 2001. 104 s.

101. Koller R. Konstruktionsmethode für den Maschinen-, Geräte- und Apparatebau. Berlin: Springer-Verlag, 1976. 191 s.

102. Márquez L. Maquinari a para la recolección de la remolacha. Agrotécnica, 2007: Abril. Pp. 42 – 46; Julio. Pp. 32 – 39; Agosto. Pp. 24 – 31; Septiembre. Pp. 2 – 11.

103. Moitzi G., Boxberger J. Vermeidung von Bodenschadverdichtungen beim Einsatz von schweren Maschinen – eine aktuelle Herausforderung // Ländlicher Raum, 2007. S. 1 – 27.

104. Pearson K. On a method of determining whether a sample of size N supposed to have been drawn from a parent population having a known probability integral has probably been drawn at random. Biometrika. Cambridge, 1993. Vol. 25. P. 379 – 410.

105. Pirkelmann H. Futterrübenenernte: Technik in Feld und Stall. Bonn; Bad Godesberg, 1980. 32 s.

106. Spiess E., Diserens E. Betteraves à sucre: technique de récolte et protection des sols // Rapport FAT. – 2001. – No. 567. P. 1 – 19.

107. **Berezhenko E.** Analysis of methods for harvesting haulm root crops and designs of harvest modules. Innovative Solutions in Modern Science. USA, New York: Center for international scientific cooperation TK Meganom, LLC. 2020. № 2(38). С. 46 – 54.

108. Барановский В.Н., **Береженко Е.Б.** Способ и устройство для энергосберегающей технологии уборки ботвы корнеплодов. Inginerie Agrară și Transport Auto : materialele Simpozionului Științific Internațional "Realizări și perspective în ingineria agrară și transport auto", dedicat aniversării a 85 de ani de la fondarea Universității Agrare de Stat din Moldova. 2018. Vol. 51. P. 106 – 110.

109. Baranovsky Viktor, **Berezhenko Eugene**. Energy saving technology for harvesting of root crops. Сучасні проблеми землеробської механіки : тези доп. XVIII Міжн. наук. конф. присвяченої 117-річчю від дня народження академіка Петра Мефодійовича Василенка. Кам'янець-Подільський, 16-18 жовт. 2017 р. Тернопіль: Крок, 2017. С. 8 – 11.

110. **Berezhenko E.B.**, V.M. Baranovsky. Improved method of harvesting the main mass of the tops of the root crops of chicory. Проблеми конструювання, виробництва та експлуатації сільськогосподарської техніки : тези доп. XI Міжн. наук.-практ. конф. Кропивницький, 1-3 лист. 2017 р. Кропивницький: ЦНТУ, 2017. С. 71 – 73.

111. Цьонь Г.Б. Обґрунтування параметрів робочих органів гичкозбирального модуля кормових буряків : автореф. дис... на здобуття наук. ступеня кандидата технічних наук / 05.05.11 – машини та засоби механізації сільськогосподарського виробництва. Тернопіль: ТНТУ, 2019. 24 с.

112. Analytical and applied model of the process of the cut vegetable components feeding to the screw conveyor of the top gathering module / Rybak T., Tson A., Stashkiv M., Tson O. Scientific Journal of TNTU. Ternopil: TNTU, 2018. No 2 (90). P. 105 – 114.

113. Feasibility study of an auger conveyor performance of the haulm removing module / Tson A., Khomuk N., Dovbush T., Tson O. Scientific Journal of TNTU. Ternopil: TNTU, 2018. No 3 (91). P. 101 – 106.

114. Experimental researches of parameters technological process of the improved beets tops purifier / Anna Tson, Viktor Baranovskyi, Oleg Lyashuk, Taras Dovbush. Scientific Journal of TNTU. Ternopil: TNTU, 2018. No 4 (92). P. 60 – 67.

115. Substantiation of capacity of screw conveyor of haulm-cutting module / Tson A., Rybak T., Stashkiv M., Shchur T. Motrol. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture. Lublin-Rzeszow, 2018. No.1 (20). P. 83 – 89.

116. Torsional oscillations of an auger multifunctional conveyor's screw working body with consideration of the dynamics of a processed medium continuous flow / [Lyashuk O., Sokil M., Vovk Y., Tson A., Gupka A., Marunych A.]. Ukrainian Food Journal. Kyiv, 2018. Vol. 7. Issue 3. P. 499 – 510.

117. Патент 144431 Україна, МПК А01D 23/02. Гичкозрізувальна машина. Барановський В.М, **Береженко Є.Б.**, Паньків М.Р., Марченко Л.О., Паньків В.Р.; заявник і власник патенту Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя. № u202003158; заявл. 26.05.2020; опубл. 25.09.2020. Бюл. № 18/2020. 3 с.

118. **Береженко Є.Б.** Технологічний аналіз кількості зрізаної гички роторним гичкорізом. Актуальні задачі сучасних технологій : тези доп. VII Міжн наук.-техн. конф. молодих учених та студентів, 28-29 лист. 2018 р. Тернопіль: ТНТУ, 2018. Т.1. С. 48 – 49.

119. Барановський Віктор, Герасимчук Галина, Дубчак Наталія, **Береженко Євген**, Бойко Володимир. Експериментальні дослідження агробіологічних характеристик коренеплодів. Вісник Львівського національного аграрного університету: агроінженерні дослідження. 2020. № 24. С. 13 – 21.

120. **Береженко Є.Б.** Результати експериментальних досліджень гичкозбирального модуля. Актуальні задачі сучасних технологій : тези доп. IX Міжн наук.-техн. конф. молодих учених та студентів, 25-26 лист. 2020 р. Тернопіль: ТНТУ, 2020. Т.1. С. 40 – 41.

121. Довідник буряководи / В.Ф.Зубенко, В.Т.Онопрієнко, В.В.Февчук та ін. За ред. В.Ф.Губенко. 2-е вид., перероб. і доп. К.: Урожай, 1986. 232 с.

122. Гевко Р.Б. Викопувально-очисні пристрої бурякозбиральних машин, конструювання та розрахунок. Тернопіль, 1997. 118 с.

123. Фомічов А.М., Архипенко Ф.М. Сорти і техніка. Хлібороб України. 1987. № 4. С. 24.

124. Сторожук І.М. Експериментальні дослідження процесу роботи шнекового конвеєра гичкозбирального модуля. Електр. наук. фаховий журнал «Наукові доповіді Національного університету біоресурсів і природокористування України». К.: НУБіП України. 2017. Вип. 4 (68). С. 45 – 55.

125. Сторожук І.М. Результати порівняльних досліджень гичкозбирального модуля. Аграрна наука та освіта Поділля: зб. наук. праць міжн. наук.-практ. конф. Тернопіль : Крок, 2017. Ч. 2. С. 74 – 76.

126. Нагаев Р.Ф. Механические процессы с повторными затухающими соударениями. М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1985. 200 с.
127. Айзерман М.А. Классическая механика. Глав. ред. физико-матем. литер. М.: Наука, 1974. 368 с.
128. Бронштейн И. Н., Семендяев К. А. Справочник по математике (для инженеров и учащихся втузов)/ И. Н. Бронштейн, К. А. Семендяев – М.: Государственное издательство физико-математической литературы, 1962. – 608с. 2. Фихтенгольц Г. М. Курс дифференциального и интегрального исчисления. Т.2/ Г. М. Фихтенгольц – «Наука», главная редакция физико-математической литературы. - Москва,1969. – 800с.
129. Кавецкий Г.Д., Васильев Б.В. Процессы и аппараты пищевой технологии. М.: Колос, 2000. 551 с.
130. Вакуленко М.О.,Вакуленко О.В. Тлумачний словник із фізики. К.: Видавничо-поліграфічний центр «Київський університет», 2008. 767 с.
131. Мартынов В.М. К вопросу обоснования профиля направляющего кожуха ботвоуборочной машины. Проблемы АПК на Южном Урале и Поволжье (материалы региональной науч.-практ. конф. молодых ученых и специалистов). Уфа: БГАУ, 1998. Часть I. С. 80 – 85.
132. Мартынов В.М., Юхин Г.П., Калимуллин А.М. Профиль рабочей поверхности кожуха равных скоростей режущего аппарата. Пути повышения эффективности АПК в условиях вступления России в ВТО : материалы междунар. науч.-практ. конф. Часть I. Уфа: БГАУ, 2003. С. 261 – 263.
133. Мартынов В. М. Кожух равного давления для ботвоуборочной машины // Материалы Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 8-летию со дня рождения проф. Кобы В.Г. / Под ред. Е.Е. Демина. Саратов: Изд-во «КУБиК»
134. Теория, конструкция и расчет сельхозмашин / Босой Е.С., Верняев О.В., Смирнов А.С. [и др.]. М.: Машиностроение, 1978. 567 с.
135. Сільськогосподарські машини. Основи теорії та розрахунку : підручник / [Д.Г. Войтюк, В.М. Барановський, В.М. Булгаков та ін.]. К.: Вища освіта, 2005. 446 с.

136. **Berezhenko E.**, Pankiv V., Berezhenko B. Experimental studies of the process of cutting the head of chicory roots. *Paradigm of knowledge*. Germany, Frankfurt: Center for international scientific cooperation TK Meganom, LLC 2021. Том 1. № 46(2021). С. 5 – 15.

137. ДСТУ 2258-93. Машини бурякозбиральні. К.: Держстандарт України, 1993. 18 с.

138. КД 46.16.01.005 – 93 “Випробування сільськогосподарської техніки. Основні положення”. К.: Держстандарт України, 1993. 34 с.

139. Погорельый Л.В. Инженерные методы испытаний сельскохозяйственных машин. К.: Техніка, 1991. 156 с.

140. Карпушкин С.В., Глебов О.А. Теория инженерного эксперимента. Тамбов: ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», 2017. 81 с.

141. Веденяпин Г.В. Общая методика экспериментальных исследований и обработки данных. М.: Колос, 1973. 159 с.

142. Новик Ф.С., Арсов Я.Б. Оптимизация процессов технологий методами планирования экспериментов / Ф.С. Новик,. М.: Машиностроение, София: Техника, 1980. 304 с.

143. Шенк Х. Теория инженерного эксперимента. М. : Мир, 1972. 374 с.

144. Завалишин Ф.С., Манцев Н.Г. Методы исследований по механизации сельскохозяйственного производства. М.: Колос, 1982. 228 с.

145. Крутов В.И., Попов В.В. Основы научных исследований / под ред. В.И. Крутова. М. : Высшая школа, 1989. 363 с.

146. ГОСТ 20915-75. Сельскохозяйственная техника. Методы определения условий испытаний. М. 34 с.

147. Погорельый Л.В. Испытания сельскохозяйственной техники: научно-методические основы оценки и прогнозирования надежности сельскохозяйственных машин / Л.В. Погорельый, В.Я. Анилович. – К.: Феникс, 2004. – 208 с.

148. Патент 144433 Україна, МПК А01D 23/02. Гичкозрізувальна машина. Барановський В.М, **Береженко Є.Б.**, Паньків М.Р., Марченко Л.О., Паньків

В.Р.; заявник і власник патенту Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя. № u202003172; заявл. 26.05.2020; опубл. 25.09.2020. Бюл. № 18/2020. 3 с.

149. Вайсон А.А. Подъемно-транспортные машины. М.: Машиностроение, 1975. 431 с.

150. Григорьев. А.М. Винтовые конвейеры. М. : Машиностроение. 1981. 635 с.

151. <https://exkavator.ru/excapedia/technic/mtzbelarys892>

152.

https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%A8%D0%BD%D0%B5%D0%BA%D0%BE%D0%B2%D0%B8%D0%B9_%D0%BA%D0%BE%D0%BD%D0%B2%D0%B5%D1%94%D1%80

153. Техніко-економічне обґрунтування застосування машин, обладнання і технологій / [Гевко Р.Б., Гладич Б.Б., Павх І.І., Кириленко Т.П.] Тернопіль, 2003. С. 138 – 144.

154. Експертно-аналітична оцінка технологічних і економічних показників сільськогосподарської техніки : [навч.-метод. посібник для студентів економічних спеціальностей] / [М.Г. Данильченко, Б.Б. Гладич, Р.Б. Гевко, І.Г. Ткаченко. Тернопіль: Економічна думка, 2001. 267 с.

155. . https://metallicheckiy-portal.ru/articles/ydelnii_ves_metallov/udelnii_ves_stali

156. Сельскохозяйственные машины и основы эксплуатации машинно-тракторного парка / [Четыркин Б.Н., Воцкий З.И., Поликутин Н.Г. и др.]; [2-е изд., перераб. и доп.]. М.: Агропромиздат, 2001. 336 с.

