

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

Кваліфікаційна наукова праця  
на правах рукопису

**БОЙКО ВОЛОДИМИР АНДРІЙОВИЧ**

**УДК 631.356.22**

**ДИСЕРТАЦІЯ**

**ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ОБРІЗНИКА  
ЗАЛИШКІВ ГИЧКИ КОРЕНЕПЛОДІВ ЦИКОРІЮ**

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.

\_\_\_\_\_ В. А. Бойко

Науковий керівник:

**Барановський Віктор Миколайович,**  
доктор технічних наук, професор.

Тернопіль – 2023

## АНОТАЦІЯ

**Бойко В.А.** «Обґрунтування параметрів обрізника залишків гички коренеплодів цикорію». – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття ступеня доктора філософії галузі знань 13 Механічна інженерія за спеціальністю 133 Галузеве машинобудування. Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, м. Тернопіль, 2023 р.

У дисертаційній роботі вирішено нове наукове завдання підвищення показників якості зрізування залишків гички з головок коренеплодів цикорію шляхом розробки та обґрунтування раціональних параметрів робочих органів обрізника. Підвищення показників якості зрізування залишків гички досягається шляхом удосконалення конструкції підпружиненої вертикальної тяги копіра.

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

Вирішення даної мети зведено до розв'язання таких науково-прикладних задач: враховуючи відомі конструкції та технологічні процеси обрізування залишків гички з головок коренеплодів розробити удосконалену конструктивну схему обрізника; розробити математичні моделі, які функціонально описують процес контактної взаємодії копіра з головкою коренеплоду цикорію з умови невивалювання коренеплодів з ґрунту та непошкодження коренеплодів; отримати аналітичні залежності для визначення допустимої маси та допустимого прискорення рухомих частин обрізника; провести експериментальні дослідження процесу обрізування залишків гички з головок коренеплодів цикорію удосконаленим обрізником; провести польові порівняльні дослідження базового та удосконаленого обрізників; визначити економічні показники виробничого застосування удосконаленого обрізника.

*Об'єкт дослідження.* Технологічний процес зрізування залишків гички з головок коренеплодів і робочі органи обрізника, залишки гички коренеплодів.

*Предмет дослідження.* Конструктивно-кінематичні параметри робочих органів і їх вплив на технологічні показники роботи обрізника залишків гички з головок коренеплодів.

На основі проведених наукових досліджень обґрунтовано основні раціональні конструктивно-кінематичні параметри робочих органів обрізника.

На цій підставі: *вперше розроблено:* детерміновані математичні моделі, які функціонально описують процес контактної взаємодії копіра з головкою коренеплоду цикорію за умови невивалювання коренеплодів з ґрунту та непошкодження коренеплодів залежно від конструктивних і кінематичних параметрів робочих органів обрізника та часу контакту; математичні моделі, які дозволяють визначати допустиму сумарну горизонтальну та нормальну силу удару копіра по головці коренеплоду цикорію які забезпечують умову невивалювання коренеплоду з ґрунту та непошкодження коренеплоду; *дістали подальший розвиток* аналітичні залежності для визначення допустимої маси рухомих частин обрізника залежно від допустимої горизонтальної та нормальної сили ударного контакту копіра з головкою коренеплоду; *уточнено* рівняння для визначення горизонтального та нормального прискорення руху копіра після його контакту з головкою коренеплоду.

У першому розділі наведено аналіз способів зрізування гички коренеплодів, конструкцій робочих органів гичкозрізувальних машин і обрізників залишків гички з головок коренеплодів, обґрунтовано вибір удосконаленої конструктивно-компонувальної схеми обрізника для проведення досліджень, а також проаналізовано відомі результати теоретично-експериментальних досліджень процесу зрізування залишків гички з головок коренеплодів робочими органами обрізників.

Для більш ефективного усунення вивалювання коренеплодів з ґрунту та їх пошкодження у процесі динамічного контакту копіра з головкою коренеплоду нами запропоновано вдосконалену конструкцію вертикальної шарнірної тяги.

Всередині стакана змонтована рухома тяга квадратної форми, яка у верхній частині переходить у циліндричний палець, а нижня частина рухомої тяги закріплена на амортизаторі. До бокових поверхонь рухомої тяги закріплено кронштейни в отвори яких вставлено нерухомі пальці. На пальці посаджено ролики, які переміщуються вгору і вниз у своїх пазах, утворених обмежувальними боковинами. Зворотно-поступальний рух роликів обмежений верхнім і нижнім упорами, які виконані у вигляді плоских пластин. Стисна пружина вставлена в циліндричний палець, верхня частина якої упирається в упорну пластину.

Копір наїжджає на головку коренеплоду та переміщується одночасно вздовж і вгору відносно неї. Рух копіра вгору передається рухомій тязі, яка стискає пружину, а далі – паралелограмному механізму, який підіймає (опускає) ножовий блок та встановлює ніж на задану висоту обрізування залишків гички.

У другому розділі наведено теоретичний аналіз технологічного процесу контактної взаємодії копіра з головкою коренеплоду.

На основі теоретичного аналізу процесу зрізування залишків гички з головок коренеплодів удосконаленим обрізником розроблено математичні моделі, які функціонально описують процес контактної взаємодії копіра з головокою коренеплоду залежно від основних параметрів робочих органів обрізника.

Рішення моделей дозволило розробити залежності для визначення допустимої маси рухомих частин обрізника з умови невивалювання коренеплодів з ґрунту та непошкодження коренеплодів.

Встановлено, що за середніх значень коефіцієнта жорсткості пружини регульовальної тяги 40 Н/м, коефіцієнта жорсткості пружини стакана вертикальної тяги 50 Н/м та кута встановлення копіра до горизонту 30 град. допустима сумарна маса рухомих частин обрізника за умови невивалювання коренеплодів з ґрунту дорівнює 6,9 кг, а за умови непошкодження коренеплодів – 5,2 кг.

Отримано залежності для визначення сумарної горизонтальної та нормальної сили ударного контакту копіра з головою коренеплоду.

Сумарна горизонтальна сила контактної взаємодії копіра з головою коренеплоду змінюється в межах від 212 до 162,5 Н, а сумарна нормальна сила – в межах від 61,5 до 161,5 Н залежно від зміни основних параметрів робочих органів обрізника, при цьому оптимальні теоретичні параметри робочих органів удосконаленого обрізника становлять: сумарна маса рухомих частин обрізника 8...9 кг; кут встановлення копіра до горизонту 30 град.; коефіцієнт жорсткості пружини регульовальної тяги 40 Н/м; коефіцієнт жорсткості пружини стакану вертикальної тяги 50 Н/м; коефіцієнт пружності амортизатора 4,7 Н/м.

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

Програма проведення експериментальних досліджень удосконаленої конструкції обрізника залишків гички з головок коренеплодів цикорію передбачала виконання таких видів робіт:

- спроектувати та виготовити маятниковий копер;
- провести експериментальні дослідження для визначення характеру зламу коренеплодів цикорію залежно від параметрів контактної взаємодії підпружиненого ножа;
- спроектувати та виготовити робочі органи обрізника;
- провести польові експериментальні дослідження для визначення кількості вивалених коренеплодів з ґрунту та кількості пошкоджених коренеплодів робочими органами обрізника залежно від параметрів процесу;
- провести польові порівняльні дослідження серійного та удосконаленого обрізника залишків гички з головок коренеплодів в виробничих умовах.

В загальному для реалізації експериментів було розроблено структурну схему моделі проведення експериментальних досліджень на основі базових принципів поняття «чорної скрині».

Для проведення експериментальних досліджень кількості зламаних коренеплодів цикорію було застосовано лабораторно-польову установку, яку виконано за принципом маятникового копра.

Для реалізації польових експериментальних досліджень з визначення кількості вивалених коренеплодів з ґрунту та пошкодження коренеплодів цикорію застосовували: трирядну гичкозрізувальну машину для зрізування основного масиву гички; удосконалену конструкцію обрізника залишків гички з головок коренеплодів цикорію.

За параметр оптимізації було вибрано показники якості зрізування гички з головок коренеплодів цикорію порівнюваних схем (5-х типів) обрізників, які виконано за принципом «пасивний копір-пасивний ніж» і «пасивний копір-підпружинений ніж»: кількість вивалених коренеплодів з ґрунту  $k_{ек}$ ; кількість пошкоджених коренеплодів  $k_{пк}$ , із них: кількість зламаних коренеплодів  $k_{зк}$ ; кількість сколених коренеплодів  $k_{ск}$ . Типи порівнюваних обрізників залишків гички з головок коренеплодів цикорію були такими: 1 тип – базовий; 2 тип – без амортизатора; 3 тип – без пружини ножа; 4 тип – без пружини стакана; 5 тип (серійний).

Контрольовані показники якості, або показники параметрів оптимізації визначали згідно з стандартними методиками, за результатами яких утворювали порівняльну таблицю.

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: рівняння регресії, які описують функціональну зміну кількості зламаних коренеплодів цикорію у загальному випадку та кількості зламаних коренеплодів встановлених груп (відносно висоти розташування головки над рівнем ґрунту), кількості вивалених коренеплодів з ґрунту та кількості пошкоджених коренеплодів робочими органами обрізника залежно від параметрів процесу.

Кількість зламаних коренеплодів цикорію у загальному випадку змінюється у діапазоні від 0 до 33 шт. та збільшується в середньому на 15...20 шт. за зміни коефіцієнта жорсткості пружини ножа від 30 до 60 Н/см в діапазоні зміни швидкості руху ножа від 1,6 до 2,4 м/с.

Встановлено, що кількість зламаних коренеплодів цикорію для групи коренеплодів, які розташовані над рівнем поверхні ґрунту на висоті 5, 9 і 13 см змінюється, відповідно, у діапазоні від 0-6 шт., 0-12 шт. та 2-16 шт., при цьому за середнього діаметра зламу коренеплоду 4...6 см мінімальне значення кількості зламаних коренеплодів 6 шт. отримано за швидкості руху підпружиненого ножа від 1,6 до 2,0 м/с, коефіцієнта жорсткості пружини ножа від 30 до 45 Н/см.

Кількість вивалених коренеплодів з ґрунту та кількість пошкоджених коренеплодів цикорію змінюється у діапазоні, відповідно, від 1,5 до 5,5 % та від 11 до 24 % за зміни швидкості руху копіра у межах від 1,5 до 2,1 м/с, коефіцієнта жорсткості пружини стакану вертикальної тяги копіра від 35 до 65 Н/см, кута встановлення копіра відносно горизонту від 20 до 40 град.

Агротехнічні вимоги, за яких кількість вивалених і пошкоджених коренеплодів менше, відповідно, 2,5 %, і 15 % дотримуються за таких параметрів обрізника: швидкість руху копіра – менше або рівна 1,8 м/с; маса рухомих частин обрізника – 5...8 кг; коефіцієнт жорсткості пружини ножа – від 30 до 45 Н/см; коефіцієнт жорсткості пружини стакану вертикальної тяги копіра – менше або рівний 45 Н/см; кут встановлення копіра відносно горизонтальної площини – від 30 до 35 град.

За результатами порівняльних досліджень встановлено, що кількість вивалених коренеплодів з ґрунту, кількість пошкоджених, зламаних і сколених коренеплодів удосконаленим обрізником зменшується у 1,4 рази порівняно з серійним обрізником, а залишки гички на головках коренеплодів – у 1,5 рази.

У п'ятому розділі наведено шляхи подальшого удосконалення робочих органів обрізників залишків гички з годовок коренеплодів і розрахований економічний ефект від застосування удосконаленого модуля.

На основі аналізу теоретично-експериментальних досліджень було обґрунтовано такі раціональні параметри гичкозбирального модуля: робоча швидкість руху обрізника 1,6...1,8 м/с; коефіцієнт жорсткості пружини ножа, 30...45 Н/м; коефіцієнт жорсткості пружини стакана вертикальної тяги копіра до 45 Н/м; кут встановлення копіра відносно горизонтальної площини 30...35 град.

Розраховані показники економічної ефективності підтверджують доцільність використання удосконаленого обрізника в виробничих умовах – економічний ефект на 1 га зібраної площі становить 4439,7 грн/га.

**Ключові слова:** коренеплоди, гичка, залишки гички, процес, зрізування гички, обрізник, копір, математична модель, параметри, сила удару, вивалення, пошкодження, показники якості.

## ABSTRACT

Boyko V.A. «Justification of the parameters of the trimmer of chicory root crop haulm». 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, 2023.

In the dissertation work, a new scientific task of improving the quality indicators of cutting the remains of the bran from the heads of chicory root crops was solved by developing and substantiating the rational parameters of the cutter's working organs. An increase in the quality indicators of the cutting of the scrap residues is achieved by improving the design of the spring-loaded vertical thrust of the copier.

The introduction substantiates the relevance of the topic, formulates the goal and sets the objectives of the research.

The scientific novelty, the practical significance of the obtained results are



described, and the personal contribution of the winner in the conducted research is given. Information on the approval and publication of the results of scientific research, the structure and scope of the dissertation research is provided.

The solution of this goal is reduced to the solution of the following scientific and applied problems: taking into account the known designs and technological processes of trimming the remains of the burdock from the heads of root crops, to develop an improved structural scheme of the trimmer; develop mathematical models that functionally describe the process of contact interaction of the copier with the head of the chicory root under the condition that the roots do not fall out of the soil and the roots are not damaged; obtain analytical dependencies for determining the permissible mass and permissible acceleration of the moving parts of the cutter; to carry out experimental studies of the process of cutting off the remains of chicory from the heads of chicory root crops with an improved cutter; to conduct comparative field studies of basic and advanced trimmers; to determine the economic indicators of the production application of the improved trimmer.

Object of study. The technological process of cutting off the remains of root crops from the heads of root crops and the working organs of the trimmer, the remains of root crops.

Subject of study. Structural and kinematic parameters of the working bodies and their influence on the technological indicators of the cutter of the remains of the ghee from the heads of root crops.

On the basis of the conducted scientific research, the main rational structural and kinematic parameters of the cutter's working bodies are substantiated.

On this basis: deterministic mathematical models were developed for the first time, which functionally describe the process of contact interaction of the copier with the head of the chicory root under the condition that the roots do not fall out of the soil and the roots are not damaged, depending on the structural and kinematic parameters of the cutter's working organs and contact time; mathematical models that allow you to determine the permissible total horizontal and normal impact force of the copier on the head of the chicory root crop, which ensure the condition that the

root crop does not fall out of the ground and that the root crop is not damaged; analytical dependences were further developed to determine the permissible mass of the moving parts of the cutter depending on the permissible horizontal and normal force of impact contact of the copier with the head of the root crop; the equation for determining the horizontal and normal acceleration of the movement of the copier after its contact with the head of the root crop was refined.

The first section provides an analysis of the methods of cutting root vegetables, designs of working bodies of vegetable cutting machines and cutters of vegetable residues from root crops, the choice of an improved structural and compositional scheme of the cutter for conducting research is substantiated, as well as the known results of theoretical and experimental studies of the process of cutting vegetable residues from heads are analyzed root crops by the working bodies of pruners.

In order to more effectively eliminate root crops falling out of the soil and their damage in the process of dynamic contact of the copier with the head of the root crop, we have proposed an improved design of the vertical hinged thrust.

Inside the glass, a square-shaped moving rod is mounted, which in the upper part turns into a cylindrical finger, and the lower part of the moving rod is fixed on a shock absorber. Brackets are attached to the side surfaces of the movable thrust, in the holes of which fixed fingers are inserted. Rollers are placed on the fingers, which move up and down in their grooves formed by the limiting sidewalls.

The reciprocating movement of the rollers is limited by the upper and lower stops, which are made in the form of flat plates. The compression spring is inserted into a cylindrical finger, the upper part of which rests against the thrust plate.

The copier hits the head of the root crop and moves simultaneously along and up relative to it.

The upward movement of the copier is transmitted to the moving rod, which compresses the spring, and then to the parallelogram mechanism, which raises (lowers) the knife block and sets the knife to the specified cutting height of the scraps.

The second chapter provides a theoretical analysis of the technological process

of the contact interaction of the copier with the head of the root crop.

Based on the theoretical analysis of the process of cutting off the remains of burdock from the heads of root crops with an improved trimmer, mathematical models have been developed that functionally describe the process of contact interaction of the copier with the head of the root crop depending on the main parameters of the trimmer's working organs.

The solution of the models made it possible to develop dependencies for determining the permissible mass of the moving parts of the trimmer from the condition of new extraction of root crops from the soil and non-damage of root crops.

It was established that at the average values of the stiffness coefficient of the spring of the regulating thrust of 40 N/m, the stiffness coefficient of the spring of the vertical thrust cup of 50 N/m and the angle of installation of the copier to the horizon of 30 degrees. the permissible total weight of the moving parts of the pruner is 6.9 kg, provided the roots are not pulled out of the soil, and 5.2 kg, provided the roots are not damaged.

Dependencies were obtained to determine the total horizontal and normal force of impact contact of the copier with the head of the root crop.

The total horizontal force of the contact interaction of the copier with the head of the root crop varies from 212 to 162.5 N, and the total normal force - from 61.5 to 161.5 N depending on the change in the main parameters of the cutter's working organs, while the optimal theoretical parameters the working bodies of the improved cutter are: the total mass of the moving parts of the cutter is 8...9 kg; the angle of installation of the copier to the horizon is 30 degrees; stiffness coefficient of the adjusting rod spring 40 N/m; stiffness coefficient of the spring of the vertical thrust cup 50 N/m; the coefficient of elasticity of the shock absorber is 4.7 N/m.

In the third section, the program, description of experimental installations and methods of conducting experimental research are given. The program for conducting experimental research on the improved design of the trimmer for the remnants of chicory root crops included the following types of work:

- to design and manufacture a pendulum copier;

- to conduct experimental studies to determine the nature of the fracture of chicory root crops depending on the contact interaction parameters of the spring-loaded knife;
- design and manufacture working bodies of the trimmer;
- conduct field experimental studies to determine the number of root crops that have fallen out of the ground and the number of root crops damaged by the cutter's working bodies, depending on the process parameters;
- to conduct field comparative studies of serial and improved cutter of the remains of the root crops in production conditions.

In general, for the implementation of the experiments, a structural diagram of the experimental research model was developed based on the basic principles of the "black box" concept.

To conduct experimental studies of the number of broken roots of chicory, a laboratory-field setup was used, which was made according to the principle of a pendulum copra.

To implement field experimental research on the determination of the number of root crops that have fallen out of the soil and damage to chicory root crops, the following were used: a three-row gorse cutting machine for cutting the main massif of gorse; the improved design of the trimmer for the remains of the chicory root heads.

The optimization parameters were selected for the quality indicators of cutting the stalks from the heads of chicory root crops of the compared schemes (5 types) of trimmers, which were made according to the principle of "passive copier-passive knife" and "passive copier-spring-loaded knife": the number of root crops that fell out of the ground; the number of damaged root crops, of which: the number of broken root crops; the number of crushed roots. The types of compared cutters for the remains of the chicory root heads were as follows: 1 type – basic; 2 type – without shock absorber; Type 3 – without knife spring; Type 4 – without a glass spring; Type 5 (serial).

Controlled quality indicators, or indicators of optimization parameters, were

determined according to standard methods, based on the results of which a comparative table was formed.

The methodology of experimental research was based on scientific methods of planning and implementation of planned factorial experiments with the aim of obtaining regression equations of the optimization parameter.

Processing of the experimental array of data was carried out according to well-known calculation methods using regression and correlation analysis methods.

The fourth chapter presents the results of the implementation of the experimental research program.

Based on the processing of the experimental array of data, the following regression equations were obtained, which describe the functional change in the number of broken roots of chicory in the general case and the number of broken roots of established groups (relative to the height of the head above the ground level), the number of roots that fell out of the ground and the number of damaged roots by the working organs of the pruner depending on the process parameters.

The number of broken roots of chicory in general varies in the range from 0 to 33 pcs. and increases by an average of 15...20 pcs. for changes in the stiffness coefficient of the knife spring from 30 to 60 N/cm in the range of changes in the speed of the knife movement from 1.6 to 2.4 m/s.

It was established that the number of broken chicory root crops for the group of root crops, which are located above the soil surface at a height of 5, 9, and 13 cm, varies, respectively, in the range from 0-6 pcs., 0-12 pcs. and 2-16 pcs., at the same time, for the average diameter of the broken root crop of 4...6 cm, the minimum value of the number of broken root crops is 6 pcs. obtained at the speed of movement of the spring-loaded knife from 1.6 to 2.0 m/s, the stiffness coefficient of the knife spring from 30 to 45 N/cm.

The number of root crops fallen from the soil and the number of damaged root crops of chicory varies in the range, respectively, from 1.5 to 5.5% and from 11 to 24% for changes in the speed of the copier in the range from 1.5 to 2.1 m/s, stiffness coefficient of the spring of the vertical thrust of the copier from 35 to 65 N/cm, the

angle of installation of the copier relative to the horizon from 20 to 40 degrees.

Agrotechnical requirements, under which the number of fallen and damaged root crops is less than 2.5% and 15%, respectively, are met with the following parameters of the cutter: speed of movement of the copier is less than or equal to 1.8 m/s; mass of moving parts of the trimmer - 5...8 kg; stiffness coefficient of the knife spring - from 30 to 45 N/cm; the coefficient of stiffness of the spring of the vertical thrust of the copier is less than or equal to 45 N/cm; the angle of installation of the copier relative to the horizontal plane is from 30 to 35 degrees.

According to the results of comparative studies, it was found that the number of root crops that fell out of the ground, the number of damaged, broken and chipped root crops with the improved pruner is reduced by 1.4 times compared to the serial pruner, and the remains of gorse on the heads of root crops – by 1.5 times.

In the fifth chapter, the ways of further improvement of the working bodies of the cutters of the remains of the ginseng from root crops are given and the calculated economic effect of the use of the improved module is given.

On the basis of the analysis of theoretical and experimental studies, the following rational parameters of the string harvesting module were substantiated: working speed of the trimmer 1.6...1.8 m/s; stiffness coefficient of the knife spring, 30...45 N/m; stiffness coefficient of the spring of the copier vertical thrust cup up to 45 N/m; the angle of installation of the copier relative to the horizontal plane is 30...35 degrees.

The calculated indicators of economic efficiency confirm the expediency of using the improved trimmer in production conditions - the economic effect per 1 ha of harvested area is UAH 4439.7/ha.

Key words: root crops, gorse, gorse remains, process, gorse cutting, trimmer, copier, mathematical model, parameters, impact force, shedding, damage, quality indicators.

## СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

*Наукові праці, в яких опубліковано основні результати дисертаційної роботи*

1. **Boyko Volodymyr.** Experimental studies of pruning the haulm of chicory root tops. Scientific Journal of the TNTU. Tern.:TNTU, 2023. Vol. 111. No 4. С. **115 – 125**. [https://doi.org/10.33108/visnyk\\_tntu2023.04](https://doi.org/10.33108/visnyk_tntu2023.04). ISSN 2522-4433. Web: visnyk.tntu.edu.ua (**Фахове видання України**). *Індексується в міжнародній наукометричній базі Google Scholar, Index Copernicus.*

2. **Boyko Volodymyr.** Mathematical model of the process of contact interaction of the copier with the head of the chicory root crop. Scientific Journal of the TNTU. Tern.:TNTU, 2023. Vol. 111. No 3 С. 115 – 125. [https://doi.org/10.33108/visnyk\\_tntu2023.03](https://doi.org/10.33108/visnyk_tntu2023.03). ISSN 2522-4433. Web: visnyk.tntu.edu.ua (**Фахове видання України**). *Індексується в міжнародній наукометричній базі Google Scholar, Index Copernicus.*

3. **Volodymyr Boyko, Viktor Baranovsky, Vitalii Pankiv, Volodymyr Onyshchenko, Sergey Marinenko.** The results of the study of the cutter of the remains of root crops haulm. Scientific Journal of the Ternopil National Technical University 2023, № 1 (109). С. 99 – 109. *(Здобувачем запропоновано удосконалену конструкцію та наведено результати польових експериментальних досліджень обрізника залишків гички з головок коренеплодів цикорію кореневого).* [https://doi.org/10.33108/visnyk\\_tntu2023.01](https://doi.org/10.33108/visnyk_tntu2023.01). ISSN 2522-4433. Web: visnyk.tntu.edu.ua (**Фахове видання України**). *Індексується в міжнародній наукометричній базі Google Scholar, Index Copernicus.*

4. Барановський В.М., Береженко Є.Б., Паньків М.Р., Береженко Б.М., **Бойко В.А.** Технологічні аспекти процесів роботи гичкозбиральних модулів : монографія. Тернопіль: Ред.-вид. відділ ТНТУ ім. І. Пулюя, 2022. 294 с. *(Здобувачем написано розділи 2.4, 2.5, 3.3, 4.3).* URI (Уніфікований ідентифікатор ресурсу): <http://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/37933>.

5. **Boyko V.** Аналітичні дослідження допустимої маси обрізника залишків гички з головок коренеплодів. Innovative Solutions in Modern Science. USA, New York: Center for international scientific cooperation TK Meganom, LLC. 2023. № 3(58). С. 5 – 15. DOI 10.26886/2414-634X.3(58)2023.1. ISSN: 2414-634X. (Наукове рецензоване періодичне видання країни ОЕСР). *Індексується в міжнародній наукометричній базі Google Scholar, Academic Resource Index.*

6. **Boyko V.** Analysis of methods for trimming the remnants of the hillock and the designs of the cutter heads of root crops. Innovative Solutions in Modern Science. USA, New York: Center for international scientific cooperation TK Meganom, LLC. 2020. № 2(38). С. 55 – 64. DOI: 10.26886/2414-634X.2(38)2020.5. ISSN: 2414-634X. (Наукове рецензоване періодичне видання країни ОЕСР). *Індексується в міжнародній наукометричній базі Google Scholar, Academic Resource Index.*

7. Віктор Барановський, Галина Герасимчук, Наталя Дубчак, Євген Береженко, **Володимир Бойко.** Експериментальні дослідження агробіологічних характеристик коренеплодів. Вісник Львівського національного аграрного університету: агроінженерні дослідження. 2020. № 24. С 13 – 21. (Здобувачем отримано та наведено результати наукових досліджень агробіологічних характеристик коренеплодів цикорію кореневого). <https://doi.org/10.31734/agroengineering2020.24.013>. (Фахове видання України). *Індексується в міжнародній наукометричній базі Google Scholar.*

*Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертаційної роботи*

8. **Бойко В.А.** Аналіз дослідження обрізувачів гички коренеплодів : тези доп. VIII науково-технічної конференції «Інформаційні моделі, системи та технології» Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя, (Тернопіль, 9 – 19 грудня 2020 р.). Тернопіль: Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2020. С. 170 – 171.



9. **Boyko V.A.** The results of experimental research of root crops haulm harvesting : тези доп. Міжнар. наук.-практ. конф. присвяченої 90-річчю від дня народження професора Рибак Тимofія Івановича та 60-річчю кафедри технічної механіки та сільськогосподарських машин «Процеси, машини та обладнання агропромислового виробництва: проблеми теорії та практики», (Тернопіль, 29–30 вересня 2022 р.). Тернопіль: ФОП Паляниця В. А., 2022. С. 27 – 28.

10. **Бойко В.А.** Обґрунтування маси обрізника залишків гички : тези доп. X Міжнародної науково-технічної конференції «Крамаровські читання» з нагоди 116-ї річниці від дня народження доктора технічних наук, професора, члена-кореспондента ВАСГНІЛ, віцепрезидента УАСГН Крамарова Володимира Савовича (1906-1987) 23-24 лют. 2023 р., м. Київ, Національний університет біоресурсів і природокористування України. К.: Видавничий центр НУБіП України, 2023. С. 165 – 168.

11. **Бойко В.** Методика проведення експериментальних досліджень обрізника залишків гички коренеплодів : тези доп. VI Міжнародної студентської науково-технічної конференції «Природні та гуманітарні науки. Актуальні питання»/ Тернопіль: Тернопільський національний технічний університет ім. І. Пулюя (м. Тернопіль, 27-28 квітня 2023 р.), 2023. С. 215 – 216.

## ЗМІСТ

ВСТУП .....	20
РОЗДІЛ 1. КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ АНАЛІЗ СПОСОБІВ І КОНСТРУКЦІЙ ОБРІЗНИКІВ ЗАЛИШКІВ ГИЧКИ З ГОЛОВОК КОРЕНЕПЛОДІВ .....	25
1.1. Тенденції розробки способів зрізування гички з головок коренеплодів .....	25
1.2. Аналіз конструкцій обрізників залишків гички та обґрунтування вибору робочого органу .....	43
1.3. Аналіз теоретично-експериментальних досліджень процесів роботи обрізників .....	60
1.4. Висновки, мета та задачі дослідження .....	68
РОЗДІЛ 2. ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ РОБОТИ УДОСКОНАЛЕНОГО ОБРІЗНИКА .....	70
2.1. Математична модель процесу копіювання головки коренеплодів удосконаленим обрізником .....	70
2.2. Обґрунтування основних параметрів обрізника .....	89
2.3. Висновки до розділу.....	104
РОЗДІЛ 3. ПРОГРАМА ТА МЕТОДОЛОГІЯ ПРОВЕДЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ОБРІЗНИКА ЗАЛИШКІВ ГИЧКИ .....	106
3.1. Програма, задачі та об'єкт дослідження .....	106
3.2. Методологія проведення експериментів з визначення кількості зламаних коренеплодів цикорію .....	111
3.3. Методологія проведення експериментів з визначення кількості вивалених коренеплодів з ґрунту та пошкоджених коренеплодів цикорію .....	114
3.4. Методика проведення порівняльних досліджень удосконаленого обрізника головок коренеплодів цикорію .....	118

РОЗДІЛ 4. РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ	
ДОСЛІДЖЕНЬ УДОСКОНАЛЕНОГО ОБРІЗНИКА .....	120
4.1. Результати експериментів з визначення кількості зламаних коренеплодів цикорію .....	120
4.2. Результати експериментальних досліджень показників якості роботи удосконаленого обрізника .....	133
4.3. Результати порівняльних досліджень обрізників головок коренеплодів цикорію .....	143
4.4. Висновки до розділу .....	147
РОЗДІЛ 5. ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ	
ВПРОВАДЖЕННЯ УДОСКОНАЛЕНОГО ОБРІЗНИКА .....	149
5.1. Напрямки підвищення технологічної ефективності конструкції обрізників залишків гички з головок коренеплодів цикорію .....	149
5.2. Показники економічної ефективності використання удосконаленого обрізника .....	151
5.3. Висновки до розділу.....	158
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ .....	159
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ .....	161
ДОДАТКИ .....	178

## ВСТУП

**Актуальність теми.** Цикорій кореневий – технічна культура з сировини якої виробляють цінні фармацевтичні (інулін, різні види кислот), харчові (кава, вітаміни) та біоенергетичні (біоетанол, біодизель) продукти її переробки. Зрізана гичка, яка розкидана та зароблена в ґрунт після перегнивання є елементом органічних добрив, які сприяють підвищенню урожайності культур і процесам відновлення родючості ґрунту.

Застосування існуючих технічних засобів для механізованого збирання коренеплодів цикорію, в тому числі і обрізників залишків гички з їх головок, призводить до значних втрат (вивалювання та пошкодження) коренеплодів або втрат сировини, що знижує рентабельність виробництва коренеплодів цикорію та продуктів їх переробки загалом.

В основу зниження кількості вивалених коренеплодів цикорію з ґрунту та зменшення їх пошкодження покладено наукову гіпотезу, яка передбачає розробку удосконалених конструкцій обрізників залишків гички, які є складовою частиною модулів для збирання гички сучасних коренезбиральних машин.

Тому розроблення удосконалених конструкцій обрізників залишків гички з головок коренеплодів цикорію та обґрунтування раціональних конструктивних і кінематичних параметрів робочих органів обрізника з метою підвищення показників якості зрізування гички є актуальним завданням.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Дослідження виконано відповідно до державної НДР Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя «Розробка та комплексне дослідження синтезованих транспортно-технологічних механізмів виробничих систем» (№ держ. реєстр. 0117U003998), яка є складовою частиною цільової державної програми наукових робіт та експериментальних розробок молодих вчених «Програма діяльності КМУ «Україна-2024».

**Мета та завдання дослідження.** Метою роботи є підвищення показників якості обрізування залишків гички з головок коренеплодів цикорію шляхом удосконалення конструкції та обґрунтування раціональних параметрів обрізника гичкозбирального модуля.

Для вирішення даної мети необхідно виконати такі задачі дослідження:

- враховуючи відомі конструкції та технологічні процеси обрізування залишків гички з головок коренеплодів розробити удосконалену конструктивну схему обрізника;
- розробити математичні моделі, які функціонально описують процес контактної взаємодії копіра з головкою коренеплоду цикорію з умови невивалювання коренеплодів з ґрунту та непошкодження коренеплодів;
- отримати аналітичні залежності для визначення допустимої маси та допустимого прискорення рухомих частин обрізника;
- провести експериментальні дослідження процесу обрізування залишків гички з головок коренеплодів цикорію удосконаленим обрізником;
- провести польові порівняльні дослідження базового та удосконаленого обрізників;
- визначити економічні показники виробничого застосування удосконаленого обрізника.

*Об'єкт дослідження.* Технологічний процес зрізування залишків гички з головок коренеплодів, робочі органи обрізника, залишки гички коренеплодів.

*Предмет дослідження.* Конструктивно-кінематичні параметри робочих органів і їх вплив на показники якості роботи обрізника залишків гички з головок коренеплодів цикорію.

**Методи дослідження.** Теоретичні дослідження процесу зрізування залишків гички проводилися шляхом моделювання процесу копіювання головок коренеплодів пасивним копіром і зрізування залишків гички підпружиненим ножом з використанням законів класичної механіки та теорії машин і механізмів.

Експериментальні польові дослідження проводилися за стандартними (математичне планування багатофакторних експериментів) та частковими (розробленими) методиками із застосуванням макетного зразка обрізника.

Обробку експериментального масиву даних проводили з застосуванням комп'ютерних програм.

**Наукова новизна отриманих результатів.** За результатами проведених наукових досліджень обґрунтовано технологічний процес зрізування залишків гички з головок коренеплодів цикорію та основні раціональні конструктивні та кінематичні параметри робочих органів удосконаленого обрізника.

На цій підставі:

- *вперше розроблено:*

- детерміновані математичні моделі, які функціонально описують процес контактної взаємодії копіра з головкою коренеплоду цикорію за умови невивалювання коренеплодів з ґрунту та непошкодження коренеплодів залежно від конструктивних і кінематичних параметрів робочих органів обрізника та часу контакту;

- математичні моделі, які дозволяють визначати допустиму сумарну горизонтальну та нормальну силу удару копіра по головці коренеплоду цикорію які забезпечують умову невивалювання коренеплоду з ґрунту та непошкодження коренеплоду;

- *дістали подальший розвиток* аналітичні залежності для визначення допустимої маси рухомих частин обрізника залежно від допустимої горизонтальної та нормальної сили ударного контакту копіра з головкою коренеплоду;

- *уточнено* рівняння для визначення горизонтального та нормального прискорення руху копіра в після його контакту з головкою коренеплоду.

**Практичне значення отриманих результатів.** На основі розроблених аналітичних і емпіричних моделей обґрунтовано та запропоновано удосконалену конструкцію вертикальної тяги копіра та раціональні параметри робочих органів обрізника залишків гички з головок коренеплодів цикорію.

За результати проведених польових експериментальних досліджень встановлено, що застосування запропонованого обрізника в виробничих умовах дозволяє зменшити кількість вивалених коренеплодів цикорію з ґрунту та кількість пошкоджених коренеплодів – в 1,4 рази, а залишків гички – в 1,5 рази порівняно з серійним обрізником.

Отримані результати наукових досліджень впроваджено в Хмельницькій державній сільськогосподарській дослідній станції в якості макетного зразка обрізника під час збирання коренеплодів цикорію.

Теоретична та конструктивна частина результатів застосовується в навчальному процесі Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя під час викладання дисципліни «Робочі процеси сільськогосподарських машин».

**Особистий внесок здобувача.** Основні наукові аналітичні та емпіричні результати дисертаційній роботі здобувачем отримано самостійно, які викладені в 3 наукових працях [1, 2, 5, 6, 8–11].

Мету та задачі дослідження сформульовано спільно з науковим керівником.

У працях, які опубліковано у співавторстві, дисертантові належить: [3] – здобувачем запропоновано удосконалену конструкцію та наведено результати польових експериментальних досліджень обрізника залишків гички з головок коренеплодів цикорію кореневого; [4] – здобувачем написано розділи 2.4, 2.5, 3.3, 4.3 монографії); [7] – здобувачем отримано та наведено результати наукових досліджень агробіологічних характеристик коренеплодів цикорію кореневого. Особистий внесок здобувача у працях, які опубліковано у співавторстві складає 45-55 %.

**Апробація роботи.** Основні положення дисертаційної роботи доповідалися та отримали позитивну оцінку на: VIII наук.-техн. конференції «Інформаційні моделі, системи та технології» (Тернопіль, 2020 р.); Міжн. наук.-практ. конф. присвяченої 90-річчю від дня народження професора Рибак Тимofія Івановича та 60-річчю кафедри технічної механіки та сільськогосподарських машин «Процеси, машини та обладнання агропромислового виробництва: проблеми теорії та практики» (Тернопіль, 2022 р.); X Міжн. наук.-техн. конференції «Крамаровські читання» з нагоди 116-ї річниці від дня народження доктора технічних наук, професора, члена-кореспондента ВАСГНІЛ, віце-президента УАСГН Крамарова Володимира Савовича (Київ, 2023 р.); VI Міжн. студентській наук.-техн. конф. (Тернопіль, 2023 р.).

**Публікації.** Основний зміст і результати досліджень за темою дисертації опубліковано в 11 наукових працях, із них – 1 монографія, 4 статті у фахових виданнях України, 2 статті в рецензованому закордонному виданні країн ОЕСР, 4 тези наукових конференцій.

**Структура та обсяг дисертації.** Дисертація складається зі вступу, п'яти розділів, загальних висновків, списку використаної літератури із 154 найменувань і 39 додатків. Основні результати роботи викладено на 134 сторінках, де містяться 69 рисунків і 13 таблиць. Загальний обсяг дисертації складає 211 сторінку.



# РОЗДІЛ 1

## КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ АНАЛІЗ СПОСОБІВ І КОНСТРУКЦІЙ ОБРІЗНИКІВ ЗАЛИШКІВ ГИЧКИ З ГОЛОВОК КОРЕНЕПЛОДІВ

### 1.1. Тенденції розробки способів зрізування гички з головок коренеплодів

Зрізування гички коренеплодів у загальному контексті умовно поділяють на дві суміжні та послідовні операції – зрізування основного масиву гички та видалення залишків гички з головок коренеплодів [1].

Конструктивно-технологічний запит «яким чином і як» збирати гичку коренеплодів постав перед розробниками коренезбиральної техніки в період відкриття німецьким вченим-хіміком А.С. Маркграфом солодкого концентрату цукру (1747 р.) та з початку інтенсивної розробки перших механізованих знарядь для виконання операції збирання коренеплодів, або їх підкопування та виймання з ґрунтового середовища (однорядний німецький кінний плуг-бурякопідіймач Р. Сакка, 1853 р.; дворядний коренепідіймач В. Зідерслебена, (1861 р., бурякокопач Ф. Френч-Вотье, К. Томана, 1900 р. тощо) [2 – 4]. При цьому коренеплоди викопувалися з ґрунтового середовища разом з гичкою, яка в подальшому зрізувалася з їх головок ручним способом [5].

Застосування ручної праці значно знижували темпи реалізації технологічного ланцюга «викопування коренеплодів-підготовка сировини-виробництво цукру», попит на який значно зростав і поширювався на значні світові території.

Перші спроби вирішити задачі механізованого збирання гички коренеплодів перед їх викопуванням було реалізовано в конструктивних схемах коренекопачів, в яких перед викопувальними робочими органами було встановлено пасивний ніж, який виконував попередню операцію зрізування гички з головок коренеплодів перед їх викопуванням.

Проте, значне варіювання висоти розташування відносно поверхні ґрунту та відсутність процесу копіювання головок коренеплодів призводило до значних втрат цукроносної маси, тобто питання збирання гички залишалося відкритим і потребувало подальшого наукового вирішення [6].

Значний прогрес у вирішенні цих задач було досягнуто у другий період розробки причіпних одно-трирядних коренезбиральних машин (1911-1945 рр.). Такі машини було обладнано гичкозрізувальними пристроями, які направлялися по рядках коренеплодів за допомогою полозкових копирів (фірма “Червінка”, Чехія), а в трирядній машині фірми “Дегремон” (Франція) вперше був застосований гичкоріз з дисковим копиром. Ці гичкозрізувальні механізми збирали гичку одностадійним способом за якого зрізували основний масив гички, або витягували коренеплоди з ґрунту разом з гичкою, а потім проводили обрізування гички з головок коренеплодів ручним способом [7, 8].

У подальшому, починаючи з 1920 р. було розроблено удосконалені гичкозрізувальні механізми на основі застосування обрізників, які було виконано за схемою «активний ніж-копір», при цьому копір міг бути пасивного (полозкового) чи активного (каткового) типу [9]. Це сприяло новому етапу розвитку та удосконалення механізованого збирання коренеплодів – для переміщення машин застосовували кінну тягу та розроблені на той час механічні двигуни.

В 1921 р. спроектовано та розроблено бурякозбиральний комбайн на кінній тязі, який викопував два рядки цукрових буряків (фірма «Зідерслебен»). Зрізування гички відбувалося за рахунок встановленого спереду обрізника, який було виконано за схемою «активний дисковий ніж-пасивний гребінчастий копір. Дисковий ніж мав кут атаки рівний  $45^{\circ}$ . Зрізана обрізником гичка з головок коренеплодів і самі викопані коренеплоди укладалися в повздовжній валок на зібрану частину поля [10].

Модернізовані на основі дворядного комбайна фірми «Зідерслебен» коренезбиральні машини (рис. 1.1) вже могли виконувати роздільний спосіб збирання коренеплодів – зрізану гичку та викопані коренеплоди укладали в окремі валки, або збирали в невеликий за об’ємом бункер.

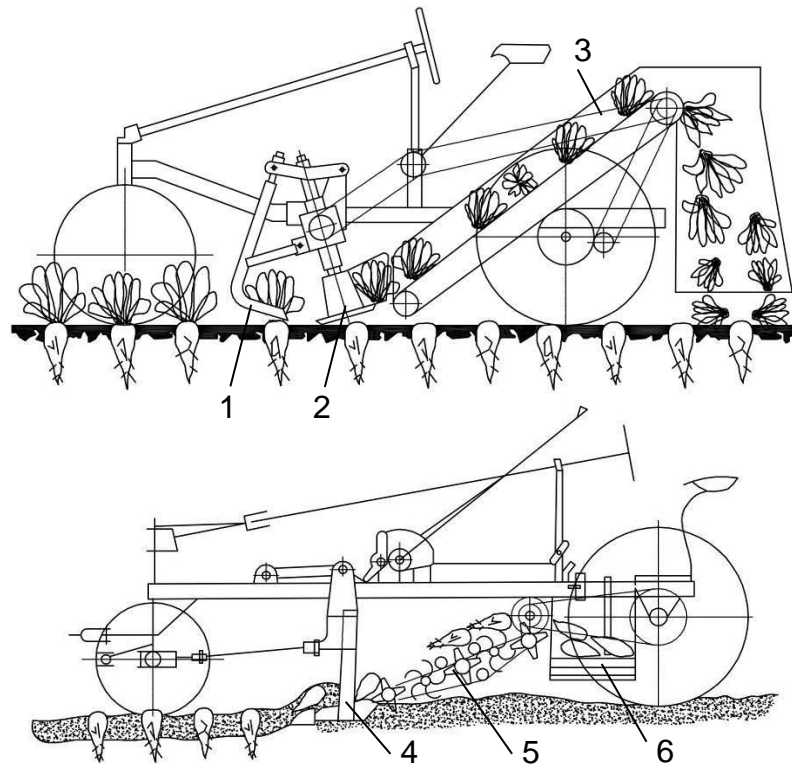


Рисунок 1.1 – Схема коренезбиральних машин для роздільного способу збирання коренеплодів фірми «Зідерслебен»: 1 – копір; 2 – дисковий ніж; 3 – елеватор гички; 4 – копач; 5 – очисник вороху; 6 – елеватор коренеплодів

У 1930 р. проф. Василенком А.А. та інж. Кулаковським В.А. було сконструйовано та виготовлено удосконалену конструкцію комбайна фірми «Зідерслебен». Це був один із перших українських зразків причіпної збиральної машини (комбайна) КС-4 для одночасного викопування чотирьох рядків цукрових буряків, рис. 1.2. Комбайн агрегувався з трактором Універсал-2.

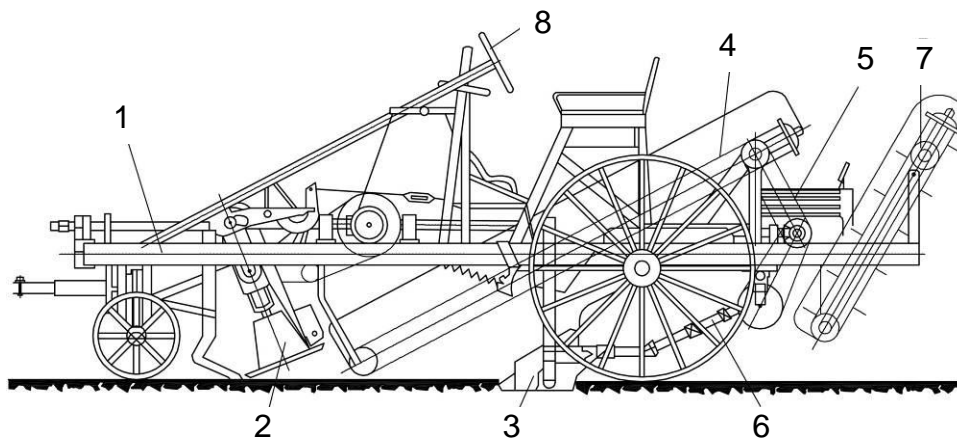


Рисунок 1.2 – Конструктивна схема українського причіпного комбайна КС-4: 1 – несуча рама; 2 – гичкозрізувальний дисковий апарат; 3 – замкнуті лемеші; 4, 5 – транспортер гички; 6, 7 – транспортер коренеплодів; 8 – кермо

Причіпний копач-валкоутворювач (рис. 1.3) передбачав викопування коренеплодів і укладанням їх у валок, або ж завантаження вороху в бункер

Гичку з головок коренеплодів зрізували за допомогою окремого гичкозрізувального механізму 2 (рис. 1.2, рис. 1.3), виконаного на основі приводного дискового ножа та пасивного гребінчастого копіра, а коренеплоди викопували лемішними копачами 3.

Значна кількість вибитих гичкозрізувальним механізмом коренеплодів з ґрунту (до 4 %) та пошкоджень коренеплодів (до 7 %) потребувало нових, більш технічно удосконалених конструктивних схем робочих органів для зрізування гички [11].

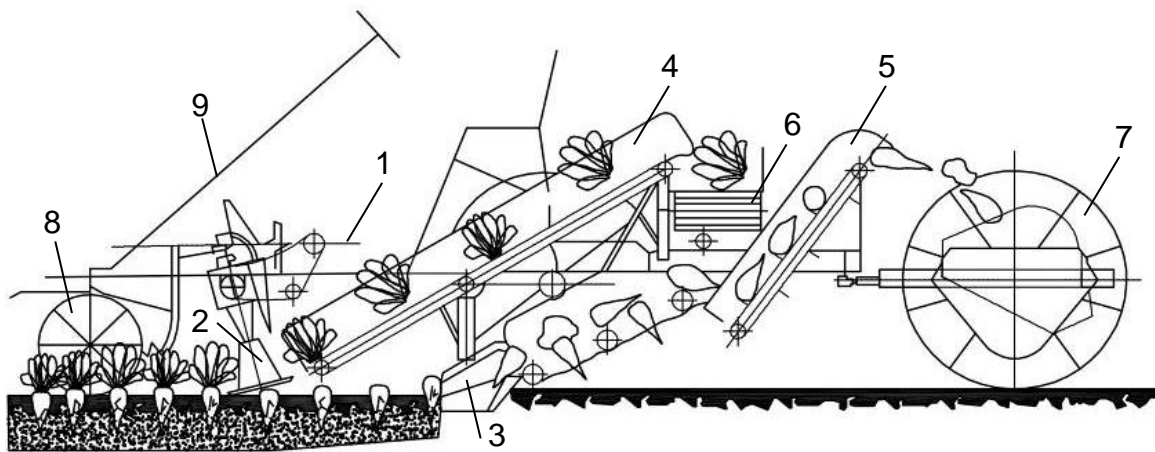


Рисунок 1.3 – Конструктивно-технологічна схема причіпного копача-валкоутворювача: 1 – рама машини; 2 – дисковий гичкозрізувальний апарат; 3 – копач; 4 – транспортер зрізаної гички; 5 – транспортери викопаних коренеплодів; 6 – елеватор для укладання зрізаної гички; 7, 8 – опорні колеса основної рами; 9 – кермове колесо

Для усунення цих недоліків були розроблені більш удосконалені конструкції комбайнів КС-4 брального типу.

Коренекопач брального типу конструкції Павлова виконував такі послідовні операції (рис. 1.4): підкопував копачами 2 коренеплоди разом з гичкою 2; витягував коренеплоди з ґрунту за гичку внутрішніми частинами притискних ременів 1; поперечним транспортером 3 укладав коренеплоди в кучки для наступного обрізування гички вручну.