157. <https://i.factor.ua/ukr/journals/buh911/2020/december/issue-52/article-112597.html>

158. https://studopedia.com.ua/1_204058_rozrahunok-norm-chasu-skladalno-zvaryuvalnih-operatsiy.html

159. <https://propozitsiya.com.ua/mashini-dlya-zbirannya-cukrovih-buryakiv-konstrukciyi-ta-suchasni-vimogi>

160. <https://vseazs.com/>
161. <https://prom.ua/ua/p210846-rems-tigr-anc.html>
162. https://fajno.in.ua/ua/p1430694928-lentohnaya-pila-metallu.html?source=merchant_center&gclid=Cj0KCQjwxdSHBhCdARIsAG6zhIVKuzcgUB_Ngs9eDrA_gFsZSMDsfkkMHBvGcnWZ8JZm2mRFDQtYeF8aAjEqEALw_wcB
163. <https://kwitka.com.ua/svarochnyj-apparat-invertornyj-paton-vdi-160p-20324508>
164. Zuckerrüben – Erntesystem sechsreihig: Köpfroder KR 6-II. Franz Kleine, Maschinenfarbi K GmbH Co, 2012. 4 s.

ДОДАТКИ

Додаток А

Список опублікованих праць за темою дисертації

Наукові праці, в яких опубліковано основні результати дисертаційної роботи

1. **Berezhenko E.B.**, Baranovsky V.M. Researching of energy saving technology for harvesting tops of root crops. Наукові нотатки. 2017. № 60. С. 50 – 55.

2. Барановский В.Н., **Береженко Е.Б.** Способ и устройство для энергосберегающей технологии уборки ботвы корнеплодов. Inginerie Agrară și Transport Auto : materialele Simpozionului Științific Internațional "Realizări și perspective în ingineria agrară și transport auto", dedicat aniversării a 85 de ani de la fondarea Universității Agrare de Stat din Moldova. 2018. Vol. 51. P. 106 – 110.

3. **Berezhenko E.** Analysis of methods for harvesting haulm root crops and designs of harvest modules. Innovative Solutions in Modern Science. USA, New York: Center for international scientific cooperation ТК Meganom, LLC. 2020. № 2(38). С. 46 – 54..

4. Барановський Віктор, Герасимчук Галина, Дубчак Наталія, **Береженко Євген**, Бойко Володимир. Експериментальні дослідження агробіологічних характеристик коренеплодів. Вісник Львівського національного аграрного університету: агроінженерні дослідження. 2020. № 24. С. 13 – 21.

5. **Berezhenko E.**, Pankiv M., Jobbagy Jan, Berezhenko B. Experimental research of the module for gathering plant of chicory roots. Scientific Journal of TNTU. Ternopil, 2021. No. 101(1). P. 56 – 67.

6. **Berezhenko E.**, Pankiv V., Berezhenko B. Experimental studies of the process of cutting the head of chicory roots. *Paradigm of knowledge*. Germany, Frankfurt: Center for international scientific cooperation ТК Meganom, LLC 2021. Том 1. № 46(2021). С. 5 – 15.

Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертаційної роботи

7. Baranovsky Viktor, **Berezhenko Eugene**. Energy saving technology for harvesting of root crops. Сучасні проблеми землеробської механіки : тези доп. XVIII Міжн. наук. конф. присвяченої 117-річниці від дня народження

академіка Петра Мефодійовича Василенка. Кам'янець-Подільський, 16-18 жовт. 2017 р. Тернопіль: Крок, 2017. С. 8 – 11.

8. **Berezhenko E.B.**, V.M. Baranovsky. Improved method of harvesting the main massif of the tops of the root crops of chicory. Проблеми конструювання, виробництва та експлуатації сільськогосподарської техніки : тези доп. XI Міжн. наук.-практ. конф. Кропивницький, 1-3 лист. 2017 р. Кропивницький: ЦНТУ, 2017. С. 71 – 73.

9. **Береженко Є.Б.**, Барановський В.М. Енергозберігаюча технологія збирання гички коренеплодів цикорію кореневого. Актуальні задачі сучасних технологій : тези доп. VI Міжн. наук.-техн. конф. молодих учених та студентів, 16-17 лист. 2017 р. Тернопіль: ТНТУ, 2017. С. 198 – 199.

10. **Береженко Є.Б.** Технологічний аналіз кількості зрізаної гички роторним гичкорізом. Актуальні задачі сучасних технологій : тези доп. VII Міжн наук.-техн. конф. молодих учених та студентів, 28-29 лист. 2018 р. Тернопіль: ТНТУ, 2018. Т.1. С. 48 – 49.

11. Барановський В.М., **Береженко Є.Б.** Класифікація способів збирання гички коренеплодів цикорію : тези доп. VI Міжн. наук.-техн. конф. «Крамаровські читання» з нагоди 112-ї річниці від дня народження д.т.н., проф., чл.-кор. ВАСГНІЛ, віце-президента УАСГН Крамарова Володимира Савовича (1906-1987) 21-22 лют. 2019 р., м. Київ. К.: Видавничий центр НУБіП України, 2019. С. 117–120.

12. **Береженко Є.Б.** Результати експериментальних досліджень гичкозбирального модуля. Актуальні задачі сучасних технологій : тези доп. IX Міжн наук.-техн. конф. молодих учених та студентів, 25-26 лист. 2020 р. Тернопіль: ТНТУ, 2020. Т.1. С. 40–41.

Наукові праці, які додатково розкривають результати дисертаційної роботи

13. Пат. 144431 Україна, МПК А01D 23/02. Гичкозрізувальна машина. Барановський В.М, **Береженко Є.Б.**, Паньків М.Р., Марченко Л.О., Паньків В.Р.; заявник і власник патенту Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя. № u202003158; заявл. 26.05.2020; опубл. 25.09.2020. Бюл. № 18/2020. 3 с.

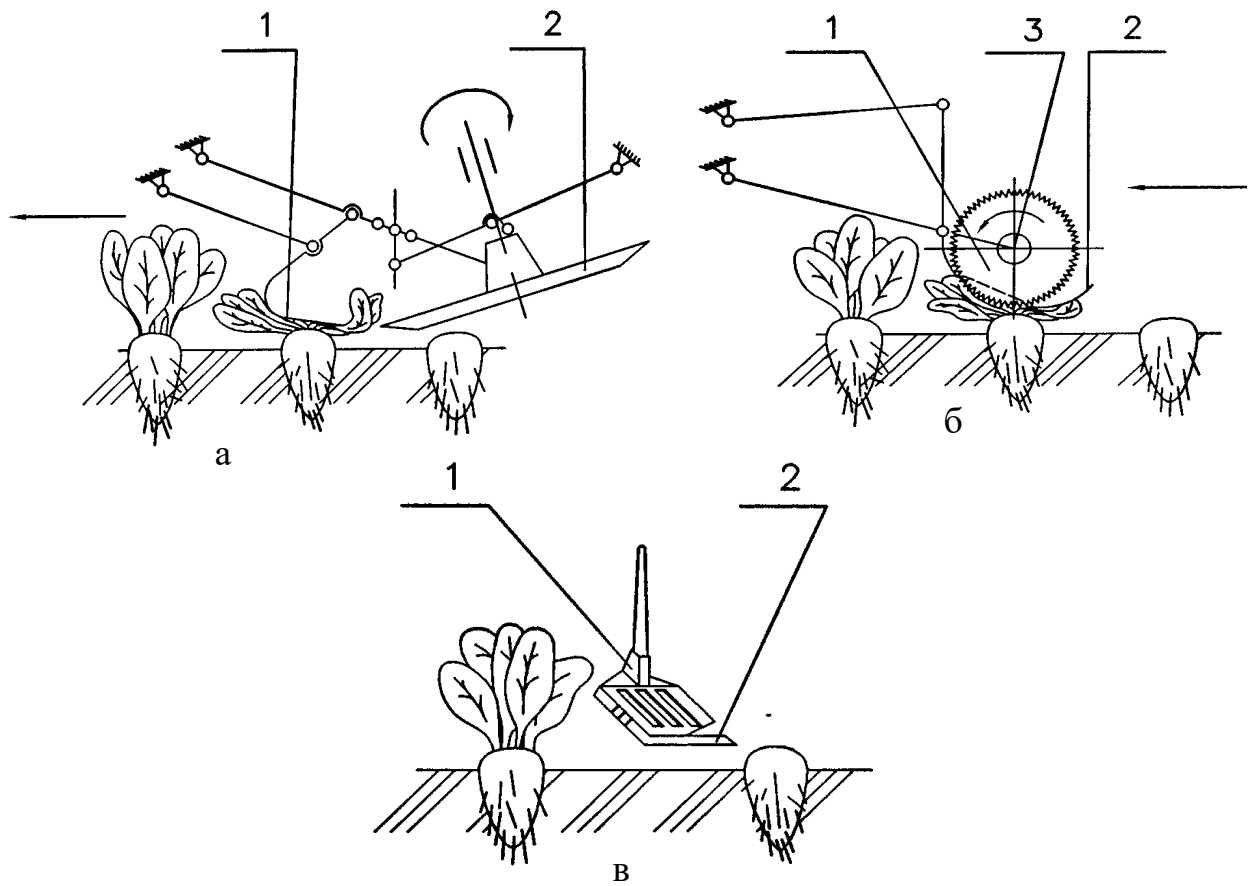
14. Пат. 144433 Україна, МПК А01D 23/02. Гичкозрізувальна машина. Барановський В.М, **Береженко Є.Б.**, Паньків М.Р., Марченко Л.О., Паньків В.Р.; заявник і власник патенту Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя. № u202003172; заявл. 26.05.2020; опубл. 25.09.2020. Бюл. № 18/2020. 3 с.

Додаток Б.1.1



Причіпні гичкозбиральні машини

Продовження додатку Б.1.1



Схеми гичкозрізувального апарата: а – пасивний копір поєднується з активним дисковим ножом; б – поєднаний активний катковий копір з пасивним ножом; в – пасивний копір поєднується з пасивним ножом

Додаток Б.2.3



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **144431** (13) **U**
 (51) МПК
A01D 23/02 (2006.01)

МІНІСТЕРСТВО РОЗВИТКУ
 ЕКОНОМІКИ, ТОРГІВЛІ ТА
 СІЛЬСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА
 УКРАЇНИ

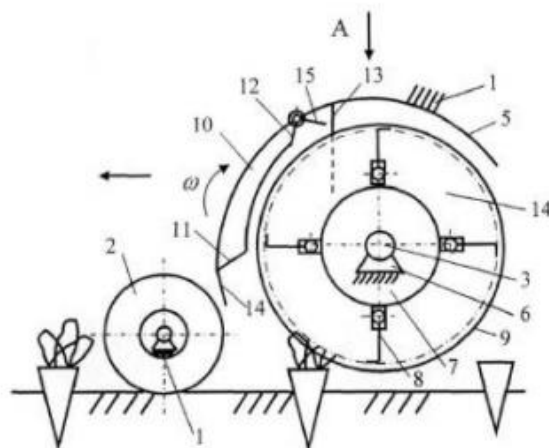
(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

(21) Номер заявки: u 2020 03158	(72) Винахідник(и): Барановський Віктор Миколайович (UA), Береженко Євген Богданович (UA), Паньків Марія Романівна (UA), Марченко Любов Олексіївна (UA), Паньків Віталій Романович (UA)
(22) Дата подання заявки: 26.05.2020	(73) Володілець (володільці): ТЕРНОПІЛЬСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ ІВАНА ПУЛЮЯ, вул. Руська, 56, м. Тернопіль, 46001 (UA)
(24) Дата, з якої є чинними права інтелектуальної власності: 26.09.2020	
(46) Публікація відомостей про державну реєстрацію: 25.09.2020, Бюл.№ 18	

(54) ГИЧКОЗРІЗУВАЛЬНА МАШИНА**(57) Реферат:**

Гичкозрізувальна машина містить раму, на якій встановлені опорні колеса та розташований в опорах вал з горизонтальною віссю обертання, виконаний у вигляді барабана, на якому закріплені гичкозрізувальні ножі та ділильні диски, які розташовані у міжрядді коренеплодів між гичкозрізувальними ножами, які охоплено дугоподібним кожухом, на внутрішній поверхні якого змонтовані направляючі канали для транспортування гички, які мають вхідні та вихідні отвори, а за вихідним отвором кожного направляючого каналу встановлено фартух, а вихідний отвір кожного направляючого каналу та фартух розташовані між суміжними ділильними дисками. На внутрішній поверхні дугоподібного кожуха під вхідним отвором кожного направляючого каналу жорстко закріплено плоский екран, а на внутрішній поверхні дугоподібного кожуха за вихідним отвором кожного направляючого каналу закріплено шарнірну поворотну пласку заслінку.

UA 144431 U



Фиг. 1

UA 144431 U

UA 144431 U

Корисна модель належить до галузі сільськогосподарського машинобудування, особливо до пристроїв для зрізування гички коренеплодів.