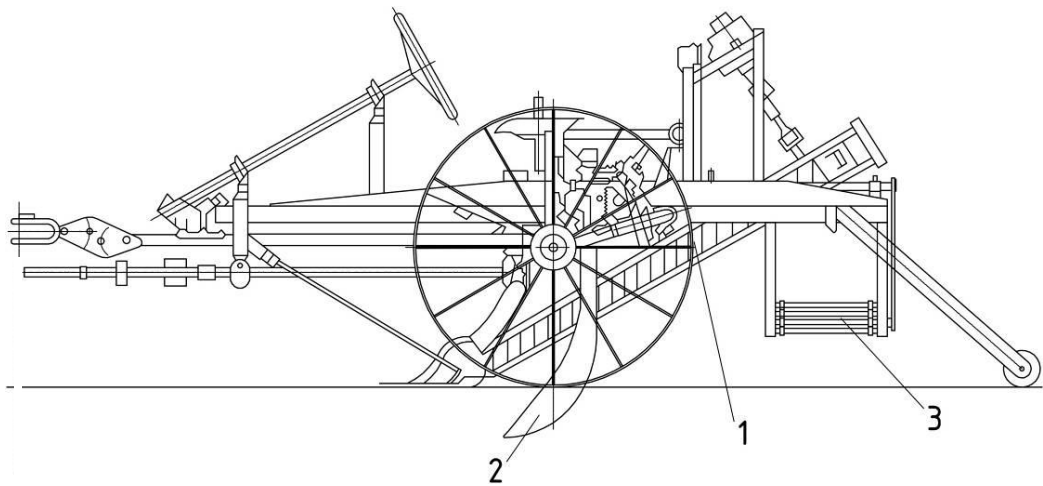


Рисунок 1.4 – Конструктивна схема коренекопача конструкції інженера Павлова: 1 – притискні ремені транспортера викопаних коренеплодів з гичкою; 2 – копачі; 3 – поперечний транспортер

Варіант коренекопача брального типу Коренькова (рис. 1.5) відрізнявся від варіанту Павлова конструкцією брального апарату – замість ременів було застосовано роликівий ланцюг з набором парних підпружинених металевих лап, які розкривалися, а потім затискали гичку.

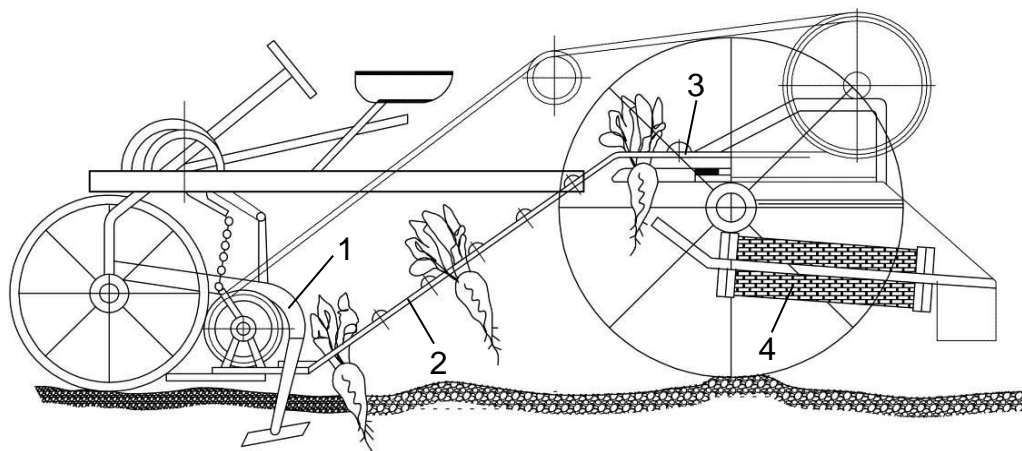


Рисунок 1.5 – Конструктивно-технологічна схема копача брального типу конструкції інженера Коренькова: 1 – підкопувальні лапи; 2 – транспортний роликівий ланцюг; 3 – обрізник гички; 4 – поперечний транспортер

У 1937 р. було розроблено та виготовлено перший збиральний самохідний комплекс начіпних машин конструкції науковців А.А. Василенка та С.Б. Зелігмана – гичкозрізувальний пристрій (активний дисковий ніж і гусеничний копір) встановлювали на передню начіпку трактора Універсал-2, а робочі органи для викопування коренеплодів – на задню начіпку.

При цьому на рамі гичкозрізувального пристрою було встановлено сидіння для керувальника, який за допомогою колеса направляв гусеничний копір по рядках коренеплодів.

Подальший розвиток збиральних машин і способів зрізування гички коренеплодів характеризується вели було направлено на суттєву активізацію розроблення та виробництва різних типажів збиральних комбайнів.

Вони, як правило, в більшості випадків застосовували роздільний спосіб укладання на зібране поле зрізаної гички та викопаних коренеплодів у поздовжні валки.

Характерною ознакою цього періоду були перші спроби механізованого застосування вітчизняними та зарубіжними науковцями-конструкторами гичкозрізувальних механізмів для зрізування гички з головок коренеплодів кормових буряків.

Компоновка робочих органів збиральних машин передбачала фронтальне розташування гичковидаляючих пристроїв. При цьому гичку зрізували з суміжних рядків, які були паралельні рядкам з яких одночасно викопували коренеплоди.

Проведені польові випробування комбайна брального типу СПГ-1 виявили ряд недоліків під час витягування за гичку підкопаних коренеплодів бральним апаратом з ґрунту – гичка обривалася під час витягування або транспортування викопаних разом з гичкою коренеплодів у подальшому, що призводило до значних втрат [12].

Комбайн конструкції АН-ВНЦ зрізував гичку за допомогою пасивного плоского ножа 1 (рис. 1.6), а вертикальний транспортер 2 переміщував зрізану гичку до поперечного транспортера 3, який транспортував і укладав гичку у поздовжній валок на зібране поле.

Конструктивну особливість гичкозрізувального механізму Коренькова було застосовано у 1948 р. для створення перших у світі трирядних комбайнів брального типу СКЕМ-3 (рис. 1.7) та СПТ-3 (рис. 1.8), що дало значний поштовх подальшого розвитку технологічних аспектів збирання гички [13].

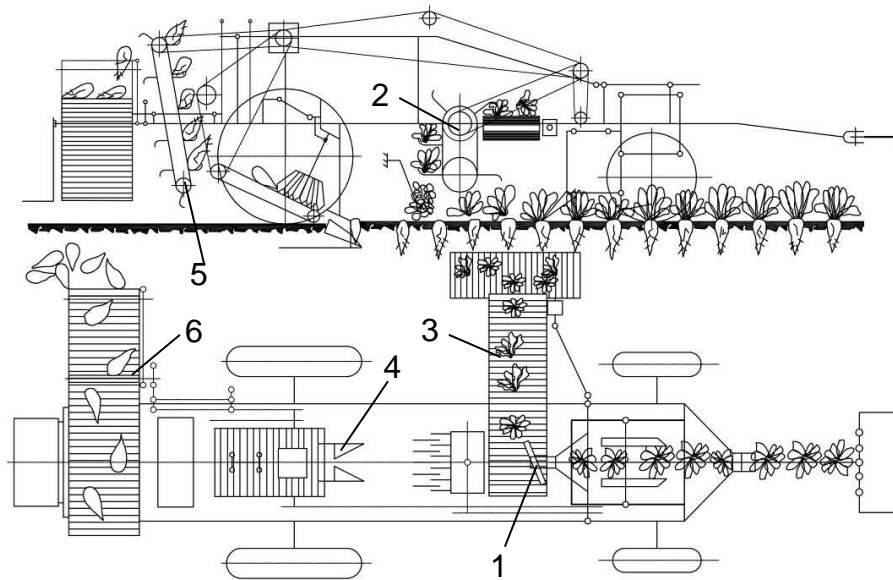


Рисунок 1.6 – Конструктивно-технологічна схема збирального комбайна АН-ВНЦ: 1 – пасивний ніж; 2, 3 – відповідно, вертикальний і поперечний транспортери зрізаної гички; 4 – викопуючий пристрій; 5, 6 – відповідно, вертикальний і поперечний транспортери коренеплодів

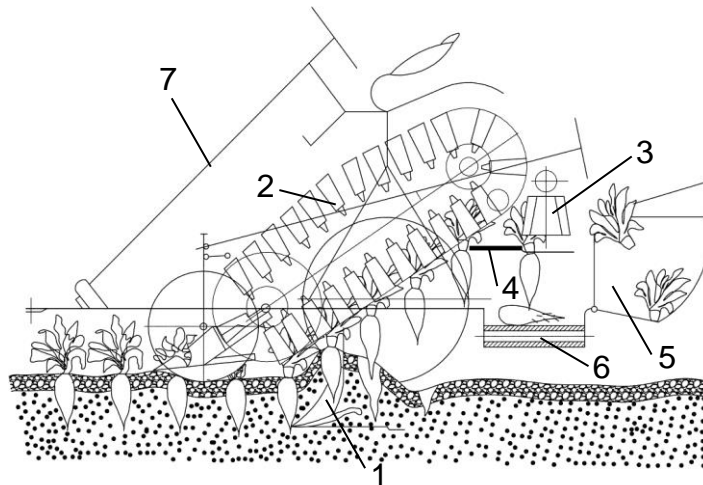


Рисунок 1.7 – Конструктивно-технологічна схема коренезбиральної машини брального типу СКЕМ-3: 1 – підкопувальна лапа; 2 – бральний апарат; 3 – дисковий вирівнювач коренеплодів; 4 – обрізник гички; 5 – бункер зрізаної гички; 6 – транспортер коренеплодів; 7 – кермове колесо

Робочі органи комбайн СКЕМ-3 витягували з ґрунту за гичку лапами брального апарату 2 (рис. 1.7) підкопані лапами 1 коренеплоди, вирівнювали коренеплоди з гичкою дисковим вирівнювачем і обрізували головку коренеплодів з залишками гички.

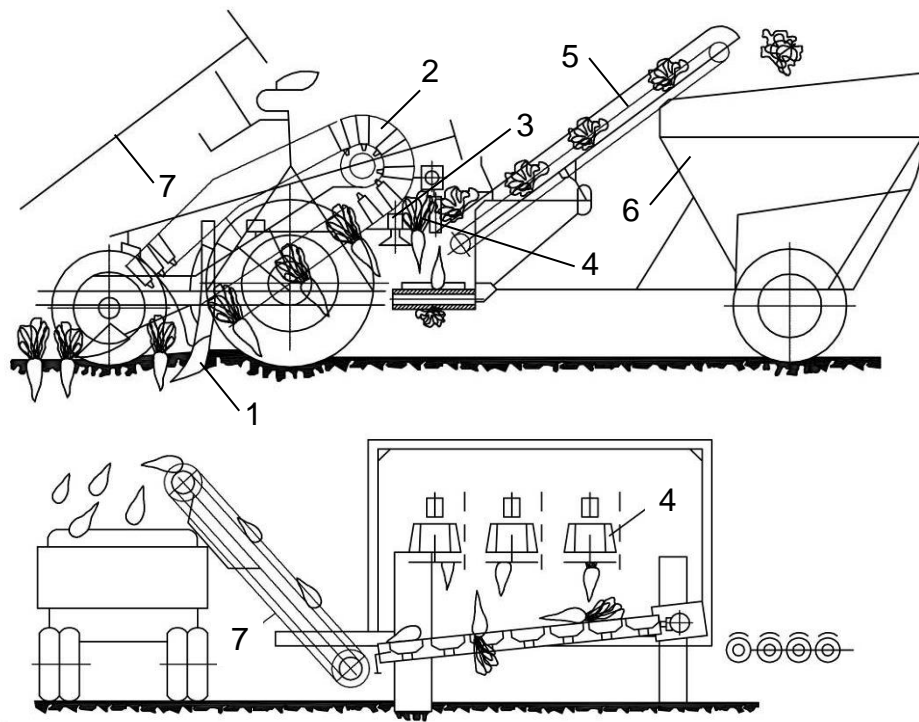


Рисунок 1.8 – Конструктивно-технологічна схема причіпного збиральної машини СПТ-3: 1 – підкопувальна лапа; 2 – бральний апарат; 3 – дисковий вирівнювач коренеплодів; 4 – обрізник гички; 5 – транспортер зрізаної гички; 6 – бункер зрізаної гички; 7 – транспортер коренеплодів; 7 – кермове колесо

Характерною особливістю комбайна СПТ-3 було те, що коренеплоди перед обрізуванням гички з їх головок вирівнювали до певної заданої висоти відносно головки. Для цього було застосовано спеціальний конічний дисковий вирівнювач 3 (рис. 1.8) і активний дисковий ніж 4 [14].

Проте, зважаючи на ранні осінні заморозки в бурякосіючих регіонах України та, відповідно, великі втрати коренеплодів під час витягування їх за приморожену гичку науковці та інженери конструктори Дніпропетровського комбайнового заводу продовжували пошук більш удосконалених конструкцій гичкозрізувальних апаратів брального типу – у 1969 році розроблено та введено у виробництво коренезбиральні машин КСТ-3 (рис. 1.9), КСТ-3А та КСТ-3Б.

Головки коренеплодів вирівнювалися та обрізувалися дисковим вирівнювачем-обрізником 2 (рис. 1.9), а зрізана гичка пневматичним металником 5 завантажувалася у візок 6, причепленим позаду комбайна.



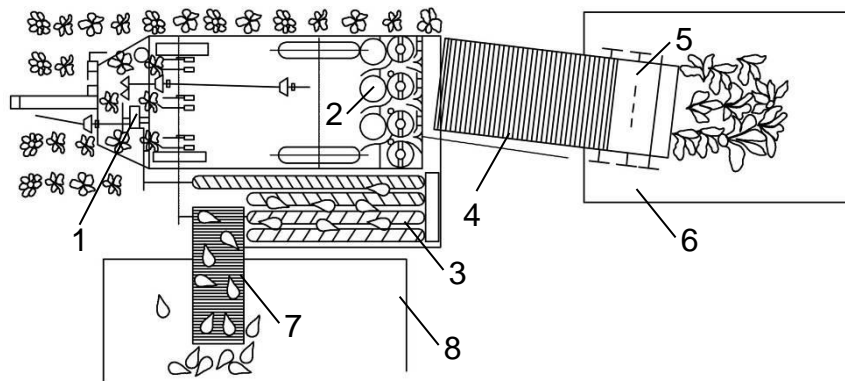


Рисунок 1.9 – Конструктивно-технологічна схема коренезбиральної машини КСТ-3: 1 – гичкозрізувальний пристрій; 2 – дисковий вирівнювач-обрізник гички; 3 – шнековий очисник вороху; 4 – транспортер зрізаної гички; 5 – металевих гички; 6 – візок зрізаної гички; 7 – завантажувальний транспортер коренеплодів; 8 – транспортний засіб

Проте показники якості роботи даних машин функціонально залежали від умов роботи, стану гички (прив'ялене та приморожене листя гички) та забур'яненості насаджень коренеплодів, при цьому втрати на поверхні ґрунту сягали до 10...15% [15].

Зважаючи на це, науковцями та інженерно-конструкторськими спеціалістами (Погорілий Л.В. та ін.) було прийнято рішення розпочати дослідження та розробку удосконалених конструкцій збиральної техніки, яка б усувала технологічну операцію витягування підкопаних коренеплодів з ґрунту за гичку. Тобто можливості підвищення якісних показників роботи гичкозрізувальних апаратів брального типу було вичерпано [16].

Основним напрямком технологічного удосконалення зрізування гички було вибрано спосіб зрізування гички з головок коренеплодів на корені, тобто перед початком їх викопування з ґрунту.

Прийнявши за основу схему комбайна СК-4 в Україні було поставлено на серійне виробництво причіпну коренезбиральну машину СКН-2 (рис. 1.10).

Гичкозрізувальний апарат було встановлено фронтально с правого боку основної рами дворядної за яким розміщували приводний горизонтальний лопатевий очисник головок коренеплодів.

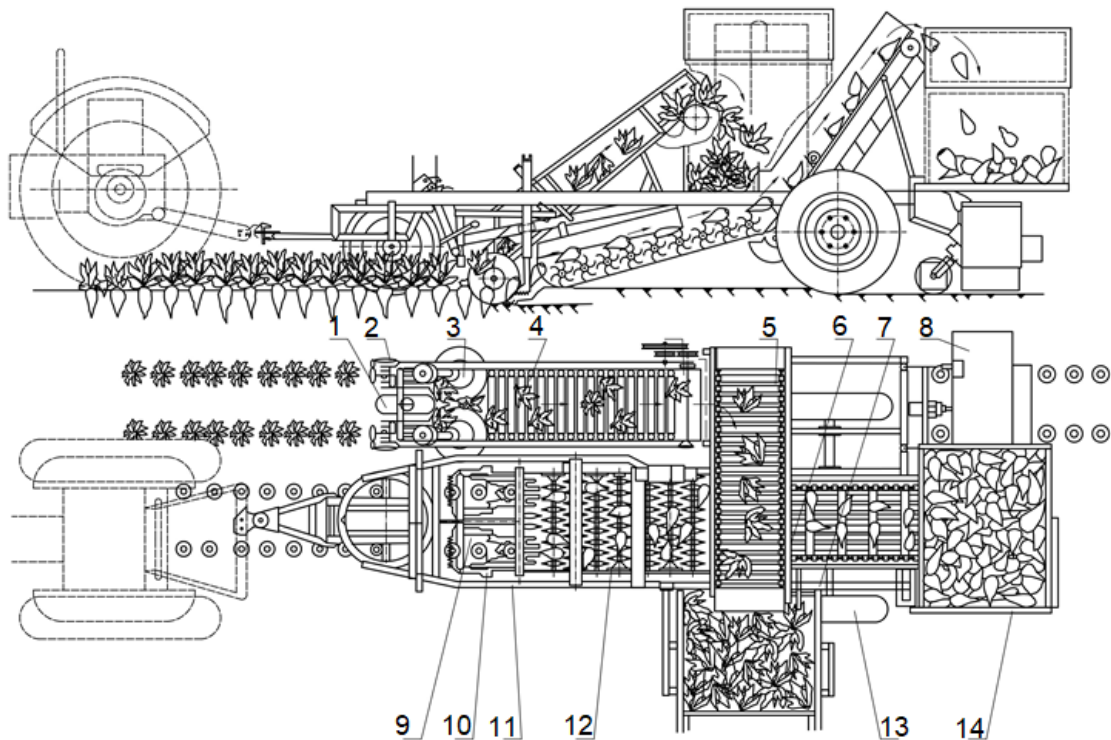


Рисунок 1.10 – Конструктивно-технологічна схема причіпного комбайна СКН-2: 1 – копіювальне колесо; 2 – пасивний гребінчастий копір; 3 – дисковий ніж; 4, 5 – транспортер гички; 6 – бітер; 7 – перехідна ємність для зрізаної гички; 8 – лопатевий очисник; 9 – копач; 10 – дисковий копач; 11 – рама; 12 – очисник-транспортер вороху; 13 – опорне колесо; 14 – бункер коренеплодів

Робочі органи комбайна СКН-2 зрізували гичку гичкозрізувальним апаратом, який було виконано за схемою активний дисковий ніж 3 (рис. 1.10) та пасивний копір 2. Залишки гички з головок коренеплодів доочищували лопатевим очисником 8. Зрізану гичку завантажували транспортером 2 у причеплену позаду комбайна перехідну ємність 7.

Дворядний та трирядний комбайни, відповідно, СКД-2 (рис. 1.11) та СКД-3 на відмінну від комбайна СКН-3 було вже виконано за схемою послідовного розташування гичкозрізувального апарату 1 та робочих органів для викопування коренеплодів.

Технологічний процес зрізування гички з головок невикопаних коренеплодів був аналогічний процесу роботи коренезбирального комбайна СКН-3.

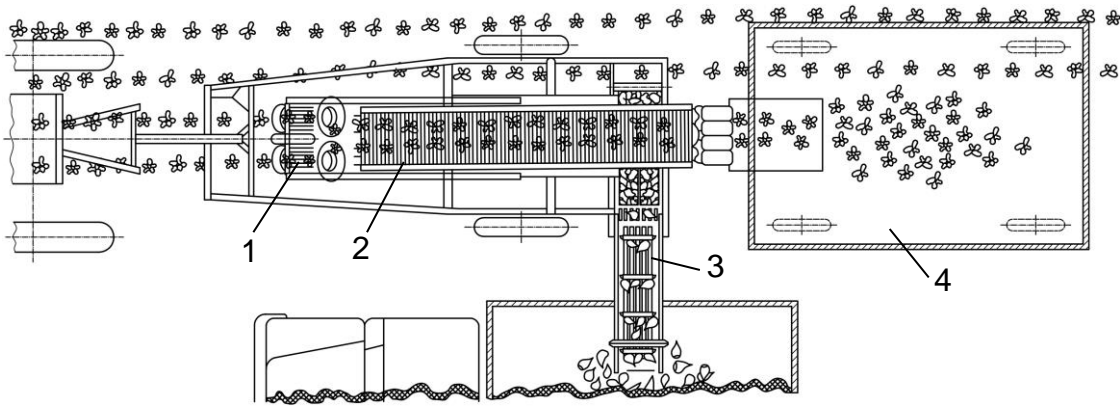


Рисунок 1.11 – Конструктивно-технологічна схема комбайна СКД-2: 1 – гичкозрізувальний апарат; 2 – транспортер зрізаної гички; 3 – транспортер викопаних коренеплодів; 4 – перехідна ємність для гички

Розроблені та впроваджені на той час в виробництво коренезбиральні комбайни на початку 70-х років минулого століття частково вирішували задачі механізованого збирання коренеплодів. Але зростаючий попит на продукцію переробки цукрових і кормових буряків (забезпечення населення цукром, а тваринництва кормами) потребувало більш значного збільшення посівів коренеплодів, що призводило до збільшення посівних площ коренеплодів і довжини гону одного проходу машини до 1 км [17].

Збільшення рядності машини (ширини захвату) призвело до того, що незначна потужність силових агрегатів вже не забезпечувала агрегування коренезбирального комбайна, який одночасно збирав гичку і коренеплоди в перехідні ємності [17, 18].

Тому було запропоновано застосовувати роздільний спосіб збирання коренеплодів, який реалізовувався за 2 або 3 фази технологічних операцій, при цьому кожен окрему фазу збирання (зрізування гички, викопування коренеплодів і укладання їх у валок тощо) виконував один скомплектований агрегат «трактор + збиральна машина».

Початком реалізації роздільного способу збирання коренеплодів була розробка комбайна фірми «Моро» (рис. 1.12), який зрізував гичку гичкозрізувальним пристроєм, виконаним за принципом «активний гусеничний копір 1-активний дисковий ніж 2».

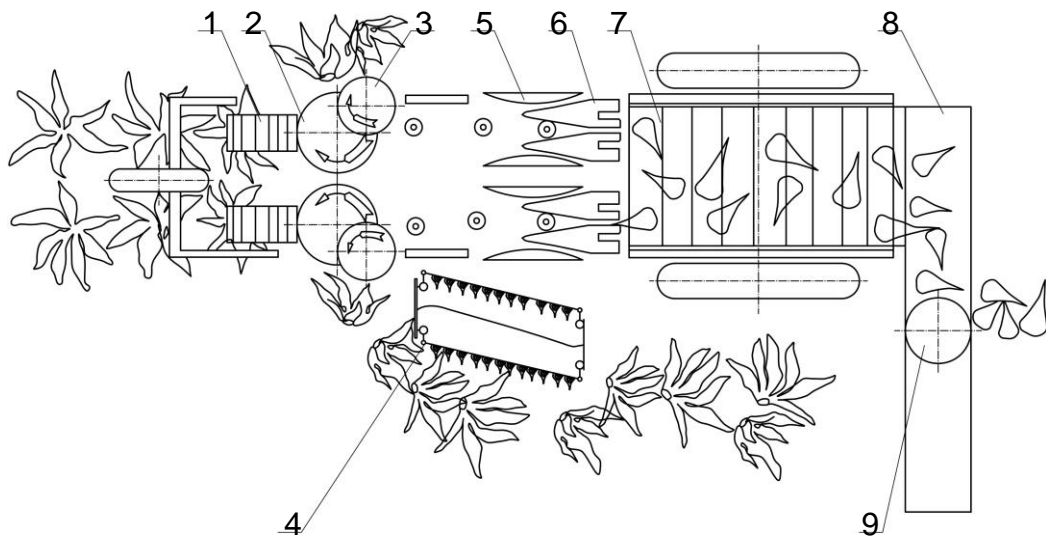


Рисунок 1.12 – Конструктивно-технологічна схема комбайна фірми «Моро»: 1 – активний гусеничний копір; 2 – дисковий ніж; 3 – активний зіштовхувач зрізаної гички; 4 – ротаційні граблі гички; 5 – підкопувальний диск; 6 – леміш; 7 – поздовжній транспортер; 8 – поперечний транспортер; 9 – зіштовхувач коренеплодів

Зрізана гичка відводилася активним зіштовхувачем 3 з дискового ножа 2 на зібране поле, а потім ротаційними граблями 4 переміщувалася далі від бічної сторони машини, а викопані коренеплоди укладалися у окремий валок на місце початкового розташування гички, яку надходила з дискового ножа.

У подальшому рядність комбайна було збільшено до шести рядків.

Коренезбиральний комплекс, який складався з коренезбирального комбайна Е-711 (рис. 1.13) або Е-734 та підбирача валків гички Т-125 також виконував операції одночасного збирання коренеплодів з шести рядків, при цьому:

- за перший та другий прохід машини гичку з коренеплодів зрізували з перших трьох рядків гичкозрізувальним апаратом 7 з одночасним укладанням гички зрізаної з шести рядків у валок на зібране поле за допомогою транспортера гички 1 та перекидного лотка 2;

- одночасно викопували коренеплоди без гички з трьох інших рядків, які є суміжними тим трьом рядкам з яких зрізується гичка;

- утворений валок гички підбирали підбирачем Т-125

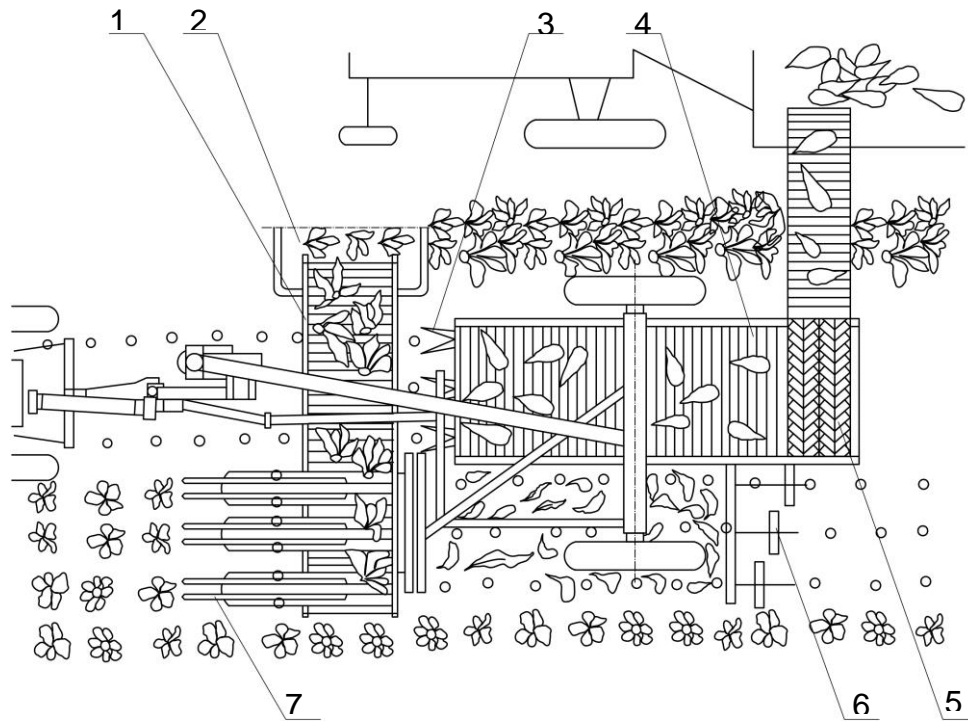


Рисунок 1.13 – Конструктивно-технологічна схема коренезбиральної машини Е-711: 1 – транспортер зрізаної гички; 2 – перекидний лоток для укладання гички у валок; 3 – копачі; 4 – повздовжній транспортер; 5 – очисник вороху; 6 – очисник міжрядь коренеплодів; 7 – гичкозрізувальний апарат

Вперше конструктивно-компонувальні схеми причіпних комбайнів фірми Фармхенд (Фармхенд-350, рис. 1.14) і «Джон Дір» було побудовано за блочно-модульною схемою. Для зрізування гички застосовували окремий гичкозрізувальний апарат дискового типу 5, 6 з пасивним гребінчастим копиром 2, який навішували до рами трактора в між колісні базі, а модуль для викопування коренеплодів – причіплювали до заднього причіпного пристрою трактора.

За один прохід шестирядного самохідного копача фірми «Боліндв-Мунтнелль» (рис. 1.15) виконувалися всі основні операції збирання гички та коренеплодів:

- гичку зрізували («скошували») шнековим гичкорізом 1, який мав плоскі сегментні ножі та який встановлювали спереду машин за принципом безкопірного зрізування головок коренеплодів і укладали у валок;

- викопані коренеплоди укладали у валок, а валок підбирали підбирачем.

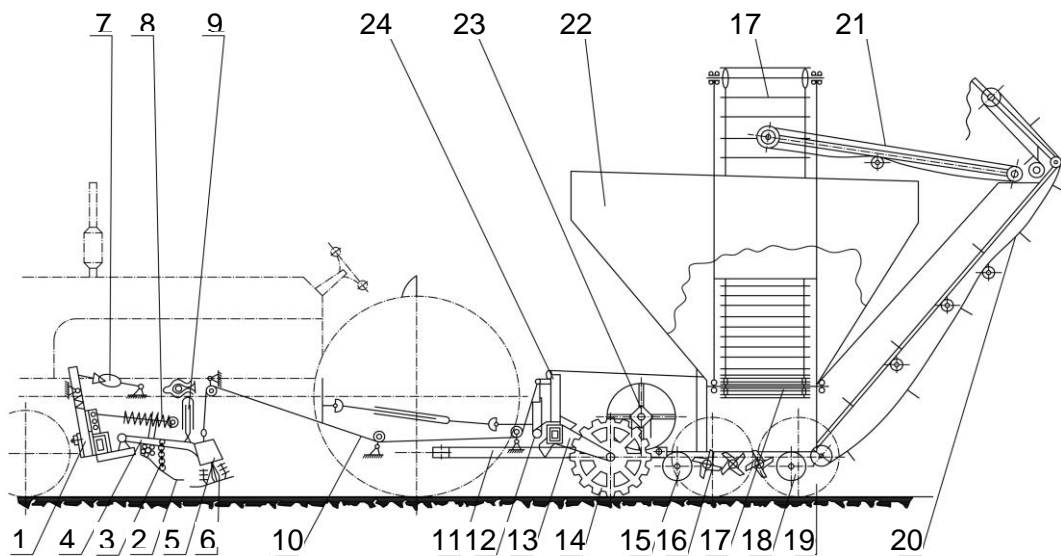


Рисунок 1.14 – Конструктивна схема збирального комбайна фірми «Фармхенд-350»: 1 – автомат керування; 2 – копір; 3 – пружина; 4 – тяга; 5, 6 – кожух і гичкозрізувальний диск; 7 – механізм регулювання щупа; 8 – пружина копіра; 9 – гідроциліндр; 10 – механізм регулювання дискового ножа зрізування гички; 11 – сниця; 12 – тяга; 13, 14 – копач; 15, 18 – вал; 16 – очисник вороху; 17, 20, 21 – транспортери; 19 – опорне колесо; 22 – бункер; 23 – бітер; 24 – рама

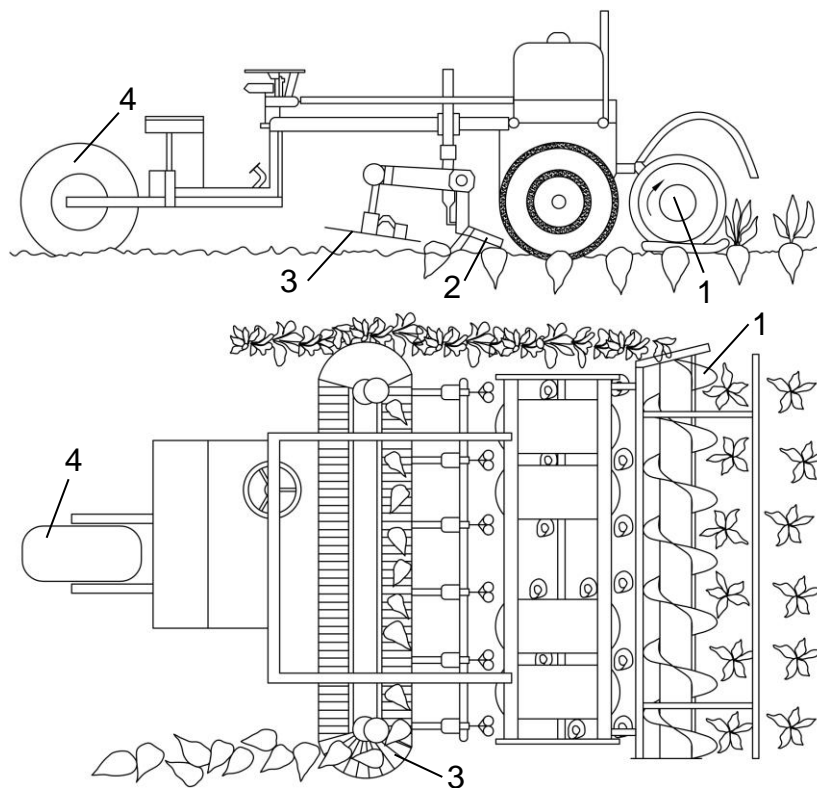


Рисунок 1.15 – Схема машини фірми «Боліндв-Мунтнелъ»: 1 – гичкоріз шнекового типу; 2 – копач; 3 – замкнутий очисник вороху коренеплодів; 4 – опорне колесо

Конструктивний прорив відбувся у процесі технічного проектування компактних малогабаритних робочих модулів для зрізування гички та інших модульних систем коренезбиральної машини.

Вперше компоувальну схему самохідного комбайна “Бета Кинг” було виконано на основі розміщення гичкозрізувального модуля спереду керованих коліс, який виконував двостадійне обрізування: на першій стадії роторний гичкоріз 1 (рис. 1.16) зрізував основний масив гички, яка шнековим конвеєром 2 переміщувалася до вивантажувального транспортера 3; на другій стадії обрізник 5 головок коренеплодів обрізував залишки гички системою 6 «пасивний копір-пасивний ніж».

Ця конструктивна розробка надала поштовх процесам подальшого конструктивно-технологічного удосконалення та модернізації робочих органів гичкозрізувальних модулів коренезбиральної техніки.

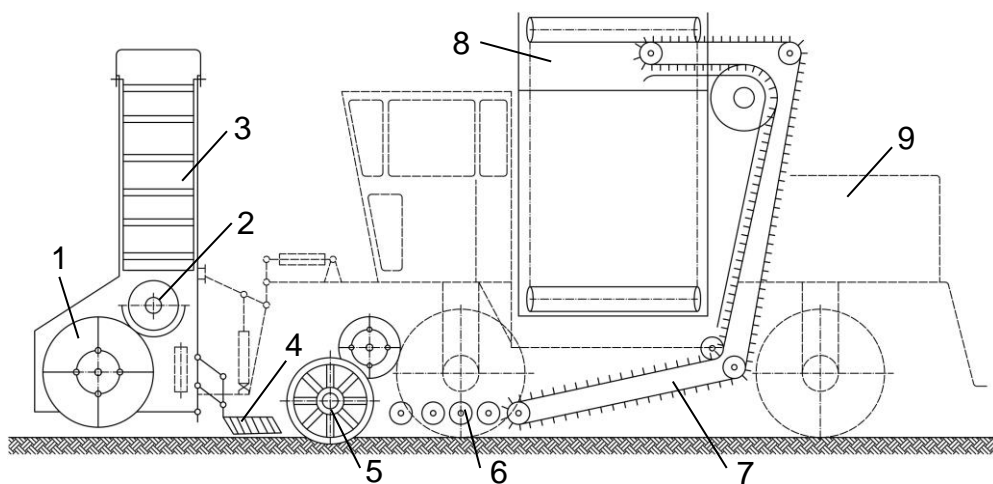


Рисунок 1.16 – Конструктивна схема самохідного комбайна “Бета Кинг”:  
 1 – роторний гичкоріз; 2 – шнековий транспортер зрізаної гички;  
 3 – вивантажувальний елеватор гички; 4 – обрізник головок коренеплодів «пасивний копір-пасивний ніж»; 5 – модуль викопування коренеплодів; 6 – модуль очищення вороху; 7, 8 – завантажувальний та вивантажувальний транспортер; 9 – двигун

У подальшому зрізану гичку формували в повздовжні валки (рис. 1.17а), або завантажували у технологічний транспорт (рис. 1.17б) гичкозрізувальним модулем, який навішували на передню начіпку трактора (рис. 1.17а, б).

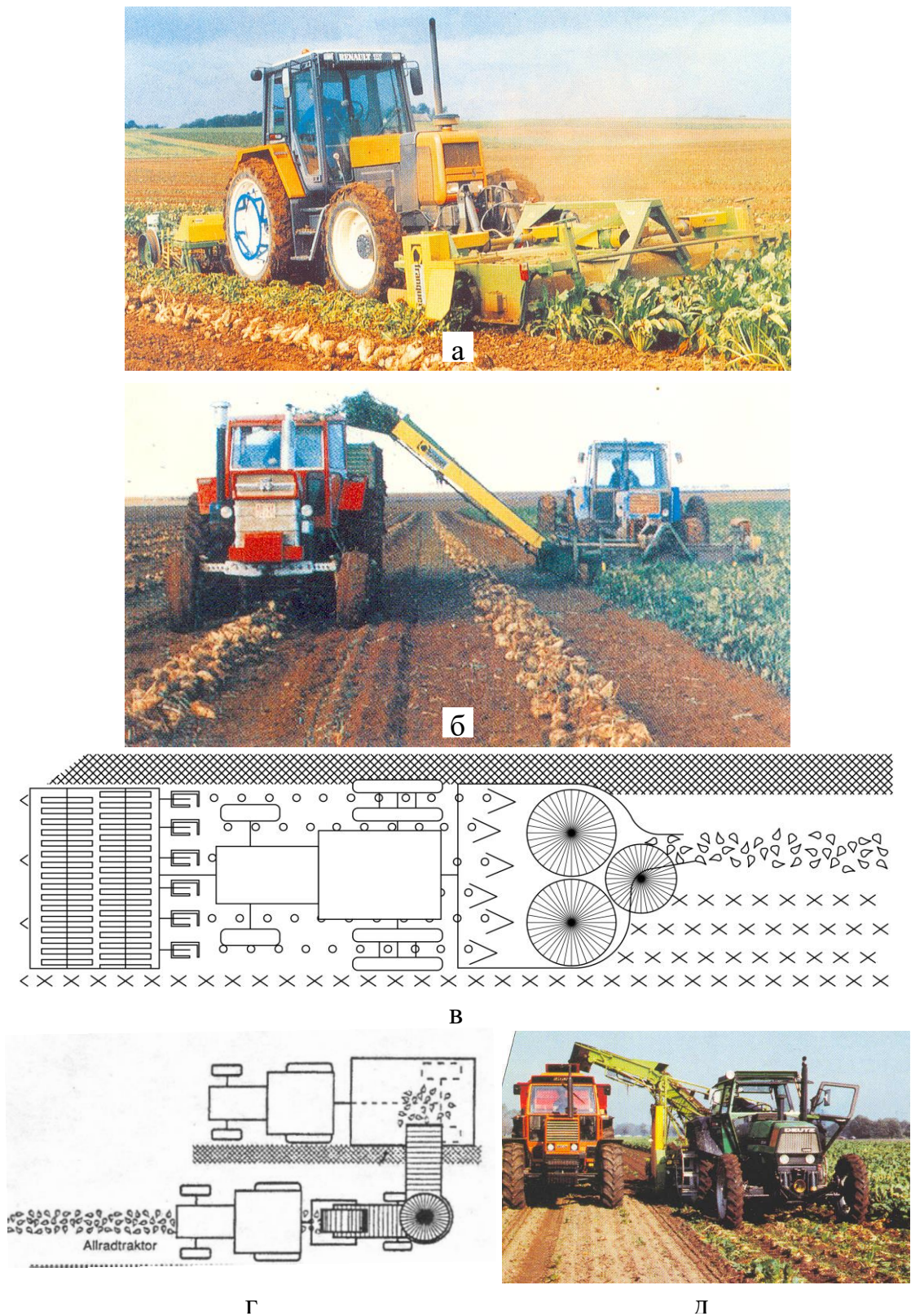


Рисунок 1.16 – Операції способу збирання коренеплодів: а – зрізування гички та формування валка гички; б – зрізування гички та її завантаження у технологічний транспорт; в – викопування коренеплодів і формування валка коренеплодів; г – підбирання валка коренеплодів; д – викопування коренеплодів і їх завантаження у технологічний транспорт



Модуль викопування коренеплодів начіплювали на задню начіпку трактора. При цьому викопані коренеплоди формували у поздовжні валки (рис. 1.15, рис. 1.17а, б, в), які потім підбирали підбирачем-навантажувачем (рис. 1.17г), або безпосередньо викопували коренеплоди та завантажували їх у технологічний транспорт за другий прохід коренезбирального агрегату у складі трактор + коренезбиральна машина, рис. 1.17д.

Але характерна особливість, або послідовність реалізації технологічних операцій роздільної технології збирання кожним агрегатом, як гички, так і коренеплодів призводила до невимушених зупинок одного з збиральних комплексів у разі затримки (поломки, незадовільної маневреності тощо) попереднього збирального агрегату [19, 20].

Для підвищення рентабельності виробництва коренеплодів з середніх посівних площ (збільшення продуктивності роботи, зменшення кількості обслуговуючого персоналу тощо) окремі збиральні агрегати (для зрізування гички, для викопування коренеплодів, для підбирання валків тощо) було об'єднано в один збиральний агрегат, який одночасно виконував всі основні операції збирання коренеплодів: зрізування та формування валка гички шнековим конвеєром; викопування коренеплодів; завантаження викопаних коренеплодів у технологічний транспорт. При цьому модуль для зрізування гички начіплювали спереду трактора, а модуль викопування та завантаження коренеплодів причіплювали до задньої причіпної системи, рис. 1.18.

Проте незадовільні показники якості обрізування гички дисковими та шнековими гичкорізальними пристроями (втрати гички – до 10...20 %, значні сколки головки, пошкодження коренеплодів – до 15...25 % [21, 22, 23]) приводили до значного забруднення викопаних коренеплодів рослинними домішками, що потребувало додаткових витрат праці під час переробки та використання сировини [24].

Тому науковці країн Європи проводили виробничі пошуки більш прогресивних розробок машин для збирання коренеплодів. Так, на самохідному комбайні фірми “Моро” АТ-62, АТ-64 (рис. 1.19) було встановлено горизонтальний роторний гичкоріз, який виконував безкопірне зрізування основного масиву гички.



Рисунок 1.18 – Коренезбиральний агрегат фірми «Стенден»

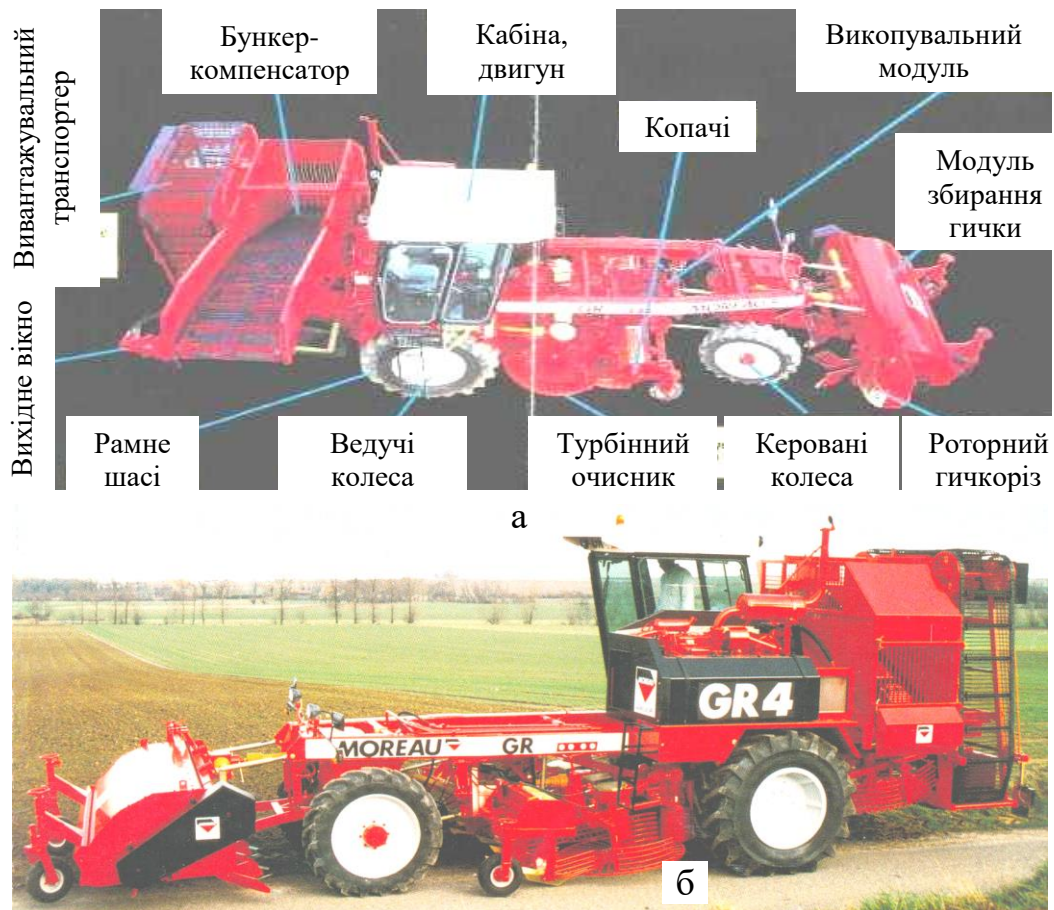


Рисунок 1.19 – Коренезбиральні машин: а – АТ-62; б – АТ-64

Гичкоріз встановлювався спереду керованих коліс, при цьому за гичкорізом і за передніми колесами розташовувався обрізник головок коренеплодів, який пасивними ножами обрізував залишки гички.

Ця конструкція двостадійного гичкозрізувального апарата була покладена в основу розробки гичкозбиральних модулів сучасних збиральних комбайнів.

## 1.2. Аналіз конструкцій обрізників залишків гички та обґрунтування вибору робочого органу

Передумовою проведення аналізу сучасних тенденцій, які характеризують конструктивні особливості обрізників гички з головок коренеплодів необхідно акцентувати або класифікувати основні підготовчі операції, що передують процесам зрізування гички та наступної за ними операції викопування коренеплодів, рис. 1.20.

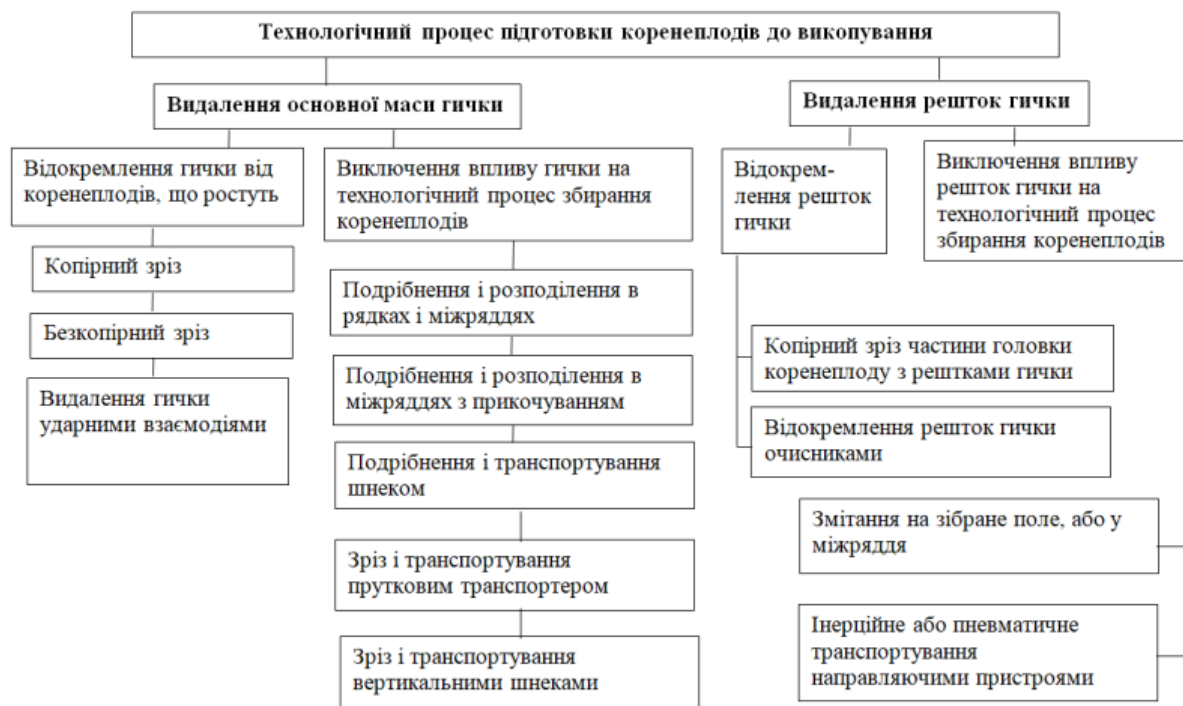


Рисунок 1.20 – Класифікація основних підготовчих операцій збирання гички коренеплодів

Основою для застосування різних конструкцій гичкозрізувальних апаратів основного масиву гички, а в подальшому і обрізників залишків гички з головок коренеплодів (додаток А.1.2) було впровадження у виробництво запропонованої технології збирання коренеплодів, а відповідно і способу збирання гички.

Потреба в розроблені та удосконалені технічних засобів для обрізування залишків гички з головок коренеплодів виникла у процесі впровадження двостадійного способу зрізування гички в кінці 50-х років минулого століття.

Такий спосіб передбачав зрізування основного масиву гички з наступним обрізуванням залишків гички з головок коренеплодів [25, 26].

Основні технології та операції двостадійного зрізування гички, які застосовувалися раніше та застосовуються на сучасному етапі збирання коренеплодів (в тому числі і збирання коренеплодів цикорію кореневого) наведено на рис. 1.21.

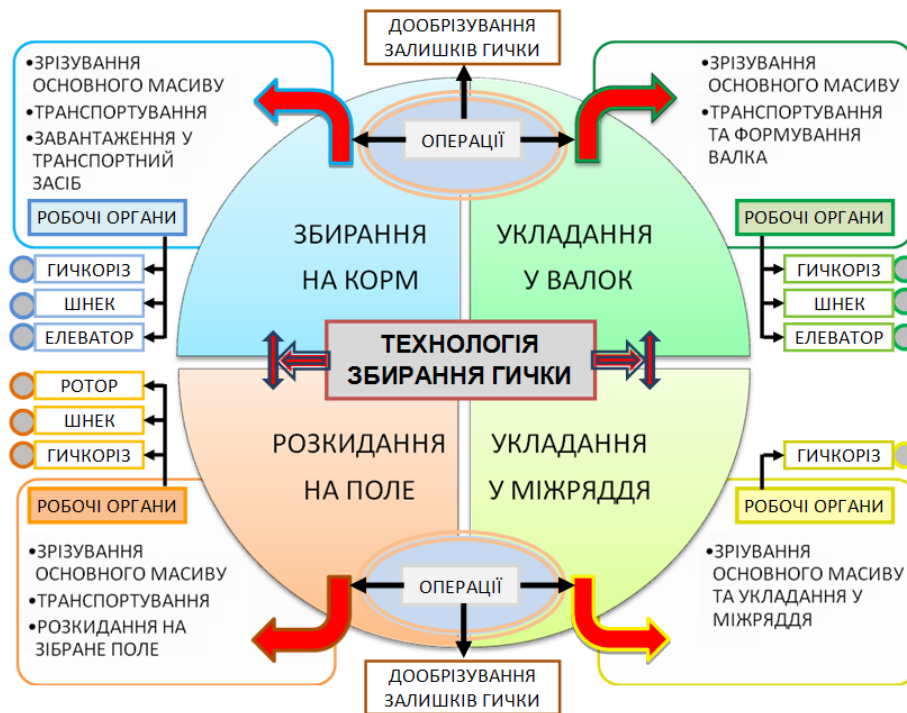


Рисунок 1.21 – Технології та операції двостадійного способу зрізування гички коренеплодів

Аналіз різноманітних конструкцій робочих органів обрізників, які виконували другу стадію дообрізування залишків гички з головок коренеплодів на відповідних етапах впроваджених технологій збирання гички крупних коренеплодів (цукрових і кормових буряків, коренеплодів цикорію) наведено в багатьох наукових працях, як вітчизняних [27 – 38], так і зарубіжних [39 – 45] вчених і дослідників.

Основні характеристики коренеплодів і гички цикорію наведено у додатку А.2.2, а основні конструктивно-компонувальні схеми обрізників наведено в додатку А.3.2. В них описано та проаналізовано способи обрізування та конструктивні особливості обрізників залишків гички з головок коренеплодів, їх переваги та недоліки.

Це зумовлювали пошук та розробку більш досконалих технічних рішень, робочі органи яких виконують технологічний процес зрізування залишків гички з головок коренеплодів.

Класифікація обрізників залишків гички з головок коренеплодів наведена на рис. 1.22.

За принципом або способом зрізування залишків гички з головок коренеплодів було розроблено або впроваджено в виробництво основні чотири типи обрізників, які побудовані за конструкцією робочих органів: «активний копір-активний ніж»; «активний копір-пасивний ніж»; «пасивний копір-активний ніж»; «пасивний копір-пасивний ніж».

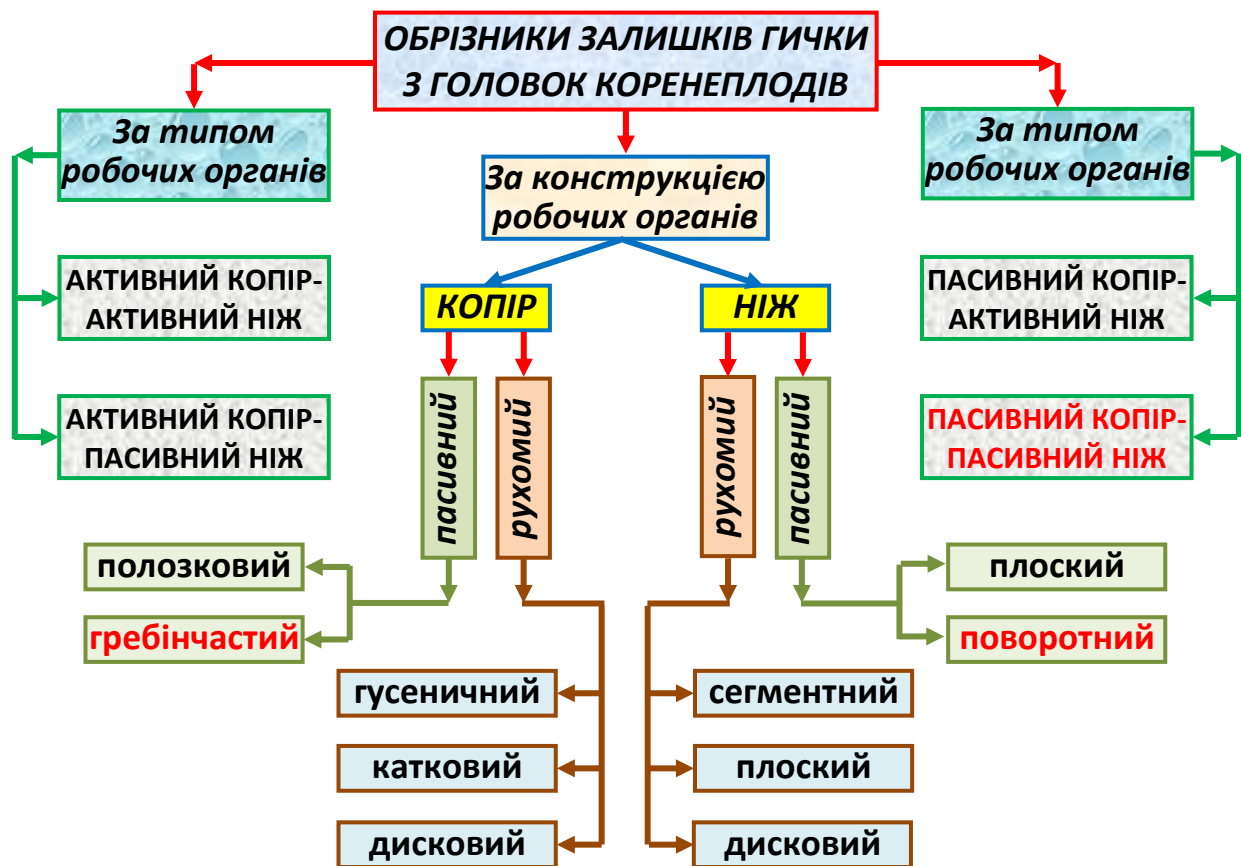


Рисунок 1.22 – Класифікація обрізників залишків гички з головок коренеплодів

Робочі органи першого типу обрізника, який було виконано за принципом «активний копір-активний ніж» під час копіювання та обрізування головок призводили до значних травмувань, як тіла, так і головки коренеплодів за рахунок сумарної подвійної динамічної взаємодії на коренеплід, як активного

копіра гусеничного або дискового типу, так і активного ножа сегментного, плоского або дискового типу. Це значно збільшувало пошкодження (до 5...7 %) та вивалювання (до 20...35 %) коренеплодів з ґрунту, показники яких не задовольняли агротехнічні вимоги [46, 47].

Тому широкого застосування такий тип обрізника залишків гички з головок коренеплодів, виконаний за принципом «активний копір-активний ніж» не отримав і не був впроваджений у виробництво [48], як і другий тип обрізника, який поєднував в собі активний катковий копір і пасивний плоский ніж [49].

Обрізник, який виконано за принципом «активний копір-пасивний ніж» здебільше використовували під час збирання кормових коренеплодів з урожайністю гички понад 35...45 т/га, яка у подальшому застосовувалася як соковитий корм для тваринництва [50, 51].

Але значна висота розташування головок коренеплодів кормових буряків відносно поверхні ґрунту, яка варіювала у мажах від 10 до 20 см сприяла значному вивалюванню коренеплодів з ґрунту (у межах від 25 до 40 %) за рахунок виникнення динамічного моменту сил, який діяв на головку коренеплоду [52].

Впроваджений у серійне виробництво третій тип обрізника, виконаного за схемою «пасивний копір-активний ніж» призначався для зрізування залишків гички з головок коренеплодів, які задовільно закріплені в ґрунті, або їх головки виступають над ґрунтом у межах 3...5 см [53].

Тому на наш погляд з точки зору раціонального підходу необхідно провести аналіз тих конструкцій обрізників залишків гички, які застосовуються на сучасних коренезбиральних машинах і які виконані за четвертою схемою «пасивний копір-пасивний ніж» та які реалізують другу стадію основних поширених технологій збирання, як основного масиву гички, так і обрізування залишків гички з головок коренеплодів на основі розробки шестирядних самохідних бункерних комбайнів провідних фірм світу, які побудовано за блочно-модульною системою розташування робочих органів, рис. 1.23, рис. 1.24, додаток А.4.2.

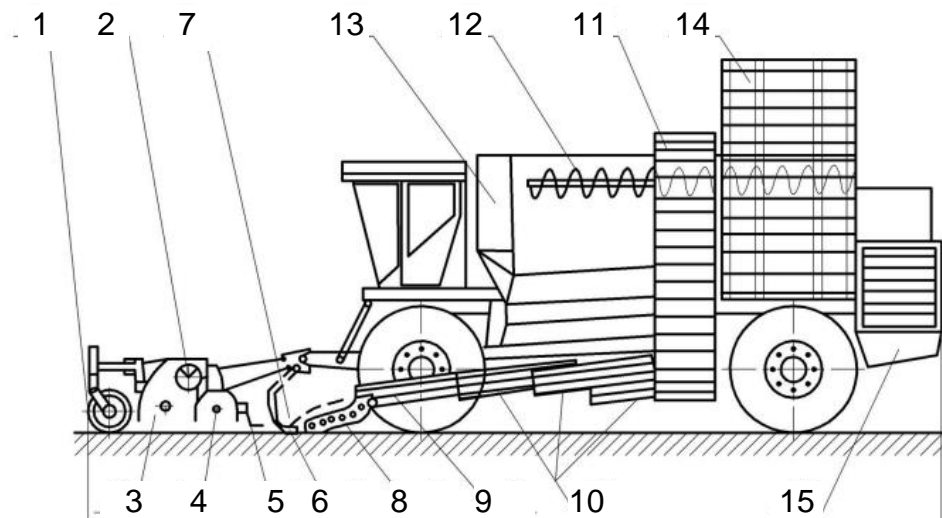


Рисунок 1.23 – Загальна конструктивно-компонувальна схема бункерного комбайна: 1, 2, 3, 4, 5 – робочі органи модуля зрізування гички; 6, 7 – робочі органи модуля викопування коренеплодів; 8, 9, 10 – робочі органи модуля очищення коренеплодів від домішок; 11, 12, 13, 14 – робочі органи модуля навантаження, накопичення, розрівнювання та розвантаження викопаних коренеплодів; 15 – силова установка

Базовими принципами компоновання модуля для збирання гички (зрізування основного масиву гички та обрізування залишків гички з головок коренеплодів) сучасних шестирядних самохідних бункерних комбайнів провідних фірм світу (рис. 1.24) є

- розташування модуля для збирання гички перед модулем викопування коренеплодів, або попереду керованих коліс;
- безкопірне зрізування основного масиву гички шарнірними ножами, які закріплено на барабані горизонтального роторного гичкоріза, рис. 1.25а;
- транспортування гички по траєкторії кожуха, який встановлено по периферії обертання ножів до шнекового конвеєра;
- вивантаження зрізаної гички на зібране поле;
- обрізування залишків гички з головок коренеплодів обрізником, який виконано за принципом (переважно до 85% всіх модифікацій збиральних комбайнів [54, 55]) «пасивний гребінчастий копір-пасивний плоский ніж», які встановлено на паралелограмній підвісці, рис. 1.25б, додаток А.5.2.



Рисунок 1.24 – Загальний вигляд шестирядних самохідних бункерних комбайнів: а – SF-10 “Кляйне”(Німеччина); б – “P.Varigelli & C” (Італія); в – “Moreau” (Франція); г, л – “Holmer” (Німеччин); д – “Ropa” (Німеччин); е – “Matro” (Франція); ж, к – SR-2500 “Tim” (Данія); з – “Tetra” (Італія)



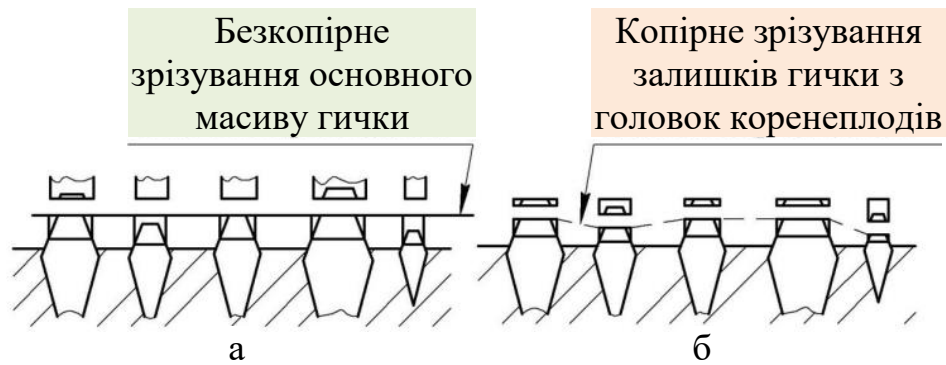


Рисунок 1.25 – Схема сучасного способу збирання гички коренеплодів

Типовим представником, або базовим варіантом виконання обрізника залишків гички з головок коренеплодів, який виконано за принципом «пасивний копір-пасивний ніж» є обрізники головок, які встановлено на гичкозбиральних модулях німецьких фірм «Kleine» (рис. 1.26), «Grimme» (рис. 1.27, додаток А.6.2), «Holmer» (рис. 1.28), французької фірми «Moreau», рис. 1.29, фірм «Gilles» і «Amity», рис. 1.30 та ін. [56, 57, 58].

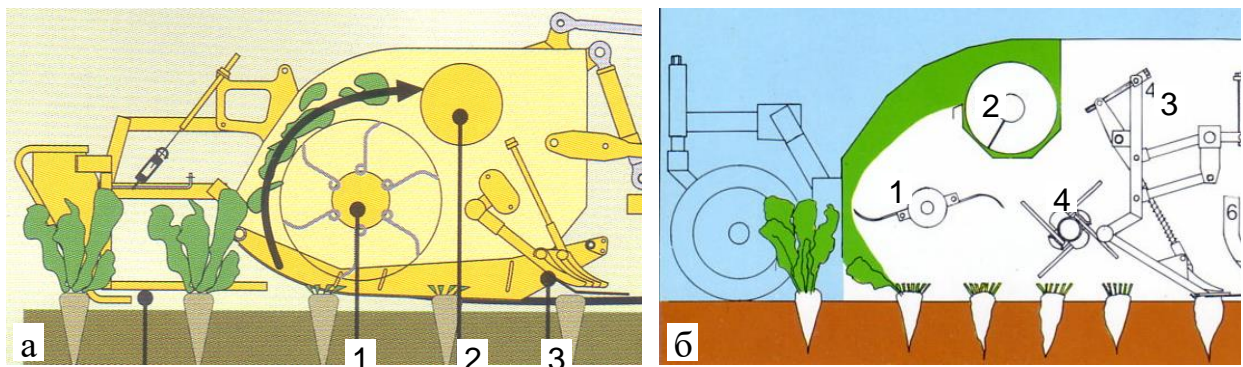


Рисунок 1.26 – Схема гичкозбирального модуля фірми "Kleine" (Німеччина): 1 – гичкоріз; 2 – шнек; 3 – обрізник; 4 – очисник головок

Проте таке конструктивне виконання обрізника залишків гички з головок коренеплодів, як правило, застосовується переважно під час збирання коренеплодів цукрових буряків, які відносно добре закріплені у ґрунті.

Проведені випробування таких обрізників під час обрізування головок коренеплодів, які розташовані над поверхнею ґрунту більше 7...10 см (коренеплоди кормових буряків, цикорію) довели недоцільність їх застосування за причиною значного вивалювання коренеплодів з ґрунту (до 15...20 %) та пошкодження (до 10...15%) коренеплодів [56-58].

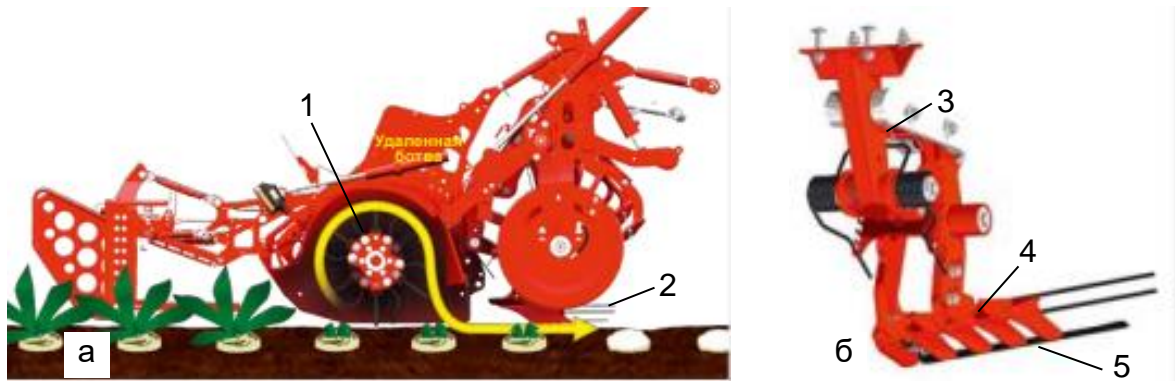


Рисунок 1.27 – Схема гичкозбирального модуля фірми «Grimme» (Німеччина): а – схема модуля; б – схема обрізника; 1 – гичкоріз; 2 – обрізник головок; 3 – паралелограмний механізм; 4 – пасивний копір; 5 – пасивний ніж

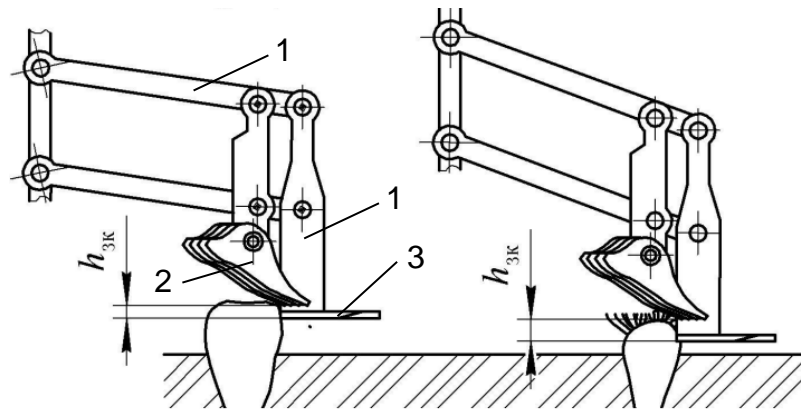


Рисунок 1.28 – Схема обрізника фірми «Holmer»: 1 – паралелограмний механізм; 2 – пасивний гребінчастий копір; 3 – пасивний ніж; 4 – кронштейн регулювальний

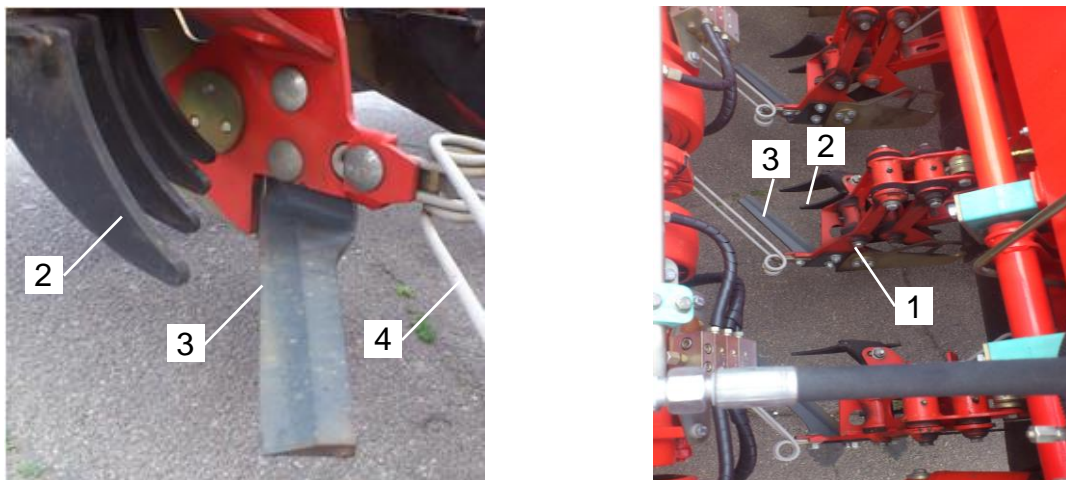


Рисунок 1.29 – Загальний вигляд обрізника фірми «Moreau» (Франція): 1 – паралелограмний механізм; 2 – пасивний гребінчастий копір; 3 – пасивний плоский ніж; 4 – зіштовхувач зрізаної гички

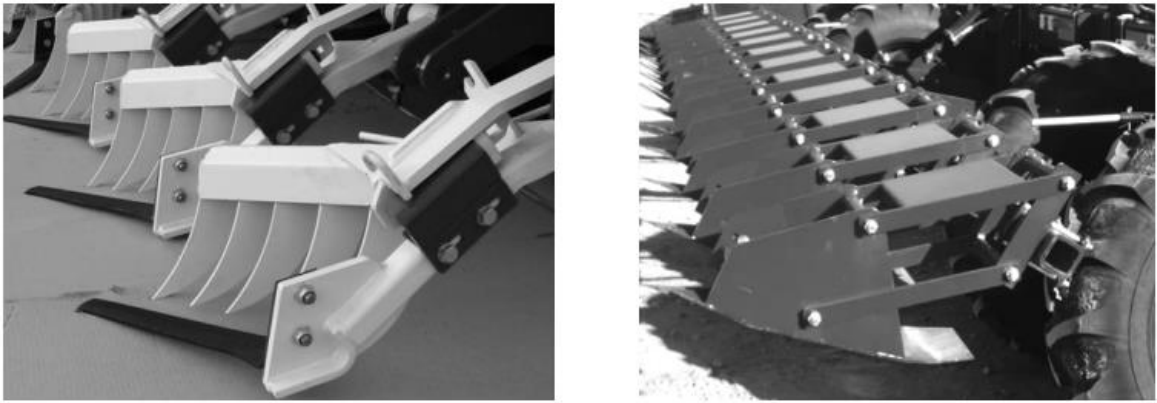


Рисунок 1.30 – Загальний вигляд обрізника фірм «Gilles» і «Amity»

В наукових працях Смаль М. В. [59-61] запропоновано обрізник залишків гички з головок коренеплодів, який побудовано за принципом «пасивний гребінчастий копір-підпружинений плоский ніж», рис. 1.31.

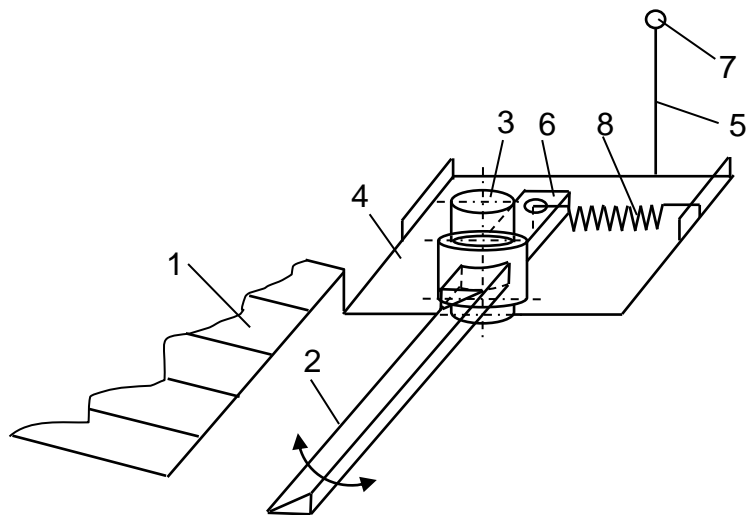


Рисунок 1.31 – Конструктивна схема обрізника: 1 – копір; 2 – плоский ніж; 3 – палець; 4 – плита; 5 – стояк; 6 – важіль; 7 – шарнір; 8 – пружина

Обрізник складається з пасивного копіра 1 (рис. 1.31), поворотного плоского ножа 2, який посаджено на нерухомий палець 3 та який закріплено на плиті 4. Ніж 2 виконано у вигляді двоплечевого важеля 6.

Плита 4 через стояк 5 та шарніра 7 зв'язана з паралелограмним механізмом. Плоский ніж 2 за допомогою пружини 8 виконано підпружиненим і повертається на пальці 3.

Під час прямолінійного руху гичкозбирального модуля копір 1 взаємодіє з головкою коренеплоду та наїжджає на неї.

Цей рух копіра 1 вверх через паралелограмний механізм передається ножу 2, який в процесі контакту з головкою коренеплоду повертається (відхиляється) на пальці 3 на заданий кут.

Одночасно з своїм відхиленням підпружинений ніж 2 виконує процес різання головки за принципом «ковзання» на відмінну від пасивного ножа, якому характерний принцип «рублення». Пружина 8 після закінчення процесу зрізування головки коренеплоду повертає ніж 2 в попереднє положення.

В дисертаційній роботі Цюнь Г. [62] та наукових працях [63-68] запропоновано гребінчастий копір 2 (рис. 1.32) встановлювати на амортизаторі 3, який виконано у вигляді пружної прокладки.

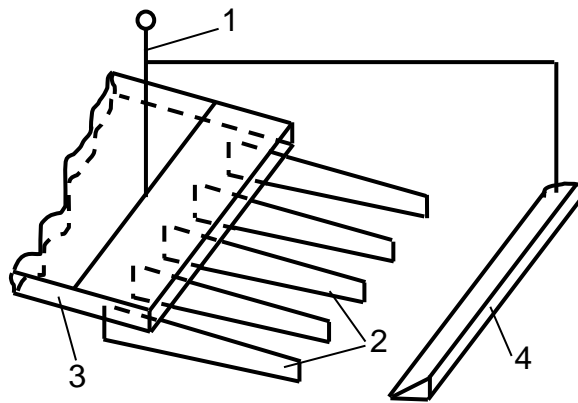


Рисунок 1.32 – Схема поєднання пасивного гребінчастого копіра та амортизатора: 1 – паралелограмна підвіска; 2 – копір; 3 – амортизатор; 4 – пасивний ніж

При цьому амортизатор жорстко зв'язаний з паралелограмною підвіскою 1 та пасивним ножем 4.

Перевагою такого обрізника є те, що амортизатор 3 зменшує силу удару копіра по головці коренеплоду за рахунок компенсації частини енергії, яка припадає на деформування амортизатора (пружної прокладки). Це призводить до зменшення кількості вивалених або пошкоджених коренеплодів.

В працях Цюнь О.П. [69-71] наведено конструкцію обрізника залишків гички з головок коренеплодів в якого плоский ніж 4 (рис. 1.33) запропоновано виконувати активним з зворотно-поступальним переміщенням ножа в горизонтальній площині. Переміщення ножа виконується за рахунок включення-виключення електромагніту 7.

В обрізувачі головок коренеплодів (рис. 1.34а) ніж 4 змонтовано на двох нерухомих осях 5, які закріплено в поздовжніх пазах 6, які паралельні різальній кромці 7 ножа. Ніж виконано підпружиненим за рахунок Г-подібної пружини 8, яку встановлено на одну з осей 5. При цьому загнутий кінець пружини закріплено в пазу 9 ножа 4 [72].

Під час контактної взаємодії ножа 4 з головкою коренеплоду відбувається паралельне переміщення різальної кромки 7 Г-подібного ножа в напрямку поздовжніх пазів 6.

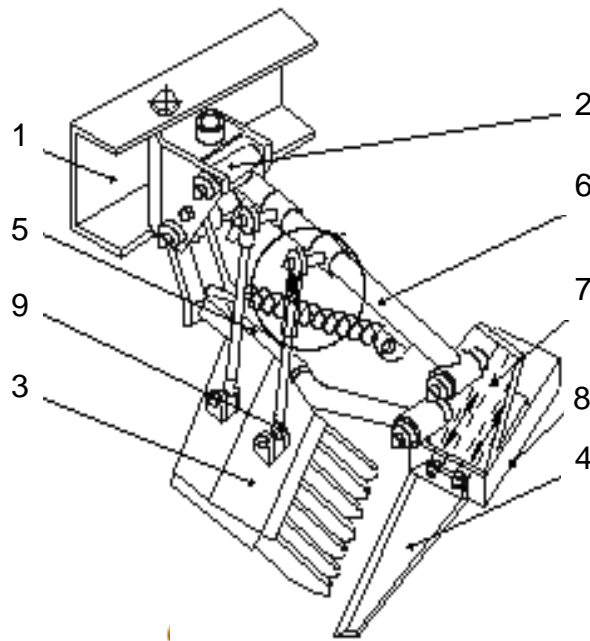


Рисунок 1.33 – Схема обрізника: 1 – рама; 2, 9 – шарніри; 3 – плита копіра; 4 – ніж; 5, 6 – тяга; 7 – електромагніт; 8 – плита електромагніту

Обрізник залишків гички з головок коренеплодів (рис. 1.34б) на відміну від обрізника, який наведено на рис. 1.34а відрізняється тим, що Г-подібна пружина 8 має С-подібну форму, причому вона встановлена в пазу 10 фіксатора 11, а фіксатор встановлено на копіру 3, водну із стінок якого закріплено регулювальний гвинт 12 [73].

При русі обрізувача по рядках цукрових буряків, з попередньо високо видаленою гичкою на одному рівні від поверхні ґрунту гребінчастий копір 3 наїжджає на головки коренеплодів, копіює їх і за допомогою паралелограмної підвіски 2, прикріпленої до рами 1, передає ці рухи ножу 4.

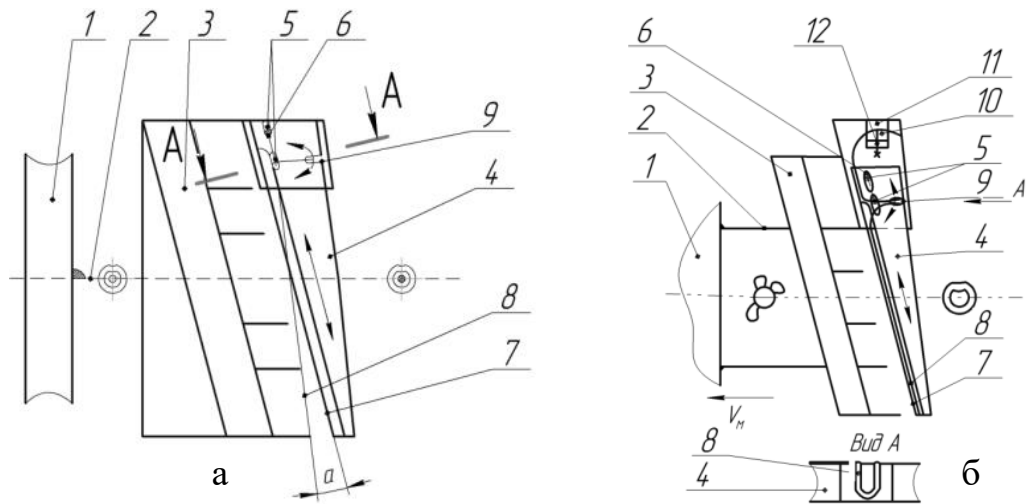


Рисунок 1.34 – Схема обрізувача гички з головок коренеплодів: 1 – рама обрізувача; 2 – паралелограмний механізм; 3 – гребінчастий копір; 4 – ніж; 5 – нерухома вісь; 6 – поздовжній паз; 7 – кромка ножа; 8 – Г-подібна пружина; 9 – паз ножа; 10 – паз фіксатора; 11 – фіксатор; 12 – гвинт

В процесі зрізування головок коренеплодів із залишками гички довша сторона пружини 8 відхиляється під дією зрізаного залишку коренеплодів цукрових буряків, внаслідок чого відбувається поворот довшої сторони пружини 8 навколо осі 5 і за рахунок взаємодії загнутого кінця меншої 36 сторони з пазом 9 ножа 4 відбувається його рух у поздовжніх пазах 6 паралельно різальній кромці 7.

В процесі взаємодії ножа 4 з головками коренеплодів цукрових буряків, розміщених в рядках, він виконує зворотно-поступальний рух, взаємодіючи з залишком гички в одну сторону, і в іншу, під час проходження проміжків між буряками, за рахунок дії на паз 9 С-подібного продовження пружини 8, яка має змінну жорсткість, що створюється стопорінням її вільного кінця в пазу 10 фіксатора 11 гвинтом 12.

Тому що віддаль від паза 9 до точки взаємодії довшої сторони пружини 8 з коренеплодом приблизно однакова з віддалю до розташування паза 10 фіксатора 11, то сили, які створюють зворотно-поступальний рух ножа 4, також однакові, а це створює позитивну динаміку роботи обрізувача, яка триває десятки долі секунди, за рахунок зрівноваження сил інерції.

Проте робочі органи відомих обрізників, які виконано за принципом «пасивний копір-ніж» задовільно працюють, або копіюють головки в умовах більш-менш рівномірного інтервалу розташування головок коренеплодів над поверхнею ґрунту.

При значному перепаді розташування висоти головки коренеплоду відносно рівня поверхні ґрунту відбувається погіршення процесу копіювання гребінчастим копіром, а показники якості роботи обрізувачів значно погіршуються та не задовольняють агротехнічні вимоги [74, 75] за рахунок збільшення вивалювання коренеплодів з ґрунтового середовища та неякісного обрізування їх головок.

Високий або низький зріз головки коренеплоду (рис. 1.35а) призводить у першому випадку до зниження якості, а в другому – до зменшення кількості сировини, що є наслідком значного зниження виходу продукту переробки неякісної сировини, рис. 1.35б [76].

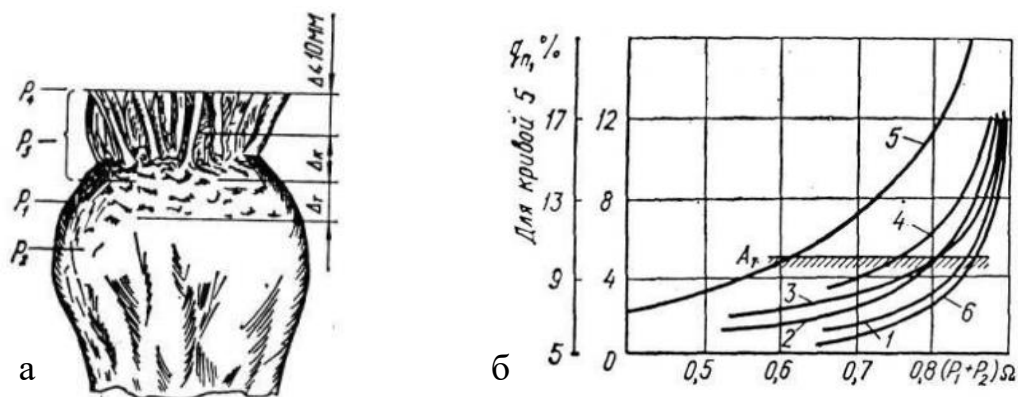


Рисунок 1.35 – Показники висоти обрізування головки коренеплодів, а:  $P_1$  – нормальний зріз;  $P_2$  – низький зріз;  $P_3$  – високий зріз;  $P_4$  – незадовільний зріз; б – залежності зміни відходів сировини за неякісного зрізування головок коренеплодів: 1, 3 – відповідно, дисковий копір і дисковий вирівнювач; 2 – гребінчастий копір; 4 – полозковий копір; 5 – безкопірне зрізування; 6 – двостадійне обрізування гички

Таким чином сучасні аналоги обрізників залишків гички з головок коренеплодів не задовольняють агротехнічні вимоги до показників якості обрізування крупних коренеплодів, у тому числі і коренеплодів цикорію, головки яких виступають над рівнем поверхні ґрунту більше 7...10 см.

Тому вдосконалення конструктивно-компонувальних схем і обґрунтування параметрів робочих органів обрізників гички з головок коренеплодів необхідно проводити на основі: аналізу та врахування агробіологічних особливостей і характеристики коренеплодів цикорію; аналізу технологічного процесу копіювання високостоячих коренеплодів цикорію та процесу зрізування їх головки.

Такий напрямок є важливим і актуальним у плані подальшого покращення показники якості зрізування залишків гички з головок коренеплодів цикорію згідно з агротехнічними вимогами [77, 78].

Для поліпшення показників, які регламентують кількість вибитих з ґрунту та кількість пошкоджених коренеплодів цикорію нами запропоновано удосконалений обрізник залишків гички з головок коренеплодів цикорію, який виконано за принципом «пасивний копір-підпружинений ніж» [74, 75].

Структурну схему одного із варіантів виконання обрізника залишків гички з головок коренеплодів цикорію наведено на рис. 1.36.

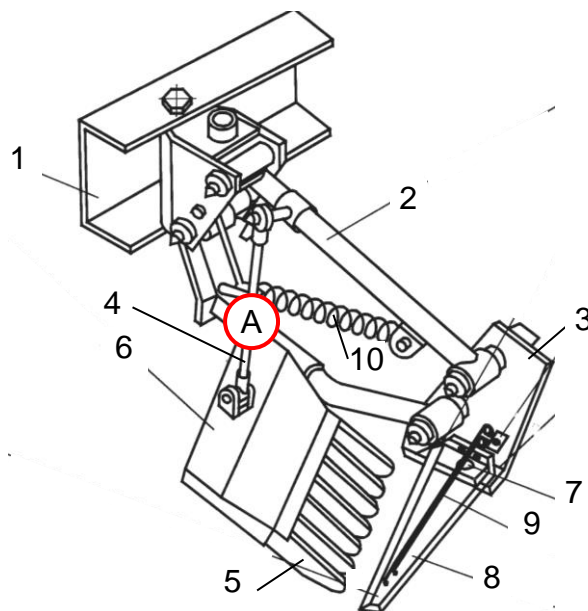


Рисунок 1.36 – Структурна схема удосконаленого обрізника залишків гички: 1 – основна рама обрізника; 2 – паралелограмний механізм; 3 – ножовий блок; 4 – вертикальна шарнірна тяга копіра; 5 – пасивний гребінчастий копір; 6 – амортизатор; 7 – Г-подібний кронштейн ножа 8 – поворотний ніж; 9 – пружина ножа; 10 – пружина паралелограмного механізму



Базовими вузлами удосконаленого обрізника залишків гички з головок коренеплодів цикорію є рама 1, паралелограмний механізм 2, тяги якого встановлено шарнірно на рамі обрізника та ножовий блок 3. До верхньої тяги паралелограмного механізму закріплено вертикальну тягу 4, яку встановлено шарнірно на своїх пальцях. До нижнього кінця вертикальної тяги закріплено гребінчастий копір 5 та амортизатор 6, який виконаний у вигляді пружної прокладки.

Ножовий блок 3 являє собою Г-подібну пластину 7 (кронштейн), довший кінець якої жорстко закріплено на верхній та нижній тязі паралелограмного механізму 2. На коротшому кінці Г-подібної пластини встановлено нерухомий палець на який посаджено поворотний ніж 8, який за допомогою пружини 9 виконано підпружиненим з можливістю його повороту на нерухомому пальці. Між верхньою та нижньою тягами паралелограмного механізму встановлено регульовальну пружину 10.

Для більш ефективного усунення вивалювання коренеплодів з ґрунту та їх пошкодження у процесі динамічного контакту копіра 5 (рис. 1.36) з головкою коренеплоду нами запропоновано вдосконалену конструкцію вертикальної шарнірної тяги 4, яка була пов'язана з паралелограмним механізмом 2, копіром 5 і ножем 8.

Удосконалена конструкція вертикальної шарнірної тяги (вигляд А, рис. 1.36) наведена на рис. 1.37. Всередині стакана 1 (рис. 1.36) змонтована рухома тяга 2 квадратної форми, яка у верхній частині переходить у циліндричний палець 3, а нижня частина рухомої тяги закріплена на амортизаторі 6 (рис. 1.35). До бокових поверхонь рухомої тяги 2 (рис. 1.36) закріплено кронштейни 9 в отвори яких вставлено нерухомі пальці 10. На пальці посаджено ролики 7, які переміщуються вгору і вниз у своїх пазах, утворених обмежувальними боковинами 4. Зворотно-поступальний рух роликів обмежений верхнім 5 і нижнім 6 упорами, які виконані у вигляді плоских пластин.

Стисна пружина 8 вставлена в циліндричний палець 3, верхня частина якої упирається в упорну пластину 11.

Принцип роботи удосконаленого обрізника головок коренеплодів у загальному майже аналогічний процесу зрізування головок з залишками гички серійним аналогом, який виконано за схемою «пасивний копір-пасивний ніж» – копір 5 (рис. 1.36) наїжджає на головку коренеплоду та переміщується одночасно вздовж і вверх відносно неї. Рух копіра вверх передається рухомій тязі 2 (рис. 1.37), яка стискає пружину 8, а далі – паралелограмному механізму, який підіймає (опускає) ножовий блок 3 та встановлює ніж на задану висоту обрізування залишків гички.

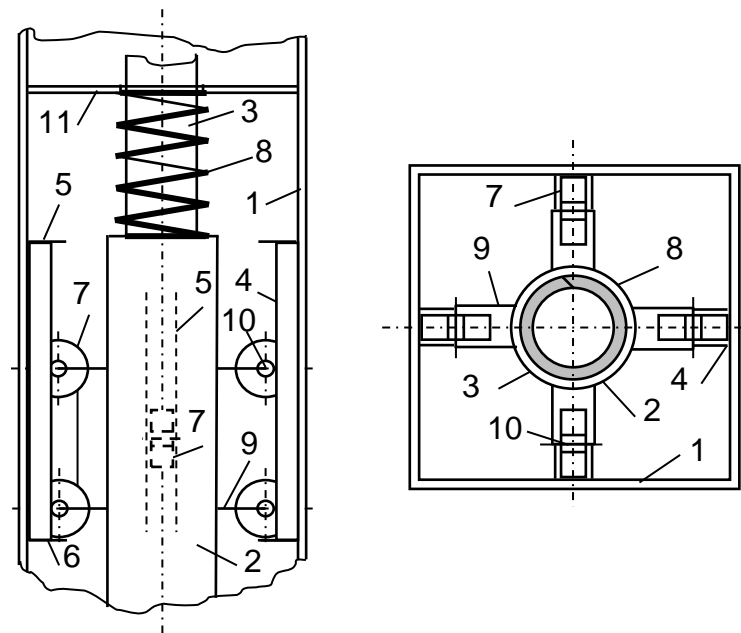


Рисунок 1.37 – Конструктивна схема удосконаленої вертикальної тяги обрізника: 1 – стакан тяги; 2 – рухома тяга; 3 – палець; 4 – боковина обмежувальна; 5, 6 – верхній і нижній упор; 7 – рухомий ролик; 8 – пружина стакана; 9 – кронштейн ролика; 10 – палець ролика; 11 – упорна пластина

При контакті з головкою коренеплоду цикорію ніж 8 відхиляється в горизонтальній площині до упора та обрізує головку з залишками гички методом «ковзання», а після закінчення процесу зрізування копір і ніж повертаються в початкове положення та в подальшому копіюють і зрізують головку наступного коренеплоду.

Проте принцип роботи удосконаленого обрізника має свої переваги:

- у процесі роботи частина динамічного навантаження, яке виникає в

результаті контактної взаємодії копіра 5 (рис. 1.36) з головкою коренеплоду, передається через рухому тягу 2 (рис. 1.37) і компенсується (витрачається) на стиснення пружини 8, що зменшує складові сил тиску (горизонтальні та нормальні дотичні) на головку коренеплоду;

- за рахунок амортизатора 6 (рис. 1.36) удару, який виконаний у вигляді пружної прокладки, сила удару копіра по головці коренеплоду значно зменшується – частина енергії удару витрачається на деформацію амортизатора або компенсується на деформацію пружної прокладки;

- за рахунок виконання ножа підпружиненим, який виконує процес зрізування головки методом «ковзання» зменшується зусилля різання головки порівняно з методом «рублення» головки відомими обрізниками, при цьому вертикальна відстань між копіром 5 (рис. 1.36) і ножом 8 повинна бути мінімально-допустимою.

Ці складові переваг дозволяють прогнозувати зменшення вибивання коренеплодів з ґрунту та їх пошкодження.

Іншим варіантом виконання удосконаленого обрізника залишків гички може бути обрізник, схема якого наведена на рис. 1.38.

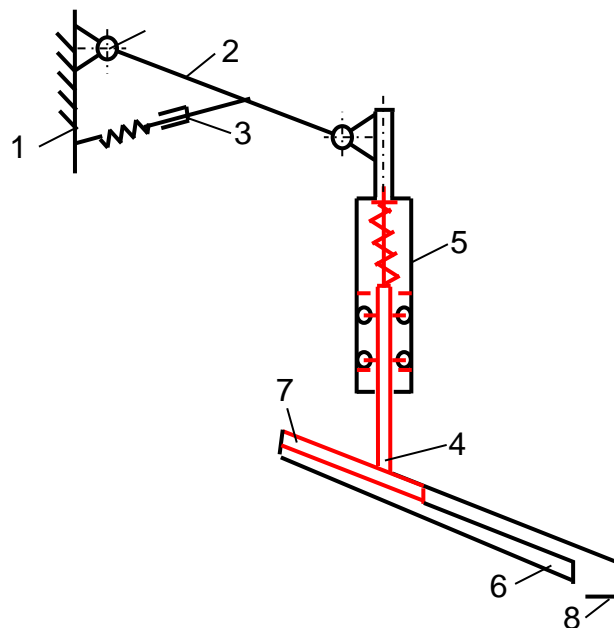


Рисунок 1.38 – Конструктивна схема удосконаленого обрізника: 1 – рама обрізника; 2 – паралелограмний механізм копіра; 3 – тяга регулювальна; 4 – вертикальна тяга; 5 – стакан; 6 – копір; 7 – амортизатор; 8 – ніж

### **1.3. Аналіз теоретично-експериментальних досліджень процесів роботи обрізників**

Подальше конструктивне та технологічне удосконалення обрізників залишків гички з головок коренеплодів забезпечується на основі аналізу діючих конструкцій робочих органів та аналізу проведених теоретичних і експериментальних досліджень.

Вагомий внесок в розвиток теоретичних аспектів, які описують основні фундаментальні процеси функціонування обрізників головок коренеплодів внесено видатними вченими Василенком П.М. та Погорілим Л.В. [28, 79-84].

В наукових працях корифея української науки Василенка П.М. [79-81] наведено аналітичні положення, які описують методологію моделювання процесів механічних систем і методи їх застосування в процесі розробки нових або удосконалених сільськогосподарських машин.

Академік Погорілій Л.В., продовжуючи наукову школу Василенка П.М. на аналітичному рівні, враховуючи агробіологічні характеристики коренеплодів, обґрунтував основні положення, які є фундаментальними для розробки робочих органів технологічного процесу зрізування гички обрізниками головок коренеплодів. При цьому методологія дослідження процесу зрізування гички з одного ізольованого коренеплоду поділялася на три етапи – контакту взаємодії копіра з головкою коренеплоду, переміщення копіра по головці коренеплоду (підіймання), зрізування залишків гички з головки коренеплоду (обрізування головки коренеплоду) [28].