Відома гичкозрізувальна машина, яка містить раму, на якій встановлені опорні колеса та розташований в опорах вал з горизонтальною віссю обертання, виконаний у вигляді барабана, на якому закріплені гичкозрізувальні ножі та ділильні диски, які розташовані у міжрядді коренеплодів між гичкозрізувальними ножами, які охоплено дугоподібним кожухом (деклараційний патент України № 30356 А, МПК А01D 23/02. Опубл. 15.11.2000. Бюл. № 6).

Недоліком відомої гичкозрізувальної машини є часткове розкидання зрізаної та подрібненої гички за задню частину ділильних дисків у межі рядка коренеплодів, що значно знижує технологічні можливості коренезбиральної машини.

Відома гичкозрізувальна машина, яка містить раму, на якій встановлені опорні колеса та розташований в опорах вал з горизонтальною віссю обертання, виконаний у вигляді барабана, на якому закріплені гичкозрізувальні ножі та ділильні диски, які розташовані у міжрядді коренеплодів між гичкозрізувальними ножами, які охоплено дугоподібним кожухом, на внутрішній поверхні якого змонтовані направляючі канали для транспортування гички, які мають вхідні та вихідні отвори, а за вихідним отвором кожного направляючого каналу встановлено фартух, а вихідний отвір кожного направляючого каналу та фартуха розташовані між суміжними ділильними дисками (патент України на корисну модель № 108588, МПК А01D 23/02. Опубл. 25.07.216. Бюл. № 4).

Недоліком відомої гичкозрізувальної машини є часткові втрати зрізаної гички на етапі її переміщення до вхідного каналу у межі рядка коренеплодів, що значно знижує технологічні можливості коренезбиральної машини.

В основу корисної моделі поставлено задачу усунення можливості розкидання зрізаної та подрібненої гички в межі рядка коренеплодів, шляхом виконання гичкозрізувальної машини, яка містить раму, на якій встановлені опорні колеса та розташований в опорах вал з горизонтальною віссю обертання, виконаний у вигляді барабана, на якому закріплені гичкозрізувальні ножі та ділильні диски, які розташовані у міжрядді коренеплодів між гичкозрізувальними ножами, які охоплено дугоподібним кожухом, на внутрішній поверхні якого змонтовані направляючі канали для транспортування гички, які мають вхідні та вихідні отвори, а за вихідним отвором кожного направляючого каналу встановлено фартух, а вихідний отвір кожного направляючого каналу та фартуха розташовані між суміжними ділильними дисками, причому на внутрішній поверхні дугоподібного кожуха під вхідним отвором кожного направляючого каналу жорстко закріплено плоский екран, а на внутрішній поверхні дугоподібного кожуха за вихідним отвором кожного направляючого каналу закріплено шарнірну поворотну плоску заслінку.

Гичкозрізувальна машина зображена на фіг. 1 - вигляд збоку, на фіг. 2 - вигляд А на фіг. 1.

Гичкозрізувальна машина складається з рами 1, на якій послідовно встановлено опорні колеса 2, вал 3 з горизонтальною віссю обертання 4 та розташований спереду і над верхньою частиною вала дугоподібний кожух 5. Вал 3 встановлено в опорах 6, які змонтовано на рамі 1 та виконано у вигляді барабана 7, на якому закріплено гичкозрізувальні ножі 8 Г-подібної форми. Між гичкозрізувальними ножами 8 на барабані 7 та у міжрядді коренеплодів розташовано ділильні диски 9. На внутрішній частині дугоподібного кожуха 5 встановлено направляючі канали 10 для транспортування гички, які мають вхідний 11 та вихідний 12 отвори. За вихідним отвором 12 кожного направляючого каналу 10 встановлено фартух 13, причому вихідний отвір 12 кожного направляючого каналу 10 та фартуха 13 розташована між суміжними ділильними дисками 9. На внутрішній поверхні дугоподібного кожуха 5 на початку вхідного отвору 11 кожного направляючого каналу 10 жорстко закріплено плоский екран 14, а на кінці вхідного отвору 12 закріплено шарнірну поворотну плоску заслінку 15. Вал 3 обертається з кутовою швидкістю ω , напрямком руху якої односторонній напрямку руху пристрою.

Гичкозрізувальна машина працює наступним чином.

Під час руху гичкозрізувальної машини вздовж рядків коренеплодів гичкозрізувальні ножі 8 за рахунок обертання вала 3 зрізують основний масив гички та подають її по траєкторії руху до вхідного отвору 11 направляючого каналу 10. За рахунок створеного обертанням вала 3, або гичкозрізувальних ножів 7 повітряного потоку одна частка частинок зрізаної та подрібненої гички переміщується до вхідного отвору 11 та транспортується по направляючому каналу 10 до його вхідного отвору 12, а інша частка частинок зрізаної та подрібненої гички переміщується до жорстко закріпленого плоского екрану 14, де відбувається їх контакт з плоским екраном 14 під гострим кутом. Після контакту з плоским екраном 14 частинки зрізаної та подрібненої гички відбиваються від нього під кутом, який дорівнює куту контакту та рухається у напрямку вхідного отвору 12. Далі зрізана та подрібнена гичка транспортується по направляючому каналу до

UA 144431 U

вихідного отвору 12, де відбувається її контакт з шарнірною поворотною заслінкою 15. Після контакту зрізаної та подрібненої гички з шарнірною поворотною заслінкою 15, остання відхиляється від свого початкового положення, створюючи прохід зрізаної та подрібненої гички до фартуха 13, де відбувається контакт зрізаної та подрібненої гички з фартухом 13. Після контакту з поворотною заслінкою 15 та фартухом 13 гичка втрачає початкову швидкість вильоту з вихідного отвору 12 та розкидається в міжряддя незібраних коренеплодів у зону між ділильними дисками 9.

Таким чином, наявність плоского екрана 14 забезпечує більш повне переміщення зрізаної та подрібненої гички до вхідного отвору 12 направляючого каналу 10, що зменшує втрати зрізаної та подрібненої гички, або її розкидання у зону рядка коренеплодів, а наявність шарнірної поворотної заслінки 15 дозволяє зменшити початкову швидкість вильоту зрізаної та подрібненої гички. Що призводить до більш якісного її укладання в міжряддя незібраних коренеплодів у зону між ділильними дисками 9.

Додаток В.1.2

Порядок перетворення та спрощення рівняння (2.31)

$$m_2 \frac{d\vartheta}{dt} = m_2 g \left(\vartheta_{n.n} - \frac{dL_B}{dt} \right)^2 \operatorname{sign} \left(\vartheta_{n.n} - \frac{dL_B}{dt} \right) / \vartheta_g^2 - F_m - F_c - m_2 g \sin \xi ;$$

$$m_2 \frac{d\vartheta}{dt} = m_2 g \left(\vartheta_{n.n} - \frac{dL_B}{dt} \right)^2 \operatorname{sign} \left(\vartheta_{n.n} - \frac{dL_B}{dt} \right) / \left(\sqrt{2m_2 g / k_o S_z} \right)^2 -$$

$$- m_2 f_m \left(k_o \left(\frac{dL_B}{dt} \right)^2 - g \cos \xi \right) - 0,5 k_o S_z \gamma_n \left(\frac{dL_B}{dt} \right)^2 - m_2 g \sin \xi ;$$

$$m_2 \frac{d\vartheta}{dt} = \frac{m_2 g k_o S_z}{2m_2} \left(\vartheta_{n.n} - \frac{dL_B}{dt} \right)^2 \operatorname{sign} \left(\vartheta_{n.n} - \frac{dL_B}{dt} \right) -$$

$$- m_2 f_m \left(k_o \left(\frac{dL_B}{dt} \right)^2 - g \cos \xi \right) - 0,5 k_o S_z \gamma_n \left(\frac{dL_B}{dt} \right)^2 - m_2 g \sin \xi ;$$

$$\frac{d\vartheta}{dt} = \frac{k_o S_z \gamma_n}{2m_2} \left[g \left(\vartheta_{n.n} - \frac{dL_B}{dt} \right)^2 \operatorname{sign} \left(\vartheta_{n.n} - \frac{dL_B}{dt} \right) - \left(\frac{dL_B}{dt} \right)^2 \right] -$$

$$- f_m \left(k_o \left(\frac{dL_B}{dt} \right)^2 - g \cos \xi \right) - g \sin \xi ;$$

$$\frac{d\vartheta}{dt} = \frac{k_o S_z \gamma_n}{2m_2} g \left(\vartheta_{n.n} - 2\vartheta_{n.n} \frac{dL_B}{dt} + \left(\frac{dL_B}{dt} \right)^2 - \left(\frac{dL_B}{dt} \right)^2 \right) \operatorname{sign} \left(\vartheta_{n.n} - \frac{dL_B}{dt} \right) -$$

$$- f_m \left(k_o \left(\frac{dL_B}{dt} \right)^2 - g \cos \xi \right) - g \sin \xi$$

$$\begin{aligned}
\frac{d\mathcal{G}}{dt} &= \frac{k_o S_z \gamma_n}{2m_2} g \left(\mathcal{G}_{n.n} - 2\mathcal{G}_{n.n} \frac{dL_B}{dt} \right) \operatorname{sign} \left(\mathcal{G}_{n.n} - \frac{dL_B}{dt} \right) - \\
&\quad - \left(f_m k_o \left(\frac{dL_B}{dt} \right)^2 - f_m g \cos \xi \right) - g \frac{f_m}{f_m} \sin \xi \quad ; \\
\frac{d\mathcal{G}}{dt} &= \frac{k_o S_z \gamma_n}{2m_2} g \left(\mathcal{G}_{n.n} - 2\mathcal{G}_{n.n} \frac{dL_B}{dt} \right) \operatorname{sign} \left(\mathcal{G}_{n.n} - \frac{dL_B}{dt} \right) - \\
&\quad - f_m \left[k_o \left(\frac{dL_B}{dt} \right)^2 - g \left(\cos \xi - \frac{\sin \xi}{f_m} \right) \right] \quad . \\
m_2 \frac{d\mathcal{G}}{dt} &= \frac{g k_o S_z}{2} \left(\mathcal{G}_{n.n} - \frac{dL_B}{dt} \right)^2 \operatorname{sign} \left(\mathcal{G}_{n.n} - \frac{dL_B}{dt} \right) - \\
&\quad - m_2 f_m \left(k_o \left(\frac{dL_B}{dt} \right)^2 - g \cos \xi \right) - 0,5 k_o S_z \gamma_n \left(\frac{dL_B}{dt} \right)^2 - m_2 g \sin \xi \\
m_2 \frac{d\mathcal{G}}{dt} &= m_2 g \left(\mathcal{G}_{n.n} - \frac{dL_B}{dt} \right)^2 \operatorname{sign} \left(\mathcal{G}_{n.n} - \frac{dL_B}{dt} \right) / \mathcal{G}_6^2 - \\
&\quad - m_2 f_m \left(k_o \left(\frac{dL_B}{dt} \right)^2 - g \cos \xi \right) - 0,5 k_o S_z \gamma_n \left(\frac{dL_B}{dt} \right)^2 - m_2 g \sin \xi \\
\frac{d\mathcal{G}}{dt} &= g \left(\mathcal{G}_{n.n} - \frac{dL_B}{dt} \right)^2 \operatorname{sign} \left(\mathcal{G}_{n.n} - \frac{dL_B}{dt} \right) / \mathcal{G}_6^2 - \\
&\quad - f_m \left(k_o \left(\frac{dL_B}{dt} \right)^2 - g \cos \xi \right) - 0,5 k_o \left(\frac{dL_B}{dt} \right)^2 - g \sin \xi \quad ; \\
\frac{d\mathcal{G}}{dt} &= g \left(\mathcal{G}_{n.n} - \frac{dL_B}{dt} \right)^2 \operatorname{sign} \left(\mathcal{G}_{n.n} - \frac{dL_B}{dt} \right) / (2m_2 g / k_o S_z) - \\
&\quad - f_m \left(k_o \left(\frac{dL_B}{dt} \right)^2 - g \cos \xi \right) - 0,5 k_o \left(\frac{dL_B}{dt} \right)^2 - g \sin \xi \quad ; \\
\frac{d\mathcal{G}}{dt} &= \frac{g \left(\mathcal{G}_{n.n} - \frac{dL_B}{dt} \right)^2 \operatorname{sign} \left(\mathcal{G}_{n.n} - \frac{dL_B}{dt} \right) k_o S_z}{2m_2 g} - \\
&\quad - f_m \left(k_o \left(\frac{dL_B}{dt} \right)^2 - g \cos \xi \right) - 0,5 k_o \left(\frac{dL_B}{dt} \right)^2 - g \sin \xi
\end{aligned}$$

$$\frac{d\mathcal{G}}{dt} = \frac{g \left(\mathcal{G}_{n.n} - \frac{dL_B}{dt} \right)^2 \operatorname{sign} \left(\mathcal{G}_{n.n} - \frac{dL_B}{dt} \right) k_o \gamma_2 S_2}{2m_2 g \gamma_2} -$$

$$- f_m \left(k_o \left(\frac{dL_B}{dt} \right)^2 - g \cos \xi \right) - \frac{k_o}{2} \left(\frac{dL_B}{dt} \right)^2 - g \sin \xi$$

$$\frac{d\mathcal{G}}{dt} = \frac{g \left(\mathcal{G}_{n.n} - \frac{dL_B}{dt} \right)^2 \operatorname{sign} \left(\mathcal{G}_{n.n} - \frac{dL_B}{dt} \right) k_o \gamma_2 S_2}{2m_2 g \gamma_2} -$$

$$- f_m \left(k_o \left(\frac{dL_B}{dt} \right)^2 - g \cos \xi \right) - \frac{k_o}{2} \left(\frac{dL_B}{dt} \right)^2 - g \sin \xi$$