Ним [82-84] на основі врахування вертикального зазору між ножем і копіром та мінливості відхилення ножа в процесі копіювання відхилених від осьової лінії рядка головок коренеплодів було розроблено методіку визначення процесу, який забезпечує нормальний зріз головки коренеплоду, що дозволило побудувати графічні залежності основних показників якості обрізування залишків гички від основних агробіологічних характеристик насаджень коренеплодів, рис. 1.39.

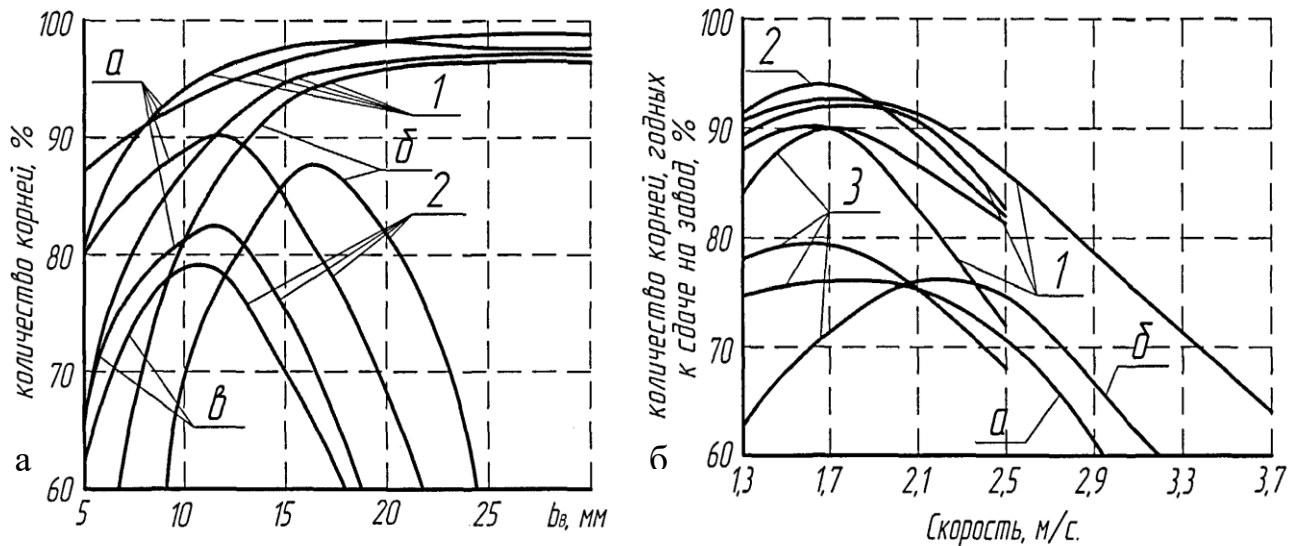


Рисунок 1.39 – Графічні залежності показників якості обрізування залишків гички: а – від зазору між копіром і ножем; б – від швидкості руху копіра

В праці [83] Погорілим Л.В. і Татъянком М.В. було обгрунтовано динамічну умову, яка обмежує робочу швидкість руху копіра

$$g_k \leq \sqrt{\frac{Q_{Hi} \cos \psi_n}{2M_n \delta}} [L - d_k + (\delta / i) \operatorname{tg} \psi], \quad (1.1)$$

де  $Q_{Hi}$  – приведені до ножа статичні сили, Н;  $\psi_n$  – кут нахилу ножа до вертикалі, град.;  $M_n$  – маса рухомих частин обрізника, кг;  $\delta$  – перепад висоти коренеплоду, м;  $L$  – відстань між суміжними коренеплодами, м;  $d_k$  – діаметр коренеплоду, м;  $i$  – вертикальна похибка переміщення ножа, м,

В праці [84] визначено допустиму максимальну масу рухомих частин обрізника, яка не повинна перевищувати 12 кг.

Вагомий внесок в розвиток методики оптимізації та обгрунтування параметрів робочих органів обрізників залишків гички внесли відомі українські вчені Аванесов Ю.Б., Адамчук В.В., Барановський В.М., Борис М.М., Василенко А.А., Гевко Б.Р., Герасимчик В.Г., Герасимчук Г.А., Головач І.В., Гурченко О.П., Ляшук О.Л., Мартиненко В.А., Мартинов В.М., Підгурський М.І., Стельмах В.М., Татъянко М.В., Цьонь Г.Б., Хелемендик М.М. [85-107] та інші світові дослідники [108-112].

Адамчук В.В. і Головач І.В. [85] для оптимізації параметрів робочих органів обрізника головок коренеплідів запропонували динамічну модель копіювання головки коренеплоду, яка враховує пружні властивості залишків (черешків) гички та параметри головки коренеплоду для умови невибивання та непошкодження коренеплоду

$$\begin{aligned}
 \ddot{x} = & \frac{F_{st}}{m} - \frac{x}{mR} \left[ c \left( \sqrt{x^2 + y^2} - R - \delta_0 \right) + \mu \left| \frac{x\dot{x} + y\dot{y}}{\sqrt{x^2 + y^2}} \right| - F_{sr} - F_{sp} \right] - \\
 & - \frac{\dot{x}f}{\sqrt{x^2 + y^2}} \left[ \frac{F_{st}}{R} + \frac{G}{R} - c \left( \sqrt{x^2 + y^2} - R - \delta_0 \right) - \mu \left| \frac{x\dot{x} + y\dot{y}}{\sqrt{x^2 + y^2}} \right| - \right. \\
 & \left. - \frac{F_{sr}}{R} - \frac{F_{sp}}{R} \right], \\
 \ddot{y} = & - \frac{y}{mR} \left[ c \left( \sqrt{x^2 + y^2} - R - \delta_0 \right) + \mu \left| \frac{x\dot{x} + y\dot{y}}{\sqrt{x^2 + y^2}} \right| - F_{sr} - F_{sp} \right] - \\
 & - \frac{\dot{y}f}{\sqrt{x^2 + y^2}} \left[ \frac{F_{st}}{R} + \frac{G}{R} - c \left( \sqrt{x^2 + y^2} - R - \delta_0 \right) - \mu \left| \frac{x\dot{x} + y\dot{y}}{\sqrt{x^2 + y^2}} \right| - \right. \\
 & \left. - \frac{F_{sr}}{R} - \frac{F_{sp}}{R} \right] - g.
 \end{aligned} \tag{1.2}$$

де  $x, y$  – координати позиції розміщення копіра;  $m$  – маса копіра;  $R$  – радіус головки коренеплоду;  $\mu, c$  – коефіцієнт відновлення та пружної деформації черешків гички;  $\delta$  – товщина шару стиснених черешків.

На основі моделі побудовано залежності вертикального переміщення та абсолютної швидкості копіра залежно від часу його контакту з головкою коренеплоду, рис. 1.40

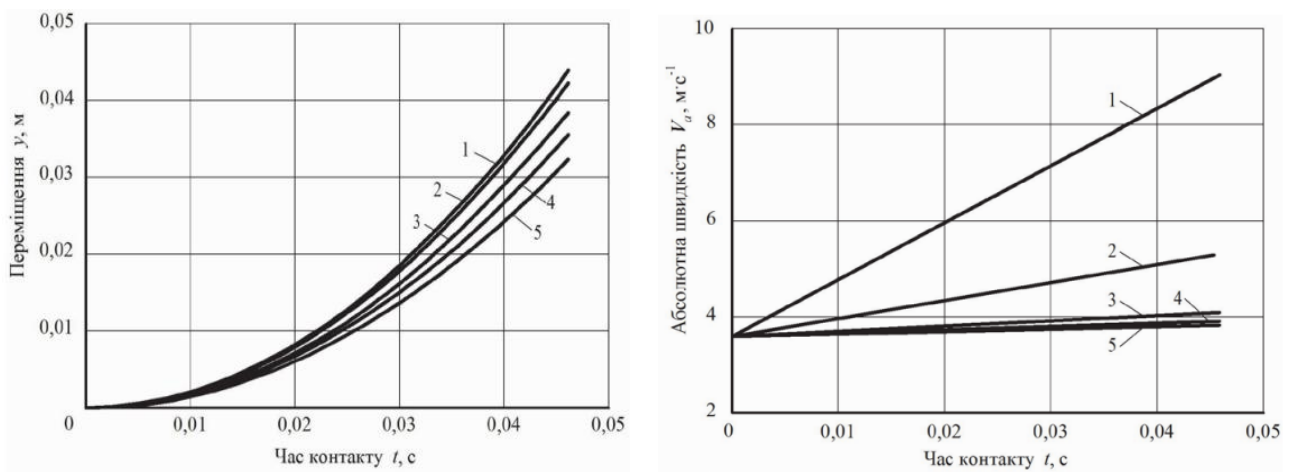


Рисунок 1.40 – Залежність переміщення та абсолютної швидкості копіра від часу контакту

Було обґрунтовано, що збільшення маси  $m$  копіра до 10 кг призводить до значного зменшення абсолютної швидкості руху  $V$  копіра, що адекватно зменшенню його вертикальних коливань.

У праці Аванесова Ю.Б. [86] акцентовано, що для ґрунтових умов лісостепової зони для обрізування залишків гички з головок коренеплодів доцільніше застосовувати обрізники, які виконані за принципом «гребінчастий копір-активний ніж, що зменшує масу рухомих частин обрізника та підвищує робочу швидкість його руху до 2,0 м/с.

Барановський В.М. [87] і Стельмах В.М. [88] за результатами проведених експериментальних досліджень встановили допустимі межі результуючої горизонтальної сили, яка забезпечує умову невивалювання коренеплодів з ґрунту та результуючої нормальної сили, яка забезпечує умову непошкодження коренеплодів. Було встановлено, що за висоти розміщення головки коренеплодів в межах від 7 до 10 см в (тип ґрунту чорнозем опідзолений, легкосуглинковий) допустима зосереджена горизонтальна сила не повинна перевищувати 120...200 Н для коренеплодів кормових буряків [84] і 55...85 Н для коренеплодів цикорію, а допустима зосереджена питома нормальна сила – 250...350 Н/м<sup>2</sup> для коренеплодів кормових буряків [84] і 95...120 Н/м<sup>2</sup> для коренеплодів цикорію.

Борис М.М. у працях [89-91] розробив математичну модель, яка дозволяє прогнозувати питомі втрати цукроносної маси  $BM$  та питому масову кількість залишків гички  $GM$  на коренеплодів залежно від зібраної площі:

$$BM(h, h_3) = \sum_{i=h_3}^n NF \left( \frac{h_i + h_{i+1}}{2} \right) \left( \frac{h_{i+1} - h_i}{3n} \sum_{j=0}^n c_j \cdot f(h) \right); \quad (1.3)$$

$$GM(h, h_3) = \sum_{i=h_3}^n NF_c \left( \frac{h_i + h_{i+1}}{2} \right) \left( \frac{h_{i+1} - h_i}{3n} \sum_{j=0}^n c_j \cdot f(h) \right), \quad (1.4)$$

де  $n$  – кількість інтервалів класів зони зрізування гички;  $N$  – кількість коренеплодів на одиниці площі;  $F = f(h, h_3)$ ,  $F_c = f(h, h_3)$  – функція втрат цукроносної маси та залишків гички;  $h_i$  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.

Результатом моделювання процесу є побудована номограма безкопінного зрізування гички (рис. 1.41) за якою визначають втрати цукроносної маси та залишки гички від висоти головки коренеплоду над поверхнею ґрунту.

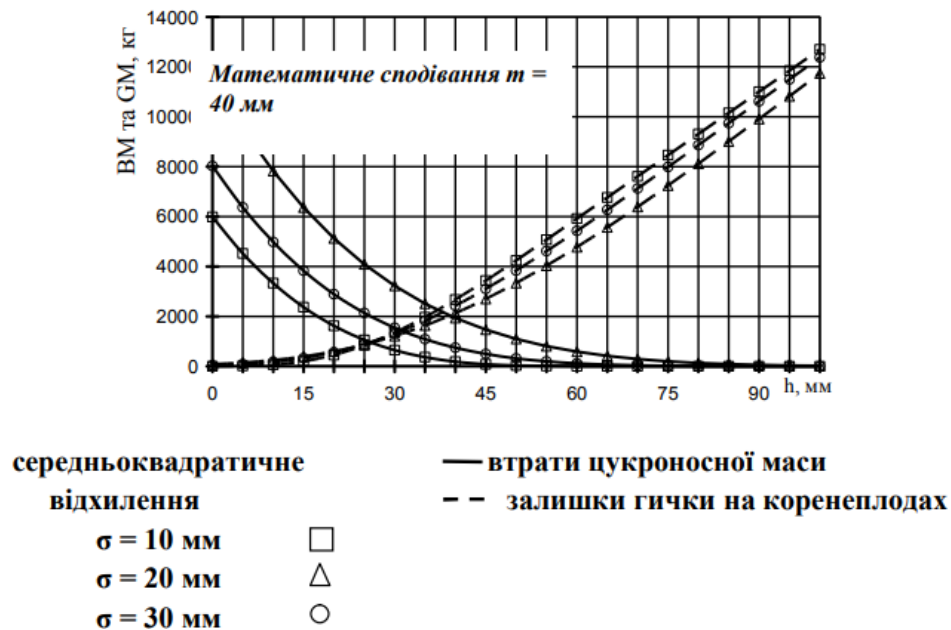


Рисунок 1.41 – Номограма залежності втрат цукроносної маси та залишків гички від висоти головки коренеплоду над поверхнею ґрунту

У праці Василенка А.А. та Герасимчика В.Г. [92, 93] наведено залежність, яка описує умову невивалювання коренеплоду у момент контакту з ним дискового копіра

$$\frac{P'_n + F_n}{m} + g \frac{\sin(90^\circ \pm \theta)}{\sin(90^\circ - \beta \mp \theta)} - \frac{(r + 0,5D)^2 \mathcal{G}_n^2 \sin^2 \varphi_n}{\cos(\beta \pm \theta) \sqrt{[(r + 0,5D)^2 - \mathcal{G}_n^2 t^2 \sin^2 \varphi_n]^3}} \geq 0, \quad (1.5)$$

де  $P'_n$ ,  $F_n$  – сила стиснення пружини механізму копіра та нормальна складова сили стиснення, Н;  $m$  – маса рухомих частин обрізника, кг;  $\theta$  – горизонтальний кут встановлення копіра, град.;  $\beta$  – кут дотику у точці контакту, град.;  $\varphi_n$  – кут відхилення повідка від вертикалі, град.;  $r$  – радіус головки коренеплоду;  $D$  – діаметр дисків копіра;  $\mathcal{G}_n$  – швидкість руху копіра;  $t$  – час підйому копіра на головку, с.



Також ними запропоновано математичну модель, яка описує динамічний процес копіювання головки та зрізування з неї гички, що отримати залежність, яка характеризує зміну відстані між суміжними коренеплодами від діаметра дискового копіра (рис. 1.42а) та висоти зрізування головки від зазору між лезом ножа та копіром, рис. 1.42б.

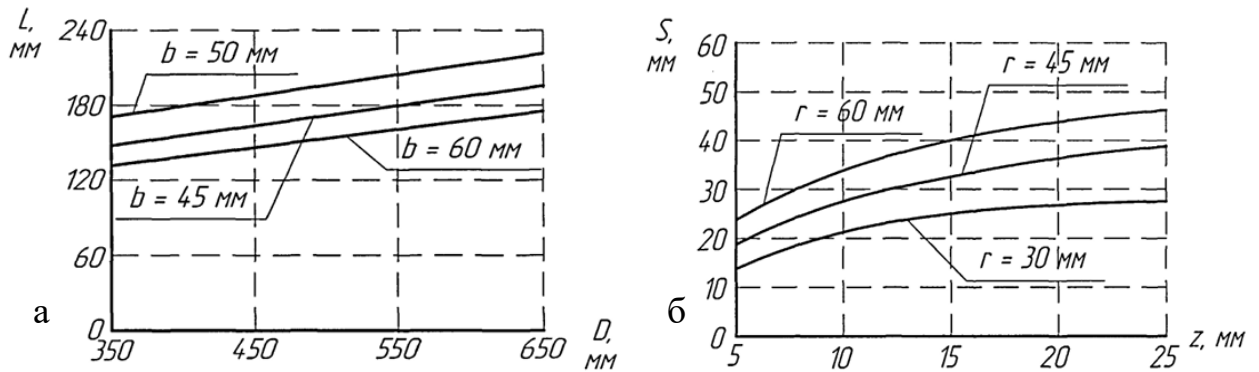


Рисунок 1.42 – Залежність зміни відстані між суміжними коренеплодами (а) та висоти зрізування головок (б)

За результатами польових експериментів отримали такі середні показники якості роботи обрізника гички: нормальний зріз головки – 97%; високий зріз головки – 2,1%; низький зріз головки – 1,5% [94].

Гурченком О.П. [95, 96] розроблено аналітичні залежності для визначення швидкості копіра  $V$  після його удару з головкою коренеплоду та горизонтальної складової  $R_s$  нормальної сили контакту копіра з головкою коренеплоду та умову його невивалювання з ґрунту з врахуванням коефіцієнта відновлення  $\varepsilon$  коренеплоду та імпульсу сили удару  $S$ :

$$\mathcal{G}_s = \mathcal{G}_M - \mathcal{G}_k \cos \alpha_0 = 0; \quad \mathcal{G}_k = \mathcal{G}_M / [1 - (h/d_k)]; \quad (1.6)$$

$$R_s = N \sin(\alpha_0 + \phi) / \cos \phi \leq [P_s]; \quad V = V_p \cos \alpha \sqrt{\sin^2 \alpha + \varepsilon^2 \cos^2 \alpha}; \quad (1.7)$$

$$S \sin \beta + (P_n + F) \sin \alpha < [P_s]; \quad S = m(1 + \varepsilon) V_p \cos \alpha, \quad (1.8)$$

де  $\mathcal{G}_M$  – швидкість руху гичкозбиральної машини, м/с;  $\alpha_0$  – кут нахилу робочої поверхні копіра до горизонту, град.;  $\phi$  – кут тертя, град.;  $h$  – висота головки над поверхнею ґрунту, м;  $d_k$  – діаметр копіра, м;  $N$  – нормальна сила тиску, Н;  $[P_s]$  – допустима горизонтальна сила вивалювання коренеплодів з ґрунту, Н;  $m$  – маса рухомих частин обрізника, кг.

У праці Кузьміна В.Г. і Чернякова Ф.А. [97, 98] на основі аналізу ширини міжряддя, розташування коренеплодів у рядку обґрунтовано раціональну ширину робочої поверхні копіра

$$B = 2 \left[ \varepsilon \sqrt{\left( \frac{\sigma_1}{2} \right)^2 + \sigma_2^2} \pm e \right], \quad (1.9)$$

де  $\varepsilon$  – дольова частка середньоквадратичного відхилення точності руху копіра;  $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$  – середньоквадратичне відхилення ширини міжряддя та точності руху машини.

Мартинов В.М. [99] розробив залежність для визначення відходів зрізаної маси  $\delta_m$  (%) головок коренеплодів в гичку (рис. 1.42а) та загальної кількості залишків гички  $\lambda_{\bar{\sigma}}$  (%) на головках і кількості пошкоджених  $n_n$  (%) коренеплодів, рис. 1.43б:

$$\delta_m = \frac{100}{\bar{m}_k} \int_{a_c}^{2,25\bar{h}_k} m_c f(h_k) dh_k; \quad (1.10)$$

$$\delta_m = \frac{100}{\bar{m}_k} \int_0^{a_c} m_{n\bar{\sigma}} f(h_k) dh_k; \quad (1.11)$$

$$n_n = 100 \int_{h_{\bar{\sigma}}}^{2,35\bar{h}_k} f(h_k) dh_k; \quad (1.12)$$

при цьому закон розподілення висоти  $h_k$  розташування головок над рівнем поверхні ґрунту має нормальний характер

$$f(h_k) = 0,887 \exp \left[ -2,469 \left( h_k / \bar{h}_k - 1 \right)^2 \right] / \bar{h}_k, \quad (1.13)$$

де  $\bar{m}_k$ ,  $\bar{h}_k$  – середня маса коренеплоду (кг) і середня висота головки коренеплоду над ґрунтом, м;  $m_{\bar{\sigma}}$  – маса пучка гички, кг;  $a_c$  – встановлена висота зрізування головки коренеплоду, см.

Було встановлено, що задовільна якість обрізування головок коренеплодів може бути за умови коли  $h_k \leq 8$  см.

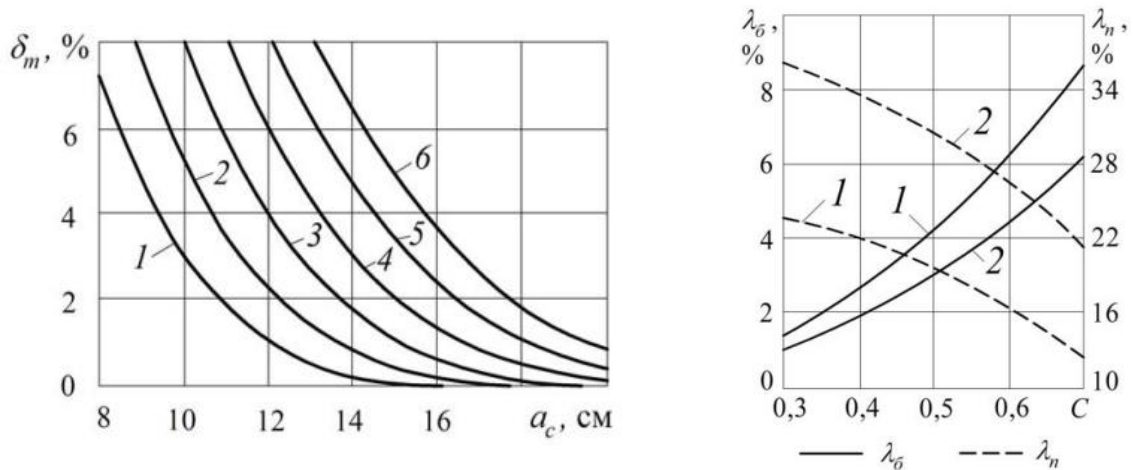


Рисунок 1.43 – Залежність відходів зрізаної маси головки в гичку (а: 1, 2, 3, 4, 5, 6 –  $a_c = 8, 9, 10, 11, 12, 13$  см) та залишків гички на головках коренеплодів (б: 1, 2 –  $\delta_m = 1, 2$  %)

Мартиненко В.Я. у працях [100, 101] на аналітично-емпіричному рівні обґрунтував основні кінематичні параметри плоского ножа з коливним рухом в процесі зрізування гички.

У працях Хелемендика М.М. [103, 104] наведено фундаментальні задачі, які направлено на підвищення якості технологічних процесів збирання гички, як зрізування основного масиву гички безкопірним зрізом, так і обрізування залишків гички обрізувачем, який виконано за принципом «барабанний копір-пасивний ніж».

Підгурський М.І. та Герасимчук Г.А. [105-107] на основі проведеного аналізу отримала детерміновані математичні моделі процесу взаємодії лопаті приводного вала копача з головкою коренеплоду, які характеризують умову невибивання з ґрунту та непошкодження коренеплодів лопатями, які виконані у формі прямокутного паралелепіпеда та круглої форми.

Було обґрунтовано залежно від зміни кутової швидкості приводного вала:

- межі зміни горизонтальної сили контакту лопаті прямокутної та круглої форми по головці коренеплоду, яка змінюється, відповідно, в межах 180...500 і 120...350 Н;

- межі зміни питомого тиску лопаті на тіло коренеплоду, відповідно, який знаходиться у діапазоні 130...260 та 65...130 Н/м<sup>2</sup>.

На основі проведеного аналізу відомих досліджень можна констатувати, що враховуючи специфічні особливості коренеплодів цикорію і будови запропонованого удосконаленого обрізника та деякі відмінності протікання технологічного процесу зрізування залишками гички з головок коренеплодів використати або застосувати відомі положення в повному обсязі не є можливим або є обмеженим в деяких аспектах етапів процесу копіювання головок коренеплодів – етапу контактного удару копіра, переміщення копіра по головці коренеплоду, зрізування залишків гички підпружиненим ножом.

Таким чином, обґрунтування основних параметрів робочих органів удосконаленого обрізника і процесу обрізування залишків гички з головок коренеплодів цикорію повинно мати деякий інший відмінний підхід.

#### **1.4. Висновки, мета та задачі дослідження**

Найбільш поширеними типами обрізників залишків гички з головок коренеплодів, які застосовуються на сучасних самохідних бункерних комбайнах, яким збирається в середньому до 75% всіх посівних площ коренеплодів є обрізники, які виконано за схемою «пасивний копір-пасивний ніж» та які забезпечують відносно задовільні показники якості обрізування головок, висота яких над рівнем поверхні ґрунту не перевищує 3-5 см а відхилення осьової лінії коренеплоду від лінії рядка знаходиться в межах не більших за  $\pm 3$  см.

При відхиленні наведених показників розміщення головок коренеплодів показники якості обрізування залишків гички з головок коренеплодів не задовольняють агротехнічні вимоги показників кількості вибитих коренеплодів з ґрунту та кількості пошкоджених коренеплодів, які прогнозовано значно підвищують втрати коренеплодів під час їх збирання, або знижують вихід продуктів їх переробки з зібраної сировини.

Підвищення прикінцевих показників виробництва коренеплодів цикорію досягається шляхом конструктивного удосконалення робочих органів обрізників, застосування яких дозволяє зменшити загальні втрати коренеплодів, як під час збирання гички, так і коренеплодів загалом.

Враховуючи специфічні агробіологічні характеристики та фізико-механічні властивості коренеплодів цикорію використати наявний математичний апарат для обґрунтування раціональних параметрів процесу зрізування залишків гички з головок коренеплодів запропонованим обрізником на достатньому рівні є обмеженим.

На основі цього метою роботи є підвищення показників якості обрізування залишків гички з головок коренеплодів цикорію шляхом удосконалення конструкції та обґрунтування раціональних параметрів обрізника.

Для вирішення даної мети необхідно виконати такі задачі дослідження:

- враховуючи відомі конструкції та технологічні процеси обрізування залишків гички з головок коренеплодів розробити удосконалену конструктивну схему обрізника;
- розробити математичні моделі, які функціонально описують процес контактної взаємодії копіра з головкою коренеплоду цикорію з умови невибивання коренеплодів з ґрунту та непошкодження коренеплодів;
- отримати аналітичні залежності для визначення допустимої маси та допустимого прискорення рухомих частин обрізника;
- обґрунтувати процес зрізування головок коренеплодів підпружиненим ножом та визначити його основні конструктивні параметри;
- провести експериментальні дослідження процесу обрізування залишків гички з головок коренеплодів цикорію удосконаленим обрізником;
- провести польові порівняльні дослідження базового та удосконаленого обрізників;
- визначити економічні показники виробничого застосування удосконаленого обрізника.

Основні наукові результати розділу опубліковано в працях [27, 56, 57, 74, 75, 94].

## РОЗДІЛ 2

### ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ РОБОТИ УДОСКОНАЛЕНОГО ОБРІЗНИКА

#### 2.1. Математична модель процесу копіювання головки коренеплодів удосконаленим обрізником

Моделювання процесу копіювання головок коренеплодів проведемо на основі дослідження та аналізу ударної взаємодії рухомого пасивного копіра з головкою коренеплоду цикорію, яка закріплена у ґрунтового середовищі на деякій відстані від поверхні ґрунту [113].

Під час ударної взаємодії копіра та головки можливі випадки вивалювання (вибивання) коренеплоду з ґрунтового середовища та пошкодження коренеплоду за рахунок виникаючого згинального моменту від дії зосередженої сили. При цьому вивалювання та пошкодження (сколки, відриви частини тіла) коренеплодів спричиняють неповернені масові втрати коренеплодів, або значно зменшують вихід продуктів переробки з коренеплодів цикорію [114-116].

Тому розробку математичної моделі процесу копіювання головки коренеплоду цикорію рухомим копіром проведемо виходячи з двох випадків:

- з умови невибивання копіром закріпленого в ґрунті коренеплоду;
- з умови непошкодження коренеплоду з врахуванням положень допустимих пошкоджень згідно з агротехнічними вимогами [117].

Для аналізу процесу контактної взаємодії рухомого копіра з головкою коренеплоду складемо розрахункову еквівалентну схему робочого процесу копіювання рухомим копіром нерухомого коренеплоду, рис. 2.1.

Пасивний гребінчастий копір 2 (рис. 2.1), який переміщується з поступальною швидкістю  $\mathcal{G}_k$  вздовж рядків коренеплодів наїжджає на головку коренеплоду 1 та переміщується вздовж і вверх відносно неї, відповідно, в горизонтальній і вертикальній площинах [57, 118].

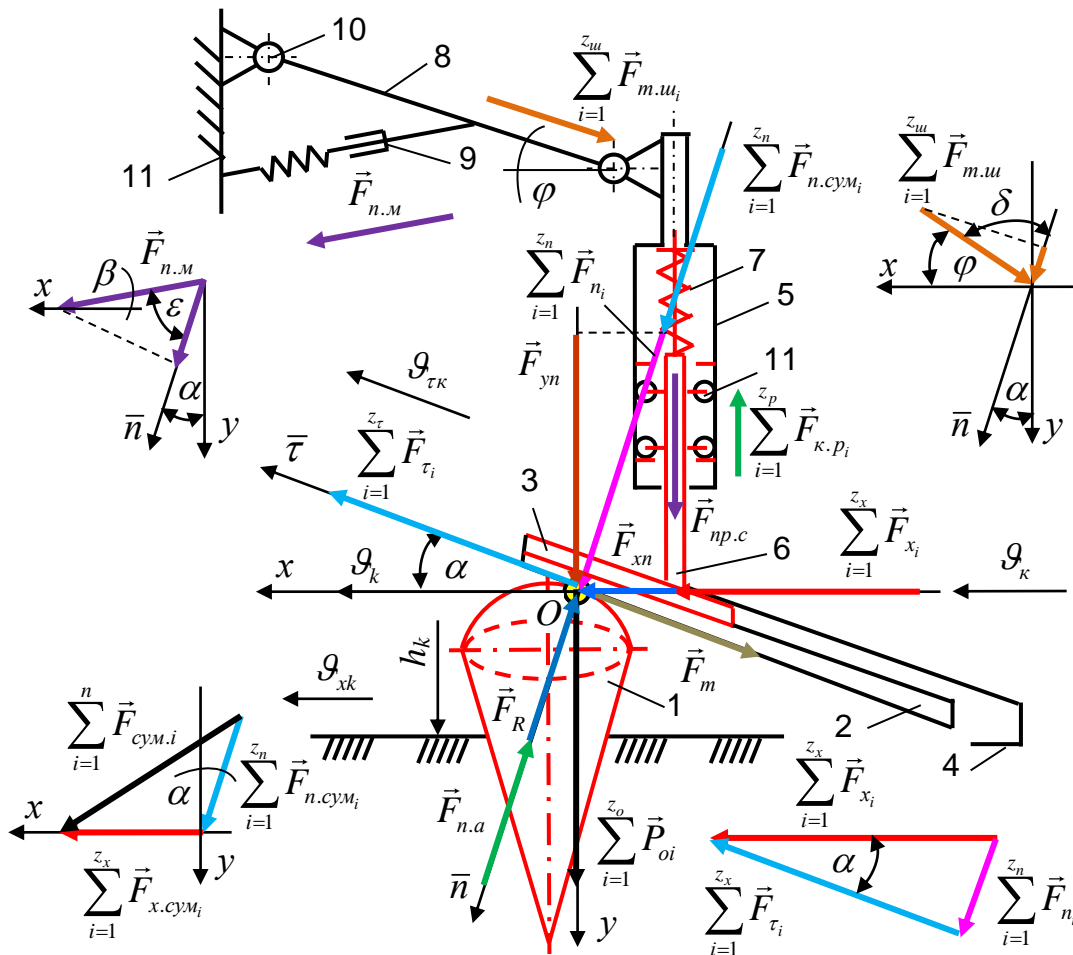


Рисунок 2.1 – Еквівалентна схема процесу копіювання головки коренеплоду пасивним копіром: 1 – коренеплід; 2 – гребінчастий копір; 3 – амортизатор удару; 4 – підпружинений ніж; 5 – стакан; 6 – тяга; 7 – пружина; 8 – паралелограмний механізм; 9 – тяга регульовальна; 10 – шарнір; 11 – ролик

При цьому на початку копіювання, або в момент зіткнення копіра з коренеплодом на головку коренеплоду діє горизонтальна рушійна сила  $\sum_{i=1}^{z_x} F_{x_i}$

(рис. 2.1), яка розкладається на зосереджену нормальну  $\sum_{i=1}^{z_n} F_{n_i}$  та зосереджену

тангенціальну  $\sum_{i=1}^{z_\tau} F_{\tau_i}$  силу.

Крім того, запишемо додаткові сили, які діють на головку коренеплоду під час її взаємодії з робочою поверхнею гребінчастого копіра з урахуванням конструктивних особливостей обрізника, тобто:

- сумарна сила ваги  $\sum_{i=1}^{z_o} P_{oi}$  (Н)  $z_o$ -их рухомих частин обрізника, які діють на головку коренеплоду,  $i = 1, 2, \dots, z_o$ ;
- сила реакції  $F_R$  (Н) поверхні контакту (головки коренеплоду);
- сила тертя  $F_m$  (Н) копіра по головці коренеплоду;
- сила пружності  $F_{n.a}$  (Н) амортизатора удару 3;
- сумарна сила тертя кочення  $\sum_{i=1}^{z_p} F_{к.p_i}$  (Н) роликів 11,  $i = 1, 2, \dots, z_p$ ;
- сила стиснення  $F_{np.c}$  (Н) пружини 7 стакану 5;
- сумарна сила тертя  $\sum_{i=1}^{z_{ш}} F_{m.ш_i}$  (Н) шарнірів 10,  $i = 1, 2, \dots, z_{ш}$ ;
- сила розтягу  $\vec{F}_{n.m}$  (Н) пружини регулювальної тяги 9.

Таким чином, під час копіювання головки коренеплодів на коренеплід діє зосереджена сумарна горизонтальна  $\sum_{i=1}^{z_x} F_{x.сум_i}$  та зосереджена сумарна нормальна  $\sum_{i=1}^{z_n} F_{n.сум_i}$  сили, які, відповідно, спричиняють вибивання коренеплоду з ґрунту, злам коренеплоду та безпосередньо пошкодження тіла коренеплоду цикорію.

Для визначення зосередженої сумарної горизонтальної  $\sum_{i=1}^{z_x} F_{x.сум_i}$  та зосередженої сумарної нормальної  $\sum_{i=1}^{z_n} F_{n.сум_i}$  сили розглянемо складену еквівалентну схему процесу копіювання головки коренеплоду пасивним копіром, яку наведено на рис. 2.1.

Приймаємо вихідні умови.

Згідно з рис. 2.1 припускаємо що:

- початковий момент контакту робочої поверхні копіра 2 з головою коренеплоду цикорію відбувається в точці  $O$  або в початку відліку системи координат  $xOy$ ;



- вісь  $Ox$  спрямуємо в напрямку поступального переміщення обрізника (копіра) а вісь  $Oy$  – вниз, перпендикулярно осі  $Ox$ ;
- геометрична форма головки коренеплоду цикорію – півсфера [27];
- у момент контакту копіра з головкою коренеплоду кут нахилу копіра до горизонту –  $\alpha$ ;
- удар копіра в точці контакту з головкою коренеплоду є пружним;
- початкова швидкість удару копіра по осі  $O\tau$  –  $\mathcal{G}_{\tau.nk} = \mathcal{G}_k \cos \alpha$ ;
- післяударна швидкість копіра по осі  $Ox$  –  $\mathcal{G}_{xk} = \mathcal{G}_k k_\epsilon$ , по осі  $O\tau$  –  $\mathcal{G}_{\tau.nk} = \mathcal{G}_k k_\epsilon \cos \alpha$ , де  $k_\epsilon$  – коефіцієнт відновлення;
- висота розміщення головки коренеплоду відносно поверхні ґрунту –  $h_k$ .

Складемо векторне рівняння загальної сумарної сили  $\sum_{i=1}^n \vec{F}_{\text{сум.}i}$  та рівняння зосередженої сумарної горизонтальної  $\sum_{i=1}^{z_x} F_{x.\text{сум.}i}$  та нормальної  $\sum_{i=1}^{z_n} F_{n.\text{сум.}i}$  сил, які діють на головку коренеплоду в процесі її взаємодії з копіром

$$\sum_{i=1}^n \vec{F}_{\text{сум.}i} = \sum_{i=1}^{z_x} \vec{F}_{x_i} + \sum_{i=1}^{z_o} \vec{P}_{oi} + \vec{F}_R + \vec{F}_m + \vec{F}_{n.a} + \sum_{i=1}^{z_p} \vec{F}_{ki} + \vec{F}_{np.c} + \sum_{i=1}^{z_u} \vec{F}_{mi}, \quad i = 1, 2, \dots, n; \quad (2.1)$$

$$\sum_{i=1}^{z_x} F_{x.\text{сум.}i} = \sum_{i=1}^{z_x} F_{x_i} + F_{n.m} \cos \beta - \sum_{i=1}^{z_u} F_{m.u} \cos \varphi - F_m \cos \alpha - F_R \sin \alpha - F_{n.a} \sin \alpha; \quad (2.2)$$

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^{z_n} F_{n.\text{сум.}i} &= \sum_{i=1}^{z_x} F_{x_i} \sin \alpha + F_{n.m} \cos \epsilon + \sum_{i=1}^{z_u} F_{m.u} \sin \delta + \sum_{i=1}^{z_o} P_{oi} \cos \alpha \\ &+ F_{np.c} \cos \alpha - \sum_{i=1}^{z_p} F_{k.pi} \cos \alpha - F_R \cos \alpha - F_{n.a} \cos \alpha \end{aligned}, \quad (2.3)$$

де  $\beta$  – кут між напрямками вектора сили  $\vec{F}_{n.m}$  та віссю  $Ox$ , град.;

$\varphi$  – кут між напрямками вектора одиничної сили  $\vec{F}_{m.u}$  та віссю  $Ox$ , град.;

$\epsilon = 90 - (\beta + \alpha)$   $\rho$  – кут між напрямками вектора сили  $\vec{F}_{n.m}$  та її проекції на вісь  $On$ , град.;

$\delta = 90 + (\varphi - \alpha)$  – кут між напрямками вектора одиничної сили  $\vec{F}_{m.u}$  та її проекції на вісь  $On$ , град.

При цьому, згідно з (2.2) та (2.3) маємо:

$$\sum_{i=1}^{z_x} F_{x.cym_i} = \sum_{i=1}^{z_x} F_{x_i} - (F_R + F_{n.a}) \sin \alpha + F_{n.m} \cos \beta - F_{m.u}^{(1)} z_{uu} \cos \varphi - F_m \cos \alpha; \quad (2.4)$$

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^{z_n} F_{n.cym_i} = & \sum_{i=1}^{z_x} F_{x_i} \sin \alpha + F_{n.m} \cos [90 - (\beta + \alpha)] + F_{m.u}^{(1)} z_{uu} \sin [90 + (\varphi - \alpha)] + \\ & + \left( \sum_{i=1}^{z_o} P_{oi} + F_{np.c} - F_{k.p}^{(1)} z_p - F_R - F_{n.a} \right) \cos \alpha \end{aligned}, \quad (2.5)$$

де  $F_{m.u}^{(1)}$  – сила тертя одиничного шарніра 10, Н;

$z_{uu}$  – кількість шарнірів 10 паралелограмного механізму 8, шт.;

$F_{k.p}^{(1)}$  – сила тертя кочення одиничного ролика 11, Н;

$z_p$  – кількість роликів 11, шт.

Для проведення подальшого аналізу динамічного процесу копіювання головки коренеплоду цикорію запишемо відомі аналітичні залежності [119-121], які функціонально описують діючі сили під час контактного удару пасивного копіра з головкою коренеплоду, при цьому:

- вектор горизонтальної рушійної сили  $\sum_{i=1}^{z_x} F_{x_i}$  удару копіра є сумою вектора сил  $\vec{F}_{y\delta.g_k}$ , яка виникає від дії сили удару копіра, який контактує з головкою коренеплоду з початковою швидкістю удару  $g_k$  та дії вектора сумарної сили ваги  $\sum_{i=1}^{z_o} \vec{P}_{oi}$  рухомих мас обрізника та визначається за формулою

$$\vec{F}_{y\delta} = \sqrt{\left(\vec{F}_{y\delta.g_k}\right)^2 + \left(\sum_{i=1}^{z_o} \vec{P}_{oi}\right)^2}, \quad (2.6)$$

при цьому:

$$F_{y\delta.g_k} = \sum_{i=1}^{z_o} m_{oi} a_k = \sum_{i=1}^{z_o} m_{oi} \frac{d g_k}{dt}; \quad \sum_{i=1}^{z_o} P_{oi} = \sum_{i=1}^{z_o} m_{oi} g, \quad (2.7)$$

тоді згідно з (2.6), (2.7) маємо

$$F_{y\partial} = \sqrt{\left(\sum_{i=1}^{z_0} m_{oi} \frac{d\vartheta_k}{dt}\right)^2 + \left(\sum_{i=1}^{z_0} m_{oi} g\right)^2} = \sum_{i=1}^{z_0} m_{oi} \sqrt{\left(\frac{d\vartheta_k}{dt}\right)^2 + g^2}, \quad (2.8)$$

де  $\sum_{i=1}^{z_0} m_{oi}$  – сумарна маса рухомих частин обрізника, кг;

$a_k$ ,  $g$  – відповідно, прискорення руху гребінчастого копіра та вільного падіння, м/с<sup>2</sup>;

- сила реакції  $F_R$  поверхні контакту (головки коренеплоду) визначається за формулою

$$F_R = \sum_{i=1}^{z_0} P_{oi} = \sum_{i=1}^{z_0} m_{oi} g; \quad (2.9)$$

- сила тертя  $F_m$  копіра по головці коренеплоду визначається за формулою

$$F_m = \mu_\kappa N_\kappa = \mu_\kappa \sum_{i=1}^{z_0} m_{oi} g, \quad (2.10)$$

де  $\mu_\kappa$  – коефіцієнт тертя робочої поверхні копіра по головці коренеплоду;

$N_\kappa$  – сила нормальної реакції головки коренеплоду, Н;

- сила пружності  $F_{n.a}$  амортизатора удару 3 визначається за формулою

$$F_{n.a} = k_a \Delta h_a, \quad (2.11)$$

де  $k_a$  – коефіцієнт пружності матеріалу амортизатора, Н/м;

$\Delta h_a$  – висота прогину матеріалу амортизатора, м;

- сила тертя кочення  $F_{\kappa.p}^{(1)}$  одного ролика 11 по внутрішній поверхні стакану 5 визначається за формулою

$$F_{\kappa.p}^{(1)} = 2f_\kappa F_{m.p}^{(1z)} / d_p, \quad (2.12)$$

де  $f_\kappa$  – коефіцієнт тертя кочення ролика 11 по поверхні стакану 5;

$F_{m.p}^{(1z)}$  – питома горизонтальна сила притиску ролика 11 до поверхні стакану 5,

Нм;

$d_p$  – діаметр ролика, м.

при цьому сила тертя кочення  $F_{к.р}^{(1)}$  одного ролика 11 по внутрішній поверхні стакану 5 згідно з формулою (2.12) залежить від питомої горизонтальної сили притиску  $F_{m.p}^{(1)}$  одного ролика 11, який переміщується у вертикальній площині по поверхні стакану 5 та яка виникає тільки під час деформації згину вертикальної тяги 6 [122]; формалізуючи об'єкт дослідження, або те, що деформація згину вертикальної тяги є незначною в межах діючого навантаження вертикальної тяги 6 [123] приймаємо припущення, що сила тертя кочення  $F_{к.р}^{(1)}$  одного ролика 11 по внутрішній поверхні стакану 5 буде також незначною, або  $F_{к.р}^{(1)} \cong 0$ ;

- сила стиснення  $F_{np.c}$  пружини 7 стакану 5 визначається за формулою

$$F_{np.c} = c_c \Delta y_c = \frac{G_c d_{m.c}^4}{8 D_{n.c}^3 z_c} \Delta y_c, \quad (2.13)$$

де  $c_c$  – коефіцієнт жорсткості матеріалу пружини 7, Н/м<sup>2</sup>;

$\Delta y_c$  – абсолютне стиснення пружини 7, м;

$G_c$  – модуль зсуву матеріалу пружини 7, Н/м<sup>2</sup>;

$d_{m.c}$  – діаметр матеріалу пружини 7, м;

$D_{n.c}$  – середній діаметр пружини 7, м;

$z_c$  – кількість витків пружини 7, шт.;

- сила тертя  $F_{mi}^{(1)}$  одного шарніра 10 визначається за формулою

$$\vec{F}_{m.u}^{(1)} = \vec{F}_m^{(1)} + \vec{F}_{n.m}^{(1)}, \text{ або } F_{m.u}^{(1)} = \sqrt{\left(F_m^{(1)}\right)^2 + \left(F_{n.m}^{(1)}\right)^2}, \quad (2.14)$$

де  $F_m^{(1)} = 2 f_n p_s l_g r_g$  – сила тертя поворотної пари «палець-втулка» одного шарніра 10, Н, де  $f_n$  – коефіцієнт тертя пари «палець-втулка»;  $p_s$  – питомий розподіл тиску на площі контакту, Н/м<sup>2</sup>;  $l_g$ ,  $r_g$  – довжина та радіус втулки, м;

$F_{n.m}^{(1)} = 0,5 \pi p_s l_g r_g$  – сила нормального тиску, Н,

тоді

$$F_{m.u}^{(1)} = \sqrt{(2f_n p_s l_s r_s)^2 + (0,5\pi p_s l_s r_s)^2} = p_s l_s r_s \sqrt{4f_n^2 + 0,25\pi^2}; \quad (2.15)$$

- сила розтягу  $F_{n.m}$  пружини регулювальної тяги 9 визначається за формулою

$$F_{n.m} = c_p \Delta l_p = \frac{G_p d_{m.p}^4}{8D_{n.p}^3 z_p} \Delta l_p, \quad (2.16)$$

де  $c_p$  – коефіцієнт жорсткості матеріалу пружини регулювальної тяги 9, Н/м<sup>2</sup>;

$\Delta l_p$  – абсолютне стиснення пружини регулювальної тяги 9, м;

$G_p$  – модуль зсуву матеріалу пружини регулювальної тяги 9, Н/м<sup>2</sup>;

$d_{m.p}$  – діаметр матеріалу пружини регулювальної тяги 9, м;

$D_{n.p}$  – середній діаметр пружини регулювальної тяги 9, м;

$z_p$  – кількість витків пружини регулювальної тяги 9, шт.

Підставивши значення діючих сил з (2.8)-(2.16) у формули (2.4) і (2.5), отримаємо залежності для визначення зосередженої сумарної горизонтальної

$\sum_{i=1}^{z_x} F_{x.cym_i}$  та нормальної  $\sum_{i=1}^{z_n} F_{n.cym_i}$  сил, які діють на головку коренеплоду в процесі

її взаємодії з копиром [118]

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^{z_x} F_{x.cym_i} = \sum_{i=1}^{z_0} m_{oi} \sqrt{\left(\frac{d\vartheta_k}{dt}\right)^2 + g^2} - \left(\sum_{i=1}^{z_0} m_{oi} g + k_a \Delta h_a\right) \sin \alpha + \\ + \frac{G_p d_{m.p}^4}{8D_{n.p}^3 z_p} \Delta l_p \cos \beta - p_s l_s r_s \sqrt{4f_n^2 + 0,25\pi^2} z_{uu} \cos \varphi - \mu_\kappa \sum_{i=1}^{z_0} m_{oi} g \cos \alpha \end{aligned} \quad ; \quad (2.17)$$

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^{z_n} F_{n.cym_i} = \sum_{i=1}^{z_0} m_{oi} \sin \alpha \sqrt{\left(\frac{d\vartheta_k}{dt}\right)^2 + g^2} + \frac{G_p d_{m.p}^4}{8D_{n.p}^3 z_p} \Delta l_p \sin(\beta + \alpha) + \\ + p_s l_s r_s \sqrt{4f_n^2 + 0,25\pi^2} z_{uu} \cos(\varphi - \alpha) + \\ + \left(\sum_{i=1}^{z_0} m_{oi} g + \frac{G_c d_{m.c}^4}{8D_{n.c}^3 z_c} \Delta y_c - \sum_{i=1}^{z_0} m_{oi} g - k_a \Delta h_a\right) \cos \alpha \end{aligned} \quad , \quad (2.18)$$

або

$$\sum_{i=1}^{z_x} F_{x.cym_i} = \sum_{i=1}^{z_o} m_{oi} \left[ \sqrt{\left(\frac{d\vartheta_k}{dt}\right)^2 + g^2} - g(\sin \alpha - \mu_k \cos \alpha) \right] + \quad ; \quad (2.19)$$

$$+ \frac{G_p d_{m.p}^4}{8D_{n.p}^3 z_p} \Delta l_p \cos \beta - p_s l_\epsilon r_\epsilon \sqrt{4f_n^2 + 0,25\pi^2} z_{uu} \cos \varphi - k_a \Delta h_a \sin \alpha$$

$$\sum_{i=1}^{z_n} F_{n.cym_i} = \sum_{i=1}^{z_o} m_{oi} \sin \alpha \sqrt{\left(\frac{d\vartheta_k}{dt}\right)^2 + g^2} + \frac{G_p d_{m.p}^4}{8D_{n.p}^3 z_p} \Delta l_p \sin(\beta + \alpha) + \quad (2.20)$$

$$+ p_s l_\epsilon r_\epsilon \sqrt{4f_n^2 + 0,25\pi^2} z_{uu} \cos(\varphi - \alpha) + \left( \frac{G_c d_{m.c}^4}{8D_{n.c}^3 z_c} \Delta y_c - k_a \Delta h_a \right) \cos \alpha$$

Умова невивалювання коренеплоду цикорію з ґрунтового середовища обрізником залишків гички з його головки характеризується допустимою горизонтальною силою  $[F_{x.don}]$  (Н), а умова непошкодження коренеплоду – допустимим нормальним напруженням  $[\sigma_{n.don}]$  (Па), відповідно, яка діє та яке виникає в процесі контактного удару копіра по головці коренеплоду [124, 125], при цьому

$$\sum_{i=1}^{z_x} F_{x.cym_i} \leq [F_{x.don}]; \quad \sum_{i=1}^{z_n} F_{n.cym_i} \leq [\sigma_{n.don}] / S_{k.k}, \quad (2.21)$$

де  $S_{k.k}$  – площа робочої поверхні гребінчастого копіра, яка контактує з поверхнею головки коренеплоду цикорію, м<sup>2</sup>.

Підставивши значення зосередженої сумарної горизонтальної  $\sum_{i=1}^{z_x} F_{x.cym_i}$  та нормальної  $\sum_{i=1}^{z_n} F_{n.cym_i}$  сил згідно з (2.19), (2.20) в (2.21), отримаємо:

- функціональну залежність, яка характеризує умову невивалювання коренеплоду з ґрунтового середовища

$$\sum_{i=1}^{z_x} F_{x.cym_i} = \sum_{i=1}^{z_o} m_{oi} \left[ \sqrt{\left(\frac{d\vartheta_k}{dt}\right)^2 + g^2} - g(\sin \alpha - \mu_k \cos \alpha) \right] + \quad ; \quad (2.22)$$

$$+ \frac{G_p d_{m.p}^4}{8D_{n.p}^3 z_p} \Delta l_p \cos \beta - p_s l_\epsilon r_\epsilon \sqrt{4f_n^2 + 0,25\pi^2} z_{uu} \cos \varphi - k_a \Delta h_a \sin \alpha \leq [F_{x.don}]$$

- функціональну залежність, яка характеризує умову непошкодження коренеплоду

$$\sum_{i=1}^{z_n} F_{n.сyм_i} \leq \sum_{i=1}^{z_o} m_{oi} \sqrt{\left(\frac{d\vartheta_{nk}}{dt}\right)^2 + g^2 \sin \alpha} + \frac{G_p d^4}{8D_{n.p}^3 z_p} \Delta l_p \sin(\beta + \alpha) +$$

$$+ p_s l_{\epsilon} r_{\epsilon} \sqrt{4f_n^2 + 0,25\pi^2 z_{ui} \cos(\varphi - \alpha)} + \left(\frac{G_c d^4}{8D_{n.c}^3 z_c} \Delta y_c - k_a \Delta h_a\right) \cos \alpha \leq \frac{[\sigma_{n.\partial on}]}{S_{k.k}} \quad (2.23)$$

$$\text{Приймаючи положення, що } \sum_{i=1}^{z_x} F_{x.сyм_i} = \sum_{i=1}^{z_o} m_{oi} \frac{d\vartheta_k}{dt}, \quad \sum_{i=1}^{z_n} F_{n.сyм_i} = \sum_{i=1}^{z_o} m_{oi} \frac{d\vartheta_n}{dt}$$

проінтегруємо праву частину залежності (2.22) і (2.23) відносно часу  $t_{y\partial}$  (с), за який відбувається удар копіра по головці одного коренеплоду, тобто за період часу від 0 до  $t_{y\partial}$ , а ліву частину відносно швидкості руху копіра на початку та після закінчення удару, або [118]:

- для умови невибивання коренеплоду

$$\int_{\vartheta_k}^{\vartheta_{nk}} \sum_{i=1}^{z_o} m_{oi} |d\vartheta_x| \leq \int_0^{t_{y\partial}} \sum_{i=1}^{z_o} m_{oi} \left[ \sqrt{\left(\frac{d\vartheta_k}{dt_{y\partial}}\right)^2 + g^2} - g(\sin \alpha - \mu_k \cos \alpha) \right] dt_{y\partial} +$$

$$+ \int_0^{t_{y\partial}} \frac{G_p d^4}{8D_{n.p}^3 z_p} \Delta l_p \cos \beta dt_{y\partial} - \int_0^{t_{y\partial}} p_s l_{\epsilon} r_{\epsilon} \sqrt{4f_n^2 + 0,25\pi^2 z_{ui} \cos \varphi} dt_{y\partial} - \int_0^{t_{y\partial}} k_a \Delta h_a \sin \alpha \leq [F_{x.\partial on}] dt_{y\partial} \quad ; (2.24)$$

- для умови непошкодження коренеплоду

$$\int_{\vartheta_k}^{\vartheta_{nk}} \sum_{i=1}^{z_o} m_{oi} |d\vartheta_n| \leq \int_0^{t_{y\partial}} \sum_{i=1}^{z_o} m_{oi} \sqrt{\left(\frac{d\vartheta_k}{dt}\right)^2 + g^2 \sin \alpha} dt_{y\partial} +$$

$$+ \int_0^{t_{y\partial}} \frac{G_p d^4}{8D_{n.p}^3 z_p} \Delta l_p \sin(\beta + \alpha) dt_{y\partial} +$$

$$+ \int_0^{t_{y\partial}} p_s l_{\epsilon} r_{\epsilon} \sqrt{4f_n^2 + 0,25\pi^2 z_{ui} \cos(\varphi - \alpha)} dt_{y\partial} +$$

$$+ \int_0^{t_{y\partial}} \left(\frac{G_c d^4}{8D_{n.c}^3 z_c} \Delta y_c - k_a \Delta h_a\right) \cos \alpha dt_{y\partial} \leq \frac{[\sigma_{n.\partial on}]}{S_{k.k}} dt_{y\partial} \quad (2.25)$$

Отримані функціональні залежності (2.24) і (2.25) є математичними моделями, які функціонально описують умову невивалювання коренеплодів з ґрунту та умову непошкодження коренеплодів в процесі контактної взаємодії копіра та головки коренеплоду залежно від конструктивних і кінематичних параметрів робочих органів обрізника.

Застосування отриманих математичних моделей (2.24) і (2.25) для реального (практичного) обґрунтування параметрів робочих органів удосконаленого обрізника є тільки можливим за умови визначення часу удару  $t_{y\partial}$  за який відбувається контактна взаємодія копіра з головкою одного коренеплоду.

Фактично визначити час удару  $t_{y\partial}$  за який відбувається контактна взаємодія копіра з головкою коренеплоду з необхідною вірогідністю є складною, з точки зору теоретичного математичного аналізу, кінематичною задачею [126].

Для визначення часу удару  $t_{y\partial}$  формалізуємо процес поступального переміщення копіра вздовж рядка насаджень коренеплодів, при цьому приймаємо припущення, що (рис. 2.2):

- коренеплоди в рядку розташовані рівномірно з середньою відстанню між центрами головок  $l_k$ , м;
- діаметр головок коренеплодів, які розташовані на 1 погонному метрі рядка є постійним і в середньому становить  $D_k$ , м;
- кількість коренеплодів на 1 погонному метрі рядка дорівнює середньому значенню  $B_k$ , шт./п.м;
- час удару  $t_{y\partial}$  за який відбувається контактна взаємодія копіра з головкою коренеплоду є адекватно наближеним до часу  $t_{0,5d_{zp}}$  переміщення копіра на шляху, який дорівнює половині діаметра зрізування  $0,5d_{zp}$  головки коренеплоду, тобто  $t_{y\partial} \cong t_{0,5d_{zp}}$ .

Тоді за час  $t = 1$  с копір переміститься на відстань  $L_k$  (м), довжина якої становить  $L_k = \mathcal{G}_k t = 1\mathcal{G}_k$ , при цьому відбудеться загальна кількість  $N_{y\partial.k} = B_k \mathcal{G}_k$  (шт.) ударних контактів копіра з головкою коренеплоду



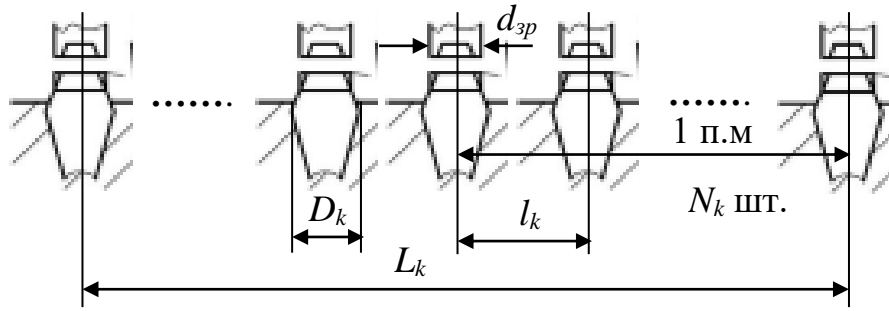


Рисунок 2.2 – Схема розміщення коренеплодів в рядку

Середній період тривалості часу  $T_{y\partial.k}$  (с) між ударними контактами копіра з головкою коренеплоду, за який копір проходить відстань, яка дорівнює відстані  $l_k$  між центрами головок коренеплодів буде становити  $T_{y\partial.k} = t / N_{y\partial.k} = 1 / B_k \mathcal{G}_k$ .

Щоб знайти час удару  $t_{y\partial}$  копіра по головці одного коренеплоду необхідно з періоду часу  $T_{y\partial.k}$  відняти час  $t_{l_k}$  (с), який витрачається копіром на переміщення шляху  $l_k^{(1)} = l_k - 0,5d_{зр}$  (м), або  $t_{l_k} = l_k^{(1)} / \mathcal{G}_k = (l_k - 0,5d_{зр}) / \mathcal{G}_k$ .

При цьому час удару  $t_{y\partial}$  копіра по головці одного коренеплоду буде визначатися за формулою:

$$t_{y\partial} = T_{y\partial.k} - t_{l_k} = \frac{1}{B_k \mathcal{G}_k} - \frac{(l_k - 0,5d_{зр})}{\mathcal{G}_k} = \frac{1}{\mathcal{G}_k} \left( \frac{1}{B_k} - l_k + 0,5d_{зр} \right). \quad (2.26)$$

Тоді інтегральні вирази (2.24) та (2.25) можна записати у вигляді:

- для умови невибивання коренеплоду з ґрунтового середовища

$$\int_{\mathcal{G}_k}^{\mathcal{G}_{zk}} \sum_{i=1}^{z_o} m_{oi} |d\mathcal{G}_k| \leq \int_0^{\frac{1}{\mathcal{G}_k} \left( \frac{1}{B_k} - l_k + 0,5d_{зр} \right)} \sum_{i=1}^{z_o} m_{oi} \left[ \sqrt{\left( \frac{d\mathcal{G}_k}{dt_{y\partial}} \right)^2 + g^2} - g (\sin \alpha - \mu_k \cos \alpha) \right] dt_{y\partial} +$$

$$+ \int_0^{\frac{1}{\mathcal{G}_k} \left( \frac{1}{B_k} - l_k + 0,5d_{зр} \right)} \frac{G_p d_{м.р}^4}{8D_{н.р}^3 z_p} \Delta l_p \cos \beta dt_{y\partial} - \quad ; (2.27)$$

$$- \int_0^{\frac{1}{\mathcal{G}_k} \left( \frac{1}{B_k} - l_k + 0,5d_{зр} \right)} p_s l'_e r'_e \sqrt{4f_n^2 + 0,25\pi^2} z_{uu} \cos \varphi dt_{y\partial} - \int_0^{\frac{1}{\mathcal{G}_k} \left( \frac{1}{B_k} - l_k + 0,5d_{зр} \right)} k_a \Delta h_a \sin \alpha \leq [F_{x.\partial on}] dt_{y\partial}$$

- для умови непошкодження коренеплоду

$$\begin{aligned}
\int_{g_k}^{g_n} \sum_{i=1}^{z_o} m_{oi} |d\vartheta_n| &\leq \int_0^{\frac{1}{g_k} \left( \frac{1}{B_k} - l_k + 0,5d_{3p} \right)} \sum_{i=1}^{z_o} m_{oi} \left( \sqrt{\left( \frac{d\vartheta_k}{dt} \right)^2 + g^2} \right) \sin \alpha dt_{y\delta} + \\
&+ \int_0^{\frac{1}{g_k} \left( \frac{1}{B_k} - l_k + 0,5d_{3p} \right)} \frac{G_p d_{M.p}^4}{8D_{n.p}^3 z_p} \Delta l_p \sin(\beta + \alpha) dt_{y\delta} + \\
&+ \int_0^{\frac{1}{g_k} \left( \frac{1}{B_k} - l_k + 0,5d_{3p} \right)} p_s l_\epsilon r_\epsilon \sqrt{4f_n^2 + 0,25\pi^2} z_{uu} \cos(\varphi - \alpha) dt_{y\delta} + \\
&+ \int_0^{\frac{1}{g_k} \left( \frac{1}{B_k} - l_k + 0,5d_{3p} \right)} \left( \frac{G_c d_{M.c}^4}{8D_{n.c}^3 z_c} \Delta y_c - k_a \Delta h_a \right) \cos \alpha dt_{y\delta} \leq \frac{[\sigma_{n.\delta on}]}{S_{k.k}} dt_{y\delta}
\end{aligned} \quad (2.28)$$

Підставимо межі інтегрування лівої та правої частини інтегральних виразів (2.27) та (2.28), або

$$\begin{aligned}
\sum_{i=1}^{z_o} m_{oi} d\vartheta_k \Big|_{g_k}^{g_{nk}} &\leq \sum_{i=1}^{z_o} m_{oi} \left[ \sqrt{\left( \frac{d\vartheta_k}{dt} \right)^2 + g^2} - g(\sin \alpha - \mu_k \cos \alpha) \right] \Big|_0^{\frac{1}{g_k} \left( \frac{1}{B_k} - l_k + 0,5d_{3p} \right)} + \\
&+ \frac{G_p d_{M.p}^4}{8D_{n.p}^3 z_p} \Delta l_p \cos \beta \Big|_0^{\frac{1}{g_k} \left( \frac{1}{B_k} - l_k + 0,5d_{3p} \right)} - p_s l_\epsilon r_\epsilon \sqrt{4f_n^2 + 0,25\pi^2} z_{uu} \cos \varphi \Big|_0^{\frac{1}{g_k} \left( \frac{1}{B_k} - l_k + 0,5d_{3p} \right)} -; \quad (2.29) \\
&- k_a \Delta h_a \sin \alpha \Big|_0^{\frac{1}{g_k} \left( \frac{1}{B_k} - l_k + 0,5d_{3p} \right)} \leq [F_{x.\delta on}] \Big|_0^{\frac{1}{g_k} \left( \frac{1}{B_k} - l_k + 0,5d_{3p} \right)}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\sum_{i=1}^{z_o} m_{oi} d\vartheta_n \Big|_{g_k}^{g_{nk}} &\leq \sum_{i=1}^{z_o} m_{oi} \left( \sqrt{\left( \frac{d\vartheta_k}{dt} \right)^2 + g^2} \right) \sin \alpha \Big|_0^{\frac{1}{g_k} \left( \frac{1}{B_k} - l_k + 0,5d_{3p} \right)} + \\
&+ \left[ \frac{G_p d_{M.p}^4}{8D_{n.p}^3 z_p} \Delta l_p \sin(\beta + \alpha) \right] \Big|_0^{\frac{1}{g_k} \left( \frac{1}{B_k} - l_k + 0,5d_{3p} \right)} + \\
&+ p_s l_\epsilon r_\epsilon \sqrt{4f_n^2 + 0,25\pi^2} z_{uu} \cos(\varphi - \alpha) \Big|_0^{\frac{1}{g_k} \left( \frac{1}{B_k} - l_k + 0,5d_{3p} \right)} + \\
&+ \left( \frac{G_c d_{M.c}^4}{8D_{n.c}^3 z_c} \Delta y_c - k_a \Delta h_a \right) \cos \alpha \Big|_0^{\frac{1}{g_k} \left( \frac{1}{B_k} - l_k + 0,5d_{3p} \right)} \leq \frac{[\sigma_{n.\delta on}]}{S_{k.k}} \Big|_0^{\frac{1}{g_k} \left( \frac{1}{B_k} - l_k + 0,5d_{3p} \right)}
\end{aligned} \quad (2.30)$$

Розв'язавши нерівності (2.29) і (2.30) відносно доударної  $\mathcal{G}_k$  та післяударної  $\mathcal{G}_{xk}$  і  $\mathcal{G}_{nk}$  швидкостей руху копіра, отримаємо залежності для визначення різниці горизонтальної  $\Delta\mathcal{G}_{xk}$  і дотичної  $\Delta\mathcal{G}_{nk}$  швидкості руху копіра:

- для умови невибивання коренеплоду з ґрунтового середовища

$$\Delta\mathcal{G}_{xk} \leq \frac{1}{\sum_{i=1}^{z_o} m_{oi} \mathcal{G}_k} \left( \frac{1}{B_k} - l_k + 0,5d_{zp} \right) \times \left\{ \sum_{i=1}^{z_o} m_{oi} \left[ \sqrt{a_k^2 + g^2} - g(\sin \alpha - \mu_k \cos \alpha) \right] + \frac{G_p d_{m.p}^4}{8D_{n.p}^3 z_p} \Delta l_p \cos \beta - \right. \\ \left. - p_s l_{\sigma} r_{\sigma} \sqrt{4f_n^2 + 0,25\pi^2 z_{uu} \cos \varphi} - k_a \Delta h_a \sin \alpha \right\}; \quad (2.31)$$

$$\Delta\mathcal{G}_{nk} \leq \frac{1}{\sum_{i=1}^{z_o} m_{oi} \mathcal{G}_k} \left( \frac{1}{B_k} - l_k + 0,5d_{zp} \right) \left\{ \begin{aligned} & \sum_{i=1}^{z_o} m_{oi} \left( \sqrt{a_k^2 + g^2} \right) \sin \alpha + \\ & + \frac{G_p d_{m.p}^4}{8D_{n.p}^3 z_p} \Delta l_p \sin(\beta + \alpha) + \\ & + p_s l_{\sigma} r_{\sigma} \sqrt{4f_n^2 + 0,25\pi^2 z_{uu} \cos(\varphi - \alpha)} + \\ & + \left( \frac{G_c d_{m.c}^4}{8D_{n.c}^3 z_c} \Delta y_c - k_a \Delta h_a \right) \cos \alpha \end{aligned} \right\}. \quad (2.32)$$

Згідно з дослідженнями [28, 127] мінімальна маса апаратів для зрізування залишків гички з головок коренеплодів обмежується конструктивними міркуваннями в межах 6...10 (кг) виходячи з умови задовільного (без галопування) копіювання головок коренеплодів полозками копіра [81].

За початкових умов  $B_k = 8$  шт. п.м,  $l_k = 0,2$  м,  $d_{zp} = 0,05$  м, [128],  $k_a = 4,7$  Н/м,  $\Delta h_a = 0,015$  м, [129],  $\Delta l_p = 0,08$  м,  $c_p = \frac{G_p d_{m.p}^4}{8D_{n.p}^3 z_p} = 40$  Н/м,  $\Delta y_c = 0,1$  м,

$c_c = \frac{G_p d_{m.c}^4}{8D_{n.c}^3 z_c} = 35$  Н/м [130],  $\mu_k = 0,75$  [131],  $\beta = \varphi = 30$  град. згідно з (2.30) та

(2.31) побудовано залежності для визначення різниці горизонтальної  $\Delta\mathcal{G}_{xk}$  (рис. 2.2, додаток Б.1.1) та дотичної  $\Delta\mathcal{G}_{nk}$  (рис. 2.3, додаток Б.2.1) швидкості руху

копіра як функція  $\Delta\mathcal{G}_{xk} = f\left(\sum_{i=1}^{z_o} m_{oi}, \mathcal{G}_k\right)$ ,  $\Delta\mathcal{G}_{nk} = f\left(\sum_{i=1}^{z_o} m_{oi}, \mathcal{G}_k\right)$ .

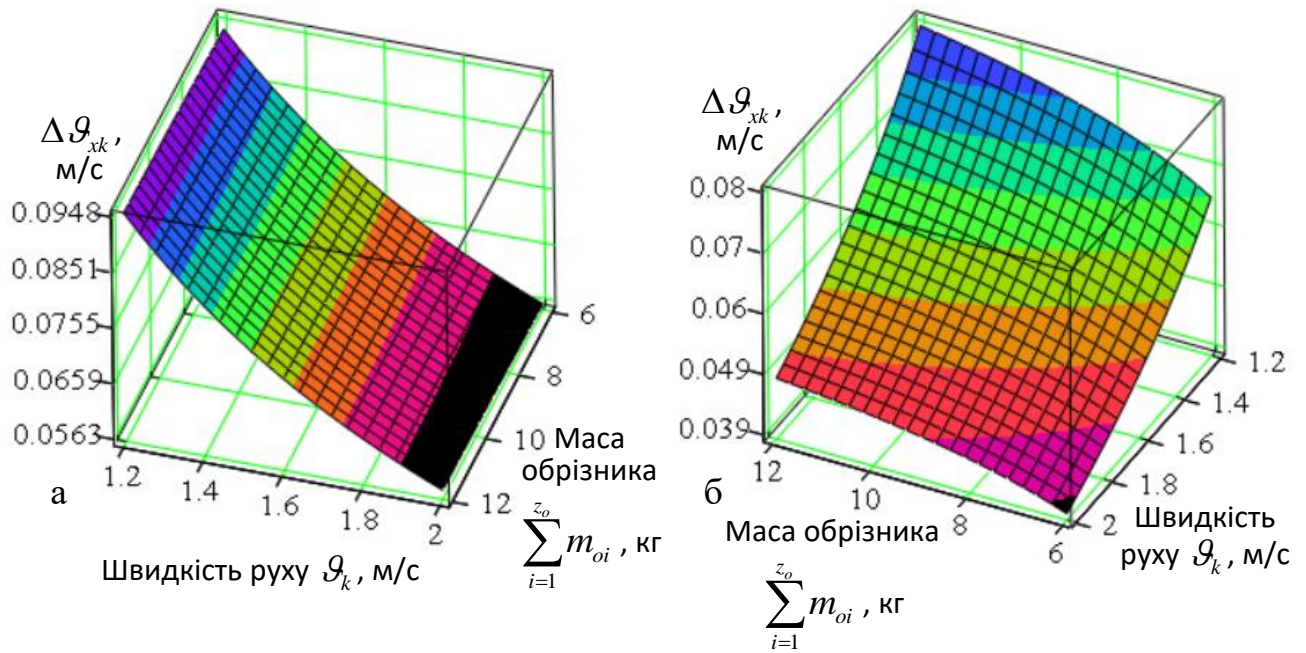


Рисунок 2.2 – Залежність зміни різниці горизонтальної  $\Delta g_{xk}$  швидкості відносно доударної  $g_k$  та післяударної  $g_{xk}$  швидкостей руху копіра як функція

$\Delta g_{xk} = f(\sum_{i=1}^{z_0} m_{oi}, g_k)$ : а – кут встановлення копіра до горизонту  $\alpha = 15$  град.; б –

кут встановлення копіра до горизонту  $\alpha = 30$  град.

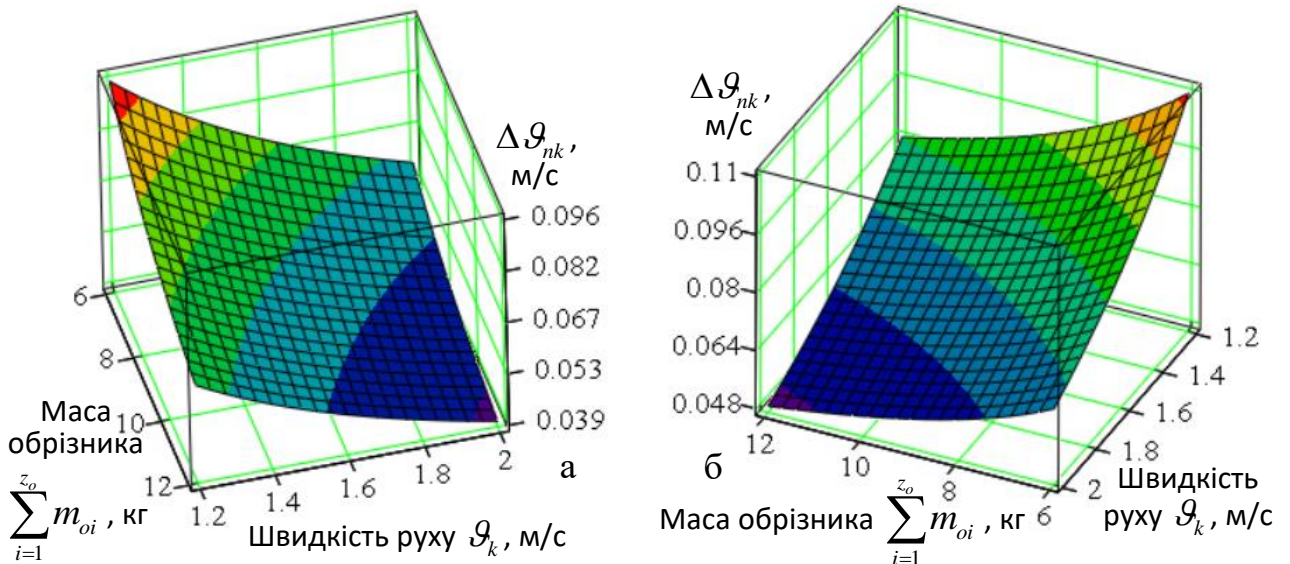


Рисунок 2.3 – Залежність зміни різниці нормальної  $\Delta g_{nk}$  швидкості руху копіра відносно доударної  $g_k$  та післяударної  $g_{nk}$  швидкостей руху копіра як

функція  $\Delta g_{nk} = f(\sum_{i=1}^{z_0} m_{oi}, g_k)$ : а – кут встановлення копіра до горизонту  $\alpha = 15$

град.; б – кут встановлення копіра до горизонту  $\alpha = 30$  град.

Домінантними параметрами обрізника, які найбільш вагомо впливають на зміну різниці доударної  $\mathcal{G}_k$  та після уданої  $\mathcal{G}_{xk}$   $\mathcal{G}_{nk}$  швидкостей руху копіра, або різниці  $\Delta\mathcal{G}_{xk}$  і  $\Delta\mathcal{G}_{nk}$  швидкостей є:

- зміна початкової швидкості  $\mathcal{G}_k$  контакту копіра з головкою коренеплоду – за міни  $\mathcal{G}_k$  в межах від 1,2 до 2,0 м/с різниця горизонтальної швидкості  $\Delta\mathcal{G}_{xk}$  зменшується в середньому на 0,02...0,03 м/с (рис. 2.2, додаток Б.1.1, рис. 2.4а), а різниця нормальної швидкості  $\Delta\mathcal{G}_{nk}$  зменшується в середньому на 0,03...0,04 м/с (рис. 2.3, додаток Б.2.1, рис. 2.4б);

- зміна кута  $\alpha$  встановлення копіра до горизонту – за міни  $\alpha$  в межах від 15 до 45 град. різниця горизонтальної швидкості  $\Delta\mathcal{G}_{xk}$  зменшується в середньому на 0,015...0,02 м/с (рис. 2.2, додаток Б.1.1, рис. 2.4а), а різниця нормальної швидкості  $\Delta\mathcal{G}_{nk}$  збільшується в середньому на 0,015...0,02 м/с (рис. 2.3, додаток Б.2.1, рис. 2.4б).

Ідентичність цих положень, або функціональна зміна різниці доударної  $\mathcal{G}_k$  та після уданої  $\mathcal{G}_{xk}$   $\mathcal{G}_{nk}$  швидкостей руху копіра, або різниці  $\Delta\mathcal{G}_{xk}$  і  $\Delta\mathcal{G}_{nk}$  швидкостей також характерна залежностям  $\Delta\mathcal{G}_{xk} = f(\mathcal{G}_k)$  і  $\Delta\mathcal{G}_{nk} = f(\mathcal{G}_k)$ , які наведено на рис. 2.4.

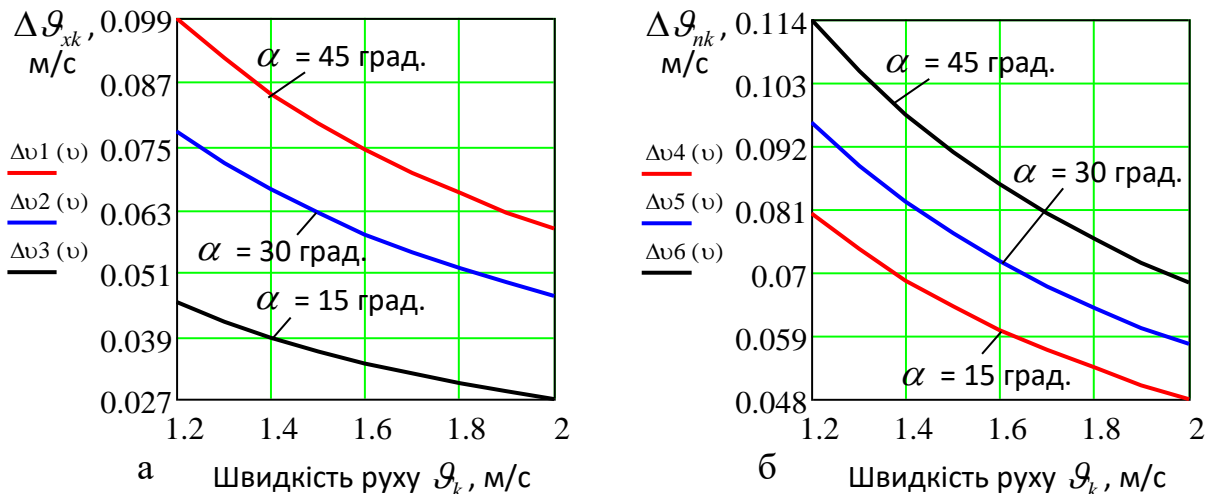


Рисунок 2.4 – Залежність зміни: а – різниці горизонтальної  $\Delta\mathcal{G}_{xk}$  швидкості руху копіра як функція  $\Delta\mathcal{G}_{xk} = f(\mathcal{G}_k)$ ; б – різниці нормальної  $\Delta\mathcal{G}_{nk}$  швидкості руху копіра як функція  $\Delta\mathcal{G}_{nk} = f(\mathcal{G}_k)$ ;  $\sum_{i=1}^{z_o} m_{oi} = 8,0$  кг

Для знаходження горизонтального  $a_{g_k}$  та нормального  $a_{g_{nk}}$  прискорення руху копіра запишемо нерівності (2.22) і (2.23) у такому вигляді:

$$\sum_{i=1}^{z_o} m_{oi} \left( \sqrt{\left( \frac{d\vartheta_k}{dt} \right)^2 + g^2} \right) \leq \sum_{i=1}^{z_o} m_{oi} \left[ g (\sin \alpha - \mu_k \cos \alpha) \right] - \frac{G_p d_{m.p}^4}{8D_{n.p}^3 z_p} \Delta l_p \cos \beta + ; \quad (2.33)$$

$$+ p_s l_{\epsilon} r_{\epsilon} \sqrt{4f_n^2 + 0,25\pi^2 z_{uu} \cos \varphi} + k_a \Delta h_a \sin \alpha + [F_{x.\dot{d}on}]$$

$$\sum_{i=1}^{z_o} m_{oi} \sqrt{\left( \frac{d\vartheta_{nk}}{dt} \right)^2 + g^2} \sin \alpha \leq \frac{[\sigma_{n.\dot{d}on}]}{S_{k.k}} - \frac{G_p d_{m.p}^4}{8D_{n.p}^3 z_p} \Delta l_p \sin(\beta + \alpha) -$$

$$- p_s l_{\epsilon} r_{\epsilon} \sqrt{4f_n^2 + 0,25\pi^2 z_{uu} \cos(\varphi - \alpha)} - \left( \frac{G_c d_{m.c}^4}{8D_{n.c}^3 z_c} \Delta y_c - k_a \Delta h_a \right) \cos \alpha \quad (2.34)$$

Виконавши розв'язок (2.33) відносно  $\frac{d\vartheta_k}{dt}$  та (2.34) відносно  $\frac{dV_{nk}}{dt}$ , отримаємо функціональні залежності для визначення допустимого горизонтального  $a_{g_{xk}}$  (м/с<sup>2</sup>) та нормального  $a_{g_{nk}}$  (м/с<sup>2</sup>) прискорення руху копіра з умови невивалювання коренеплодів з ґрунту та непошкодження коренеплодів, відповідно

$$a_{g_{xk}} \leq \sqrt{\frac{1}{\sum_{i=1}^{z_o} m_{oi}^2} \left\{ \begin{aligned} & \left[ F_{x.\dot{d}on} \right] + \sum_{i=1}^{z_o} m_{oi} \left[ g (\sin \alpha - \mu_k \cos \alpha) \right] - \\ & - \frac{G_p d_{m.p}^4}{8D_{n.p}^3 z_p} \Delta l_p \cos \beta + \\ & + p_s l_{\epsilon} r_{\epsilon} \sqrt{4f_n^2 + 0,25\pi^2 z_{uu} \cos \varphi} + k_a \Delta h_a \sin \alpha \end{aligned} \right\} - g^2} ; \quad (2.35)$$

$$a_{g_{nk}} \leq \sqrt{\frac{1}{\sum_{i=1}^{z_o} m_{oi}^2 \sin^2 \alpha} \left\{ \begin{aligned} & \left[ \frac{[\sigma_{n.\dot{d}on}]}{S_{k.k}} - \frac{G_p d_{m.p}^4}{8D_{n.p}^3 z_p} \Delta l_p \sin(\beta + \alpha) - \right. \\ & - p_s l_{\epsilon} r_{\epsilon} \sqrt{4f_n^2 + 0,25\pi^2 z_{uu} \cos(\varphi - \alpha)} - \\ & \left. - \left( \frac{G_c d_{m.c}^4}{8D_{n.c}^3 z_c} \Delta y_c - k_a \Delta h_a \right) \cos \alpha \right\} - g^2} . \quad (2.36)$$

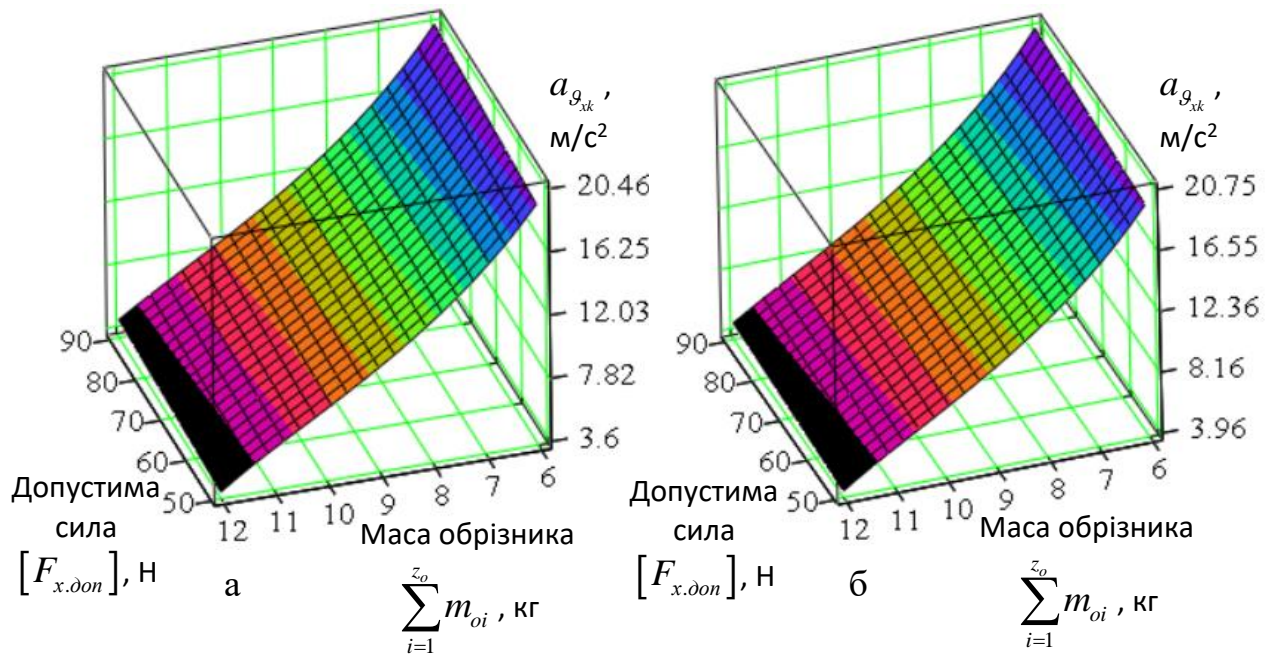


Рисунок 2.5 – Залежність зміни горизонтального прискорення  $a_{g_{xk}}$  руху

копіра як функція  $a_{g_{xk}} = f([F_{x.don}]; \sum_{i=1}^{z_o} m_{oi})$ , коефіцієнт жорсткості пружини регульовальної тяги  $c_p = 40$  Н/м: а, б – кут встановлення копіра до горизонту  $\alpha = 15, 30$  град.

Згідно з нерівностями (2.35) та (2.36) побудовано залежність зміни допустимого горизонтального  $a_{g_{xk}}$  та нормального  $a_{g_{nk}}$  прискорення руху копіра як функція: для умови невивалювання коренеплоду з ґрунту

$a_{g_{xk}} = f([F_{x.don}]; \sum_{i=1}^{z_o} m_{oi})$ , рис. 2.5, додаток Б.3.1; для умови непошкодження

коренеплоду  $a_{g_{nk}} = f([\sigma_{n.don}] / S_{k.k}; \sum_{i=1}^{z_o} m_{oi})$ , рис. 2.6, додаток Б.4.1.

Домінантними параметрами обрізника, які найбільш вагомо впливають на зміну горизонтального  $a_{g_{xk}}$  та нормального  $a_{g_{nk}}$  прискорення руху копіра є

зміна сумарної маси рухомих частин обрізника  $\sum_{i=1}^{z_o} m_{oi}$  – за міни  $\sum_{i=1}^{z_o} m_{oi}$  в межах

від 6 до 12 кг горизонтальне прискорення  $a_{g_{xk}}$  руху копіра зменшується в середньому на 16,0...17,0 м/с<sup>2</sup> (рис. 2.5, додаток Б.3.1, рис. 2.7а), а нормальне прискорення  $a_{g_{nk}}$  зменшується в середньому на 12,0...18,0 м/с<sup>2</sup> (рис. 2.5, додаток Б.4.1, рис. 2.7б).

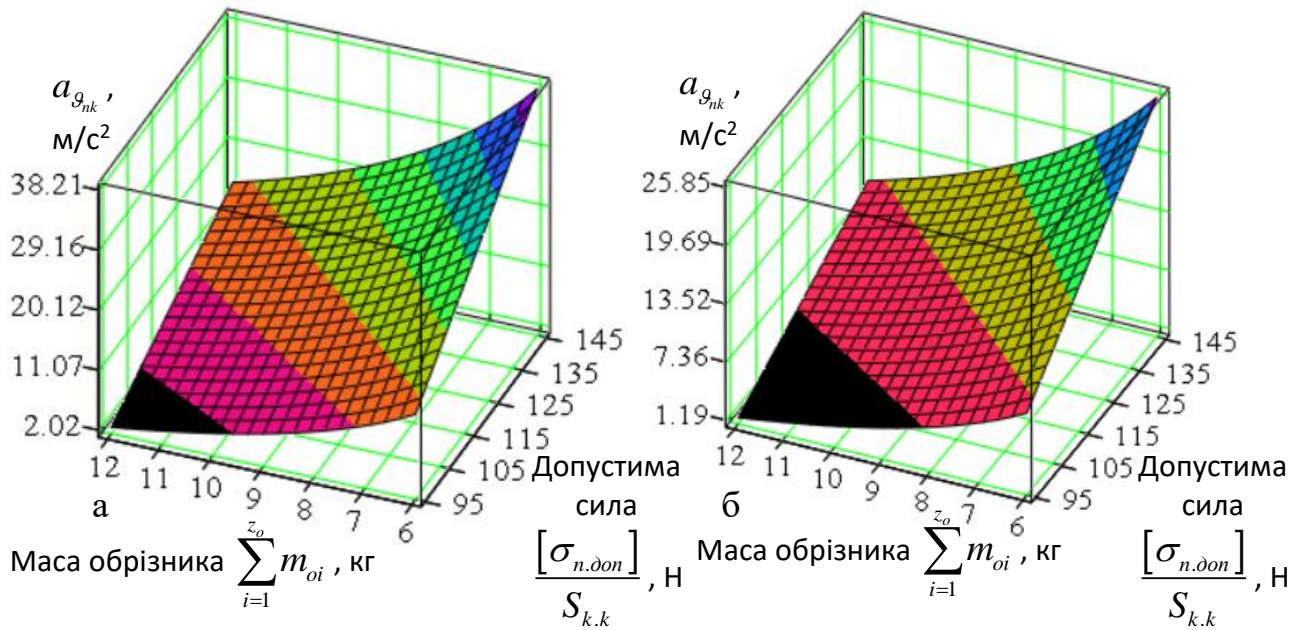


Рисунок 2.6 – Залежність зміни нормального прискорення  $a_{g_{nk}}$  руху копіра як функція  $a_{g_{nk}} = f([\sigma_{n.\dot{o}o}]/S_{k.k}; \sum_{i=1}^{z_o} m_{oi})$  коефіцієнт жорсткості пружини стакана вертикальної тяги  $c_c = 50$  Н/м: а – кут встановлення копіра до горизонту  $\alpha = 15$  град.; б – кут встановлення копіра до горизонту  $\alpha = 30$  град.

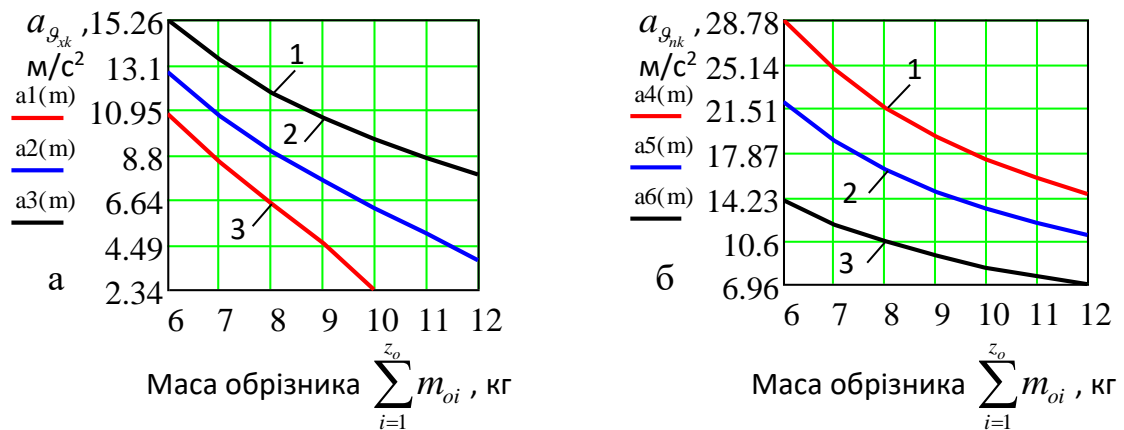


Рисунок 2.7 – Залежність функціональної зміни прискорення руху копіра: а – горизонтального  $a_{g_{xk}}$  як функція  $a_{g_{xk}} = f(\sum_{i=1}^{z_o} m_{oi})$ ; 1, 2, 3 – відповідно, коефіцієнт жорсткості пружини регульовальної тяги  $c_p = 30, 40$  і  $50$  Н/м; б – нормального  $a_{g_{nk}}$  як функція  $a_{g_{nk}} = f(\sum_{i=1}^{z_o} m_{oi})$ ; 1, 2, 3 – відповідно, кут встановлення копіра до горизонту  $\alpha = 15, 30$  і  $45$  град.; коефіцієнт жорсткості пружини стакана вертикальної тяги  $c_c = 50$  Н/м



Зміна допустимої сумарної горизонтальної сили  $[F_{x.\dot{d}on}]$  – за зміни  $[F_{x.\dot{d}on}]$  в межах від 50 до 90 Н горизонтальне прискорення  $a_{g_{xk}}$  руху копіра практично не змінюється (рис. 2.5, додаток Б.3.1, рис. 2.7а), а нормальне прискорення  $a_{g_{nk}}$  за зміни сумарної нормальної допустимої сили  $[\sigma_{n.\dot{d}on}]/S_{k.k}$  від 95 до 145 Н збільшується в середньому на 9,7...18,5 м/с<sup>2</sup> (рис. 2.6, додаток Б.4.1, рис. 2.7б).

- зміна кута  $\alpha$  встановлення копіра до горизонту – за зміни  $\alpha$  в межах від 15 до 45 град. горизонтальне прискорення  $a_{g_{xk}}$  руху копіра суттєво не змінюється, а нормальне прискорення  $a_{g_{nk}}$  зменшується в середньому на 7,3...14,5 м/с<sup>2</sup> (рис. 2.7б).

В загальному горизонтальне прискорення  $a_{g_{xk}}$  руху копіра під час його контактної взаємодії з головкою коренеплоду з умови невивалювання коренеплодів з ґрунту знаходиться в діапазоні від 3,0 до 20,0 м/с<sup>2</sup>, а нормальне прискорення  $a_{g_{nk}}$  – в діапазоні від 2,0 до 38,0 м/с<sup>2</sup> залежно від зміни основних параметрів обрізника залишків гички з головок коренеплодів.

## 2.2. Обґрунтування основних параметрів обрізника

До основних параметрів обрізника залишків гички з головок коренеплодів цикорію належать:

- робоча швидкість руху обрізника або швидкість руху копіра  $\mathcal{G}_k$ , мінімальне значення якої обмежене агротехнічними вимогами [132, 133] до коренезбиральних машин;

- допустима сумарна маса  $\sum_{i=1}^{z_o} m_{oi}$  рухомих частин обрізника;

- кут встановлення копіра до горизонту  $\alpha$ ;

- коефіцієнт жорсткості пружини плоского ножа  $c_H$ ;

- коефіцієнт жорсткості пружини стакана вертикальної тяги копіра  $c_c$ ;

- коефіцієнт жорсткості пружини регулювальної тяги  $c_p$  [75].

Для знаходження допустимої сумарної маси  $\sum_{i=1}^{z_o} m_{oi}$  рухомих частин обрізника під час контактної взаємодії копіра з головкою коренеплоду запишемо отримані нерівності (2.33) і (2.34) у такому вигляді [57, 134]:

$$\sum_{i=1}^{z_o} m_{oi} \sqrt{a_{g_{sk}}^2 + g^2} \leq \sum_{i=1}^{z_o} m_{oi} [g(\sin \alpha - \mu_{\kappa} \cos \alpha)] - c_p \Delta l_p \cos \beta + ; \quad (2.37)$$

$$+ p_s l_{\epsilon} r_{\epsilon} \sqrt{4f_n^2 + 0,25\pi^2 z_{ui} \cos \varphi} + k_a \Delta h_a \sin \alpha + [F_{x.\dot{o}o}n]$$

$$\sum_{i=1}^{z_o} m_{oi} \sqrt{a_{g_{nx}}^2 + g^2} \sin \alpha \leq \frac{[\sigma_{n.\dot{o}o}n]}{S_{k.k}} - c_p \Delta l_p \sin(\beta + \alpha) - ; \quad (2.38)$$

$$- p_s l_{\epsilon} r_{\epsilon} \sqrt{4f_n^2 + 0,25\pi^2 z_{ui} \cos(\varphi - \alpha)} - (c_c \Delta y_c - k_a \Delta h_a) \cos \alpha$$

або:

- з умови невивалювання коренеплодів з ґрунту

$$\sum_{i=1}^{z_o} m_{oi}^{(g)} \leq \frac{[F_{x.\dot{o}o}n] - c_p \Delta l_p \cos \beta + p_s l_{\epsilon} r_{\epsilon} \sqrt{4f_n^2 + 0,25\pi^2 z_{ui} \cos \varphi} + k_a \Delta h_a \sin \alpha}{\sqrt{a_{g_{sk}}^2 + g^2} - g(\sin \alpha - \mu_{\kappa} \cos \alpha)} ; \quad (2.39)$$

- з умови непошкодження коренеплодів

$$\sum_{i=1}^{z_o} m_{oi}^{(n)} \leq \frac{1}{\sqrt{a_{g_{nx}}^2 + g^2} \sin \alpha} \left[ \begin{array}{l} \frac{[\sigma_{n.\dot{o}o}n]}{S_{k.k}} - c_p \Delta l_p \sin(\beta + \alpha) - \\ - p_s l_{\epsilon} r_{\epsilon} \sqrt{4f_n^2 + 0,25\pi^2 z_{ui} \cos(\varphi - \alpha)} - \\ - (c_c \Delta y_c - k_a \Delta h_a) \cos \alpha \end{array} \right] , \quad (2.40)$$

У відповідності до отриманих функціональних нерівностей (2.39) та (2.40) побудовано залежності зміни допустимої сумарної маси  $\sum_{i=1}^{z_o} m_{oi}$  рухомих частин обрізника під час контактної взаємодії копіра з головкою коренеплоду за умови невивалювання коренеплодів з ґрунту та умови непошкодження коренеплодів як функція, відповідно,  $\sum_{i=1}^{z_o} m_{oi}^{(g)} = f(c_p; \alpha)$  і  $\sum_{i=1}^{z_o} m_{oi}^{(n)} = f(c_p; c_c)$ , при цьому приймаємо, що:

- горизонтальне прискорення  $a_{g_{xk}}$  руху копіра з умови невивалювання коренеплодів цикорію з ґрунту, яке визначено згідно аналізу графічних побудов рис. 2.7а дорівнює середньому значенню  $10,0 \text{ м/с}^2$ , а нормальне прискорення з умови непошкодження коренеплодів  $a_{g_{nk}}$  – середньому значенню  $15,0 \text{ м/с}^2$ ;

- допустима горизонтальна сила з умови невивалювання коренеплодів цикорію з ґрунту дорівнює середньому значенню  $[F_{x.\dot{\alpha}on}] = 70 \text{ Н}$ , а нормальна сила, яка прикладена до вершини головки коренеплоду та сприяє проникненню ползків копіра в тіло коренеплоду на глибину від 3 до 5 мм дорівнює середньому значення  $\frac{[\sigma_{n.\dot{\alpha}on}]}{S_{k.k}} = 120 \text{ Н}$  [135, 136].