Додаток В.2.2

Порядок отримання рівняння (2.40)

$$d\alpha = \frac{\left[(0,5d_{\bar{\sigma}} + l_h) \sin \varphi_1 + \operatorname{tg} \varepsilon_1 \sqrt{\rho_c^2 - (0,5d_{\bar{\sigma}} + l_h)^2 \sin^2 \varphi_1} \right] d\rho_c}{\rho_c \sqrt{\rho_c^2 - (0,5d_{\bar{\sigma}} + l_h)^2 \sin^2 \varphi_1} - (0,5d_{\bar{\sigma}} + l_h) \sin \varphi_1 \operatorname{tg} \varepsilon_1}. \quad (\text{B.1})$$

Проінтегруємо вираз (В.1)

$$\int_{\alpha_0}^{\alpha} d\alpha = \int_{\rho_{c0}}^{\rho_c} \frac{\left[(0,5d_{\bar{\sigma}} + l_h) \sin \varphi_1 + \operatorname{tg} \varepsilon_1 \sqrt{\rho_c^2 - (0,5d_{\bar{\sigma}} + l_h)^2 \sin^2 \varphi_1} \right] d\rho_c}{\rho_c \sqrt{\rho_c^2 - (0,5d_{\bar{\sigma}} + l_h)^2 \sin^2 \varphi_1} - (0,5d_{\bar{\sigma}} + l_h) \sin \varphi_1 \operatorname{tg} \varepsilon_1};$$

$$\alpha = \alpha_0 + \int_{\rho_{c0}}^{\rho_c} \frac{\left[(0,5d_{\bar{\sigma}} + l_h) \sin \varphi_1 + \operatorname{tg} \varepsilon_1 \sqrt{\rho_c^2 - (0,5d_{\bar{\sigma}} + l_h)^2 \sin^2 \varphi_1} \right] d\rho_c}{\rho_c \sqrt{\rho_c^2 - (0,5d_{\bar{\sigma}} + l_h)^2 \sin^2 \varphi_1} - (0,5d_{\bar{\sigma}} + l_h) \sin \varphi_1 \operatorname{tg} \varepsilon_1}. \quad (\text{B.2})$$

Після розв'язку правої частини інтегрального виразу (В.2) за методом Рунге-Куты за допомогою програмного забезпечення «Mathematica» для персонального комп'ютера було отримано

$$\alpha = \alpha_0 + \operatorname{tg} \varepsilon_1 \ln \left| \frac{\sqrt{\rho_c^2 - (0,5d_{\bar{\sigma}} + l_h)^2 \sin^2 \varphi_1} - (0,5d_{\bar{\sigma}} + l_h) \sin \varphi_1 \operatorname{tg} \varepsilon_1}{\sqrt{\rho_{c0}^2 - (0,5d_{\bar{\sigma}} + l_h)^2 \sin^2 \varphi_1} - (0,5d_{\bar{\sigma}} + l_h) \sin \varphi_1} \right| +$$

$$+ \operatorname{arccos} \frac{(0,5d_{\bar{\sigma}} + l_h) \sin \varphi_1}{\rho_c} - \operatorname{arccos} \frac{(0,5d_{\bar{\sigma}} + l_h) \sin \varphi_1}{\rho_{c0}} \quad (\text{B.3})$$

Додаток Г.1.1



Загальний вигляд процесу роботи гичкозбирального модуля



Загальний вигляд гичкозбирального модуля

Додаток Г.2.1

Технічна характеристика гичкозбирального модуля

Показники	Значення показників
Енергетичний засіб, тип агрегування	МТЗ-82, начіпна
Ширина міжряддя, м	0,45
Ширина захвату, м	1,35
Кількість рядків, шт.	3
Діаметр ротора гичкоріза, м	0,45
Частота обертання ротора гичкоріза, об/хв	400...800
Діаметр ділильного диска, м	0,5
Ширини зони між двома суміжними дисками, м	0,25...0,35
Висота розташування вхідної горловини відносно центра обертання роторного гичкоріза, ± см	0
Ширина захисної зони рядка, м	0,15

Додаток Г.3.1



Загальний вигляд: а – контактний мікроперемикач;
б – відеореєстратор; в – мультимедійна швидкісна відеокамера

Додаток Г.4.1

Технічна характеристика коренезбиральної машини

Найменування показника	Значення показника	
	Межі регулювання	При проведенні досліджень
Тип	причіпна	
Агрегатування	МТЗ-82	
Конструктивна ширина захвату, м	1,35	
Кількість рядків	3	3
Ширина міжрядь, см	45	45
Робоча швидкість руху, м/с	1,0...1,6	1,6
Діаметр дисків, м	0,35...0,45	0,45
Кут атаки дисків, град	10...45	30
Глибина ходу викопувальних дисків, см	5...12	9
Частота обертання приводного вала, об/хв	400...700	500
Діаметр приводного вала, м	0,6	0,6
Глибина ходу лапи розрихлювача, см	5...20	16
Поступальна швидкість руху повздовжнього похилого транспортера, м/с	1,5	1,5
Поступальна швидкість руху поперечного транспортера, м/с	1,5	1,5
Поступальна швидкість руху вивантажувального транспортера, м/с	1,1	1,1

Додаток Г.5.2

Характеристика плантації та коренеплодів цикорію

Найменування показників	Одиниця вимірювання	Значення показників
Сорт цикорію	«Софіївський 7»	
Ширина міжрядь: - середня - середньоквадратичне відхилення	см ± см	45 0,86
Врожайність коренеплодів	ц/га	210...270
Густота насаджень рослин	шт./м ²	5...12
Врожайність гички	кг/м ²	1,35...1,85
Відстань між коренеплодами в рядку	см	15...20
Діаметр коренеплодів	см	6...10
Співвідношення між групами коренеплодів за масою	%	31,3/54,2/13,5
Відхилення коренеплодів від осьової лінії рядка	±см	до 2,8
Висота розташування головок коренеплодів	± см	0...1,3
Кількість бур'янів на 1 м ²	шт./кг/м ²	до 8/0,9

Умови проведення експериментальних досліджень гичкозбирального модуля

Найменування показників	Значення показників
Тип ґрунту і назва за механічним складом	Чорнозем опідзолений, легкосуглинковий
Рельєф поля	Рівнинний
Мікрорельєф ділянки	Рівний
Вологість ґрунту, % у шарі, см: від 0 до 10 більше 10 до 20 більше 20 до 30	20,2 21,5 22,1
Щільність ґрунту, МПа в шарі, см: від 0 до 10 більше 10 до 20 більше 20 до 30	0,9 1,3 1,5

Додаток Г.6.2

План-матриця проведення експерименту типу ПФЕ 3^3

№ досл.	Рівні факторів				Взаємодія факторів				Параметр оптимізації, У			Середні значення У
									Повторюваність			
	x_0	x_1	x_2	x_3	$x_1 x_2$	$x_1 x_3$	$x_2 x_3$	$x_1 x_2 x_3$	1	2	3	$U_{\text{сер.}}$
1	+1	-1	-1	-1	+1	+1	+1	-1	Y_{11}	Y_{12}	Y_{13}	Y_{1c}
2	+1	+1	-1	-1	-1	-1	+1	+1	Y_{21}	Y_{22}	Y_{23}	Y_{2c}
3	+1	0	-1	-1	0	0	+1	0	Y_{31}	Y_{32}	Y_{33}	Y_{3c}
4	+1	-1	+1	-1	-1	+1	-1	+1	Y_{41}	Y_{42}	Y_{43}	Y_{4c}
5	+1	+1	+1	-1	+1	-1	-1	-1	Y_{51}	Y_{52}	Y_{53}	Y_{5c}
6	+1	0	+1	-1	0	0	-1	0	Y_{61}	Y_{62}	Y_{63}	Y_{6c}
7	+1	-1	0	-1	0	+1	0	0	Y_{71}	Y_{72}	Y_{73}	Y_{7c}
8	+1	+1	0	-1	0	-1	0	0	Y_{81}	Y_{82}	Y_{83}	Y_{8c}
9	+1	0	0	-1	0	0	0	0	Y_{91}	Y_{92}	Y_{93}	Y_{9c}
10	+1	-1	-1	+1	+1	-1	-1	+1	Y_{101}	Y_{102}	Y_{103}	Y_{10c}
11	+1	+1	-1	+1	-1	+1	-1	-1	Y_{111}	Y_{112}	Y_{113}	Y_{11c}
12	+1	0	-1	+1	0	0	-1	0	Y_{121}	Y_{122}	Y_{123}	Y_{12c}
13	+1	-1	+1	+1	-1	-1	+1	-1	Y_{131}	Y_{132}	Y_{133}	Y_{13c}
14	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	Y_{141}	Y_{142}	Y_{143}	Y_{14c}
15	+1	0	+1	+1	0	0	+1	0	Y_{151}	Y_{152}	Y_{153}	Y_{15c}
16	+1	-1	0	+1	0	-1	0	0	Y_{161}	Y_{162}	Y_{163}	Y_{16c}
17	+1	+1	0	+1	0	+1	0	0	Y_{171}	Y_{172}	Y_{173}	Y_{17c}
18	+1	0	0	+1	0	0	0	0	Y_{181}	Y_{182}	Y_{183}	Y_{18c}
19	+1	-1	-1	0	+1	0	0	0	Y_{191}	Y_{192}	Y_{193}	Y_{19c}
20	+1	+1	-1	0	-1	0	0	0	Y_{201}	Y_{202}	Y_{203}	Y_{20c}
21	+1	0	-1	0	0	0	0	0	Y_{211}	Y_{212}	Y_{213}	Y_{21c}
22	+1	-1	+1	0	-1	0	0	0	Y_{221}	Y_{222}	Y_{123}	Y_{22c}
23	+1	+1	+1	0	+1	0	0	0	Y_{231}	Y_{232}	Y_{233}	Y_{23c}
24	+1	0	+1	0	0	0	0	0	Y_{241}	Y_{242}	Y_{243}	Y_{24c}
25	+1	-1	0	0	0	0	0	0	Y_{251}	Y_{252}	Y_{253}	Y_{25c}
26	+1	+1	0	0	0	0	0	0	Y_{261}	Y_{262}	Y_{263}	Y_{26c}
27	+1	0	0	0	0	0	0	0	Y_{271}	Y_{272}	Y_{273}	Y_{27c}

Рандомізована план-матриця експерименту типу ПФЕ 3^2

№ досл.	Рівні факторів				Взаємодія факторів			Параметр оптимізації			Середні значення
								Повторюваність			
	x_0	x_1	x_2	x_3	$x_1 x_2$	$x_1 x_3$	$x_2 x_3$	1	2	3	
1	+1	0	+1	-1	0	0	-1	Y_{11}	Y_{12}	Y_{13}	Y_{1c}
2	+1	+1	-1	+1	-1	+1	-1	Y_{21}	Y_{22}	Y_{23}	Y_{2c}
3	+1	0	-1	+1	0	0	-1	Y_{31}	Y_{32}	Y_{33}	Y_{3c}
4	+1	-1	+1	+1	-1	-1	+1	Y_{41}	Y_{42}	Y_{43}	Y_{4c}
5	+1	0	0	-1	0	0	0	Y_{51}	Y_{52}	Y_{53}	Y_{5c}
6	+1	+1	+1	0	+1	0	0	Y_{61}	Y_{62}	Y_{63}	Y_{6c}
7	+1	0	+1	0	0	0	0	Y_{71}	Y_{72}	Y_{73}	Y_{7c}
8	+1	+1	0	+1	0	+1	0	Y_{81}	Y_{82}	Y_{83}	Y_{8c}
9	+1	0	0	+1	0	0	0	Y_{91}	Y_{92}	Y_{93}	Y_{9c}
10	+1	+1	+1	-1	+1	-1	-1	Y_{101}	Y_{102}	Y_{103}	Y_{10c}
11	+1	+1	-1	0	-1	0	0	Y_{111}	Y_{112}	Y_{113}	Y_{11c}
12	+1	-1	-1	-1	+1	+1	+1	Y_{121}	Y_{122}	Y_{123}	Y_{12c}
13	+1	-1	+1	0	-1	0	0	Y_{131}	Y_{132}	Y_{133}	Y_{13c}
14	+1	0	0	0	0	0	0	Y_{141}	Y_{142}	Y_{143}	Y_{14c}
15	+1	0	-1	-1	0	0	+1	Y_{151}	Y_{152}	Y_{153}	Y_{15c}
16	+1	0	-1	0	0	0	0	Y_{161}	Y_{162}	Y_{163}	Y_{16c}
17	+1	0	+1	-1	0	0	-1	Y_{171}	Y_{172}	Y_{173}	Y_{17c}
18	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	Y_{181}	Y_{182}	Y_{183}	Y_{18c}
19	+1	-1	+1	0	-1	0	0	Y_{191}	Y_{192}	Y_{193}	Y_{19c}
20	+1	-1	-1	+1	+1	-1	-1	Y_{201}	Y_{202}	Y_{203}	Y_{20c}
21	+1	+1	-1	-1	-1	-1	+1	Y_{211}	Y_{212}	Y_{213}	Y_{21c}
2222	+1	+1	0	0	0	0	0	Y_{221}	Y_{222}	Y_{123}	Y_{22c}
23	+1	+1	0	-1	0	-1	0	Y_{231}	Y_{232}	Y_{233}	Y_{23c}
24	+1	-1	-1	0	+1	0	0	Y_{241}	Y_{242}	Y_{243}	Y_{24c}
25	+1	0	+1	+1	0	0	+1	Y_{251}	Y_{252}	Y_{253}	Y_{25c}
26	+1	-1	0	+1	0	-1	0	Y_{261}	Y_{262}	Y_{263}	Y_{26c}
27	+1	-1	+1	-1	-1	+1	-1	Y_{271}	Y_{272}	Y_{273}	Y_{27c}

Додаток Г.7.3

План-матриця проведення експерименту типу ПФЕ 3^2

№ досл.	Рівні факторів			Взаємодія факторів	Параметр оптимізації, У			Середні значення У
					Повторюваність			
	x_0	x_1	x_2	$x_1 x_2$	1	2	3	$U_{\text{сер.}}$
1	+1	-1	-1	+1	U_{11}	U_{12}	U_{13}	U_{1c}
2	+1	+1	-1	-1	U_{21}	U_{22}	U_{23}	U_{2c}
3	+1	0	-1	0	U_{31}	U_{32}	U_{33}	U_{3c}
4	+1	-1	+1	-1	U_{41}	U_{42}	U_{43}	U_{4c}
5	+1	+1	+1	+1	U_{51}	U_{52}	U_{53}	U_{5c}
6	+1	0	+1	0	U_{61}	U_{62}	U_{63}	U_{6c}
7	+1	-1	0	0	U_{71}	U_{72}	U_{73}	U_{7c}
8	+1	+1	0	0	U_{81}	U_{82}	U_{83}	U_{8c}
9	+1	0	0	0	U_{91}	U_{92}	U_{93}	U_{9c}

Додаток Г.8.3

Значення швидкості різання $\mathcal{G}_p = \mathcal{G}_M$

Довжина маятника l , м	Кут відхилення маятника α , град.		
	30	45	60
	Початкова швидкість різання $V_p = V_M$, м/с		
0,5	1,15	1,69	2,21
0,55	1,2	1,6	2,0
0,6	1,26	1,86	2,43
0,7	1,36	2,01	2,62
0,8	1,45	2,14	2,8
0,9	1,54	2,27	2,97
1,0	1,62	2,4	3,31

Додаток Д.1.1

Експериментальні дані секундної подачі зрізаної гички

№ екс.	Π_p^+ , кг/с				Π_p^- , кг/с			
	Π_{1p}^+	Π_{2p}^+	Π_{3p}^+	Π_{cp}^+	Π_{1p}^-	Π_{2p}^-	Π_{3p}^-	Π_{cp}^-
1	18,1	18,0	17,6	17,9	7,9	7,8	8,5	8,1
2	23,2	23,3	23,7	23,4	10,2	10,0	10,6	10,2
3	26,3	26,2	25,8	26,1	11,5	11,1	11,3	11,3
4	21,4	22,2	21,2	21,6	10,4	10,7	10,1	10,4
5	25,6	25,0	25,4	25,2	12,1	12,8	12,0	12,3
6	30,0	29,6	30,0	29,8	13,3	13,4	13,1	13,1
7	22,8	23,5	23,2	23,1	12,0	12,0	11,7	11,9
8	26,9	31,4	27,9	27,7	12,6	12,8	12,3	12,5
9	31,1	31,1	31,8	31,5	16,0	15,2	15,4	15,6
10	23,7	23,5	23,8	23,4	11,6	11,9	11,9	11,8
11	27,0	27,7	27,4	27,3	14,0	13,8	13,6	13,8
12	31,4	31,0	32,0	31,5	15,2	15,4	15,9	15,5
13	26,0	25,6	25,9	25,7	13,6	13,7	14,1	13,8
14	29,1	29,8	29,3	29,4	16,2	16,5	16,5	16,4
15	32,1	32,5	32,0	32,2	18,0	17,8	17,4	17,7
16	30,0	30,1	28,6	28,9	15,4	16,0	16,0	15,8
17	28,8	30,1	30,4	30,1	18,1	17,8	17,9	17,9
18	33,5	33,7	33,6	33,6	19,9	20,1	20,3	20,1
19	33,3	25,7	25,4	25,8	16,5	16,9	17,0	16,8
20	30,1	29,6	30,1	29,9	20,0	19,5	19,6	19,7
21	33,5	33,0	33,7	33,4	23,5	23,4	22,7	23,1
2222	28,0	27,8	27,9	27,9	20,5	20,1	20,9	20,5
23	31,9	32,0	31,5	31,8	22,7	22,8	22,3	22,6
24	35,5	35,0	35,6	35,2	26,6	26,6	26,3	26,5
25	34,9	34,4	34,8	34,7	22,7	22,8	22,6	22,7
26	40,1	39,6	40,6	40,1	25,8	25,7	25,0	25,5
27	42,7	42,4	42,7	42,6	29,3	29,5	29,0	29,2

Продовження додатку Д.1.1

Експериментальні дані питомої маси зрізаної гички

№ екс.	M_{np}^+ , кг/м ²				M_{np}^- , кг/м ²			
	M_{1np}^+	M_{2np}^+	M_{3np}^+	$M_{сnp}^+$	M_{1np}^-	M_{2np}^-	M_{3np}^-	$M_{сnp}^-$
1	16,7	16,8	16,3	16,6	7,7	7,3	7,7	7,5
2	18,5	19,0	18,9	18,6	8,2	8,1	8,0	8,1
3	18,0	18,0	18,3	18,1	8,0	8,0	7,7	7,9
4	20,3	20,1	19,6	20,0	9,6	9,7	9,5	9,6
5	20,3	20,0	19,7	20,0	9,9	9,3	9,4	9,8
6	20,8	20,5	20,6	20,7	9,2	8,9	9,2	9,1
7	21,4	21,4	21,6	21,4	10,7	11,1	11,2	11,0
8	22,3	19,8	19,9	22,0	9,7	10,3	10,1	9,9
9	21,8	21,6	22,1	21,9	11,0	10,7	10,7	10,8
10	21,9	21,9	21,3	21,7	11,0	11,2	10,6	10,9
11	21,8	21,9	21,4	21,7	10,8	11,3	10,9	11,0
12	21,6	22,0	22,1	21,9	10,8	10,7	10,9	10,8
13	23,7	24,0	23,7	23,8	12,7	13,1	12,6	12,8
14	23,3	23,6	23,0	23,3	12,9	12,7	13,3	13,0
15	22,2	22,5	22,5	22,4	12,3	12,0	12,6	12,3
16	26,6	26,9	26,7	26,8	14,5	14,6	14,7	14,6
17	24,1	24,0	29,6	23,9	14,0	14,5	14,1	14,2
18	23,6	23,1	23,0	23,3	14,1	14,1	13,8	14,0
19	30,1	30,0	23,6	23,9	16,1	15,4	15,3	15,6
20	23,8	23,9	23,6	23,7	15,7	15,7	15,3	15,6
21	23,5	23,1	23,1	23,2	16,3	16,0	16,0	16,1
22	26,1	25,7	25,6	25,8	19,2	18,7	19,1	19,0
23	25,5	25,0	25,3	25,2	18,0	17,8	17,9	17,9
24	24,0	24,6	24,6	24,4	18,2	18,5	18,5	18,4
25	32,3	32,0	29,9	32,1	21,3	21,0	20,7	21,0
26	31,6	32,0	32,1	31,9	20,1	20,3	20,0	20,2
27	29,6	29,7	30,0	29,6	20,1	20,5	20,0	20,3

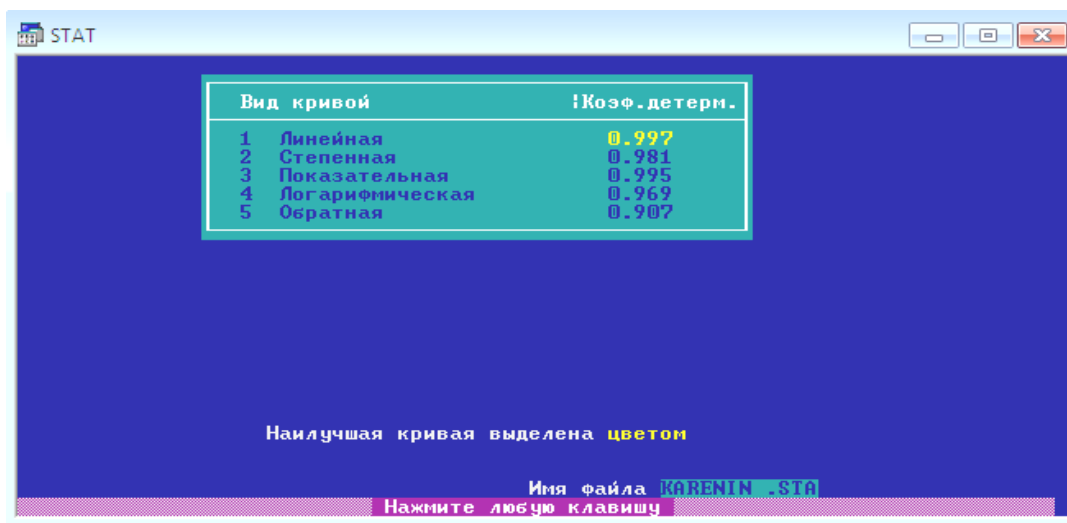
Додаток Д.2.1

Експериментальний масив даних технологічної подачі зрізаної гички в міжряддя невикопаних коренеплодів цикорію