Побудовані графічні залежності  $\sum_{i=1}^{z_o} m_{oi}^{(\theta)} = f(c_p; \alpha)$ ,  $\sum_{i=1}^{z_o} m_{oi}^{(n)} = f(c_c; \alpha)$  і

$\sum_{i=1}^{z_o} m_{oi}^{(n)} = f(c_p; c_c)$  наведено, відповідно, на рис. 2.8, рис. 2.9 і 2.10.

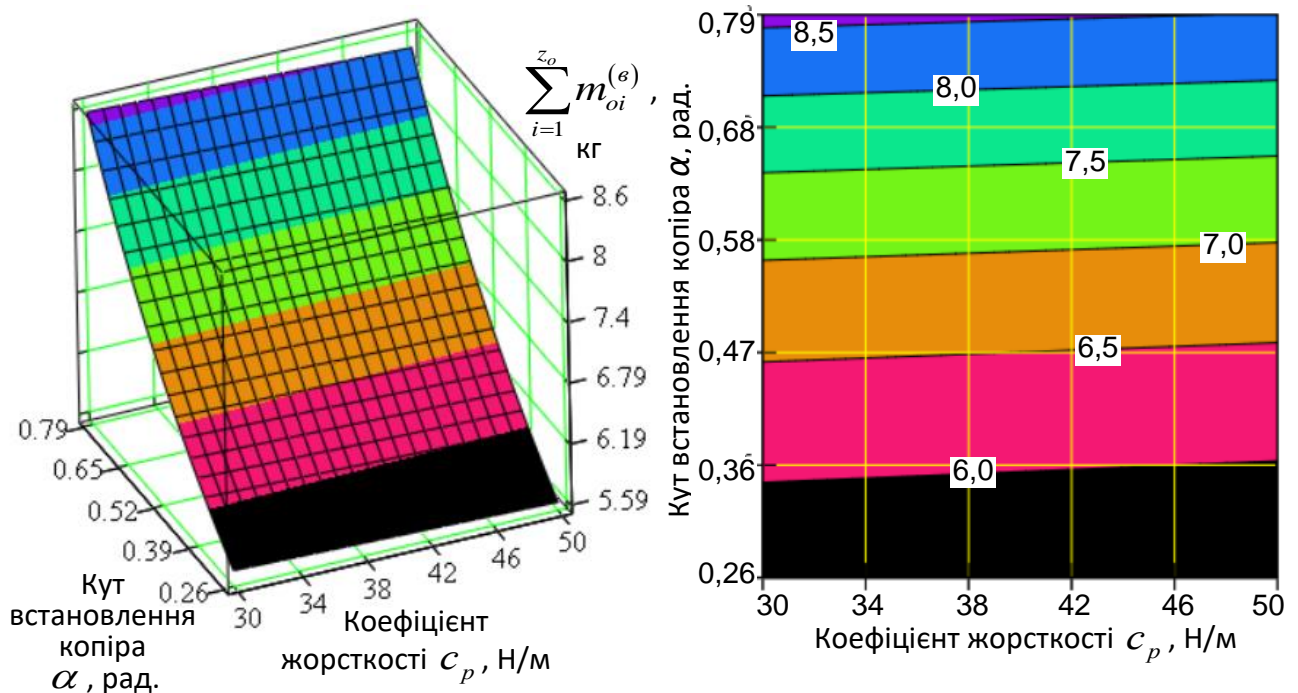


Рисунок 2.8 – Залежність зміни допустимої сумарної маси  $\sum_{i=1}^{z_o} m_{oi}^{(\theta)}$

рухомих частин обрізника з умови невивалювання коренеплодів з ґрунту як

функція  $\sum_{i=1}^{z_o} m_{oi}^{(\theta)} = f(c_p; \alpha)$ ,  $k_a = 4,7 \text{ Н/м}$

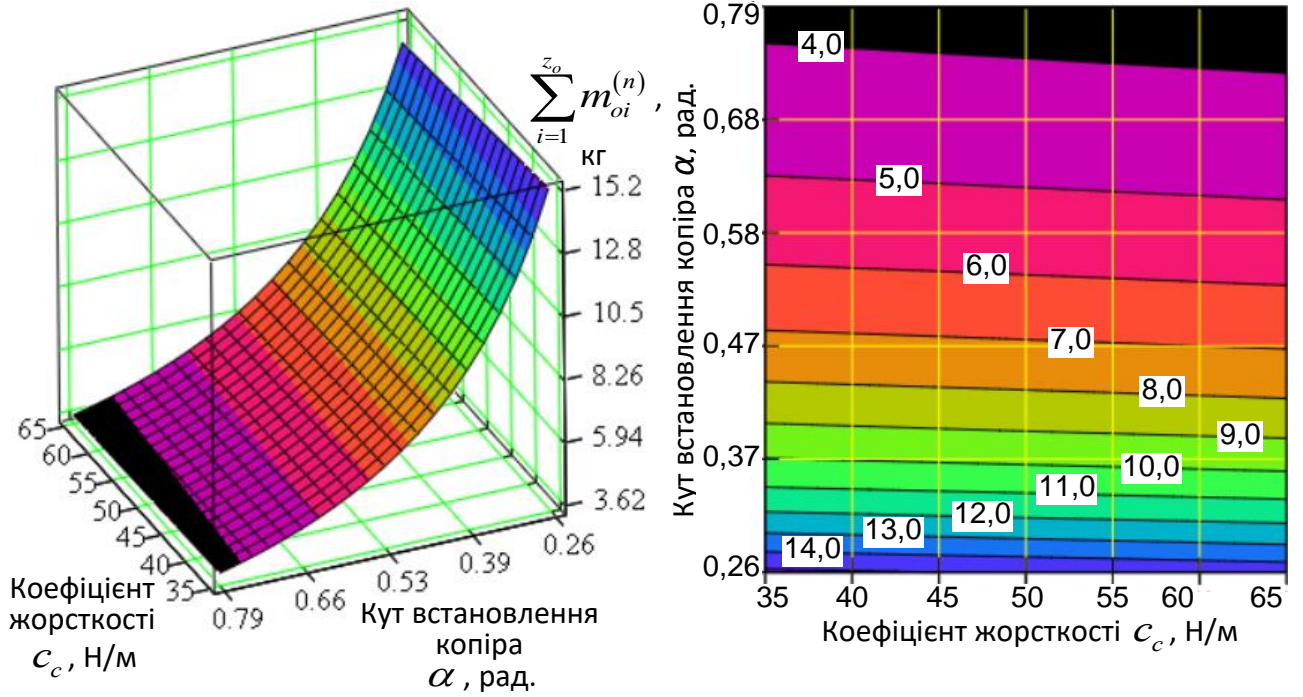


Рисунок 2.9 – Залежність зміни допустимої сумарної маси  $\sum_{i=1}^{z_o} m_{oi}^{(n)}$  рухомих частин обрізника з умови непошкодження коренеплодів як функція

$$\sum_{i=1}^{z_o} m_{oi}^{(n)} = f(c_c; \alpha); c_p = 40 \text{ Н/м}, k_a = 4,7 \text{ Н/м}$$

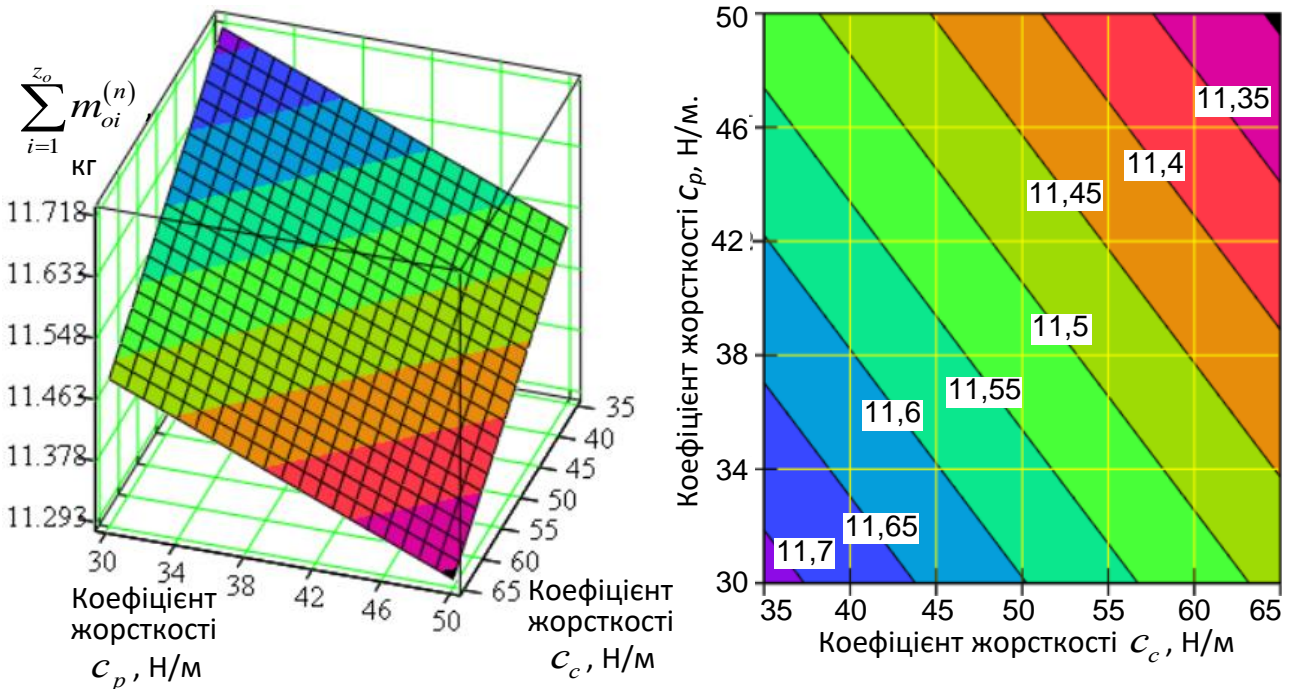


Рисунок 2.10 – Залежність зміни допустимої сумарної маси  $\sum_{i=1}^{z_o} m_{oi}^{(n)}$  рухомих частин обрізника з умови непошкодження коренеплодів як функція

$$\sum_{i=1}^{z_o} m_{oi}^{(n)} = f(c_p; c_c); \alpha = \pi/6 \text{ рад (30 град.)}, k_a = 4,7 \text{ Н/м}$$

Допустима сумарна маса  $\sum_{i=1}^{z_o} m_{oi}^{(e)}$  рухомих частин обрізка знаходиться в межах від 5,5 до 8,5 кг (рис. 2.8) з умови невивалювання коренеплодів з ґрунту та в межах  $\sum_{i=1}^{z_o} m_{oi}^{(n)} = 4...15$  кг (рис. 2.9, рис. 2.10) для умови непошкодження коренеплодів цикорію за зміни кута  $\alpha$  в межах від 15 до 45 град.

За середніх значень коефіцієнта жорсткості  $c_p = 40$  Н/м пружини регулювальної тяги, яка забезпечує відсутність галопування копіра, коефіцієнта жорсткості  $c_c = 50$  Н/м пружини стакана вертикальної тяги копіра, яка забезпечує зниження динамічного навантаження на головку коренеплоду в момент його контактної взаємодії з копіром і кута встановлення копіра до горизонту  $\alpha = 30$  град. (0,52 рад.) допустима сумарна маса  $\sum_{i=1}^{z_o} m_{oi}^{(e)}$  рухомих частин обрізка з умови невивалювання коренеплодів з ґрунту дорівнює 6,9 кг, а допустима сумарна маса  $\sum_{i=1}^{z_o} m_{oi}^{(n)}$  з умови непошкодження коренеплодів дорівнює приблизно 5,2 кг (рис. 2.11).

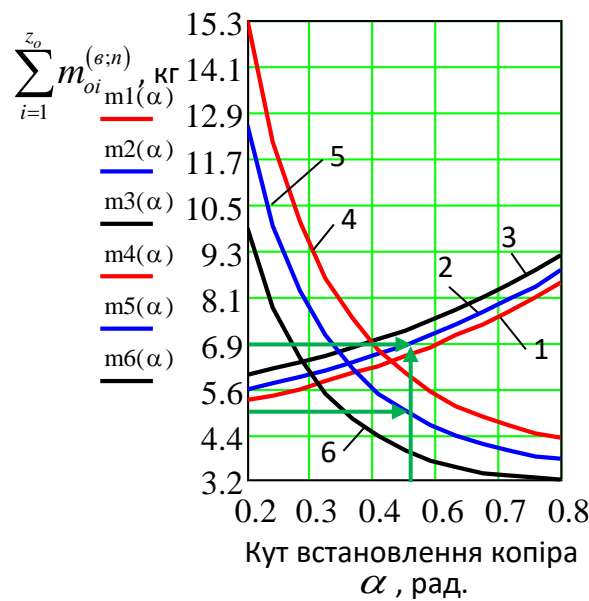


Рисунок 2.11 – Залежність зміни: 1, 2, 3 – як функція  $\sum_{i=1}^{z_o} m_{oi}^{(e)} = f(\alpha)$ , відповідно  $c_p = 30, 40, 50$  Н/м; 4, 5, 6 – як функція  $\sum_{i=1}^{z_o} m_{oi}^{(n)} = f(\alpha)$ , відповідно,  $c_c = 35, 50, 65$  Н/м;  $c_p = 40$  Н/м

Для уточнення теоретичного аналізу з обґрунтування основних параметрів обрізника залишків гички з головок коренеплідів запишемо (2.22) та (2.23) у такому вигляді:

- функціональну залежність, яка характеризує умову невивалювання коренеплоду з ґрунту

$$\sum_{i=1}^{z_x} F_{x.cym_i} = \sum_{i=1}^{z_o} m_{oi} \left[ \sqrt{a_{g_{xk}}^2 + g^2} - g (\sin \alpha - \mu_k \cos \alpha) \right] + \quad ; (2.41)$$

$$+ \frac{G_p d_{m.p}^4}{8D_{n.p}^3 z_p} \Delta l_p \cos \beta - p_s l_{e_6} r_{e_6} \sqrt{4f_n^2 + 0,25\pi^2 z_{ui} \cos \varphi} - k_e \Delta h_a \sin \alpha \leq [F_{x.don}]$$

- функціональну залежність, яка характеризує умову непошкодження коренеплоду

$$\sum_{i=1}^{z_n} F_{n.cym_i} \leq \sum_{i=1}^{z_o} m_{oi} \sqrt{a_{g_{nx}}^2 + g^2} \sin \alpha + \frac{G_p d_{m.p}^4}{8D_{n.p}^3 z_p} \Delta l_p \sin(\beta + \alpha) + \quad (2.42)$$

$$+ p_s l_{e_6} r_{e_6} \sqrt{4f_n^2 + 0,25\pi^2 z_{ui} \cos(\varphi - \alpha)} + \left( \frac{G_c d_{m.c}^4}{8D_{n.c}^3 z_c} \Delta y_c - k_e \Delta h_a \right) \cos \alpha \leq \frac{[\sigma_{n.don}]}{S_{k.k}}$$

Обґрунтування основних параметрів процесу та параметрів обрізника проведемо з накладеної умови обмеження сумарної горизонтальної  $\sum_{i=1}^{z_x} F_{x.cym_i}$  та

нормальної  $\sum_{i=1}^{z_x} F_{n.cym_i}$  сили контактної взаємодії копіра з головкою коренеплоду

цикорію відносно допустимої сумарної горизонтальної сили  $\left[ \sum_{i=1}^{z_x} F_{x.don_i} \right] \leq 85 \text{ Н}$

та нормальної сили  $\left[ \sum_{i=1}^{z_x} F_{n.don_i} \right] \leq 120 \text{ Н}$ , тобто:

$$- \sum_{i=1}^{z_x} F_{x.cym_i} \leq \left[ \sum_{i=1}^{z_x} F_{x.don_i} \right] \leq 85 \text{ Н}; [85, 136].$$

$$- \sum_{i=1}^{z_x} F_{n.cym_i} \leq \left[ \sum_{i=1}^{z_x} F_{n.don_i} \right] \leq 120 \text{ Н} [85, 137].$$

Згідно з (2.41) побудовано залежності зміни сумарної горизонтальної

$\sum_{i=1}^{z_x} F_{x.cym_i}$  сили контактної взаємодії копіра з головкою коренеплоду за умови невивалювання коренеплоду цикорію з ґрунту як функція:

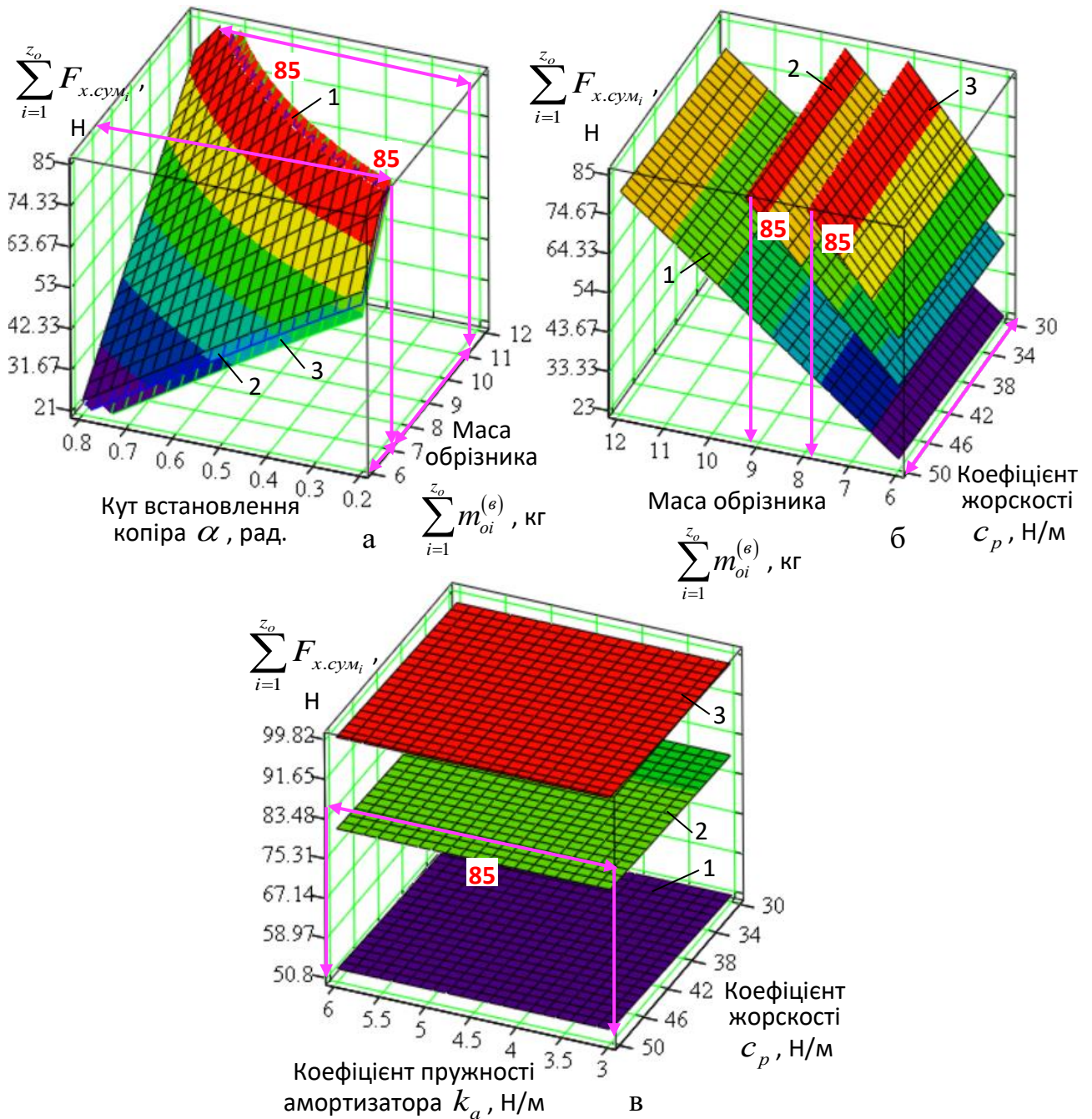


Рисунок 2.12 – Залежність зміни сумарної горизонтальної сили за умови невивалювання коренеплодів цикорію з ґрунту як функція: а –

$$\sum_{i=1}^{z_x} F_{x.cym_i} = f\left(\sum_{i=1}^{z_o} m_{oi}^{(e)}; \alpha\right) \leq 85 \text{ Н}, \quad c_p = 40 \text{ Н/м}, \quad k_a = 4,7 \text{ Н/м}; \quad \text{б –}$$

$$\sum_{i=1}^{z_x} F_{x.cym_i} = f\left(\sum_{i=1}^{z_o} m_{oi}^{(e)}; c_p\right) \leq 85 \text{ Н}, \quad 1, 2, 3 \text{ – відповідно, } \alpha = 15, 30, 45 \text{ град.}, \quad k_a =$$

$$4,7 \text{ Н/м}; \quad \text{в – } \sum_{i=1}^{z_x} F_{x.cym_i} = f\left(\sum_{i=1}^{z_o} c_p; k_a\right), \quad 1, 2, 3 \text{ – відповідно, } \alpha = 15, 30, 45 \text{ град.},$$

$$\sum_{i=1}^{z_o} m_{oi}^{(e)} = 8 \text{ кг}$$

$$-\sum_{i=1}^{z_x} F_{x.cym_i} = f\left(\sum_{i=1}^{z_o} m_{oi}^{(\theta)}; \alpha\right) \leq 85 \text{ Н}, \quad \sum_{i=1}^{z_x} F_{x.cym_i} = f\left(\sum_{i=1}^{z_o} m_{oi}^{(\theta)}; c_p\right) \leq 85 \text{ Н}, \quad \sum_{i=1}^{z_x} F_{x.cym_i} = f\left(\sum_{i=1}^{z_o} c_p; k_a\right),$$

рис. 2.12;

$$-\sum_{i=1}^{z_x} F_{x.cym_i} = f\left(\sum_{i=1}^{z_o} m_{oi}^{(\theta)}; \alpha\right), \quad \sum_{i=1}^{z_x} F_{x.cym_i} = f\left(\sum_{i=1}^{z_o} m_{oi}^{(\theta)}; c_p\right) \text{ (додаток Б.5.2).}$$

Сумарна горизонтальна  $\sum_{i=1}^{z_x} F_{x.cym_i}$  сила контактної взаємодії копіра з головкою коренеплоду змінюється в межах від 212 до 162,5 Н (додаток Б.5.2) залежно від зміни основних параметрів обрізника:

- сумарної маси  $\sum_{i=1}^{z_o} m_{oi}^{(\theta)}$  рухомих частин обрізника від 6 до 12 кг;
- кута встановлення  $\alpha$  копіра до горизонту від 15 до 45 град;
- коефіцієнта жорсткості  $c_p$  пружини регулювальної тяги від 30 до 50

Н/м;

- коефіцієнта пружності  $k_a$  амортизатора від 3 до 6 Н/м.

Домінантним параметром, який суттєво впливає на функціональну зміну сумарної горизонтальної сили  $\sum_{i=1}^{z_o} F_{x.cym_i}$  з умови невивалювання коренеплодів цикорію з ґрунту є:

- маса  $\sum_{i=1}^{z_o} m_{oi}^{(\theta)}$  рухомих частин обрізника – за зміни  $\sum_{i=1}^{z_o} m_{oi}^{(\theta)}$  в межах від 6 до 12 кг допустима сумарна горизонтальна сила  $\sum_{i=1}^{z_o} F_{x.cym_i}$  збільшується в середньому в 7,5 рази, додаток Б.5.2;

- кут встановлення  $\alpha$  копіра дл горизонту – за зміни  $\alpha$  від 15 до 45 град.

допустима сумарна горизонтальна сила  $\sum_{i=1}^{z_o} F_{x.cym_i}$  як функція

$\sum_{i=1}^{z_x} F_{x.cym_i} = f\left(\sum_{i=1}^{z_o} m_{oi}^{(\theta)}; c_c\right)$  зменшується в середньому в 1,7 рази (додаток Б.2.5) та

збільшується в середньому в 2 рази як функція  $\sum_{i=1}^{z_x} F_{x.cym_i} = f\left(\sum_{i=1}^{z_o} m_{oi}^{(\theta)}; k_a\right)$ , рис. 2.12в.



Коефіцієнт пружності амортизатора та коефіцієнт жорсткості пружини регулювальної тяги суттєво не впливають на функціональну зміну сумарної горизонтальної сили  $\sum_{i=1}^{z_o} F_{x.cym_i}$ , рис. 2.12б, в.

Побудовані залежності, які наведено на рис. 2.12 і додатку Б.5.2, зведено в загальну графічну інтерпретацію, або загальний рисунок, який являє собою номограму функціональної зміни сумарної горизонтальної сили  $\sum_{i=1}^{z_o} F_{x.cym_i}$  (рис. 2.13), при цьому за номограмою та рис. 2.12 проведено обґрунтування основних оптимальних параметрів удосконаленого обрізника залишків гички з головок коренеплодів цикорію за умови невивалювання коренеплодів з ґрунту.

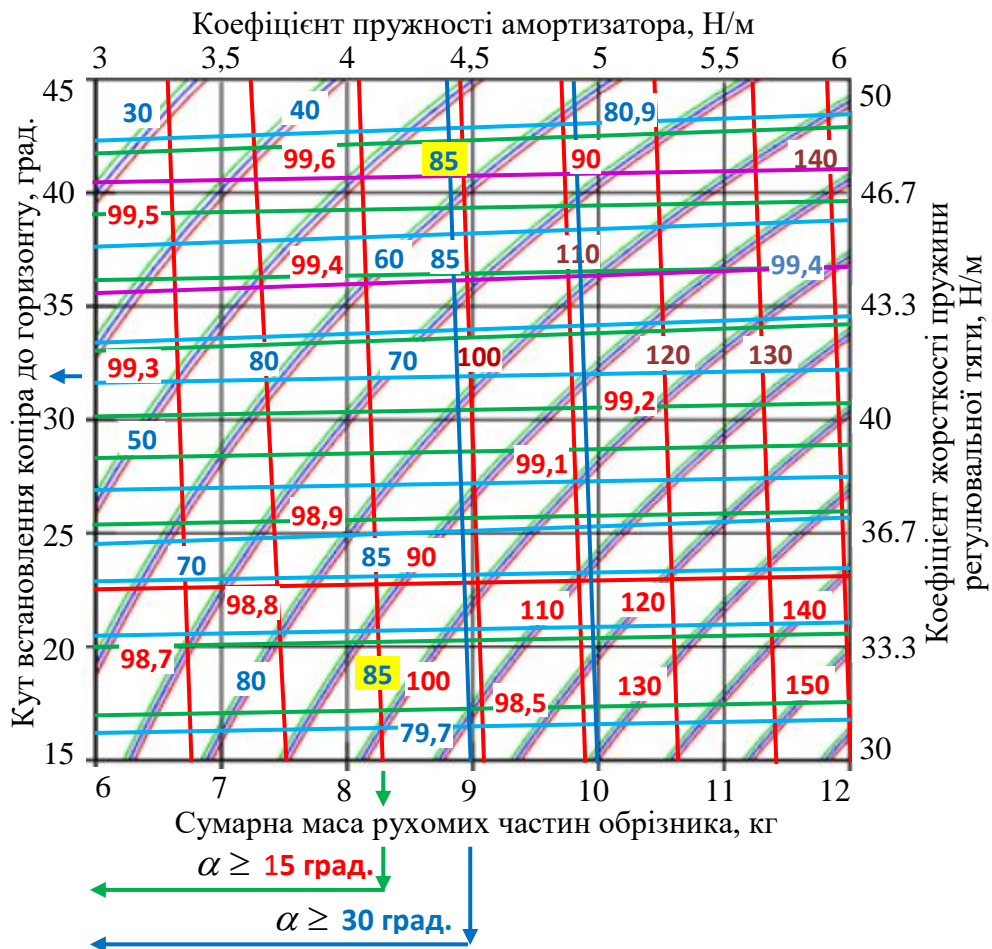


Рисунок 2.13 – Номограма функціональної зміни сумарної горизонтальної сили  $\sum_{i=1}^{z_o} F_{x.cym_i}$  контактної взаємодії копіра з головкою коренеплоду цикорію як функція:  $\sum_{i=1}^{z_x} F_{x.cym_i} = f(\sum_{i=1}^{z_o} m_{oi}^{(e)}; \alpha)$ ,  $\sum_{i=1}^{z_x} F_{x.cym_i} = f(\sum_{i=1}^{z_o} m_{oi}^{(e)}; c_p)$ ,  $\sum_{i=1}^{z_x} F_{x.cym_i} = f(\sum_{i=1}^{z_o} c_p; k_a)$  за умови невивалювання коренеплодів з ґрунту

На першому етапі задаємо числове значення допустимої сумарної горизонтальної сили  $\left[ \sum_{i=1}^{z_0} F_{x.cym_i} \right]$  з умови невивалювання коренеплодів цикорію

з ґрунту, наприклад, задаємо обмеження  $\left[ \sum_{i=1}^{z_0} F_{x.cym_i} \right] \leq 85 \text{ Н}$ , рис. 2.12, рис.2.13.

Тоді маємо такі комбінації основних параметрів обрізника, за яких буде забезпечуватися умова невивалювання коренеплодів цикорію з ґрунту:

- допустима сумарна маса рухомих частин обрізника  $6 \leq \sum_{i=1}^{z_0} m_{oi}^{(e)} \leq 11 \text{ кг}$  за відповідних значень діапазону зміни кута встановлення копіра до горизонту  $15 \leq \alpha \leq 45 \text{ град.}$  та коефіцієнта жорсткості регулювальної тяги  $c_p = 40 \text{ Н/м}$ , коефіцієнта пружності амортизатора  $k_a = 4,7 \text{ Н/м}$ , рис. 2.12а;

- допустима сумарна маса рухомих частин обрізника  $\sum_{i=1}^{z_0} m_{oi}^{(e)} \leq 9 \text{ кг}$  за кута встановлення копіра до горизонту  $\alpha \geq 30 \text{ град.}$  та коефіцієнта жорсткості регулювальної тяги  $30 \leq c_p \leq 50 \text{ Н/м}$ , коефіцієнта пружності амортизатора  $k_a = 4,7 \text{ Н/м}$ , рис. 2.12б;

- допустима сумарна маса рухомих частин обрізника  $\sum_{i=1}^{z_0} m_{oi}^{(e)} \leq 8 \text{ кг}$  за кута встановлення копіра до горизонту  $\alpha \geq 15 \text{ град.}$  та коефіцієнта жорсткості регулювальної тяги  $30 \leq c_p \leq 50 \text{ Н/м}$ , коефіцієнта пружності амортизатора  $k_a = 4,7 \text{ Н/м}$ , рис. 2.12 б;

- допустима сумарна маса рухомих частин обрізника  $\sum_{i=1}^{z_0} m_{oi}^{(e)} \leq 8 \text{ кг}$  за кута встановлення копіра до горизонту  $15 \leq \alpha \leq 45 \text{ град.}$  та коефіцієнта пружності амортизатора  $3 \leq k_a \leq 6 \text{ Н/м}$ , коефіцієнта жорсткості регулювальної тяги  $c_p \leq 40 \text{ Н/м}$ , рис. 2.12в.

Ототожнюючи результати аналізу можна констатувати, що накладене обмеження функції  $\left[ \sum_{i=1}^{z_0} F_{x.cym_i} \right] \leq 85 \text{ Н}$  забезпечується за таких параметрів

обрізника:  $\sum_{i=1}^{z_0} m_{oi}^{(e)} \leq 9 \text{ кг}$ ,  $\alpha \geq 30 \text{ град.}$ ,  $c_p \leq 40 \text{ Н/м}$ ,  $k_a = 4,7 \text{ Н/м}$ .

Згідно з (2.42) побудовано залежності зміни сумарної нормальної  $\sum_{i=1}^{z_n} F_{n.сум_i}$  сили контактної взаємодії копіра з голівкою коренеплоду цикорію за умови непошкодження коренеплоду як функція:  $\sum_{i=1}^{z_x} F_{n.сум_i} = f(\sum_{i=1}^{z_o} m_{oi}^{(n)}; \alpha) \leq 120 \text{ Н}$ ,  
 $\sum_{i=1}^{z_x} F_{n.сум_i} = f(\sum_{i=1}^{z_o} m_{oi}^{(n)}; c_c) \leq 120 \text{ Н}$ ,  $\sum_{i=1}^{z_x} F_{n.сум_i} = f(\sum_{i=1}^{z_o} m_{oi}^{(n)}; c_p) \leq 120 \text{ Н}$ ,  $\sum_{i=1}^{z_x} F_{n.сум_i} = f(c_p; c_c)$   
 (рис. 2.15);  $\sum_{i=1}^{z_x} F_{n.сум_i} = f(\sum_{i=1}^{z_o} m_{oi}^{(n)}; \alpha)$ ,  $\sum_{i=1}^{z_x} F_{n.сум_i} = f(\sum_{i=1}^{z_o} m_{oi}^{(n)}; c_p)$ , додаток Б.6.2.

Сумарна нормальна сила  $\sum_{i=1}^{z_x} F_{n.сум_i}$  контактної взаємодії копіра з голівкою коренеплоду змінюється в межах від 61,5 до 161,5 Н (додаток Б.6.2) залежно від зміни основних параметрів обрізника:

- сумарної маси  $\sum_{i=1}^{z_o} m_{oi}^{(e)}$  рухомих частин обрізника від 6 до 12 кг;
- кута встановлення  $\alpha$  копіра до горизонту від 15 до 45 град;
- коефіцієнта жорсткості  $c_p$  пружини регулювальної тяги від 30 до 50 Н/м;
- коефіцієнта жорсткості  $c_c$  пружини стакана вертикальної тяги від 35 до 65 Н/м;
- коефіцієнта пружності  $k_a$  амортизатора від 3 до 6 Н/м.

Домінантним параметром, який суттєво впливає на функціональну зміну сумарної нормальної сили  $\sum_{i=1}^{z_o} F_{n.сум_i}$  з умови непошкодження коренеплодів цикорію є:

- маса  $\sum_{i=1}^{z_o} m_{oi}^{(n)}$  рухомих частин обрізника – за зміни  $\sum_{i=1}^{z_o} m_{oi}^{(n)}$  в межах від 6 до 12 кг допустима сумарна нормальна сила  $\sum_{i=1}^{z_o} F_{n.сум_i}$  збільшується в середньому в 1,7 рази, додаток Б.5.2

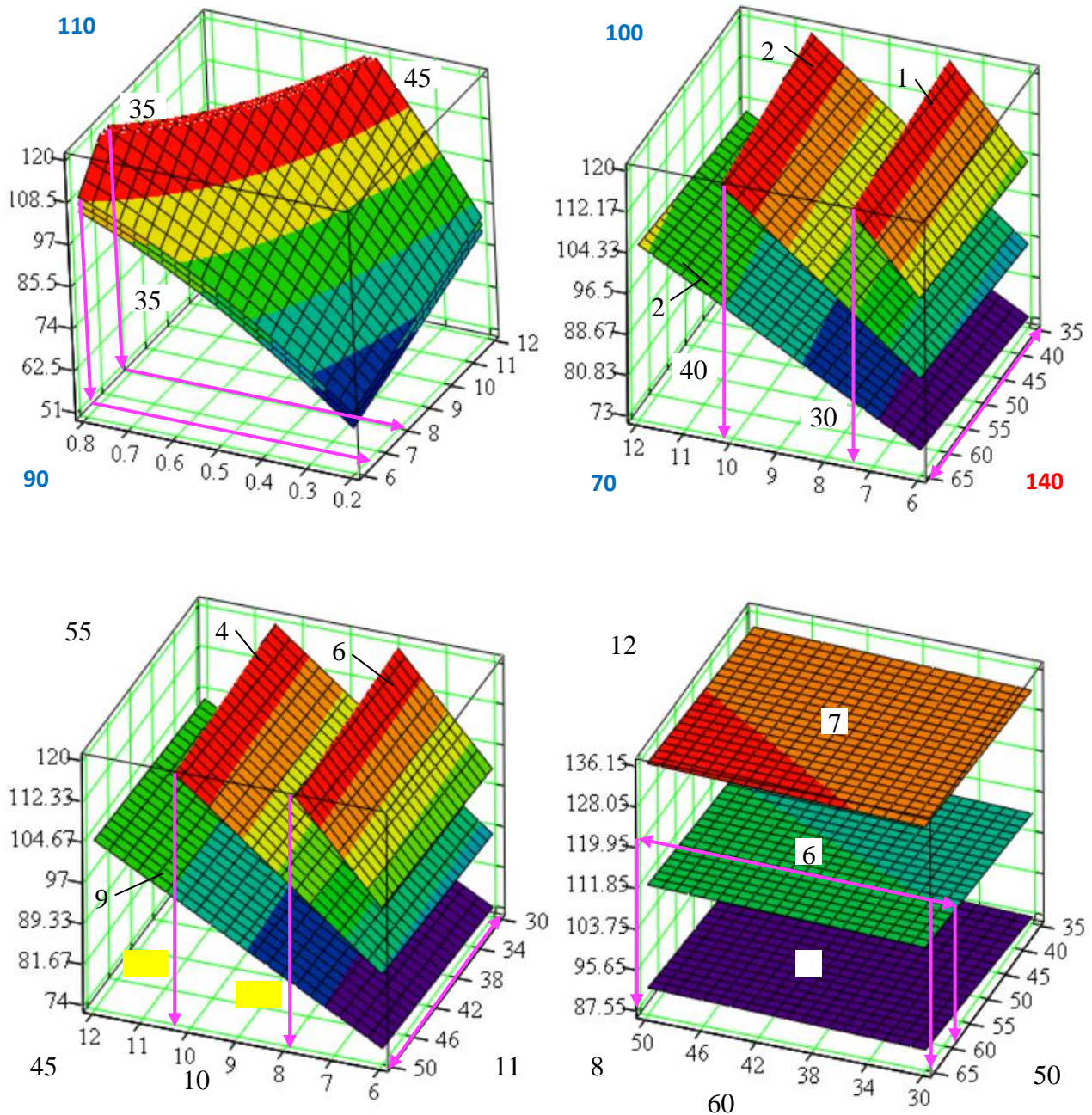


Рисунок 2.14 – Залежність зміни сумарної нормальної сили за умови непошкодження коренеплодів цикорію як функція: а –  $\sum_{i=1}^{z_x} F_{n.cym_i} = f(\sum_{i=1}^{z_o} m_{oi}^{(n)}; \alpha) \leq 120$  Н,  $c_p = 40$  Н/м,  $c_c = 50$  Н/м,  $k_a = 4,7$  Н/м; б –  $\sum_{i=1}^{z_x} F_{n.cym_i} = f(\sum_{i=1}^{z_o} m_{oi}^{(n)}; c_c) \leq 120$  Н, 1, 2, 3 – відповідно,  $\alpha = 15, 30, 45$  град.,  $c_p = 40$  Н/м,  $k_a = 4,7$  Н/м; в –  $\sum_{i=1}^{z_x} F_{n.cym_i} = f(\sum_{i=1}^{z_o} m_{oi}^{(n)}; c_p) \leq 120$  Н, 1, 2, 3 – відповідно,  $\alpha = 15, 30, 45$  град.,  $c_c = 50$  Н/м,  $k_a = 4,7$  Н/м; г –  $\sum_{i=1}^{z_x} F_{n.cym_i} = f(c_p; c_c)$ , 1, 2, 3 – відповідно,  $\alpha = 15, 30, 45$  град.,  $\sum_{i=1}^{z_o} m_{oi}^{(n)}; c_p) = 8$  кг,  $k_a = 4,7$  Н/м

- кут встановлення  $\alpha$  копіра до горизонту – за зміни  $\alpha$  від 15 до 45 град.

допустима сумарна горизонтальна сила  $\sum_{i=1}^{z_o} F_{x.cym_i}$  як функція

$$\sum_{i=1}^{z_x} F_{x.cym_i} = f\left(\sum_{i=1}^{z_o} m_{oi}^{(\theta)}; c_c\right) \text{ збільшується в } 1,7 \dots 2,1 \text{ рази (додаток Б.5.2).}$$

Коефіцієнт пружності амортизатора, коефіцієнт жорсткості пружини регулювальної тяги та коефіцієнт жорсткості пружини стакана вертикальної тяги копіра суттєво не впливають на функціональну зміну сумарної нормальної сили  $\sum_{i=1}^{z_o} F_{n.cym_i}$ , рис. 2.14б, в, г.

Побудовані залежності, які наведено на рис. 2.14 і додатку Б.6.2, зведено в загальну графічну інтерпретацію, або загальний рисунок, який являє собою номограму функціональної зміни сумарної нормальної сили  $\sum_{i=1}^{z_o} F_{n.cym_i}$  (рис. 2.15), при цьому за номограмою та рис. 2.14 проведено обґрунтування основних оптимальних параметрів удосконаленого обрізника залишків гички з головок коренеплодів цикорію з умови непошкодження коренеплодів з ґрунту.

На першому етапі задаємо числове значення допустимої сумарної нормальної сили  $\left[ \sum_{i=1}^{z_o} F_{n.cym_i} \right]$  з умови невивалювання коренеплодів цикорію з ґрунту, наприклад, задаємо прийняте обмеження  $\left[ \sum_{i=1}^{z_o} F_{n.cym_i} \right] \leq 120 \text{ Н}$ , рис. 2.14, рис. 2.15.

Тоді маємо такі комбінації основних параметрів обрізника, за яких буде забезпечуватися умова непошкодження коренеплодів цикорію з ґрунту:

- допустима сумарна маса рухомих частин обрізника  $6 \leq \sum_{i=1}^{z_o} m_{oi}^{(\theta)} \leq 8 \text{ кг}$  за відповідних значень діапазону зміни кута встановлення копіра до горизонту  $15 \leq \alpha \leq 45 \text{ град.}$ , коефіцієнта жорсткості пружини регулювальної тяги  $c_p = 40 \text{ Н/м}$ , коефіцієнта жорсткості пружини стакана вертикальної тяги копіра  $c_p = 40 \text{ Н/м}$ , коефіцієнта пружності амортизатора  $k_a = 4,7 \text{ Н/м}$ , рис. 2.14а, рис. 2.15;

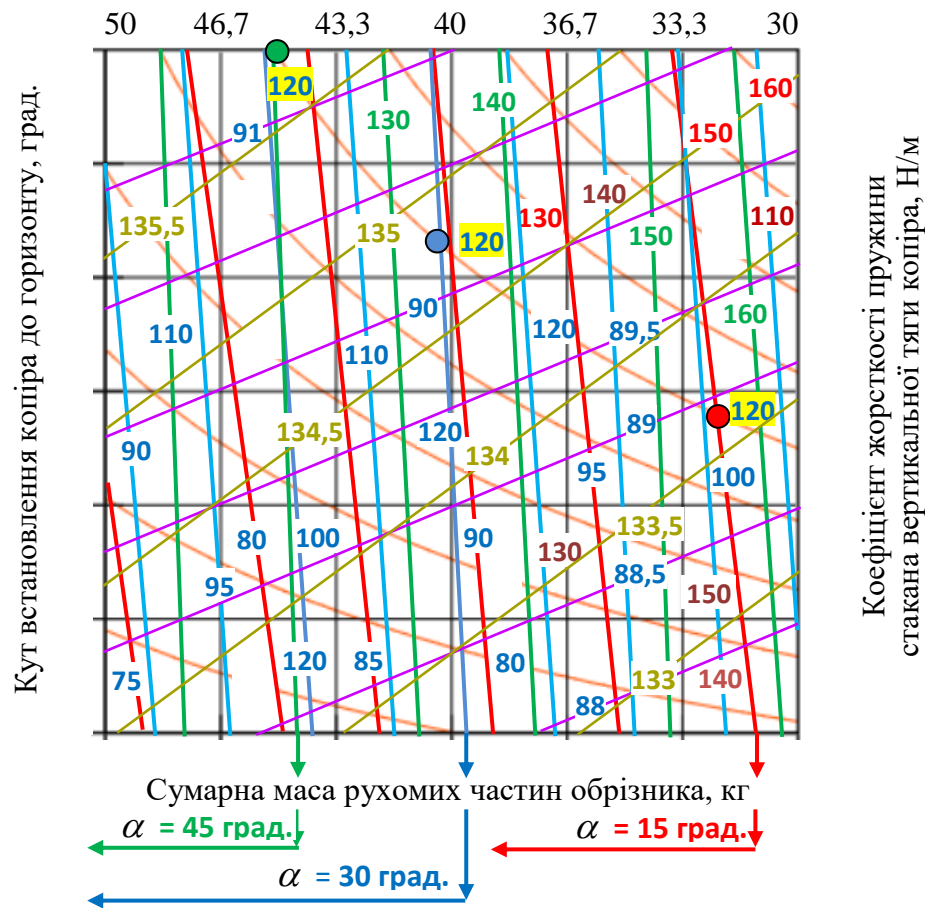


Рисунок 2.15 – Номограма функціональної зміни сумарної нормальної сили  $\sum_{i=1}^{z_o} F_{n.cym_i}$  контактної взаємодії копіра з головкою коренеплоду цикорію як функція  $\sum_{i=1}^{z_x} F_{n.cym_i} = f(\sum_{i=1}^{z_o} m_{oi}^{(n)}; \alpha)$ ,  $\sum_{i=1}^{z_x} F_{n.cym_i} = f(\sum_{i=1}^{z_o} m_{oi}^{(n)}; c_c)$ ,  $\sum_{i=1}^{z_x} F_{n.cym_i} = f(\sum_{i=1}^{z_o} m_{oi}^{(n)}; c_p)$   $\sum_{i=1}^{z_x} F_{n.cym_i} = f(c_p; c_c)$  за умови непошкодження коренеплодів

- допустима сумарна маса рухомих частин обрізника  $\sum_{i=1}^{z_o} m_{oi}^{(e)} \leq 10$  кг за кута встановлення копіра до горизонту  $\alpha \leq 30$  град., коефіцієнта жорсткості пружини стакана вертикальної тяги копіра  $35 \leq c_c \leq 65$  Н/м, коефіцієнта жорсткості пружини регульовальної тяги  $c_c = 40$  Н/м, коефіцієнта пружності амортизатора  $k_a = 4,7$  Н/м, рис. 2.14б, рис. 2.15;

- допустима сумарна маса рухомих частин обрізника  $\sum_{i=1}^{z_o} m_{oi}^{(e)} \leq 8$  кг за кута встановлення копіра до горизонту  $\alpha \leq 45$  град., коефіцієнта жорсткості

пружини стакана вертикальної тяги копіра  $35 \leq c_c \leq 65$  Н/м, коефіцієнта жорсткості пружини регулювальної тяги  $c_c = 50$  Н/м, коефіцієнта пружності амортизатора  $k_a = 4,7$  Н/м, рис. 2.14б, рис. 2.15;

- допустима сумарна маса рухомих частин обрізника  $8 \leq \sum_{i=1}^{z_o} m_{oi}^{(e)} \leq 10$  кг за кута встановлення копіра до горизонту  $15 \leq \alpha \leq 30$  град. та коефіцієнта пружності амортизатора  $3 \leq k_a \leq 6$  Н/м, коефіцієнта жорсткості регулювальної тяги  $30 \leq c_p \leq 50$  Н/м, рис. 2.14в, додаток Б.5.2.;

- допустима сумарна маса рухомих частин обрізника  $8 \sum_{i=1}^{z_o} m_{oi}^{(e)} \leq 8$  кг за кута встановлення копіра до горизонту  $15 \leq \alpha \leq 30$  град., коефіцієнта пружності амортизатора  $3 \leq k_a \leq 6$  Н/м, коефіцієнта жорсткості пружини стакана вертикальної тяги копіра  $60 \leq c_c \leq 65$  Н/м коефіцієнта жорсткості регулювальної тяги  $30 \leq c_p \leq 50$  Н/м, рис. 2.14в, додаток Б.5.2.

Ототожнюючи результати аналізу можна констатувати, що накладене обмеження функції  $\left[ \sum_{i=1}^{z_o} F_{n.сум_i} \right] \leq 120$  Н забезпечується за таких параметрів обрізника:  $\sum_{i=1}^{z_o} m_{oi}^{(e)} \leq 8$  кг,  $\alpha \leq 30$  град.,  $c_p \leq 40$  Н/м,  $c_c \geq 50$  Н/м,  $k_a = 4,7$  Н/м.

Таким чином, співставляючи та узагальнюючи результати теоретичного аналізу процесу контактної взаємодії копіра з головкою коренеплоду цикорію під час зрізування залишків гички з головок коренеплодів, як за умови невибивання коренеплодів з ґрунту, так і за умови непошкодження коренеплодів необхідно констатувати, що кінцеві оптимальні теоретичні параметри робочих органів удосконаленого обрізника будуть такими:

- сумарна маса рухомих частин обрізника  $\sum_{i=1}^{z_o} m_{oi}^{(e)} = 8 \dots 9$  кг;
- кут встановлення копіра до горизонту  $\alpha = 30$  град.;
- коефіцієнт жорсткості пружини регулювальної тяги  $c_p = 40$  Н/м;

- коефіцієнт жорсткості пружини стакана вертикальної тяги  $c_c \geq 50$  Н/м;
- коефіцієнт пружності амортизатора  $k_a = 4,7$  Н/м.

Проте, зважаючи на те, що у процесі зрізування залишків гички з головок коренеплодів наявний також можливий взаємовплив сумарної горизонтальної сили та сумарної нормальної сили, відповідно, як на пошкодження коренеплодів, так і на вибивання коренеплодів з ґрунту необхідно зазначити, що отримані оптимальні значення основних параметрів обрізника за результатами теоретичного аналізу не можуть бути раціональними для застосування обрізника в виробничих умовах.

Тому вони потребують експериментальної перевірки та уточнення в умовах реалізації реального процесу роботи обрізника.

### 2.3. Висновки до розділу

2.3.1. На основі теоретичного аналізу процесу зрізування залишків гички з головок коренеплодів удосконаленим обрізником розроблено математичні моделі, які функціонально описують процес контактної взаємодії копіра з головкою коренеплоду за умови невивалювання коренеплодів з ґрунту та за умови непошкодження коренеплодів залежно від основних параметрів робочих органів обрізника.

2.3.2. Встановлено, що за середніх значень коефіцієнта жорсткості пружини  $c_p = 40$  Н/м регулювальної тяги, коефіцієнта жорсткості пружини  $c_c = 50$  Н/м стакана вертикальної тяги копіра та кута встановлення копіра до горизонту  $\alpha = 30$  град. (0,52 рад.) допустима сумарна маса  $\sum_{i=1}^{z_0} m_{oi}^{(e)}$  рухомих частин обрізника з умови невивалювання коренеплодів з ґрунту дорівнює 6,9 кг, а допустима сумарна маса  $\sum_{i=1}^{z_0} m_{oi}^{(n)}$  з умови непошкодження коренеплодів дорівнює приблизно 5,2 кг.



2.3.3. Сумарна горизонтальна  $\sum_{i=1}^{z_x} F_{x.cym_i}$  сила контактної взаємодії копіра з головою коренеплоду змінюється в межах від 212 до 162,5 Н, а сумарна нормальна сила  $\sum_{i=1}^{z_x} F_{n.cym_i}$  – в межах від 61,5 до 161,5 Н залежно від зміни основних параметрів робочих органів обрізника.

2.3.4. Співставляючи та узагальнюючи результати теоретичного аналізу процесу контактної взаємодії копіра з головою коренеплоду цикорію під час зрізування залишків гички з головок коренеплодів, обґрунтовано такі кінцеві оптимальні теоретичні параметри робочих органів удосконаленого обрізника:

- сумарна маса рухомих частин обрізника  $\sum_{i=1}^{z_o} m_{oi}^{(e)} = 8 \dots 9$  кг;
- кут встановлення копіра до горизонту  $\alpha = 30$  град.;
- коефіцієнт жорсткості пружини регулювальної тяги  $c_p = 40$  Н/м;
- коефіцієнт жорсткості пружини стакана вертикальної тяги  $c_c \geq 50$  Н/м;
- коефіцієнт пружності амортизатора  $k_a = 4,7$  Н/м.

2.3.5. Отримані результати основних параметрів робочих органів обрізника потребують їх виробничої перевірки в умовах реалізації реального процесу роботи обрізника.

Основні наукові результати другого розділу дисертації опубліковано у працях [27, 57, 75, 118, 134].

### РОЗДІЛ 3

## ПРОГРАМА ТА МЕТОДОЛОГІЯ ПРОВЕДЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ОБРІЗНИКА ЗАЛИШКІВ ГИЧКИ

### 3.1. Програма, задачі та об'єкт дослідження

Згідно з поставленими задачами дисертаційного дослідження програма проведення експериментальних досліджень в загальному контексті передбачає перевірку адекватності розроблених теоретичних моделей і пошук нових, або доповнення існуючих положень технологічного процесу зрізування залишків гички з головок коренеплодів цикорію, рис. 3.1.



Рисунок 3.1 – Загальний вигляд коренеплодів цикорію кореневого сорту Ялтушівський 98 та Цезар

Програма проведення експериментальних досліджень удосконаленої конструкції обрізника залишків гички з головок коренеплодів цикорію передбачала виконання таких видів робіт:

- спроектувати та виготовити маятниковий копер;
- провести експериментальні дослідження для визначення характеру зламу коренеплодів цикорію залежно від параметрів контактної взаємодії підпружиненого ножа;

- спроектувати та виготовити робочі органи обрізника;
- провести польові експериментальні дослідження для визначення кількості вивалених коренеплодів з ґрунту та кількості пошкоджених коренеплодів робочими органами обрізника залежно від параметрів процесу;
- провести польові порівняльні дослідження серійного та удосконаленого обрізника залишків гички з головок коренеплодів в виробничих умовах.

В загальному для реалізації експериментів було розроблено структурну схему моделі проведення експериментальних досліджень на основі базових принципів поняття «чорної скрині», рис. 3.2 [139].

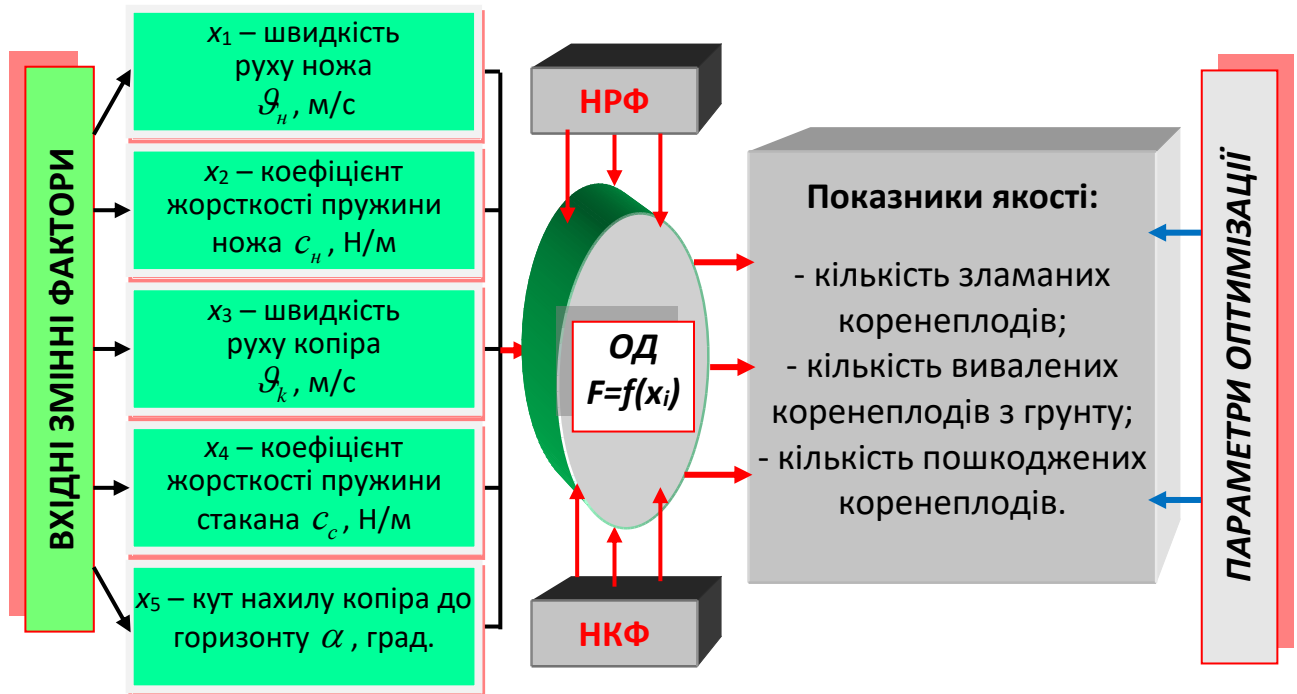


Рисунок 3.2 – Структурна схема моделі експериментальних досліджень обрізника: НРФ, НКФ – нерегульовані та некеровані вхідні фактори

Взаємозв'язок між вхідними змінними факторами, до яких належать конструктивно-кінематичні параметри обрізника та параметри коренеплодів цикорію і вихідними параметрами (параметрами оптимізації) є функціональна емпірична залежність  $F = f(x_i)$ , де  $i = 1, 2, \dots, n$ - вхідних факторів.

Для проведення експериментальних досліджень кількості зламаних коренеплодів цикорію було застосовано лабораторно-польову установку, яку виконано за принципом маятникового копра, рис. 3.3, рис. 3.4 [57].

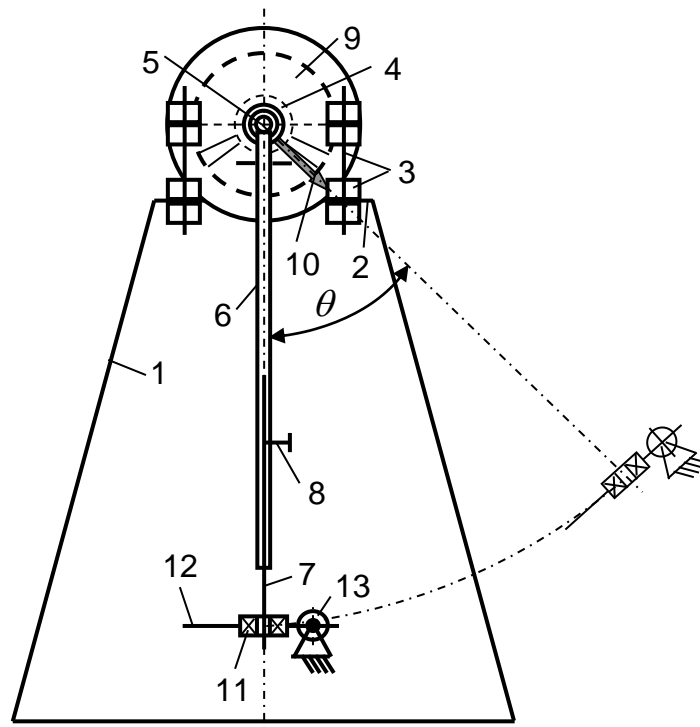


Рисунок 3.3 – Схема маятникового копра: 1 – рама установки; 2 – плита; 3 – пристрій регулювання; 4 – підшипник з корпусом; 5 – вісь; 6 – маятник; 7 – подовжувач; 8 – фіксатор; 9 – шкала; 10 – показник шкали; 11 – корпус з підшипником; 12 – плоский ніж; 13 – пружина ножа



Рисунок 3.4 – Загальний вигляд лабораторно-польової установки маятникового копра

Основними базовими вузлами лабораторно-польової установки маятникового копра є рама 1 (рис. 3.3) на якій встановлено опорну плиту 2, пристрій регулювання 3 висоти встановлення маятника, шкала 9, маятник 6 з підпружиненим плоским ножем 12. Пристрій регулювання 3 закріплено на плиті 2. Він являє собою два попарні болтові з'єднання на яких закріплено два корпуси з підшипниками 4. У підшипники встановлено горизонтальну вісь 5. На вихідному кінці осі 5 змонтовано проградуйовану шкалу 9 з показником (стрілкою) 10 та маятник 6. Маятник 6 має подовжувач 7 за допомогою якого регулюється кінцева висота розміщення ножа 12 над рівнем головки коренеплоду цикорію, а переміщення подовжувача фіксується фіксатором 8. На вихідному кінці подовжувача закріплено корпус з підшипником 11 до якого жорстко змонтовано плоский ніж 12. За допомогою встановленої пружини 13 ніж 12 виконано підпружиненим.

Для реалізації польових експериментальних досліджень з визначення кількості вивалених коренеплодів з ґрунту та пошкодження коренеплодів цикорію застосовували:

- трирядну гичкозрізувальну машину (рис. 3.5) для зрізування основного масиву гички [140];
- удосконалену конструкцію обрізника залишків гички з головок коренеплодів цикорію, рис. 1.38, додаток В.1.1.

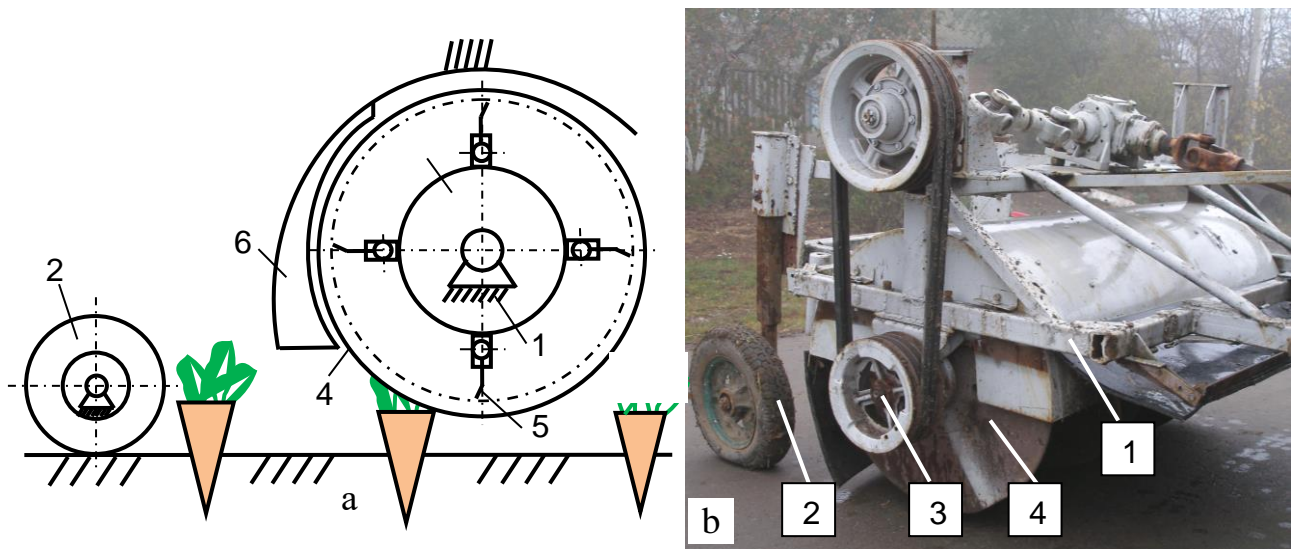


Рисунок 3.5 – Схема (а) та загальний вигляд гичкозрізувальної машини (б): 1 – основна рама; 2 – колесо регульовальне; 3 – гичкоріз роторний; 4 – ділильний диск; 5 – плоский Г-подібний ніж; 6 – кожух

Гичкозрізувальна машина складається з основної рами 1 (рис. 3.5) на якій встановлено регулювальне колесо 2, роторний гичкоріз 3. На приводному валу гичкоріза закріплено ділильні диски 4 та Г-подібні ножі 5, а по периферії обертання ножів – направляючий кожух 6. Г-подібні ножі 5 закріплені на приводному валу роторного гичкоріза шарнірно.

Ділильні диски 4, які встановлені на приводному валу роторного гичкоріза, розташовані в міжрядді невикопаних коренеплодів цикорію на відстані від центра рядка коренеплодів, яка утворює захисну зону від попадання в неї зрізаної гички основного масиву.

Під час руху гичкозрізувальної машини шарнірні Г-подібні ножі 5 зрізують основний масив гички та направляють зрізану гичку в вхідний отвір кожуха 6. Зрізана гичка вкладається в міжряддя невикопаних коренеплодів між ділильними дисками 4.

Технічна характеристика (основні параметри робочих органів) гичкозрізувальної машини наведена в додатку В.2.1.

Будова та принцип роботи удосконаленого обрізника залишків гички з головок коренеплодів цикорію (рис. 1.38) наведена в підрозділі 1.2 розділу 1.

В якості основного експериментального зразка під час проведення порівняльних польових досліджень показників якості роботи порівнюваних обрізників (серійного та варіантів удосконаленого) було використано базовий удосконалений обрізник (рис. 1.36, рис. 1.37, рис. 1.38).

Варіант серійного обрізника утворювали шляхом демонтажу з удосконаленого базового обрізника амортизатора 6 (рис. 1.36), пружини 9 ножа 8, пружини 9 стакану 1 (рис. 1.37), а варіанти удосконаленого – шляхом почергового демонтажу амортизатора, пружини ножа та пружини стакану.

Під час проведення польових експериментальних досліджень скомпоновані варіанти обрізників начіплювали на задню частину рами гичкозрізувальної машини, яка агрегатувалася з трактором МТЗ-80.

Технічна характеристика удосконаленого обрізника залишків гички з головок коренеплодів цикорію наведена в додатку В.3.1.

### 3.2. Методологія проведення експериментів з визначення кількості зламаних коренеплодів цикорію

Основним завданням проведення експериментальних досліджень було встановлення характеру функціональної залежності зміни кількості  $K_{зк}^{(h_{ki})}$  зламаних окремих фіксованих коренеплодів 1 (рис. 3.6) та зміни загальної кількості  $K_{зк}$  зламаних коренеплодів у процесі їх контактної взаємодії з підпружиненим плоским ножом 6 маятника 2 залежно від змінних факторів: швидкості руху  $\mathcal{G}_n$  ножа (швидкості контакту ножа з головкою коренеплоду); коефіцієнта жорсткості  $c_n$  пружини 9 ножа. Тобто визначали характер зміни емпіричної функції  $K_{зк}^{(h_{ki})} = f(\mathcal{G}_n; c_n)$  та функції  $K_{зк} = f(\mathcal{G}_n; c_n)$  у загальному вигляді [141]. Фіксовані групи коренеплодів сорту Уманський 99 визначали за принципом висоти  $h_k$  розташування головки коренеплоду над рівнем поверхні ґрунту, при цьому визначали  $K_{зк}^{(h_{ki})}$  для  $h_k = 5, 9$  і  $13$  см.

Перед початком проведення експерименту ніж 5, за допомогою пристрою регулювання 3 та пересуванням подовжувача 4, встановлювали на необхідну висоту, або висоту за якої ніж 5 доторкався до головки коренеплоду 1 у вертикальному положенні маятника 2, при цьому довжину маятника вимірювали рулеткою з точністю  $\pm 1$  см.

Висоту розташування головки коренеплоду над рівнем поверхні ґрунту вимірювали лінійкою з точністю  $\pm 0,5$  см. У подальшому відхиляли маятник 2 в сторону на визначений за допомогою градуйованої шкали 8 фіксований кут  $\theta$ , а потім відпускали маятник 2, який зі швидкістю ножа  $\mathcal{G}_n$ , що відповідала куту  $\theta$  відведення маятника від вертикальної осі, контактував з головкою коренеплоду цикорію. Кут  $\theta$  визначали за відхиленням стрілки 6, яка відхилялася упором 7 під час відхилення маятника.

Для отримання експериментального масиву даних емпіричної функції  $K_{зк}^{(h_{ki})} = f(\mathcal{G}_n; c_n)$  у загальному вигляді реалізували двофакторний експеримент на трьох рівнях варіювання факторами  $\mathcal{G}_n$  і  $c_n$  типу ПФЕ  $3^2$  [57, 142].

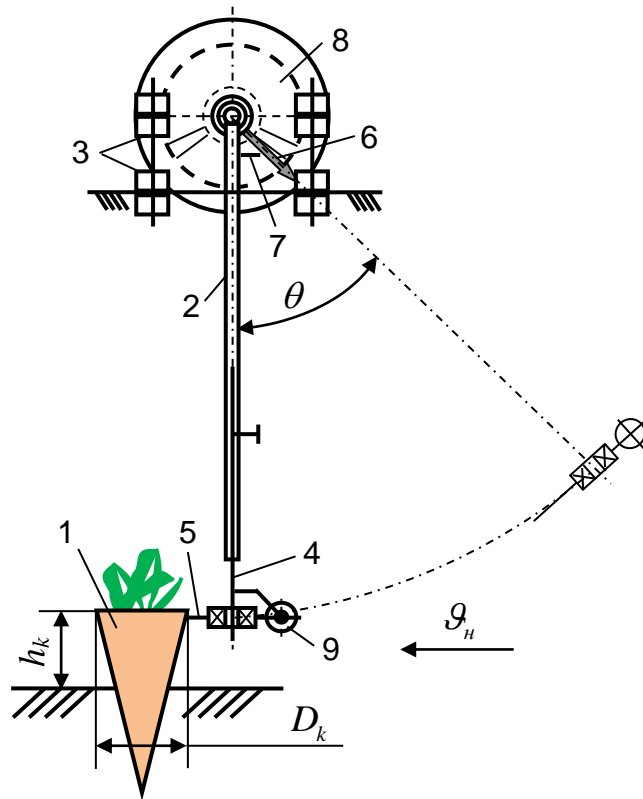


Рисунок 3.6 – Схема контакту ножа з головою коренеплоду цикорію:  
 1 – коренеплід; 2 – маятник; 3 – пристрій регулювання; 4 – подовжувач; 5 – ніж;  
 6 – стрілка; 7 – упор; 8 – шкала; 9 – пружина ножа

Дійсну швидкість руху  $g_n$  ножа 5 у момент контакту ножа з головою коренеплоду 1 цикорію залежно від кута  $\theta$  відхилення маятника 2 визначали за відомою формулою [143]

$$g_n = 2 \sin(0,5\theta) \sqrt{gl_m}, \quad (3.1)$$

де  $\theta$  – кут відхилення маятника, град;

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

$l_m$  – довжина маятника, м.

При висоті розташування головки коренеплоду цикорію над рівнем поверхні ґрунту рівною  $h_k = 5$  см довжина маятника становила  $l_m = 0,95$  м, при висоті розташування головки коренеплоду цикорію  $h_k = 9$  см довжина маятника становила  $l_m = 0,99$  м, при висоті розташування головки коренеплоду цикорію  $h_k = 13$  см довжина маятника становила  $l_m = 1,03$  м.



Визначену за формулою (3.1) дійсну швидкість руху  $\mathcal{G}_n$  ножа 5 у момент контакту ножа з головкою коренеплоду 1 цикорію залежно від кута  $\theta$  відхилення маятника 2 наведено у додатку В.5.2.

Характеристики вхідних факторів двофакторного експерименту типу ПФЕ  $3^2$  наведено в табл. 3.1.

Таблиця 3.1 – Характеристики вхідних факторів

Назва фактора	Позначення		Інтерв. варіюв.	Рівні варіювання, натуральні/кодовані		
	Натур.	Код.				
Швидкість руху ножа $\mathcal{G}_n$ , м/с	$x_1$	$X_1$	0,4	1,6/-1	2,0/0	2,4/+1
Коефіцієнт жорсткості пружини ножа $c_n$ , Н/м	$x_2$	$X_2$	15	30/-1	45/0	60/+1

Визначення рівнів та інтервалів варіювання фактора наведено у додатку В.5.2, а кодування факторів проводилося таким чином: верхній рівень фактора позначали як +1; середній (нульовий) рівень – як 0; нижній рівень – як -1 [144].

План-матрицю планованого експерименту типу ПФЕ  $3^2$  загальною кількістю дослідів однієї повторності  $N^{(1)} = P^k$ , де  $P = 3$ ,  $k = 2$  – відповідно, кількість рівнів варіювання та кількість вхідних факторів експерименту [145], наведено в додатку В.6.2. Кількість повторності – 6.

Жорсткість пружини визначали згідно з положеннями, які наведено у літературі [146].

Після проведення експерименту (після контактної взаємодії ножа з головкою коренеплоду цикорію) кількість випадків (шт.) зламу або незламу тіла коренеплоду заносили у відповідні стовбці таблиці результатів дослідження.

Отриманий експериментальний масив даних кількості зламаних частин коренеплодів цикорію як функції  $K_{зк}^{(h_{ki})} = f(\mathcal{G}_n; c_n)$  обробляли за стандартною методикою, порядок виконання якої наведено у додатку В.5.2.

Графічну інтерпретацію зміни емпіричної залежності (рівняння регресії) у вигляді функції  $K_{зк}^{(h_{ki})} = f(\mathcal{G}_n; c_n)$ , або побудову графічних залежностей проводили з використанням пакету прикладних програм для ПК.

### 3.3. Методологія проведення експериментів з визначення кількості вивалених коренеплодів з ґрунту та пошкоджених коренеплодів цикорію

Експериментальні дослідження з визначення кількості  $K_{\text{вк}}$  вивалених коренеплодів з ґрунту та кількості  $K_{\text{нк}}$  пошкоджених коренеплодів цикорію проводили в польових умовах з застосуванням удосконаленого обрізника залишків гички з головок коренеплодів цикорію (рис. 1.38) на посівах коренеплодів цикорію сорту Уманський 99 [57, 147].

Характер функціональної залежності, яка описувала зміну кількості  $K_{\text{вк}}$  вивалених коренеплодів з ґрунту та кількості  $K_{\text{нк}}$  пошкоджених коренеплодів цикорію у процесі їх контактної взаємодії з пасивним копіром 5 (рис. 1.36) та підпружиненим плоским ножом 8 залежно від змінних факторів: швидкості руху  $\mathcal{G}_k$  копіра (або адекватній швидкості руху гичкозрізувальної машини), коефіцієнта жорсткості  $c_c$  пружини 8 (рис. 1.37) рухомої тяги 2 стакану 1 та кута  $\alpha$  нахилу копіра до горизонту.

Тобто визначали характер зміни емпіричної функції  $K_{\text{вк}} = f(\mathcal{G}_k; c_c; \alpha)$  та  $K_{\text{нк}} = f(\mathcal{G}_k; c_c; \alpha)$ . Для отримання експериментального масиву даних емпіричної функції  $K_{\text{вк}} = f(\mathcal{G}_k; c_c; \alpha)$  та  $K_{\text{нк}} = f(\mathcal{G}_k; c_c; \alpha)$  реалізували трифакторний експеримент на трьох рівнях варіювання факторами  $\mathcal{G}_k$ ,  $c_c$  і  $\alpha$ , або планований експеримент типу ПФЕ  $3^3$ .

Характеристики вхідних факторів трифакторного експерименту типу ПФЕ  $3^3$  наведено в табл. 3.2.

Визначення рівнів та інтервалів варіювання фактора наведено у додатку В.5.2, а кодування факторів проводилося таким чином: верхній рівень фактора позначали як +1; середній (нульовий) рівень – як 0; нижній рівень – як -1 [144].

План-матрицю планованого експерименту типу ПФЕ  $3^3$  загальною кількістю дослідів однієї повторності  $N^{(1)} = P^k$ , де  $P = 3$ ,  $k = 3$  – відповідно, кількість вхідних факторів і рівнів варіювання експерименту [145], наведено в додатку В.7.3.

Таблиця 3.2 – Характеристики вхідних факторів

Назва фактора	Позначення		Інтерв. варіюв.	Рівні варіювання, натуральні/кодовані		
	Натур.	Код.				
Швидкість руху копіра $\mathcal{G}_k$ , м/с	$x_3$	$X_3$	0,3	1,5/-1	1,8/0	2,1/+1
Коефіцієнт жорсткості пружини стакана $c_c$ , Н/м	$x_4$	$X_4$	15	35/-1	50/0	65/+1
Кут нахилу копіра до горизонту $\alpha$ , град.	$x_5$	$X_5$	10	20/-1	30/0	40/+1

Кількість повторності одного дослідження дорівнювала 3.

За наявності під час проведення експериментів НКФ і НРФ (наприклад, нерегульоване відхилення коренеплодів від осьової лінії рядка, неконтрольована нерівномірність профілю залікової ділянки, тощо) провели рандомізацію побудованої план-матриці (додаток В.7.3) за таблицею випадкових чисел [148].

Рандомізовану план-матрицю експерименту типу ПФЕ  $3^3$  для визначення характеру емпіричної функції  $K_{ок} = f(\mathcal{G}_k; c_c; \alpha)$  та  $K_{нк} = f(\mathcal{G}_k; c_c; \alpha)$  наведено у табл. 3.3 [57].

На першому етапі зрізували основний масив гички з головок коренеплодів цикорію трирядною гичкозрізувальною машиною (рис. 3.5) за принципом безкопірного зрізання по високостоячих коренеплодах.

Довжина гону залікової ділянки однієї повторності дорівнювала 25 м.

З утворених 3-х рядків вибраковували вивалені та пошкоджені коренеплоди.

На другому етапі удосконалений обрізник приводили в робоче положення, а привод роторного гичкоріза вимикали шляхом відключення валу відбору потужності трактора.

Технічна характеристика гичкозрізувальної машини наведена у додатку В.2.1.

Технічна характеристика удосконаленого обрізника залишків гички з головок коренеплодів цикорію наведена у додатку В.3.1.

Таблиця 3.3 – Рандомізована план-матриця експерименту типу ПФЕ  $3^3$  для визначення характеру емпіричної функції  $K_{ек} = f(\mathcal{G}_k; c_c; \alpha)$  та  $K_{нк} = f(\mathcal{G}_k; c_c; \alpha)$

№ досл.	Рівні факторів				Взаємодія факторів			Параметр оптимізації $K_{ек}, K_{нк}$			Середні значення $K_{ек}, K_{нк}$
								Повторюваність			
	$x_0$	$x_3$	$x_4$	$x_5$	$x_3 x_4$	$x_3 x_5$	$x_4 x_5$	1	2	3	$K_{ек}, K_{нк}$
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	$Y_{211}$	$Y_{212}$	$Y_{213}$	$Y_{21c}$
22	+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	$Y_{271}$	$Y_{272}$	$Y_{273}$	$Y_{27c}$

Агробіологічна характеристика коренеплодів цикорію наведена у додатку В.8.3.

Характеристика поля і залікової ділянки наведена в додатку В.9.3. Характеристика умов проведення експериментальних досліджень наведена в додатку В.10.3.

Після проведення одного експерименту (після проходу експериментальної установки) випадки вивалювання коренеплодів з ґрунту та пошкодження коренеплодів цикорію записували у відповідні стовбці таблиці результатів експерименту.

Кількість вивалених коренеплодів з ґрунту  $K_{вк}$ , кількість пошкоджених коренеплодів  $K_{нк}$  визначали в % відносно загальної маси обрізаних коренеплодів  $M_{к}^{(1)}$  однієї повторності за формулами:

$$K_{вк} = \frac{m_{вк}^{(1)}}{M_{к}^{(1)}} 100; \quad K_{нк} = \frac{m_{нк}^{(1)}}{M_{к}^{(1)}} 100, \quad (3.2)$$

де  $K_{вк}$ ,  $K_{нк}$  – відповідно, кількість вивалених коренеплодів з ґрунту та кількість пошкоджених коренеплодів цикорію, %;

$m_{вк}^{(1)}$ ,  $m_{нк}^{(1)}$  – маса коренеплодів відповідного показника якості, кг;

$M_{к}^{(1)}$  – загальна маса обрізаних коренеплодів однієї повторності, кг.

Масу коренеплодів  $m_{вк}^{(1)}$ ,  $m_{нк}^{(1)}$  відповідного показника якості та загальну масу обрізаних коренеплодів  $M_{к}^{(1)}$  однієї повторності визначали шляхом зважування на терезах, точність зважування  $\pm 1,0$  кг.

Отриманий експериментальний масив даних кількості вивалених  $K_{вк}$  коренеплодів з ґрунту та кількості пошкоджених  $K_{нк}$  коренеплодів цикорію обробляли за стандартною методикою, порядок виконання якої наведено у додатку В.5.2.

Графічну інтерпретацію зміни емпіричної залежності (рівняння регресії) у вигляді функції  $K_{вк} = f(\mathcal{G}_k; c_c; \alpha)$  та  $K_{нк} = f(\mathcal{G}_k; c_c; \alpha)$ , або побудову графічних залежностей проводили з використанням пакету прикладних програм для ПК.

### 3.4. Методика проведення порівняльних досліджень удосконаленого обрізника головок коренеплодів цикорію

Завданням проведення порівняльних досліджень удосконаленого обрізника залишків гички з головок коренеплодів було визначення технологічної ефективності процесу роботи обрізника загалом і технологічної ефективності процесу роботи його удосконалених робочих органів – пластинчастого копіра 5 (рис. 1.36), амортизатора 6 та вертикальної тяги 4 копіра порівняно з серійним варіантом [57, 149].

За параметр оптимізації було вибрано показники якості зрізування гички з головок коренеплодів цикорію порівнюваних схем (5-х типів) обрізників, які виконано за принципом «пасивний копір-пасивний ніж» і «пасивний копір-підпружинений ніж» [149]:

- кількість вивалених коренеплодів з ґрунту  $k_{вк}$  ;
- кількість пошкоджених коренеплодів  $k_{пк}$  , із них:
- кількість зламаних коренеплодів  $k_{зк}$  ;
- кількість сколених коренеплодів  $k_{ск}$  .

Типи порівнюваних обрізників описано в підрозділі 3.1 розділу 3.

Основний масив гички коренеплодів зрізували гичкозрізувальною машиною (рис. 3.5), технічна характеристика якої наведена у додатку В.2.1.

Швидкість руху гичкозрізувальної машини, а відповідно і швидкість руху обрізника залишків гички з головок коренеплодів цикорію була однаковою під час проведення порівняльних досліджень і становила 1,8 м/с.

Час  $t_k$  проведення кожного експерименту порівняльних досліджень також був однаковим і становив  $t_k = 10$  с, тобто довжина  $l_{з0}$  залікової ділянки однієї повторності становила 18 м.

Показники якості обрізування залишків гички з головок коренеплодів цикорію, тобто кількість вивалених коренеплодів з ґрунту  $k_{вк}$  , кількість пошкоджених коренеплодів  $k_{пк}$  , кількість зламаних коренеплодів  $k_{зк}$  , кількість

сколених коренеплодів  $k_{ск}$  визначали в % відносно загальної маси обрізаних коренеплодів  $M_{\kappa}^{(1)}$  однієї повторності за формулою

$$k_{(i)} = \frac{m_{(i)}^{(1)}}{M_{\kappa}^{(1)}} 100, \quad (3.3)$$

де  $k_{(i)}$  – відповідний показник якості, %:

$m_{(i)}^{(1)}$  – маса коренеплодів відповідного показника якості, кг;

$M_{\kappa}^{(1)}$  – загальна маса обрізаних коренеплодів однієї повторності, кг.

Масу коренеплодів  $m_{(i)}^{(1)}$  відповідного показника якості та загальну масу обрізаних коренеплодів  $M_{\kappa}^{(1)}$  однієї повторності визначали шляхом зважування на терезах, точність зважування  $\pm 1,0$  кг.

Агробіологічна характеристика коренеплодів цикорію сорту Уманський 99 наведена у додатку В.11.4. Характеристика поля і залікової ділянки, на якій проводилися порівняльні дослідження наведена в додатку В.12.4.

Характеристика умов проведення порівняльних досліджень наведена в додатку В.13.4.

Типи порівнюваних обрізників залишків гички з головок коренеплодів цикорію були такими:

- 1 тип – базовий, рис. 1.36;
- 2 тип – без амортизатора 6, рис. 1.36;
- 3 тип – без пружини 9 ножа 8, рис. 1.36;
- 4 тип – без пружини 8 стакан 1, рис. 1.37;
- 5 тип (серійний) – без амортизатора 6 (рис. 1.36), пружини 9 ножа 8, пружини 8 стакан 1, рис. 1.37.

Контрольовані показники якості, або показники параметрів оптимізації визначали згідно з стандартними методиками [118, 150], за результатами яких утворювали порівняльну таблицю.

Основні результати розділу опубліковано у працях [57, 141, 147, 149].

**РОЗДІЛ 4**  
**РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ**  
**УДОСКОНАЛЕНОГО ОБРІЗНИКА**

**4.1. Результати експериментів з визначення кількості зламаних коренеплодів цикорію**

Згідно з методологією проведення експериментальних досліджень (підрозділ 3.2 розділу 3) було реалізовано планований двофакторний експеримент на трьох рівнях варіювання факторами (табл. 3.1) типу ПФЕ 3<sup>2</sup>.

За результатами проведення експериментів отримано такі показники експериментального масиву даних кількості  $K_{зк}$  зламаних коренеплодів цикорію у загальному випадку та кількості  $K_{зк}^{(h_{5k})}$ ,  $K_{зк}^{(h_{9k})}$ ,  $K_{зк}^{(h_{13k})}$  зламаних коренеплодів встановлених груп, які наведено у табл. 4.1 та табл. 4.2

Таблиця 4.1 – Загальні показники кількості  $K_{зк}$  зламаних коренеплодів цикорію при реалізації експериментів типу ПФЕ 3<sup>2</sup>

№ експ.	Фактори		Кількість зламаних коренеплодів цикорію $K_{зк}$ , шт. ❖						
	$g_n$ , м/с	$c_n$ , Н/м	Повторності						Серед. $K_{зк}$
			1	2	3	4	5	6	
1, 10, 19	1,6	30	0	1	0	2	1	0	0
2, 11, 20	2,0	30	5	3	4	6	3	4	4
3, 12, 21	2,4	30	14	12	13	15	10	11	13
4, 13, 22	1,6	45	8	6	9	7	7	8	7
5, 14, 23	2,0	45	11	9	10	12	10	11	10
6, 15, 24	2,4	45	17	18	17	16	19	17	17
7, 16, 25	1,6	60	19	20	19	18	21	20	20
8, 17, 26	2,0	60	25	22	26	24	27	25	25
9, 18, 27	2,4	60	34	30	31	33	33	35	33

❖ – загальна кількість проведених експериментів з визначення кількості зламаних коренеплодів цикорію  $K_{зк}$  становила 54, середній діаметр зламу – 4...6 см.



Таблиця 4.2 – Показники кількості  $K_{зк}$  зламаних коренеплодів цикорію при реалізації експериментів типу ПФЕ  $3^2$  залежно від висоти розміщення головки коренеплоду над рівнем поверхні ґрунту

Висота розміщення головки	Середня кількість зламаних коренеплодів цикорію $K_{зк}^{(h_{5k})}$ , $K_{зк}^{(h_{9k})}$ , $K_{зк}^{(h_{13k})}$ по групам коренеплодів за трьох повторностей, шт.										
	Номер експерименту										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Сума	Сер.
$h_k = 5$ см	0	1	2	1	2	3	2	5	6	22	4
$h_k = 9$ см	0	1	4	1	3	5	7	9	12	42	7
$h_k = 13$ см	1	2	7	5	5	9	11	12	16	68	11

За результатами обробки експериментального масиву даних (табл. 4.1 та додаток Г.1.1), яку проводили згідно з положеннями, що наведені у додатку В.4.2 було встановлено вигляд емпіричних залежностей (рівнянь регресії) для загального випадку кількості зламаних коренеплодів цикорію як функція  $K_{зк} = f(\mathcal{G}_H; c_H)$  та кількості зламаних коренеплодів для встановлених груп коренеплодів цикорію як функції  $K_{зк}^{(h_{5k})} = f(\mathcal{G}_H; c_H)$ ,  $K_{зк}^{(h_{9k})} = f(\mathcal{G}_H; c_H)$ ,  $K_{зк}^{(h_{13k})} = f(\mathcal{G}_H; c_H)$ .

При цьому за найбільшим значенням коефіцієнта чисельної детермінації  $D = 0,996$  (додаток Г.2.1) було визначено, що вигляд функціональної емпіричної залежності (рівняння регресії) яке описує зміну функції  $K_{зк} = f(\mathcal{G}_H; c_H)$  має параболічний характер (поліном другої степені), який записано у вигляді

$$K_{зк} = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_{12} x_1 x_2 + b_{11} x_1^2 + b_{22} x_2^2, \quad (4.1)$$

де  $b_0, b_1, b_2, b_{12}, b_{11}, b_{22}$  – коефіцієнти відповідних значень  $x_i$ ;

$x_1 = \mathcal{G}_H, x_2 = c_H$  – відповідні натуральні фактори.

Обчислені коефіцієнти рівняння регресії наведено у табл. 4.3 (додаток Г.2.1), причому після перевірки за  $t$ - критерієм Стюдента коефіцієнт взаємодії  $b_{12} = -0,01 \cdot 10^{-4}$  рівняння регресії є незначущим і ним можна знехтувати.

Таблиця 4.3 – Naturalні значення коефіцієнтів  $b_i$  рівняння регресії кількості зламаних коренеплодів цикорію  $K_{зк}$

Позначення	Naturalні значення коефіцієнтів рівняння регресії					
	$b_0$	$b_1$	$b_2$	$b_{12}$	$b_{11}$	$b_{22}$
$K_{зк} = f(\mathcal{G}_н; c_н)$	39,8	-35,0	-1,1	<b>-0,01 10<sup>-4</sup></b>	12,5	0,02

Адекватність вибраної моделі експериментальному масиву даних підтверджена згідно  $F$ - критерію Фішера, при цьому коефіцієнт множинної детермінації  $D = 0,996$  є значимим з вірогідністю  $p$  при рівні вірогідності  $P = 0,95$  (додаток Г.2.1).

На основі цього отримано рівняння регресії у naturalних величинах, яке функціонально описує характер зміни кількості  $K_{зк}$  зламаних коренеплодів цикорію у загальному випадку як функція

$$K_{зк} = 39,8 - 35,0\mathcal{G}_н - 1,1c_н + 12,5\mathcal{G}_н^2 + 0,02c_н^2. \quad (4.2)$$

Згідно з даними експериментального масиву (табл. 4.1) та рівняння (4.2) побудовано графічну інтерпретацію у вигляді поверхні відгуку та двомірного перерізу поверхні відгуку (рис. 4.1), які ілюструють функціональну зміну параметра оптимізації, або кількості  $K_{зк} \rightarrow \min$  зламаних коренеплодів цикорію у загальному випадку від діапазону зміни вхідних факторів – швидкості руху ножа у межах  $1,6 \leq \mathcal{G}_н \leq 2,4$  м/с та коефіцієнта жорсткості пружини ножа у межах  $30 \leq c_н \leq 60$  Н/м.

На основі аналізу (рис. 4.1) можна констатувати, що кількість  $K_{зк}$  зламаних коренеплодів цикорію у загальному випадку змінюється у діапазоні від 0 до 33 шт., при цьому домінантним фактором, який найбільше впливає на параметр оптимізації  $K_{зк} \rightarrow \min$  є коефіцієнт жорсткості  $c_н$  пружини ножа.

За зміни коефіцієнта жорсткості пружини ножа  $c_н$  від 30 до 60 Н/м кількість  $K_{зк}$  зламаних коренеплодів цикорію у загальному випадку збільшується в середньому на 15...20 шт. в діапазоні зміни швидкості руху  $\mathcal{G}_н$  ножа від 1,6 до 2,4 м/с.

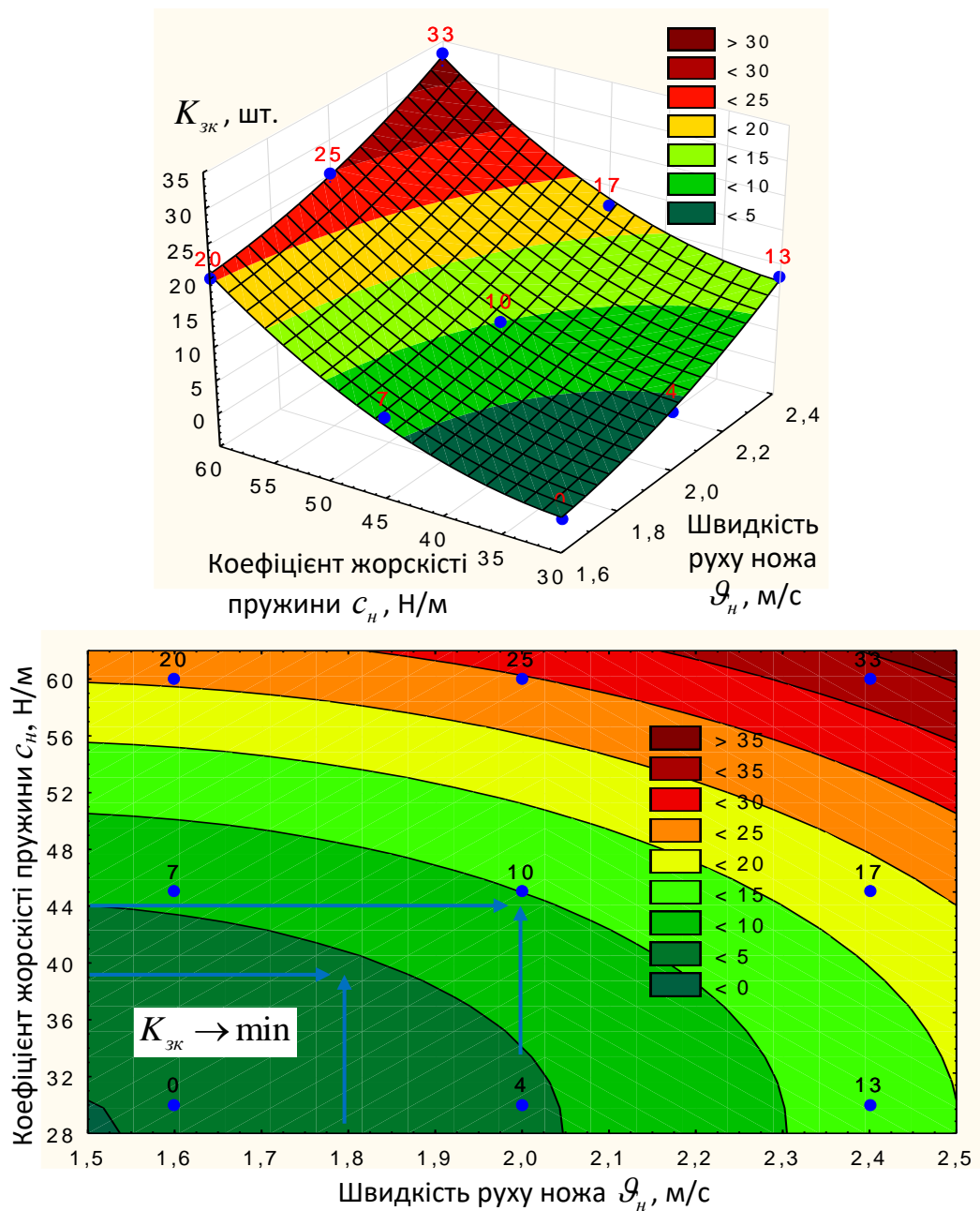


Рисунок 4.1. – Поверхня відгуку та двомірний переріз поверхні функціональної зміни  $K_{зк} = f(v_n; c_n)$  кількості зламаних коренеплодів цикорію

При цьому, залежно від зміни швидкості руху ножа від 1,6 до 2,4 м/с приріст кількості  $K_{зк}$  зламаних коренеплодів цикорію у загальному випадку становить в середньому 13 шт.

Також такий характер поведінки  $K_{зк}$  підтверджується графічними залежностями, які наведено на рис. 4.2.

Для обґрунтування параметрів процесу, або кількості  $K_{зк}$  зламаних коренеплодів цикорію у загальному випадку побудовано діаграму, рис. 4.3.