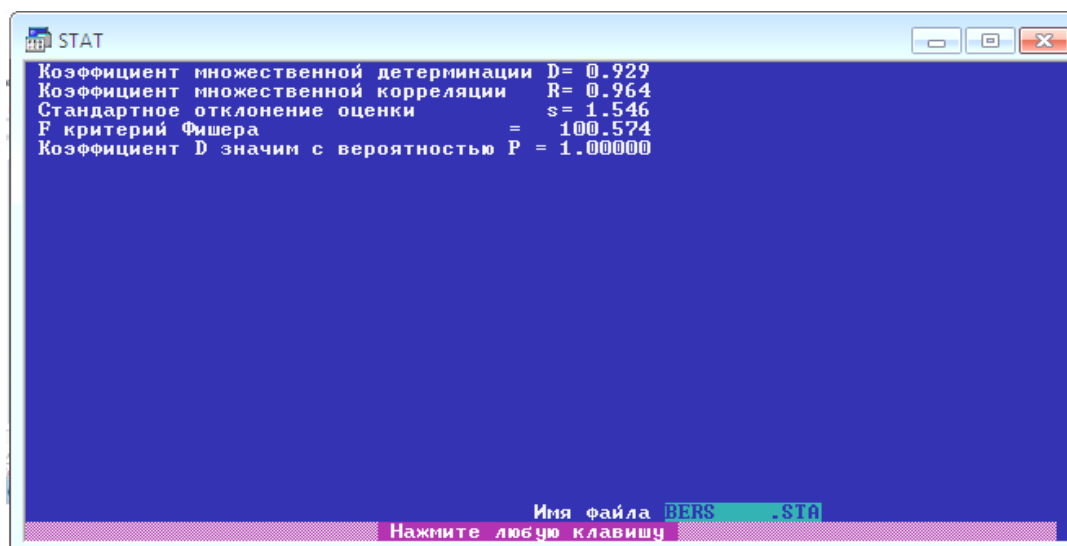
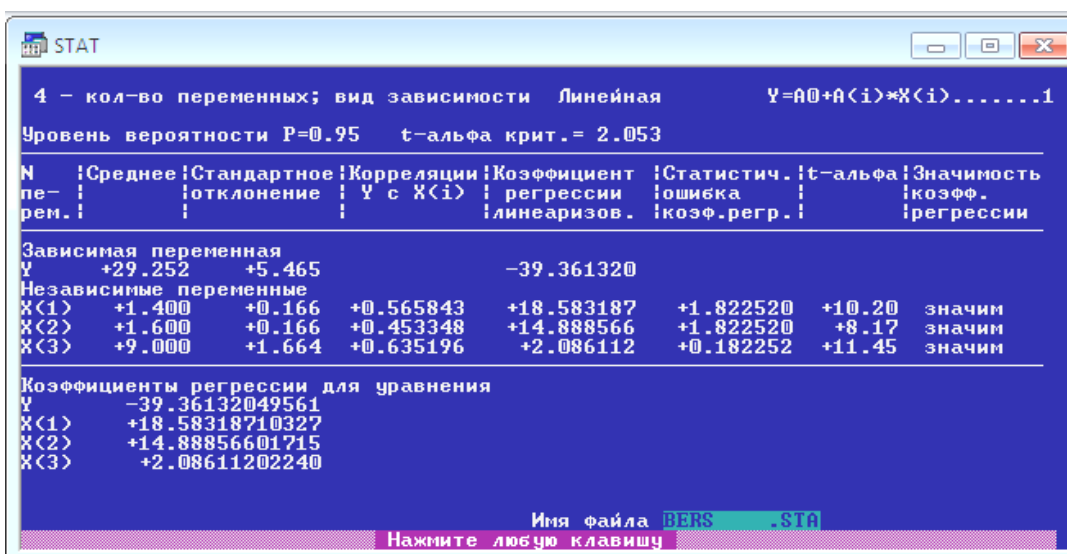
№ екс.	\mathcal{G}_M , м/с	$U_p + \Delta U_p$, кг/м ²	$\Gamma_k + \Delta \Gamma_k$, шт./м ²	Π_p^+ , кг/с	Π_p^- , кг/с	M_{np}^+ , кг/м ²	M_{np}^- , кг/м ²
1	1,2	1,4	7	17,9	8,1	16,6	7,5
2	1,4	1,4	7	23,4	10,2	18,6	8,1
3	1,6	1,4	7	26,1	11,3	18,1	7,9
4	1,2	1,6	7	21,6	10,4	20	9,6
5	1,4	1,6	7	25,2	12,3	20	9,8
6	1,6	1,6	7	29,8	13,1	20,7	9,1
7	1,2	1,8	7	23,1	11,9	21,4	11
8	1,4	1,8	7	27,7	12,5	22	9,9
9	1,6	1,8	7	31,5	15,6	21,9	10,8
10	1,2	1,4	9	23,4	11,8	21,7	10,9
11	1,4	1,4	9	27,3	13,8	21,7	11
12	1,6	1,4	9	31,5	15,5	21,9	10,8
13	1,2	1,6	9	25,7	13,8	23,8	12,8
14	1,4	1,6	9	29,4	16,4	23,3	13
15	1,6	1,6	9	32,2	17,7	22,4	12,3
16	1,2	1,8	9	28,9	15,8	26,8	14,6
17	1,4	1,8	9	30,1	17,9	23,9	14,2
18	1,6	1,8	9	33,6	20,1	23,3	14
19	1,2	1,4	11	25,8	16,8	23,9	15,6
20	1,4	1,4	11	29,9	19,7	23,7	15,6
21	1,6	1,4	11	33,4	23,1	23,2	16,1
22	1,2	1,6	11	27,9	20,5	25,8	19
23	1,4	1,6	11	31,8	22,6	25,2	17,9
24	1,6	1,6	11	35,2	26,5	24,4	18,4
25	1,2	1,8	11	34,7	22,7	32,1	21
26	1,4	1,8	11	40,1	25,5	31,9	20,2
27	1,6	1,8	11	42,6	29,2	29,6	20,3

Додаток Д.3.1

Статистичні показники обробки експериментального масиву даних технологічної подачі зрізаної гички в міжряддя невикопаних коренеплодів:



- секундна подача Π_p^+ ;



- секундна подача P_p^- ;

STAT							
4 - кол-во переменных; вид зависимости Линейная				Y=A0+A(i)*X(i).....1			
Уровень вероятности P=0.95				t-альфа крит.= 2.053			
пe-рем.	Среднее	Стандартное отклонение	Корреляции Y с X(i)	Коэффициент регрессии	Статистич. ошибка	t-альфа	Значимость коэфф. регрессии
Зависимая переменная							
Y	+16.844	+5.480		-42.304871			
Независимые переменные							
X(1)	+1.400	+0.166	+0.339930	+11.194279	+1.316509	+8.50	значим
X(2)	+1.600	+0.166	+0.344988	+11.360813	+1.316509	+8.63	значим
X(3)	+9.000	+1.664	+0.853624	+2.811114	+0.131651	+21.35	значим
Коэффициенты регрессии для уравнения							
Y	-42.30487060547						
X(1)	+11.19427871704						
X(2)	+11.36081314087						
X(3)	+2.81111431122						
				Имя файла BERS .STA			
Нажмите любую клавишу							

STAT	
Коэффициент множественной детерминации	D= 0.963
Коэффициент множественной корреляции	R= 0.981
Стандартное отклонение оценки	s= 1.117
F критерий Фишера	= 200.904
Коэффициент D значим с вероятностью	P = 1.00000
Имя файла BERS .STA	
Нажмите любую клавишу	

- питома маса гички M_{np}^+ ;

STAT

4 - кол-во переменных; вид зависимости Линейная $Y=A_0+A(i)*X(i).....1$
 Уровень вероятности $P=0.95$ t -альфа крит.= 2.053

пе-рем.	Среднее	Стандартное отклонение	Корреляции Y с $X(i)$	Коэффициент регрессии линеаризов.	Статистич. ошибка коэф.регр.	t -альфа	Значимость коэфф. регрессии
Зависимая переменная Y	+16.844	+5.480		-42.304871			
Независимые переменные							
$X(1)$	+1.400	+0.166	+0.339930	+11.194279	+1.316509	+8.50	значим
$X(2)$	+1.600	+0.166	+0.344988	+11.360813	+1.316509	+8.63	значим
$X(3)$	+9.000	+1.664	+0.853624	+2.811114	+0.131651	+21.35	значим

Коэффициенты регрессии для уравнения
 Y -42.30487060547
 $X(1)$ +11.19427871704
 $X(2)$ +11.36081314087
 $X(3)$ +2.81111431122

Имя файла BERS .STA
 Нажмите любую клавишу

STAT

Коэффициент множественной детерминации $D= 0.963$
 Коэффициент множественной корреляции $R= 0.981$
 Стандартное отклонение оценки $s= 1.117$
 F критерий Фишера = 200.904
 Коэффициент D значим с вероятностью $P = 1.00000$

Имя файла BERS .STA
 Нажмите любую клавишу

- питома маса гички M_{np}^- .

```

STAT
4 - кол-во переменных; вид зависимости Линейная Y=A0+A(i)*X(i).....1
Уровень вероятности P=0.95 t-альфа крит. = 2.053
-----
N |Среднее |Стандартное |Корреляции |Кoeffициент |Статистич. |t-альфа |Значимость
пe- | |отклонение | Y с X(i) | регрессии |ошибка | |коэфф.
рем. | | | |линеаризов. |коэф. регр. | |регрессии
-----
Зависимая переменная
Y +13.385 +4.076 -20.264458
Независимые переменные
X(1) +1.400 +0.166 -0.026087 -0.639057 +0.914260 -0.70 незначим
X(2) +1.600 +0.166 +0.368582 +9.027730 +0.914260 +9.87 значим
X(3) +9.000 +1.664 +0.911822 +2.233329 +0.091426 +24.43 значим
-----
Кoeffициенты регрессии для уравнения
Y -20.26445770264
X(1) -0.63905733824
X(2) +9.02772998810
X(3) +2.2332881927
-----
Имя файла BERS .STA
Нажмите любую клавишу

```

```

STAT
Кoeffициент множественной детерминации D= 0.968
Кoeffициент множественной корреляции R= 0.984
Стандартное отклонение оценки s= 0.776
F критерий Фишера = 231.568
Кoeffициент D значим с вероятностью P = 1.00000
-----
Имя файла BERS .STA
Нажмите любую клавишу

```

Додаток Д.4.1

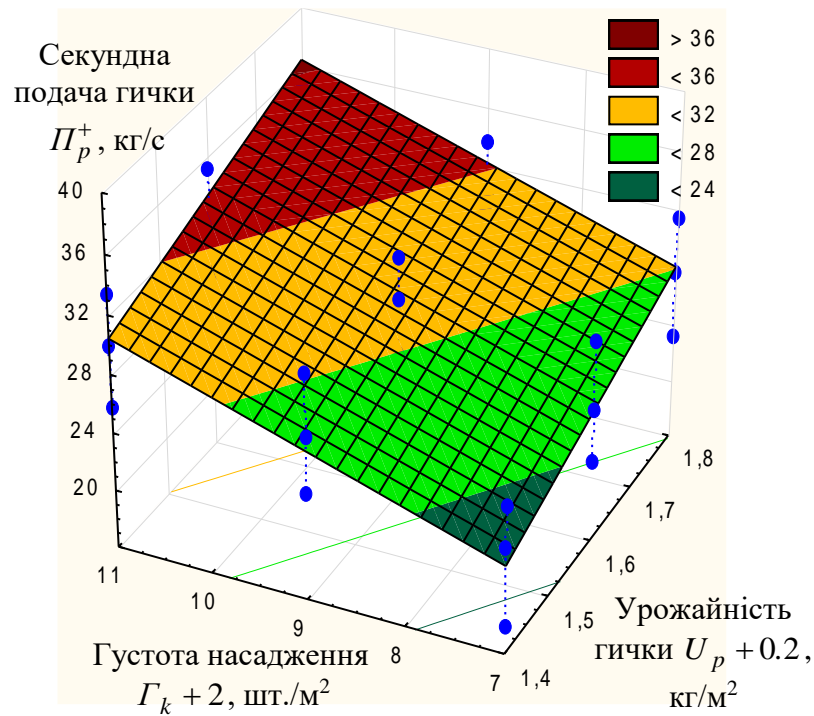


Рисунок 1.Д.4.1 – Поверхня відгуку зміни секундної подачі зрізаної гички

як функція $P_p^+ = f_{P^+}((U_p + 0,2);(\Gamma_k + 2))$

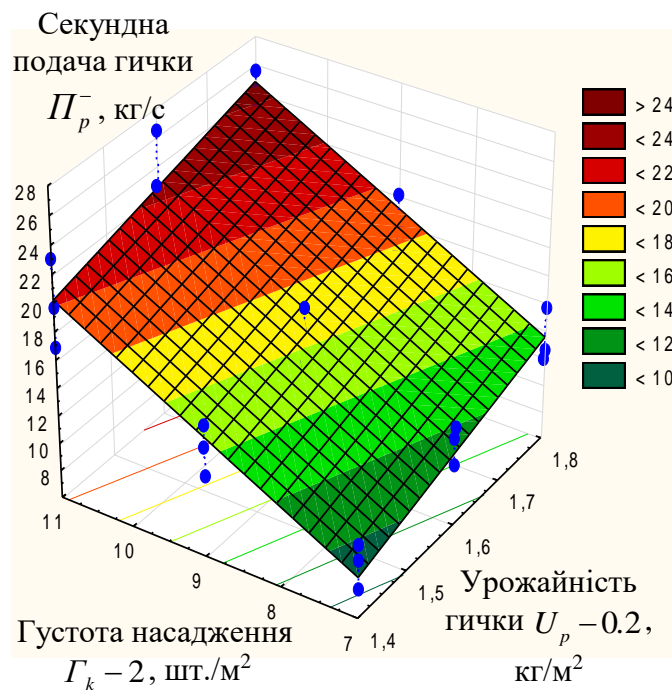


Рисунок 2.Д.4.1 – Поверхня відгуку зміни секундної подачі зрізаної гички

як функція $P_p^- = f_{P^-}((U_p - 0,2);(\Gamma_k - 2))$

Продовження додатку Д.4.1

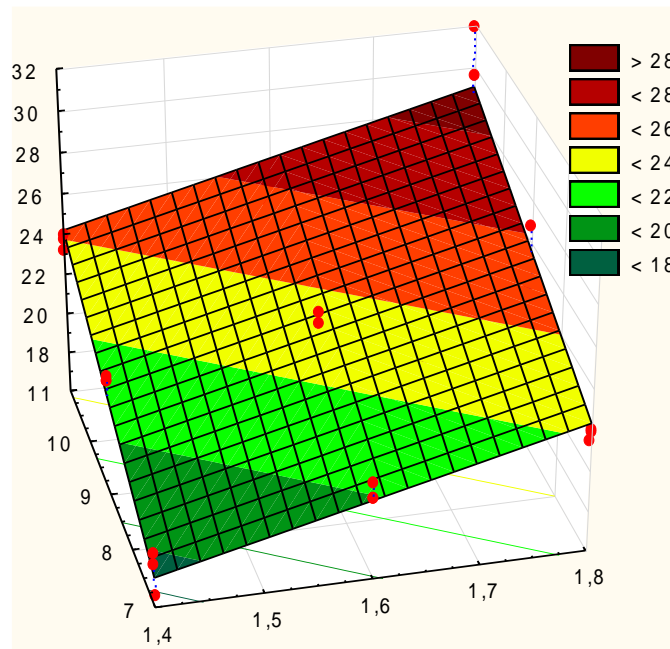


Рисунок 3.Д.4.1 – Поверхня відгуку зміни питомої маси зрізаної гички

$$\text{як функція } M_{np}^+ = f_{M^+}((U_p + 0,2);(\Gamma_k + 2))$$

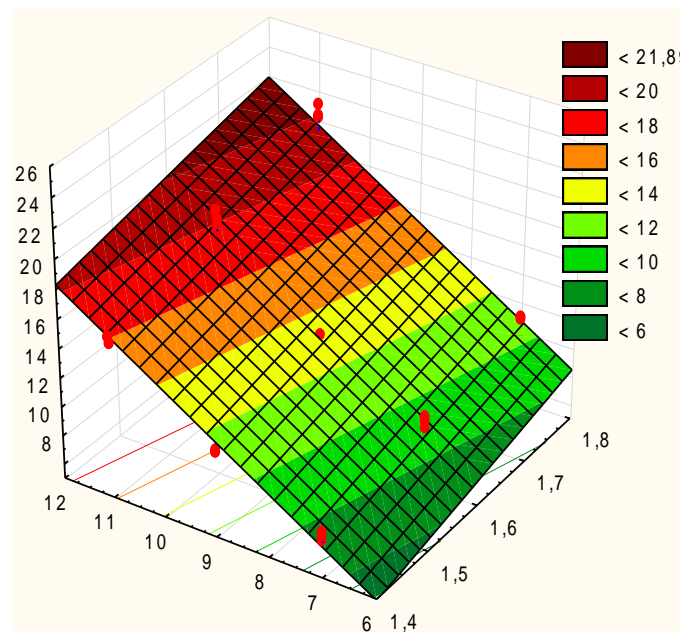
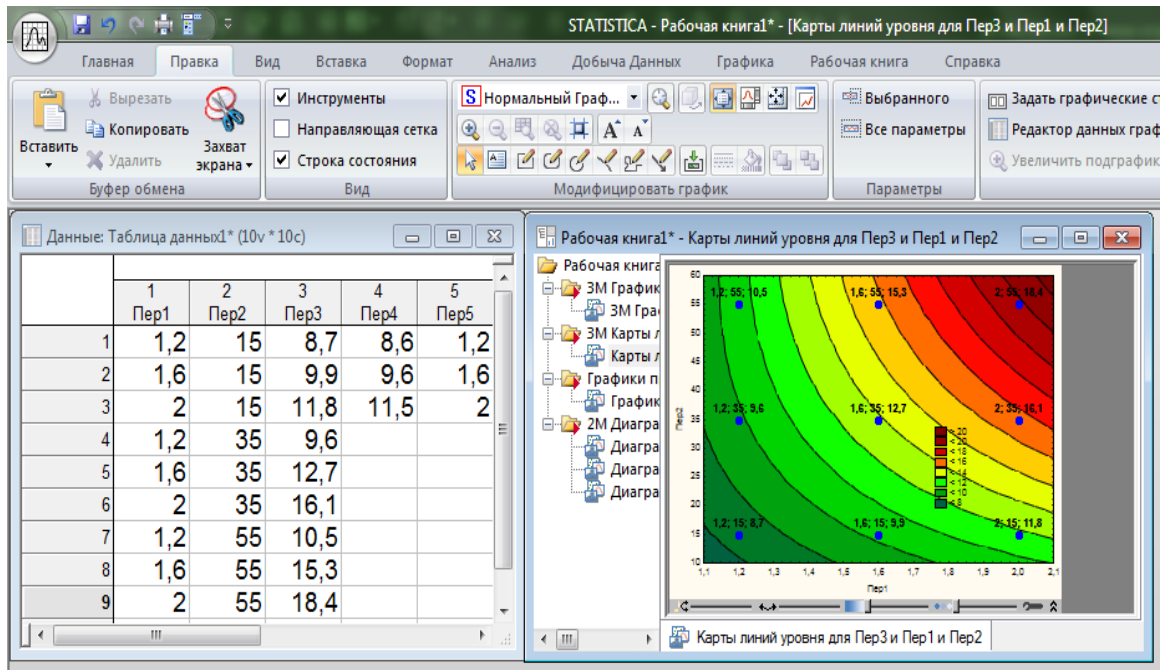


Рисунок 4.Д.4.1 – Поверхня відгуку зміни питомої маси зрізаної гички

$$\text{як функція } M_{np}^- = f_{M^-}((U_p - 0,2);(\Gamma_k - 2))$$

Додаток Д.5.2

Експериментальний масив даних довжини різання L_{id} головки коренеплуду



Пер1 – початкова швидкість різання, м/с;

Пер2 – жорсткість пружини, Н/см;

Пер3 – довжина різання L_{2d} , см;

Пер4 – довжина різання L_{1d} , см.

Додаток Д.6.2

Статистичні показники обробки експериментального масиву
довжини різання L_{2d} головки коренеплуду

STAT

3 код-во переменных; полином второй степени; зависимость 6
Уровень вероятности P=0.95 t-альфа крит.= 2.305

N	Коррел- пеп. рен.	Коэффциент Y с X линейризов.	Статистич. ошибка коэф. регр.	t- альфа 	Коэфф. эласти- чности	Значимость коэфф. регрессии
Зависимая переменная						
Y		+4.522978305817				
Независимые переменные						
1	+0.717	+2.292450189590	+11.00276	+0.21	+0.29	незначим
2	+0.616	-0.076664865017	+0.12301	-0.62	-0.22	незначим
1*1	+0.714	-0.416903853416	+3.38931	-0.12	-0.09	незначим
1*2	+0.890	+0.174999818206	+0.04793	+3.65	+0.79	значим
2*2	+0.596	-0.001166694914	+0.00136	-0.86	-0.14	незначим

Имя файла ST .STB

Нажмите любую клавишу

STAT

Таблица анализа дисперсии

Компоненты дисперсии	Сумма квадратов	Число степеней свободы	Среднее значение
Регрессия	91.9779	5	18.396
Остаток	1.7644 0	#### 3	0.588
Итого	93.7422	8	

Коэффициент множественной детерминации D= 0.981
Коэффициент множественной корреляции R= 0.991
Стандартное отклонение оценки s= 0.767
F критерий Фишера = 31.279
Коэффициент D значим с вероятностью P = 0.96777

Имя файла ST .STB

Нажмите любую клавишу

Додаток Ж1.1



УКРАЇНА

(19) UA (11) 144433 (13) U

(51) МПК
A01D 23/02 (2006.01)

МІНІСТЕРСТВО РОЗВИТКУ
ЕКОНОМІКИ, ТОРГІВЛІ ТА
СІЛЬСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА
УКРАЇНИ

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

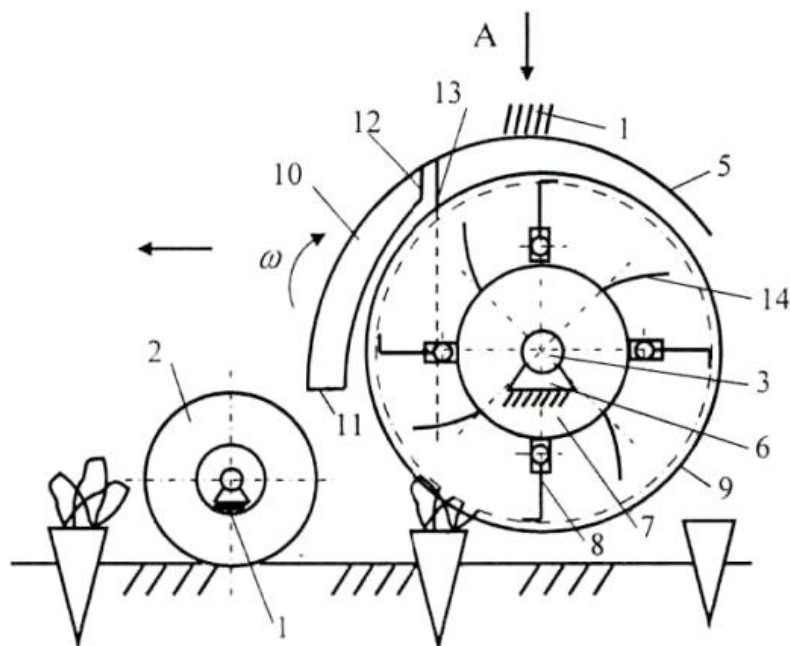
(21) Номер заявки:	u 2020 03172	(72) Винахідник(и):	Барановський Віктор Миколайович (UA), Береженко Євген Богданович (UA), Паньків Марія Романівна (UA), Марченко Любов Олексіївна (UA), Паньків Віталій Романович (UA)
(22) Дата подання заявки:	26.05.2020	(73) Володілець (володільці):	ТЕРНОПІЛЬСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ ІВАНА ПУЛЮЯ, вул. Руська, 56, м. Тернопіль, 46001 (UA)
(24) Дата, з якої є чинними права інтелектуальної власності:	26.09.2020		
(46) Публікація відомостей про державну реєстрацію:	25.09.2020, Бюл.№ 18		

(54) ГИЧКОЗРІЗУВАЛЬНА МАШИНА

(57) Реферат:

Гичкозрізувальна машина містить раму, на якій встановлені опорні колеса та розташований в опорах вал з горизонтальною віссю обертання, виконаний у вигляді барабана, на якому закріплені гичкозрізувальні ножі та ділильні диски, які розташовані у міжрядді коренеплодів між гичкозрізувальними ножами, які охоплено дугоподібним кожухом, а на внутрішній поверхні дугоподібного кожуха змонтовані направляючі канали для транспортування гички, які мають вхідні та вихідні отвори, а за вихідним отвором кожного направляючого каналу встановлено фартух, а вихідний отвір кожного направляючого каналу та фартуха розташований між суміжними ділильними дисками. На барабані вала між суміжними гичкозрізувальними ножами встановлені дугоподібні лопаті, які розміщені під кутом до поперечного перерізу барабана.

UA 144433 U



Фиг. 1

UA 144433 U

UA 144433 U

Корисна модель належить до галузі сільськогосподарського машинобудування, особливо до пристроїв для зрізування гички коренеплодів.

Відома гичкозрізувальна машина містить раму, на якій встановлені опорні колеса та розташований в опорах вал з горизонтальною віссю обертання, виконаний у вигляді барабана, на якому закріплені гичкозрізувальні ножі та ділильні диски, які розташовані у міжрядді коренеплодів між гичкозрізувальними ножами, які охоплені дугоподібним кожухом [деклараційний патент України № 30356 А, МПК А01D 23/02. Опубл. 15.11.2000. Бюл. № 6].

Недоліком відомої гичкозрізувальної машини є часткове розкидання зрізаної та подрібненої гички за задню частину ділильних дисків у межі рядка коренеплодів, що значно знижує технологічні можливості коренезбиральної машини.

Відома гичкозрізувальна машина, яка містить раму, на якій встановлені опорні колеса та розташований в опорах вал з горизонтальною віссю обертання, виконаний у вигляді барабана, на якому закріплені гичкозрізувальні ножі та ділильні диски, які розташовані у міжрядді коренеплодів між гичкозрізувальними ножами, які охоплені дугоподібним кожухом, а на внутрішній поверхні дугоподібного кожуха змонтовані направляючі канали для транспортування гички, які мають вхідні та вихідні отвори, а за вихідним отвором кожного направляючого каналу встановлено фартух, а вихідний отвір кожного направляючого каналу та фартуха розташований між суміжними ділильними дисками (патент України на корисну модель № 108588, МПК А01D 23/02. Опубл. 25.07.216. Бюл. № 4).

Недоліком відомої гичкозрізувальної машини є часткові втрати зрізаної гички на етапі її переміщення до вхідного каналу у межі рядка коренеплодів, що значно знижує технологічні можливості коренезбиральної машини.

В основу корисної моделі поставлена задача усунення можливості розкидання зрізаної та подрібненої гички в межі рядка коренеплодів шляхом виконання гичкозрізувальної машини.

Поставлена задача вирішується тим, що гичкозрізувальна машина містить раму, на якій встановлені опорні колеса та розташований в опорах вал з горизонтальною віссю обертання, виконаний у вигляді барабана, на якому закріплені гичкозрізувальні ножі та ділильні диски, які розташовані у міжрядді коренеплодів між гичкозрізувальними ножами, які охоплено дугоподібним кожухом, а на внутрішній поверхні дугоподібного кожуха змонтовані направляючі канали для транспортування гички, які мають вхідні та вихідні отвори, а за вихідним отвором кожного направляючого каналу встановлено фартух, а вихідний отвір кожного направляючого каналу та фартуха розташований між суміжними ділильними дисками. На барабані вала між суміжними гичкозрізувальними ножами встановлені дугоподібні лопаті, які розміщені під кутом до поперечного перерізу барабана.

Суть корисної моделі пояснюють креслення.

Гичкозрізувальна машина зображена на фіг. 1 - вигляд збоку, на фіг. 2 - вигляд А на фіг. 1.

Гичкозрізувальна машина складається з рами 1, на якій послідовно встановлено опорні колеса 2, вал 3 з горизонтальною віссю обертання 4 та розташований спереду і над верхньою частиною вала дугоподібний кожух 5. Вал 3 встановлено в опорах 6, які змонтовано на рамі 1 та виконано у вигляді барабана 7, на якому закріплено гичкозрізувальні ножі 8 Г-подібної форми. Між гичкозрізувальними ножами 8 на барабані 7 та у міжрядді коренеплодів розташовано ділильні диски 9. На внутрішній частині дугоподібного кожуха 5 встановлено направляючі канали 10 для транспортування гички, які мають вхідний 11 та вихідний 12 отвори. За вихідним отвором 12 кожного направляючого каналу 10 встановлено фартух 13, причому вихідний отвір 12 кожного направляючого каналу 10 та фартуха 13 розташований між суміжними ділильними дисками 9. На барабані 7 між суміжними гичкозрізувальними ножами 8 встановлено дугоподібні лопаті 14, які розміщені під кутом до поперечного перерізу барабана 7. Вал 3 обертається з кутвою швидкістю, напрямком руху якої односторонній напрямку руху пристрою.

Гичкозрізувальна машина працює наступним чином.

Під час руху гичкозрізувальної машини вздовж рядків коренеплодів гичкозрізувальні ножі 8 за рахунок обертання вала 3 зрізують основний масив гички та подають її по траєкторії руху до вхідного отвору 11 направляючого каналу 10. За рахунок створеного обертанням вала 3 або гичкозрізувальних ножів 7 повітряного потоку та додаткового повітряного потоку, який створюється дугоподібними лопатями 14 зрізана та подрібнена гичка по направляючому каналу 10 транспортується до його вихідного отвору 12, а далі до фартуха 13, де гичка розкидається в міжрядді коренеплодів у зону між ділильними дисками 9.

Таким чином, обертання дугоподібних лопатей створює додатковий направлений повітряний потік, за рахунок якого знижуються втрати зрізаної гички або її розкидання у зону рядка коренеплодів, що підвищує технологічні можливості коренезбиральної машини.

Додаток Ж.2.1

Копія сертифікату та довідки про апробацію результатів наукових досліджень на міжнародних науково-практичних конференціях



ДОВІДКА

Довідка видана аспіранту Береженку Євгену Богдановичу про те, що він приймав участь у міжнародних науко-практичних конференціях:

- VI Міжн. наук.-техн. конф. молодих учених та студентів «Актуальні задачі сучасних технологій» (м. Тернопіль, 2017 р.), тема доповіді «Energy saving technology for harvesting of root crops»;

- VII Міжн. наук.-техн. конф. молодих учених та студентів «Актуальні задачі сучасних технологій» (м. Тернопіль, 2018 р.), тема доповіді «Енергозберігаюча технологія збирання гички коренеплодів цикорію кореневого»;

- Міжн. наук.-техн. конф. до 100-річчя з дня заснування НАН України та на вшанування пам'яті Івана Пулюя (100-річчя з дня смерті) (м. Тернопіль, 2018 р.) тема доповіді «Технологічний процес зрізування гички коренеплодів цикорію»;

- IX Міжн. наук.-техн. конф. молодих учених та студентів «Актуальні задачі сучасних технологій» (м. Тернопіль, 2020 р.), тема доповіді «Результати експериментальних досліджень гичкозбирального модуля».

Декан факультету інженерії машин,
споруд та технологій,
к.т.н., доц.



Р.Я. Лещук

Додаток Ж.3.1

Акти впровадження результатів дослідження



Національна академія аграрних наук України
 Хмельницька державна сільськогосподарська дослідна станція
 Інституту кормів та сільського господарства Поділля
 Державне підприємство Дослідне господарство «Самчики»
 31182, Україна, с.Самчики, Старокостянтинівський район, Хмельницька
 область
 тел. (03854) 44-273, факс (03854) 44-183, e-mail: dpdg_samchuku@ukr.net

№ 18

20 листопада 2020 р.

АКТ**про прийняття результатів наукових досліджень**

Результати наукових досліджень дисертаційної роботи аспіранта кафедри інжинірингу машинобудівних технологій Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя Береженка Євгена Богдановича на тему «Обґрунтування параметрів робочих органів гичкозбирального модуля» прийнято для подальшого удосконалення робочих органів, які призначені для викопування коренеплодів цикорію.

За результатами порівняльних досліджень збирання коренеплодів цикорію за удосконаленого способу збирання основного масиву гички встановлено, що загальна кількість домішок у викопаному воросі коренеплодів становить 7,8 %, у тому числі рослинних решток – 6, 1 %, з них вільної гички та бур'янів – 4,2 %, які задовольняють агротехнічні вимоги.

Директор



Ю.М. Вовколуп



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

№

На №

від

Акт про впровадження результатів дисертаційної роботи
у навчальний процес

Даним актом стверджується, що результати дисертаційної роботи на тему «Обґрунтування параметрів робочих органів гичкозбирального модуля», яку виконано аспірантом Береженком Євгеном Богдановичем та подану на здобуття ступеня доктора філософії за спеціальністю 133 Галузеве машинобудування впроваджено в навчальну програму під час викладання дисципліни «Робочі процеси сільськогосподарських машин»: будова, принцип роботи та теоретичні основи розрахунку робочих органів гичкозбирального модуля застосовано в процесі виконання практичних робіт на кафедрі технічної механіки та сільськогосподарських машин Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя для підготовки фахівців освітнього рівня «бакалавр» за спеціальністю 133 Галузеве машинобудування та 208 Агроінженерія.

Проректор з наукової роботи
Тернопільського національного технічного
університету імені Івана Пулюя,
д.т.н., проф.

П.О. Марущак

В.о. завідувача кафедри технічної механіки
та сільськогосподарських машин,
д.т.н., доц.

А.В. Бабій

Додаток Ж.4.3

Вихідні дані для розрахунку маси шнекового конвеєра

Конструктивні параметри шнекового конвеєра	Значення параметрів
Довжина барабана шнека $L_{\bar{\sigma}}$, м	2,8
Зовнішній діаметр труби барабана шнека $d_{3.\bar{\sigma}}$, м	0,1
Товщина стінки труби барабана шнека $\delta_{\bar{\sigma}}$, м	0,003
Висота витка шнека $h_{\bar{\sigma}}$, м	0,15
Товщина витка шнека $\delta_{\bar{\sigma}}$, м	0,002
Крок витків шнека $T_{ш}$, м	0,15
- діаметр шнека $D_{ш}$, м	0,4
Довжина гвинтової лінії витків, м $L_{2.л} = \frac{\pi L_{\bar{\sigma}} (D_{ш} + d_{3.\bar{\sigma}})}{2T_{ш}} \cos \left(\arctg \frac{2T_{ш}}{D_{ш} + d_{3.\bar{\sigma}}} \right)$	
Довжина жолоба $L_{ж}$, м	2,8
Товщина стінки жолоба $\delta_{ж}$, м	0,002
Зазор між шнеком і жолобом $c_{шж}$, м	0,003

Додаток Ж.5.3

Перелік та суму балансової вартості обладнання

Назва обладнання	Балансова вартість, грн	Амортизаційні відрахування, грн
Електроножівка TIGER	29438	2943,8
Стрічкова пила по металу Optimum OPTIsaw SQ-V13	13125	1312,5
Зварювальний апарат інверторний Патон ВДІ-160Р DC MMA/TIG	6799	679,9
Сума амортизаційних відрахувань, грн	49362	4936,2

Додаток Ж.6.3

Розрахунок економічної ефективності застосування
удосконаленого гичкозбирального модуля

1. Розрахунок маси шнека та жолоба згідно з (5.19) – (5.21):

$$V_{\sigma} = 0,25 \cdot 3,14 \cdot (0,1^2 - (0,1^2 - 4 \cdot 0,003^2)) \cdot 2,8 = 7,913 \cdot 10^{-5} \text{ (м}^3\text{)};$$

$$V_{\sigma} = 0,15 \cdot 0,002 \cdot 7,31 = 2,193 \cdot 10^{-3} \text{ (м}^3\text{)};$$

$$M_{ш} = (2,826 \cdot 10^{-5} + 2,193 \cdot 10^{-3}) \cdot 7870 = 17,9 \text{ (кг)};$$

$$V_{жс} = 0,125 \cdot 3,14 \cdot 2,8 \cdot [(0,4 + 2 \cdot 0,003 + 2 \cdot 0,002)^2 - (0,4 + 2 \cdot 0,003)^2] = 3,587 \cdot 10^{-3};$$

$$M_{жс} = (3,587 \cdot 10^{-3}) \cdot 7870 = 28,2 \text{ (кг)};$$

$$M_{ш.к} = 17,9 + 28,2 = 46,1 \text{ (кг)}.$$

2. Розрахунок вартості матеріалів для виготовлення шнекового конвеєра згідно з (5.16)

$$П_{\text{мат}} = 46,1 \cdot 45 = 2074,5 \text{ (грн)}.$$

3. Розрахунок витрат на паливно-мастильні матеріали згідно з (5.17)

$$П_{\text{п-м}} = N_{\sigma} \cdot q_n \cdot K_{\sigma} \cdot Ц_{\text{П}} \cdot T_{\text{р.н}} = 2,42 \cdot 0,26 \cdot 0,8 \cdot 28 \cdot 300 = 4228,22 \text{ (грн)}.$$

4. Розрахунок витрат на монтажні роботи, або заробітну плату робітників згідно з (5.18)

$$П_{\text{м.р}} = 39,12 \cdot 3,0 \cdot 2 = 234,72 \text{ (грн)}.$$

5. Розрахунок витрат на заробітну плату робітникам, які виготовляють складові деталі шнекового конвеєра згідно з (5.23)

$$П_{\text{з.н}} = 39,12 \cdot 3,0 \cdot 3 = 352,08 \text{ (грн)}.$$

6. Розрахунок витрат на амортизацію обладнання згідно з (5.22)

$$П_{\text{а.с}} = 0,1 \cdot (29438 + 13125 + 49362) = 4936,2 \text{ (грн)}.$$

7. Розрахунок витрат на покупні комплектуючі вироби:

- підшипник в корпусі УСР 206J КОУО, 2 шт.

$$П_{\text{п.к}} = 625 \cdot 2 = 1250 \text{ (грн)};$$

- шків ведучий приводу шнека, 1 шт.

$$P_{2n.k} = 700 \text{ грн};$$

- шків ведений приводу шнека

$$P_{3n.k} = 609 \text{ грн};$$

- ремінь клинопасовий

$$P_{4n.k} = 528 \text{ грн.}$$

$$P_{n.k} = 1250 + 700 + 609 + 528 = 3087 \text{ (грн).}$$

8. Розрахунок загальних приведених прямих експлуатаційних витрат, або економічного ефекту за 1 рік застосування удосконаленого гичкозбирального модуля згідно з (5.14)

$$E_{заг} = 2074,5 + 4228,22 + 352,08 + 4936,2 + 3087 = 14678 \text{ (грн).}$$

9. Розрахунок економічного ефекту на 1 га згідно з (5.14)

$$E_{заг}^* = 14678 / 300 = 48,93 \text{ (грн/га).}$$