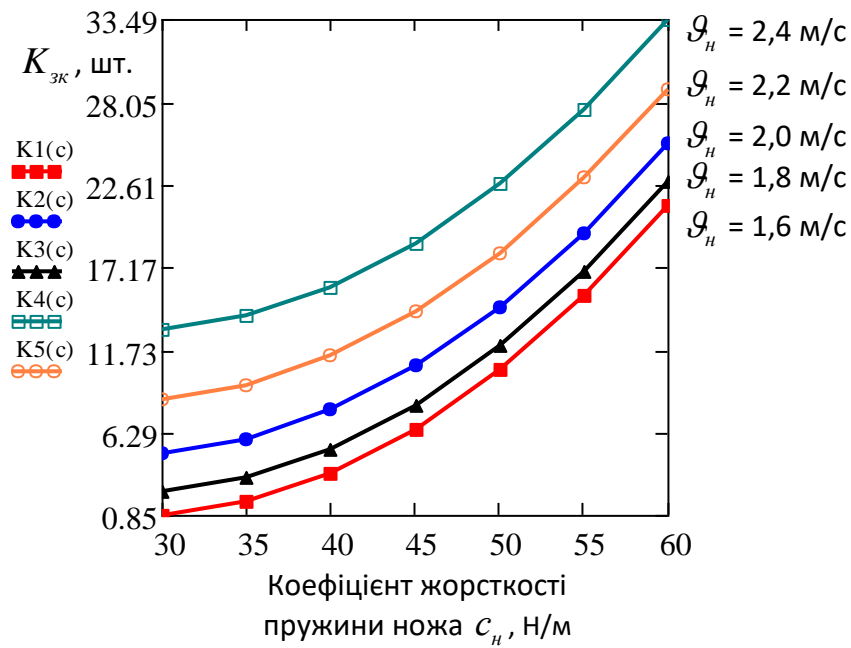


Рисунок 4.2 – Залежність функціональної зміни  $K_{зк} = f(c_H)$  кількості зламаних коренеплодів цикорію

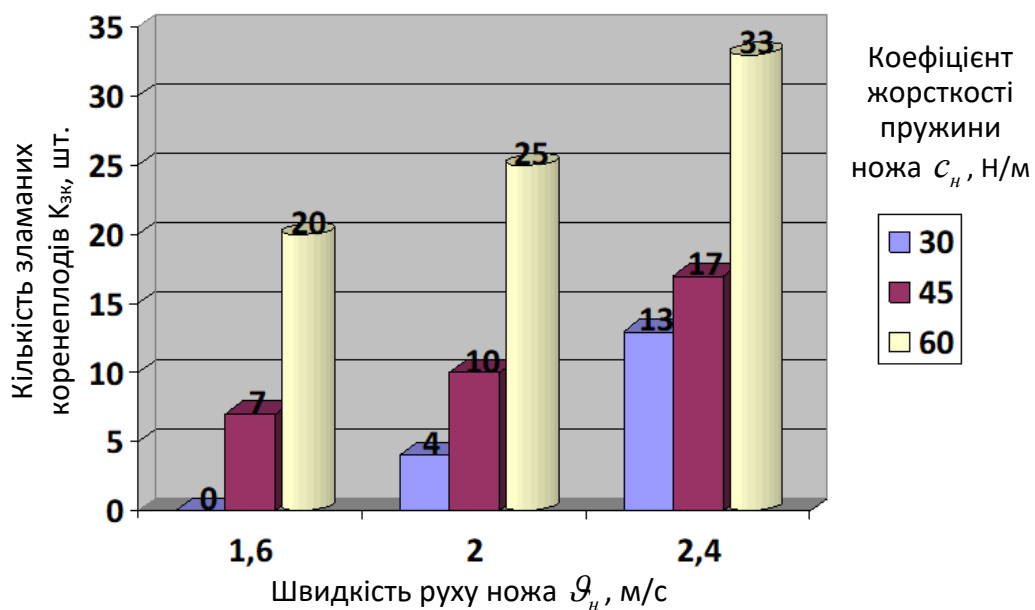


Рисунок 4.3 – Діаграма кількості  $K_{зк}$  зламаних коренеплодів цикорію у загальному випадку

Таким чином, на основі аналізу графічної інтерпретації функціональної зміни  $K_{зк} = f(G_H; c_H)$  і  $K_{зк} = f(c_H)$ , або кількості  $K_{зк}$  зламаних коренеплодів цикорію у загальному випадку та агротехнічних вимог до процесу збирання коренеплодів цикорію, за яких робоча швидкість руху коренезбиральної машини повинна становити не менше 1,5 м/с [149, 150] можна стверджувати,

що параметр оптимізації  $K_{зк}$  прагне до середнього мінімального значення  $K_{зк} \rightarrow \min$  (від 0 до 5 шт.) за таких початкових параметрів:

- швидкість руху  $\mathcal{G}_H$  підпружиненого ножа – від 1,6 до 2,0 м/с;
- коефіцієнт жорсткості  $c_H$  пружини ножа – від 30 до 45 Н/м.

За результатами обробки експериментального масиву даних (табл. 4.2 та додаток Г.1.1), яку проводили згідно з положеннями, що наведені у додатку В.4.2 було встановлено вигляд емпіричних залежностей (рівнянь регресії) для кількості  $K_{зк}^{(h_{5k})}$ ,  $K_{зк}^{(h_{9k})}$ ,  $K_{зк}^{(h_{13k})}$  зламаних коренеплодів цикорію для встановлених груп коренеплодів цикорію як функції  $K_{зк}^{(h_{5k})} = f(\mathcal{G}_H; c_H)$ ,  $K_{зк}^{(h_{9k})} = f(\mathcal{G}_H; c_H)$ ,  $K_{зк}^{(h_{13k})} = f(\mathcal{G}_H; c_H)$ .

При цьому за найбільшим значенням коефіцієнта чисельної детермінації  $D = 0,994$  для  $h_k = 5$  см, коефіцієнта чисельної детермінації  $D = 0,999$  для  $h_k = 9$  см, коефіцієнта чисельної детермінації  $D = 0,996$  для  $h_k = 13$  см (додаток Г.3.1) було визначено, що вигляд функціональної емпіричної залежності (рівняння регресії) яке описує зміну функції  $K_{зк}^{(h_{5k})} = f(\mathcal{G}_H; c_H)$ ,  $K_{зк}^{(h_{9k})} = f(\mathcal{G}_H; c_H)$ ,  $K_{зк}^{(h_{13k})} = f(\mathcal{G}_H; c_H)$  має параболічний характер (поліном другої степені), який записано у вигляді (4.1).

Обчислені коефіцієнти рівняння регресії наведено у табл. 4.4 (додаток Г.3.1), причому після перевірки за  $t$ - критерієм Стюдента коефіцієнти взаємодії  $b_{12} = 0,04$  для функції  $K_{зк}^{(h_{9k})} = f(\mathcal{G}_H; c_H)$  та  $b_{12} = -0,04$  для функції  $K_{зк}^{(h_{13k})} = f(\mathcal{G}_H; c_H)$  рівняння регресії є незначущим і ними можна знехтувати.

Таблиця 4.4 – Naturalні значення коефіцієнтів  $b_i$  рівняння регресії кількості зламаних коренеплодів цикорію  $K_{зк}^{(h_{5k})}$ ,  $K_{зк}^{(h_{9k})}$ ,  $K_{зк}^{(h_{13k})}$

Позначення	Naturalні значення коефіцієнтів рівняння регресії					
	$b_0$	$b_1$	$b_2$	$b_{12}$	$b_{11}$	$b_{22}$
$K_{зк}^{(h_{5k})} = f(\mathcal{G}_H; c_H)$	-4,3	7,9	-0,3	0,1	-2,1	0,003
$K_{зк}^{(h_{9k})} = f(\mathcal{G}_H; c_H)$	19,1	-9,0	-0,8	<b>0,04</b>	3,1	0,01
$K_{зк}^{(h_{13k})} = f(\mathcal{G}_H; c_H)$	36,7	-37,7	-0,3	<b>-0,04</b>	11,5	0,01

Адекватність вибраної моделі експериментальному масиву даних (табл. 4.2) підтверджена згідно  $F$ -критерію Фішера, при цьому коефіцієнт множинної детермінації  $D = 0,994$  для  $h_k = 5$  см є значимим з вірогідністю  $p$  коефіцієнт множинної детермінації  $D = 0,999$  для  $h_k = 9$  см є значимим з вірогідністю  $p$  коефіцієнт множинної детермінації  $D = 0,996$  для  $h_k = 13$  см є значимим з вірогідністю  $p$  при рівні вірогідності  $P = 0,95$  (додаток Г.3.1).

На основі цього отримано рівняння регресії у натуральних величинах, яке функціонально описує характер зміни кількості  $K_{зк}^{(h_{5k})}$ ,  $K_{зк}^{(h_{9k})}$ ,  $K_{зк}^{(h_{13k})}$  зламаних коренеплодів цикорію для встановлених груп коренеплодів цикорію як функція:

$$K_{зк}^{(h_{5k})} = -4,3 + 7,9g_n - 0,3c_n + 0,1g_n c_n - 2,1g_n^2 - 0,003c_n^2; \quad (4.3)$$

$$K_{зк}^{(h_{9k})} = 19,1 - 9,0g_n - 0,8c_n + 3,1g_n^2 - 0,01c_n^2; \quad (4.4)$$

$$K_{зк}^{(h_{13k})} = 36,7 - 37,7g_n - 0,3c_n + 11,5g_n^2 - 0,01c_n^2; \quad (4.5)$$

Згідно з даними експериментального масиву (табл. 4.2) та рівняння (4.3)-(4.5) побудовано графічну інтерпретацію у вигляді поверхні відгуку та двомірного перерізу поверхні відгуку (рис. 4.4, 4.6, 4.8) та графічних залежностей (рис. 4.5, 4.7, 4.9), які ілюструють функціональну зміну параметра оптимізації, або кількості  $K_{зк}^{(h_{5k})} \rightarrow \min$ ,  $K_{зк}^{(h_{9k})} \rightarrow \min$ ,  $K_{зк}^{(h_{13k})} \rightarrow \min$  зламаних коренеплодів цикорію для встановлених груп коренеплодів цикорію від діапазону зміни вхідних факторів – швидкості руху ножа у межах  $1,6 \leq g_n \leq 2,4$  м/с та коефіцієнта жорсткості пружини ножа у межах  $30 \leq c_n \leq 60$  Н/м.

На основі аналізу (рис. 4.4) можна констатувати, що кількість  $K_{зк}^{(h_{5k})}$  зламаних коренеплодів цикорію для групи коренеплодів, які розташовані над рівнем поверхні ґрунту на висоті  $h_k = 5$  см змінюється у діапазоні від 0 до 6 шт., при цьому домінантними факторами, які впливають на зміну параметра оптимізації  $K_{зк}^{(h_{5k})} \rightarrow \min$  є вхідні фактори  $g_n$  та  $c_n$ .

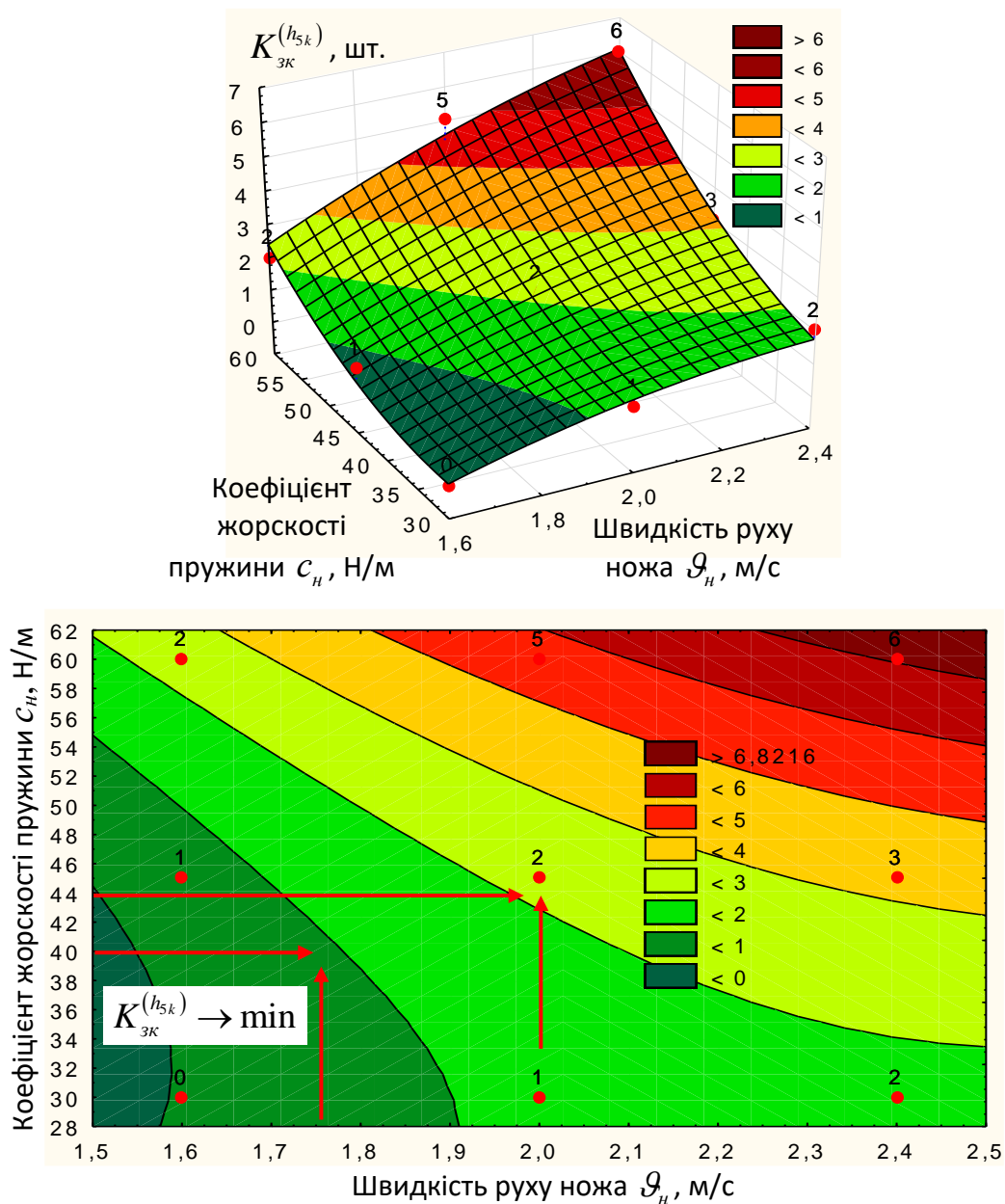


Рисунок 4.4. – Поверхня відгуку та двомірний переріз поверхні функціональної зміни  $K_{зк}^{(h_{5k})} = f(G_n; c_n)$  кількості зламаних коренеплодів цикорію для групи коренеплодів  $h_k = 5$  см

За зміни швидкості руху  $G_n$  ножа у межах від 1,6 до 2,4 м/с кількість  $K_{зк}^{(h_{5k})}$  зламаних коренеплодів цикорію для групи коренеплодів, головки яких розташовані на висоті  $h_k = 5$  см над рівнем поверхні ґрунту збільшується в середньому на 2...4 шт. в діапазоні зміни коефіцієнта жорсткості пружини ножа у межах від 30 до 60 Н/м. Також такий характер поведінки  $K_{зк}^{(h_{5k})}$  підтверджується графічними залежностями, які наведено на рис. 4.5.

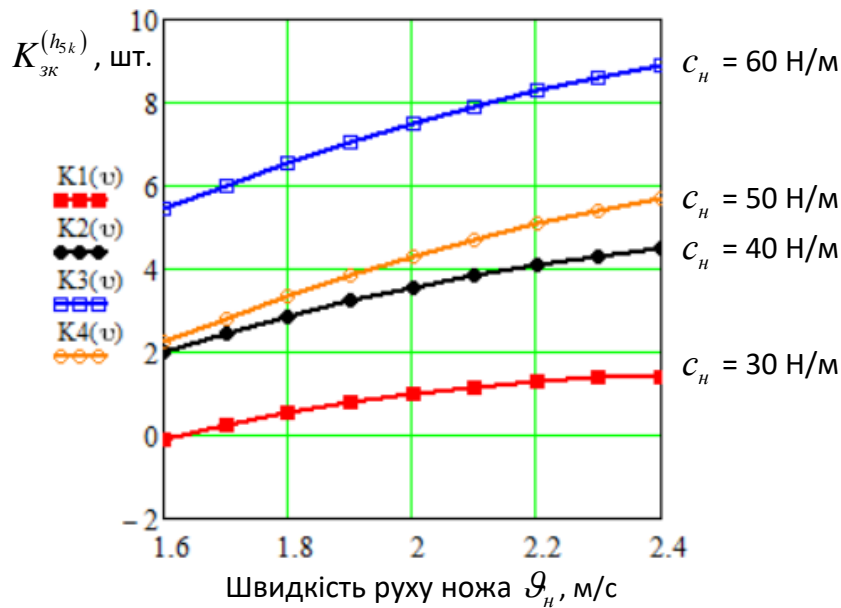


Рисунок 4.5 – Залежність функціональної зміни  $K_{зк}^{(h_{5k})} = f(\mathcal{G}_H)$  кількості зламаних коренеплодів цикорію,  $h_k = 5$  см

На основі аналізу (рис. 4.6) можна констатувати, що кількість  $K_{зк}^{(h_{9k})}$  зламаних коренеплодів цикорію для групи коренеплодів, які розташовані над рівнем поверхні ґрунту на висоті  $h_k = 9$  см змінюється у діапазоні від 0 до 12 шт., при цьому домінуючим фактором, який найбільше впливає на параметр оптимізації  $K_{зк}^{(h_{9k})} \rightarrow \min$  є коефіцієнт жорсткості пружини ножа  $c_H$ .

За зміни коефіцієнта жорсткості пружини ножа  $c_H$  від 30 до 60 Н/м кількість  $K_{зк}^{(h_{9k})}$  зламаних коренеплодів цикорію для групи коренеплодів, головки яких розташовані над рівнем поверхні ґрунту на висоті  $h_k = 9$  см збільшується в середньому на 7...8 шт. в діапазоні зміни швидкості руху  $\mathcal{G}_H$  ножа від 1,6 до 2,4 м/с.

При цьому, залежно від зміни швидкості руху ножа від 1,6 до 2,4 м/с приріст кількості  $K_{зк}$  зламаних коренеплодів цикорію для групи коренеплодів, які розташовані над рівнем поверхні ґрунту на висоті  $h_k = 9$  см становить в середньому на 2...4 шт.

Також такий характер поведінки  $K_{зк}^{(h_{9k})}$  підтверджується графічними залежностями, які наведено на рис. 4.7.



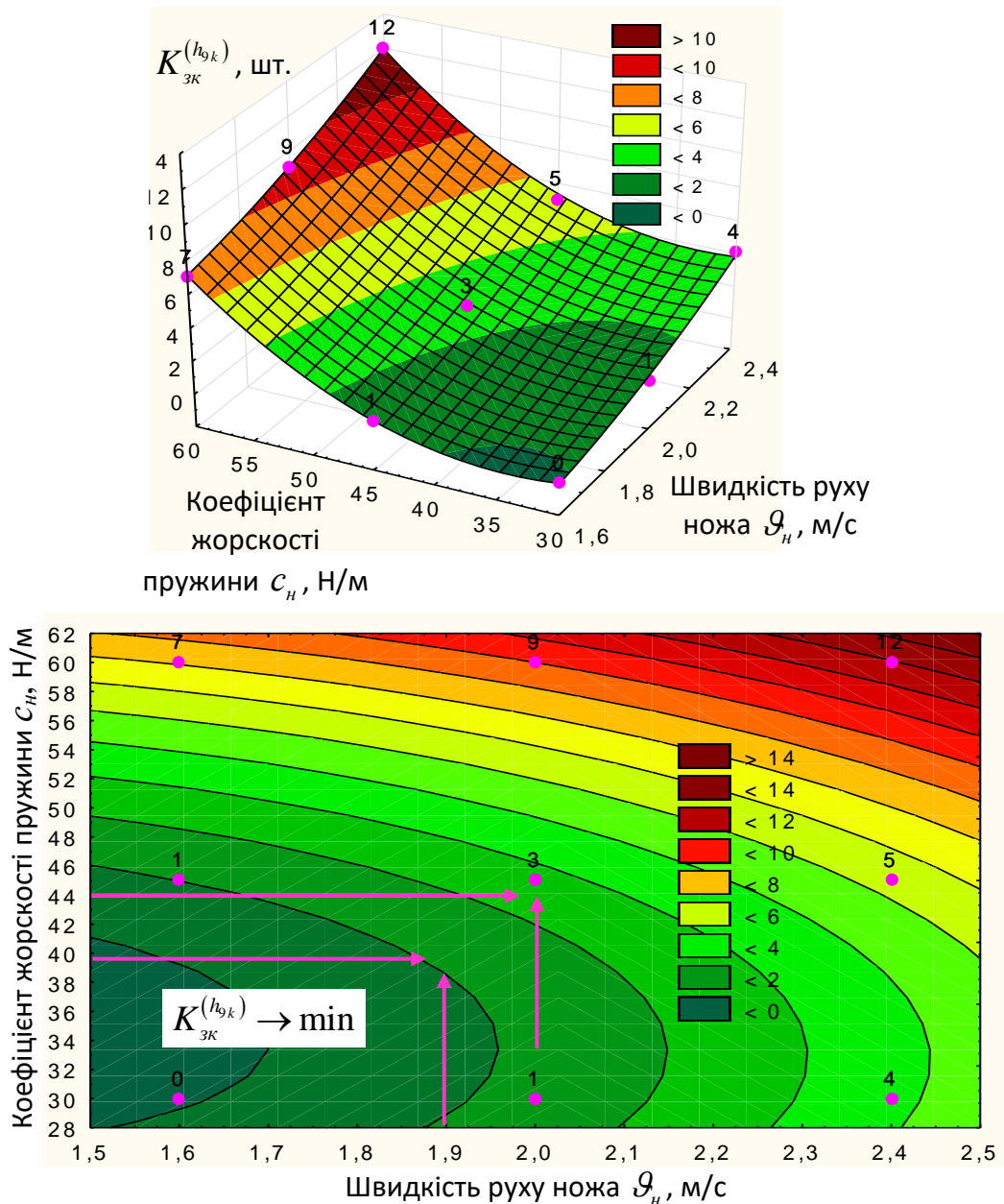


Рисунок 4.6. – Поверхня відгуку та двомірний переріз поверхні функціональної зміни  $K_{3K}^{(h_{9k})} = f(\mathcal{G}_n; c_n)$  кількості зламаних коренеплодів цикорію для групи коренеплодів  $h_k = 9$  см

На основі аналізу графічної залежності (рис. 4.8) можна констатувати, що кількість  $K_{3K}^{(h_{13k})}$  зламаних коренеплодів цикорію для групи коренеплодів, які розташовані над рівнем поверхні ґрунту на висоті  $h_k = 13$  см змінюється у діапазоні від 2 до 16 шт., при цьому домінантним фактором, який найбільше впливає на параметр оптимізації  $K_{3K}^{(h_{13k})} \rightarrow \min$  є коефіцієнт жорсткості  $c_n$  пружини ножа.

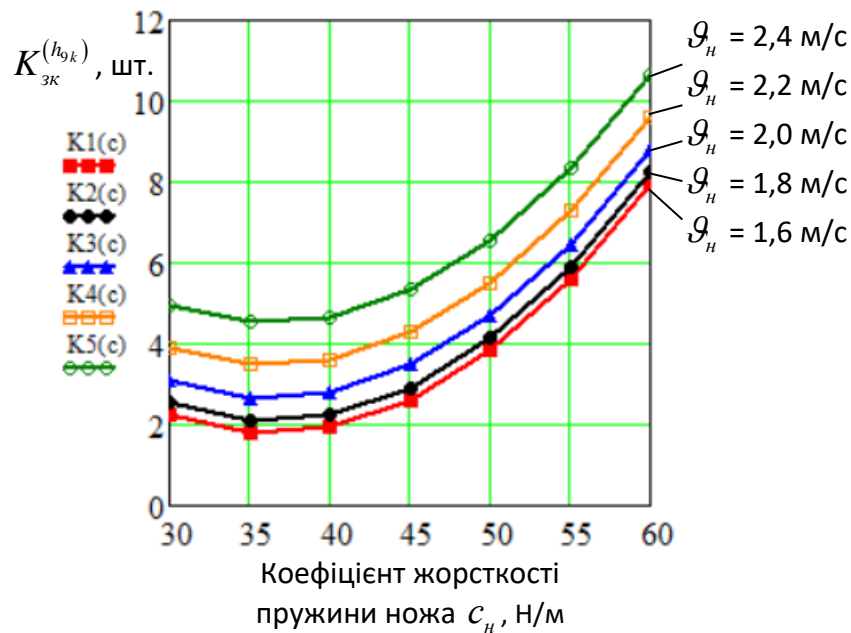


Рисунок 4.7 – Залежність функціональної зміни  $K_{3K}^{(h_{9k})} = f(c_H)$  кількості зламаних коренеплодів цикорію,  $h_k = 9$  см

За зміни коефіцієнта жорсткості пружини ножа  $c_H$  від 30 до 60 Н/м кількість  $K_{3K}^{(h_{13k})}$  зламаних коренеплодів цикорію для групи коренеплодів, які розташовані над рівнем поверхні ґрунту на висоті  $h_k = 13$  см збільшується в середньому на 9...10 шт. в діапазоні зміни швидкості руху  $\mathcal{G}_H$  від 1,6 до 2,4 м/с.

При цьому, залежно від зміни швидкості руху ножа від 1,6 до 2,4 м/с приріст кількості  $K_{3K}^{(h_{13k})}$  зламаних коренеплодів цикорію для групи коренеплодів, які розташовані над рівнем поверхні ґрунту на висоті  $h_k = 13$  см становить в середньому на 5...6 шт.

Також такий характер поведінки  $K_{3K}^{(h_{9k})}$  підтверджується графічними залежностями, які наведено на рис. 4.9.

Для обґрунтування параметрів процесу контактної взаємодії підпружиненого ножа, або кількості  $K_{3K}^{(h_{5k})}$ ,  $K_{3K}^{(h_{9k})}$ ,  $K_{3K}^{(h_{13k})}$  зламаних коренеплодів цикорію для групи коренеплодів, головки яких розташовані на висоті відносно рівня поверхні ґрунту, відповідно,  $h_k = 5$  см,  $h_k = 9$  см,  $h_k = 13$  см побудовано графічну інтерпретацію залежностей  $K_{3K}^{(h_{5k})}$ ,  $K_{3K}^{(h_{9k})}$ ,  $K_{3K}^{(h_{13k})}$  як функція  $K_{3K}^{(h_{ik})} = f(\mathcal{G}_H, c_H)$ , які наведено на рис. 4.10.

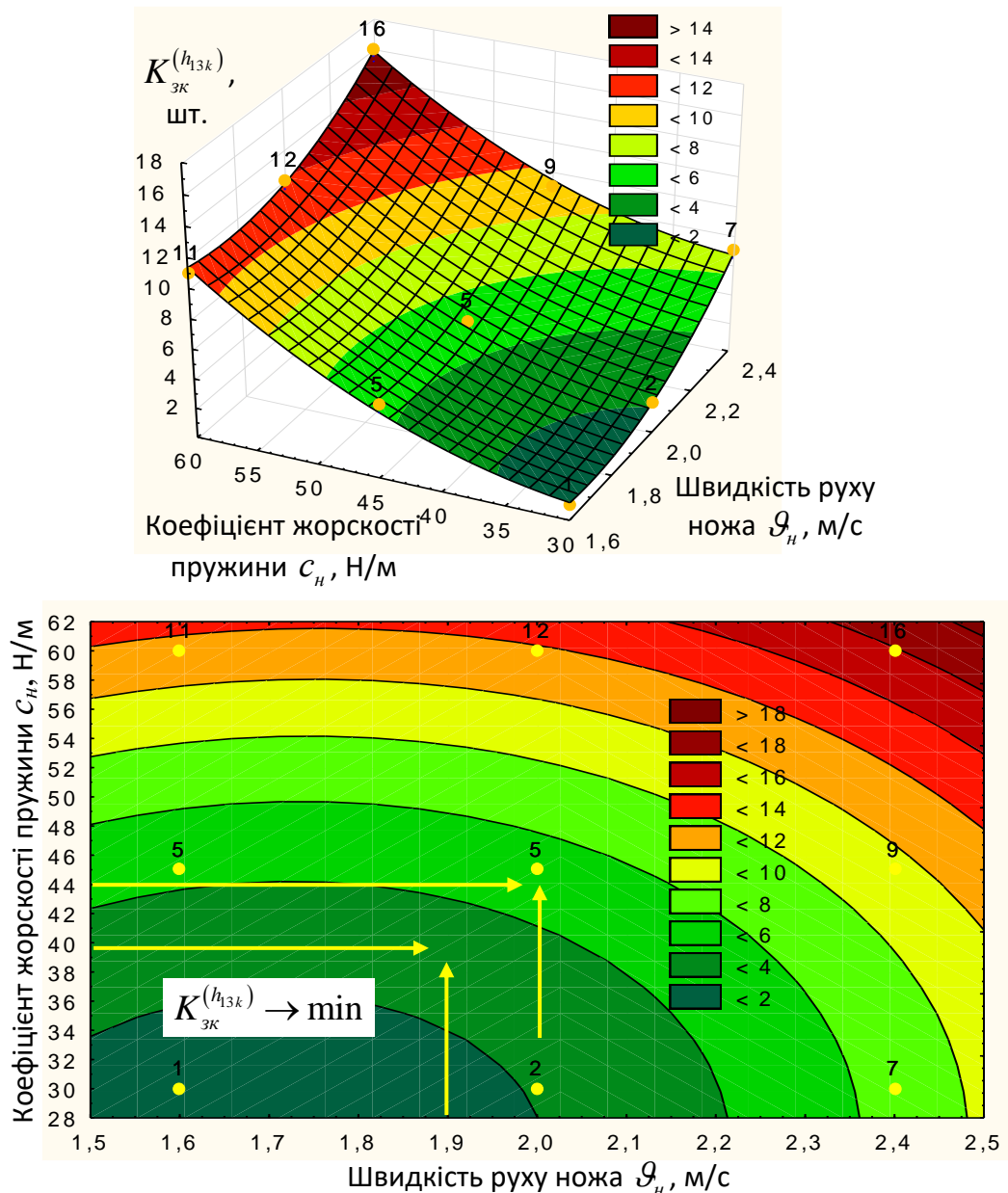


Рисунок 4.8 – Поверхня відгуку та двомірний переріз поверхні функціональної зміни  $K_{3K}^{(h_{13k})} = f(G_n; c_n)$  кількості зламаних коренеплодів цикорію для групи коренеплодів  $h_k = 13$  см

Таким чином, на основі аналізу графічної інтерпретації функціональної зміни  $K_{3K}^{(h_{ik})} = f(G_n; c_n)$  і  $K_{3K}^{(h_{ik})} = f(c_n)$ , або кількості  $K_{3K}^{(h_{ik})}$  зламаних коренеплодів цикорію та агротехнічних вимог до процесу збирання коренеплодів, за яких робоча швидкість руху коренезбиральної машини повинна становити не менше 1,5 м/с [149, 150] можна стверджувати, що параметр оптимізації  $K_{3K}^{(h_{ik})}$  прагне до середнього мінімального значення  $K_{3K}^{(h_{ik})} \rightarrow \min$  за таких початкових параметрів:

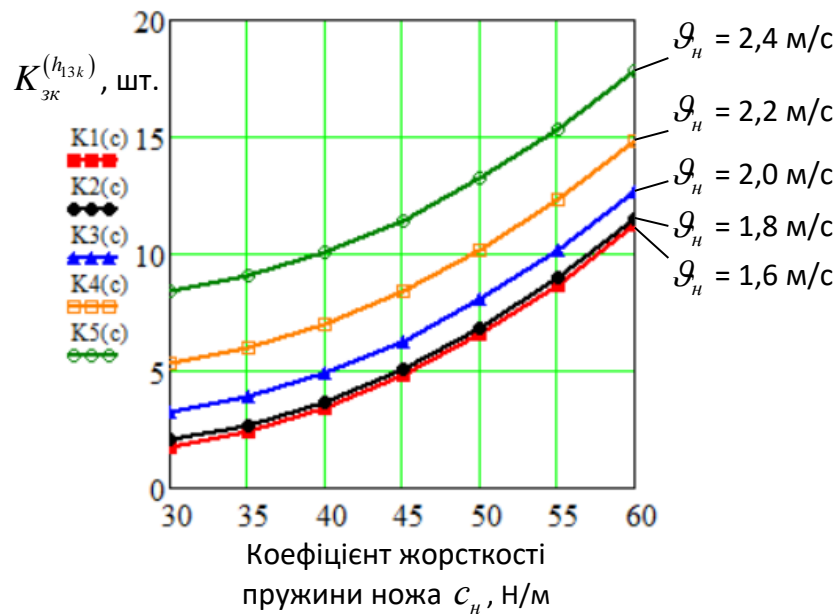


Рисунок 4.9 – Залежність функціональної зміни  $K_{зк}^{(h_{13k})} = f(c_H)$  кількості зламаних коренеплодів цикорію,  $h_k = 13$  см

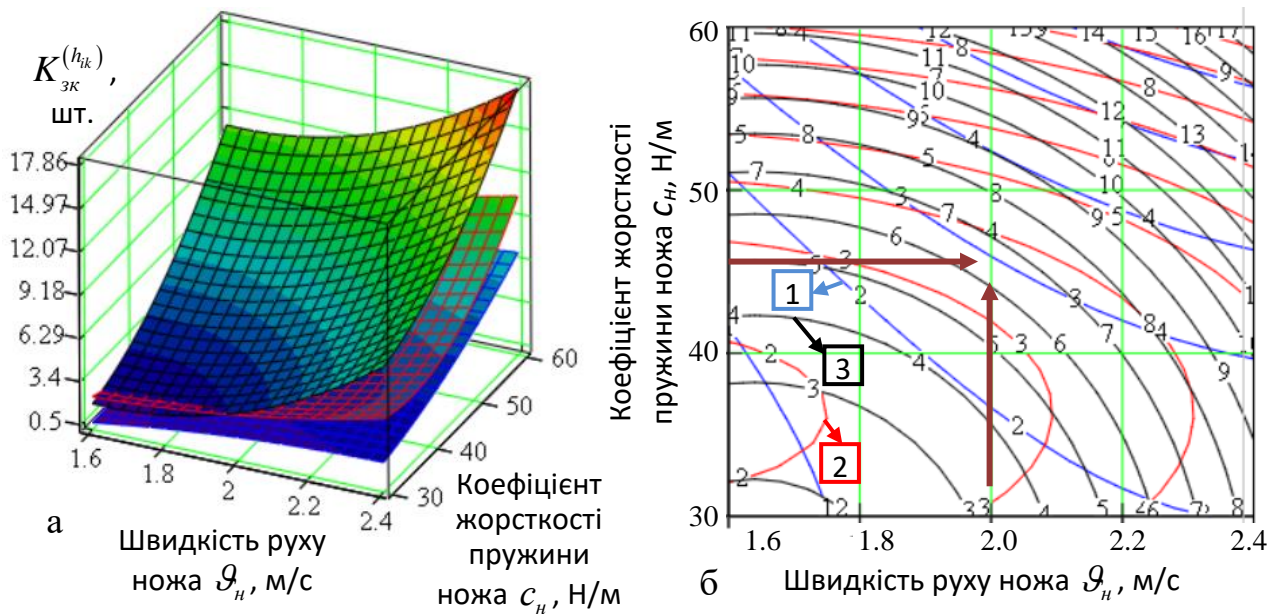


Рисунок 4.10 – Графічна інтерпретація: а – залежність зміни  $K_{зк}^{(h_{5k})}$ ,  $K_{зк}^{(h_{9k})}$ ,  $K_{зк}^{(h_{13k})}$  як функція  $K_{зк}^{(h_k)} = f(G_H, c_H)$ ; б – номограма залежності зміни  $K_{зк}^{(h_{5k})}$ ,  $K_{зк}^{(h_{9k})}$ ,  $K_{зк}^{(h_{13k})}$  як функція  $K_{зк}^{(h_k)} = f(G_H, c_H)$ ; 1, 2, 3 – відповідно,  $h_k = 5, 9, 13$  см

- для коренеплодів  $h_k = 5$  см  $K_{зк}^{(h_{5k})} \rightarrow \min$  від 1 до 2 шт.: швидкість руху  $G_H$  підпружиненого ножа – від 1,6 до 2,4 м/с; коефіцієнт жорсткості  $c_H$  пружини ножа – від 30 до 50 Н/м;

- для коренеплодів  $h_k = 9$  см  $K_{зк}^{(h_k)} \rightarrow \min$  від 2 до 3 шт.: швидкість руху  $\mathcal{G}_n$  підпружиненого ножа – від 1,6 до 2,2 м/с; коефіцієнт жорсткості  $c_n$  пружини ножа – від 30 до 45 Н/м;

- для коренеплодів  $h_k = 13$  см  $K_{зк}^{(h_{зк})} \rightarrow \min$  від 2 до 6 шт.: швидкість руху  $\mathcal{G}_n$  підпружиненого ножа – від 1,6 до 2,0 м/с; коефіцієнт жорсткості  $c_n$  пружини ножа – від 30 до 45 Н/м.

Тоді, враховуючи отримані результати експериментальних досліджень процесу контактної взаємодії підпружиненого ножа з коренеплодами цикорію та наведені висновки, які отримано в результаті аналізу можна констатувати, що параметр оптимізації  $K_{зк}$ , або кількість зламаних коренеплодів цикорію (середній діаметр зламу – 4...6 см) прагне до середнього мінімального значення  $K_{зк} \rightarrow \min$  (від 1 до 6 шт.) за таких параметрів:

- швидкість руху  $\mathcal{G}_n$  підпружиненого ножа – від 1,6 до 2,0 м/с;
- коефіцієнт жорсткості  $c_n$  пружини ножа – від 30 до 45 Н/м.

#### **4.2. Результати експериментальних досліджень показників якості роботи удосконаленого обрізника**

Експериментальні дослідження удосконаленого обрізника залишків гички провели з метою встановлення функціональної емпіричної моделі, яка описує поведінку зміни кількості  $K_{вк}$  вивалених коренеплодів з ґрунту та кількості  $K_{пк}$  пошкоджених коренеплодів цикорію у процесі їх контактної взаємодії з пасивним копіром 5 (рис. 1.36) залежно від змінних факторів (табл. 3.2): швидкості руху  $\mathcal{G}_k$  копіра, коефіцієнта жорсткості  $c_c$  пружини 8 (рис. 1.37) стакану 1 вертикальної рухомої тяги 2 та кута  $\alpha$  нахилу робочої поверхні копіра до горизонту.

При цьому коефіцієнт жорсткості пружини ножа ( $c_n = 45$  Н/см) встановлювали згідно з результатами досліджень (підрозділ 4.1 розділу 4), а амортизатор виконано у вигляді пружної прогумованої прокладки.

Черговість проведення першого та наступних експериментів встановлювали згідно рандомізованої план-матриці (табл. 3.3.) планованого факторного експерименту типу ПФЕ 3<sup>3</sup>.

За результатами проведення експериментів отримано такі показники експериментального масиву даних кількості  $K_{вк}$  вивалених коренеплодів цикорію з ґрунту та кількості  $K_{нк}$  пошкоджених коренеплодів, які наведено у табл. 4.5.

Математичні розрахунки статистичних показників експериментального масиву даних кількості  $K_{вк}$  вивалених коренеплодів цикорію з ґрунту та кількості  $K_{нк}$  пошкоджених коренеплодів, або обробку експериментального масиву даних (табл. 4.5) провели згідно методики, яку наведено у додатку 4.2.

При цьому було встановлено:

- обчислені коефіцієнти рівняння регресії (емпіричної моделі) в натуральних величинах, які наведені у табл. 4.6;

- математичний вигляд функціональної залежності  $K_{вк} = f(\mathcal{G}_k; c_c; \alpha)$  і  $K_{нк} = f(\mathcal{G}_k; c_c; \alpha)$ , яку записано у вигляді полінома другої степені за найбільшим значення коефіцієнта множинної детермінації, відповідно,  $D = 0,973$  і  $D = 0,956$  (додаток 4.2):

$$K_{вк} = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_{12} x_1 x_2 + b_{13} x_1 x_3 + b_{23} x_2 x_3 + b_{11} x_1^2 + b_{22} x_2^2 + b_{33} x_3^2, \quad (4.6)$$

де  $b_0, b_1, b_2, b_{12}, b_{13}, b_{23}, b_{11}, b_{22}, b_{33}$  – коефіцієнти відповідних значень  $x_i$ ;

$x_1 = \mathcal{G}_k$ ,  $x_2 = c_c$ ,  $x_3 = \alpha$  – відповідні натуральні фактори.

Статистичну значимість коефіцієнтів  $b_i$  рівняння регресії відповідних вхідних факторів  $x_i$  перевіряли за  $t$ -критерієм Стюдента, при цьому всі коефіцієнти рівняння регресії є значущими.

Адекватність емпіричної математичної моделі, яку записано у вигляді полінома другої степені підтверджено за  $F$ -критерієм Фішера, при цьому коефіцієнта множинної детермінації, відповідно,  $D = 0,973$  і  $D = 0,956$  значущим з вірогідністю  $P = 0,94989$  і  $P = 89341$  за рівня значущим ості  $p = 0,95$  (додаток Г.4.2).

Таблиця 4.5 – Показники кількості  $K_{вк}$  вивалених коренеплодів цикорію з ґрунту та кількості  $K_{пк}$  пошкоджених коренеплодів при реалізації експериментів типу ПФЕ 3<sup>3</sup>

№ експ.	Фактори			Показники якості роботи обрізника <sup>❖</sup>							
	$g_k$ , м/с	$c_c$ , Н/м	$\alpha$ , град.	Вивалених коренеплодів $K_{вк}$ , %				Пошкоджених коренеплодів $K_{пк}$ , %			
				1	2	3	Сер.	1	2	3	Сер.
1	1,5	35	20	2,5	2,7	2,3	2,5	15,3	15,0	15,0	15,1
2	1,5	35	30	1,4	1,7	1,7	1,6	12,1	12,4	12,3	12,3
3	1,5	35	40	2,5	2,2	2,2	2,3	14,0	14,2	14,4	14,2
4	1,8	35	20	2,2	1,9	2,1	2,1	14,5	15,1	14,8	14,8
5	1,8	35	30	2,0	1,9	1,8	1,9	12,9	13,5	13,4	13,3
6	1,8	35	40	2,7	2,5	2,6	2,6	16,4	16,2	16,6	16,4
7	2,1	35	20	2,9	3,2	3,2	3,1	15,0	15,4	15,2	15,2
8	2,1	35	30	2,4	2,6	2,2	2,4	14,6	14,6	14,3	14,5
9	2,1	35	40	2,5	2,6	2,7	2,6	15,9	16,4	16,3	16,3
10	1,5	50	20	2,8	3,1	2,8	2,9	17,5	17,0	16,7	17,1
11	1,5	50	30	2,4	2,7	2,6	2,6	15,2	15,3	15,1	15,2
12	1,5	50	40	3,4	3,6	3,8	3,6	19,0	19,4	18,9	19,1
13	1,8	50	20	4,4	4,3	3,9	4,2	19,3	19,3	19,3	19,3
14	1,8	50	30	3,2	2,7	3,1	3,0	15,5	15,6	16,3	15,8
15	1,8	50	40	3,8	3,8	4,4	4,0	22,4	22,3	21,9	22,2
16	2,1	50	20	5,1	5,2	4,7	5,0	21,3	21,9	22,1	21,7
17	2,1	50	30	3,4	3,6	3,8	3,6	16,0	16,9	15,9	16,4
18	2,1	50	40	5,0	5,0	4,7	4,9	23,3	23,0	23,0	23,1
19	1,5	65	20	4,7	4,7	4,4	4,6	19,1	19,2	19,6	19,3
20	1,5	65	30	3,2	3,3	3,1	3,2	17,5	17,1	17,0	17,2
21	1,5	65	40	4,2	4,3	4,1	4,2	22,5	22,9	23,0	22,8
22	1,8	65	20	4,9	5,3	4,8	5,0	21,0	21,3	21,3	21,2
23	1,8	65	30	4,0	4,0	3,4	3,8	18,3	18,7	18,0	18,5
24	1,8	65	40	4,6	5,2	4,9	4,9	24,3	24,0	23,7	24,0
25	2,1	65	20	5,8	6,1	5,5	5,8	23,7	23,5	23,6	23,6
26	2,1	65	30	4,2	4,2	4,4	4,3	20,5	20,7	20,9	20,7
27	2,1	65	40	5,6	5,4	5,5	5,5	25,6	25,4	25,2	25,4

❖ – показники визначено відносно загальної маси коренеплодів

Таблиця 4.6 – Naturalні значення коефіцієнтів  $b_i$  рівняння регресії кількості показників якості  $K_{вк}$  та  $K_{нк}$

Позначення	Naturalні значення коефіцієнтів рівняння регресії				
$K_{вк} = f(\vartheta_k; c_c; \alpha)$	$b_0$	$b_1$	$b_2$	$b_3$	$b_{12}$
	6,44	-0,75	-0,35	-0,54	0,61
	$b_{13}$	$b_{23}$	$b_{11}$	$b_{22}$	$b_{33}$
	-0,02	-0,02	0,32	-0,001	0,01
$K_{нк} = f(\vartheta_k; c_c; \alpha)$	$b_0$	$b_1$	$b_2$	$b_3$	$b_{12}$
	40,59	0,35	-1,04	-1,04	1,63
	$b_{13}$	$b_{23}$	$b_{11}$	$b_{22}$	$b_{33}$
	-0,97	-0,05	-5,51	-0,004	0,07

Таким чином, рівняння регресії, які описують функціональний характер зміни кількості  $K_{вк}$  вивалених коренеплодів цикорію з ґрунту та кількості  $K_{нк}$  пошкоджених коренеплодів при реалізації експериментів типу ПФЕ 3<sup>3</sup> записано у вигляді [147]:

$$K_{вк} = 6,44 - 0,75\vartheta_k - 0,35c_c - 0,54\alpha + 0,61\vartheta_k c_c - 0,02\vartheta_k \alpha - 0,02c_c \alpha + 0,32\vartheta_k^2 - 0,001c_c^2 + 0,01\alpha^2; \quad (4.7)$$

$$K_{нк} = 40,59 + 0,35\vartheta_k - 1,04c_c - 1,04\alpha + 1,63\vartheta_k c_c - 0,97\vartheta_k \alpha - 0,05c_c \alpha - 5,51\vartheta_k^2 - 0,004c_c^2 + 0,07\alpha^2; \quad (4.8)$$

Згідно з даними експериментального масиву (табл. 4.5) та рівняння регресії (4.7) і (4.8) побудовано графічну інтерпретацію у вигляді поверхні відгуку та двомірного перерізу поверхні відгуку (рис. 4.11-рис. 4.14, додаток Г.5.2, додаток Г.6.2), які описують функціональну зміну параметра оптимізації, або кількості  $K_{вк}$  вивалених коренеплодів з ґрунту та кількості пошкоджених коренеплодів цикорію від діапазону зміни вхідних факторів:

- швидкості руху копіра у межах  $1,5 \leq \vartheta_k \leq 2,1$  м/с;
- коефіцієнта жорсткості пружини стакану вертикальної тяги копіра у межах  $35 \leq c_c \leq 65$  Н/м;
- кута встановлення копіра відносно горизонту у межах  $20 \leq \alpha \leq 40$  град.



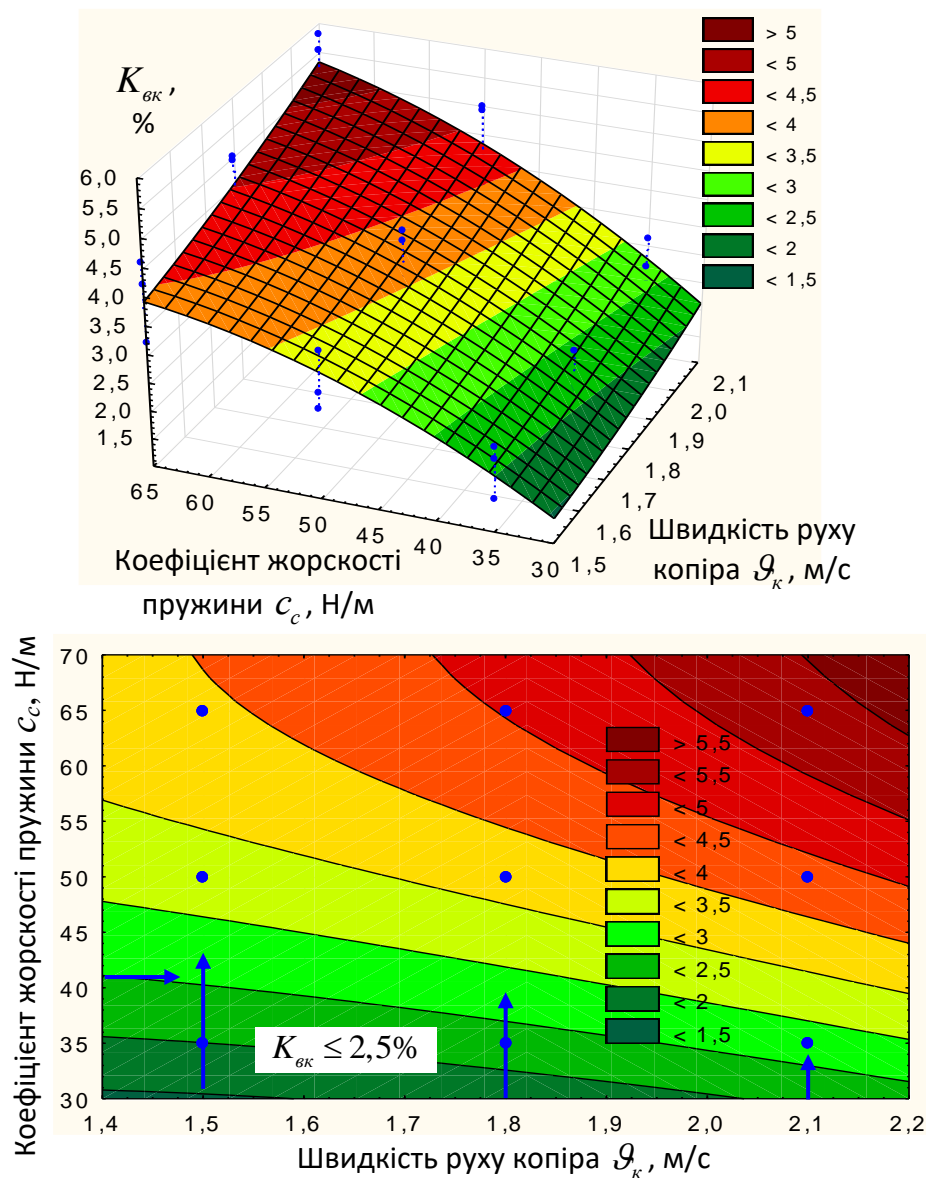


Рисунок 4.11 – Поверхня відгуку та двомірний переріз поверхні функціональної зміни  $K_{vk} = f(g_k; c_c)$  кількості вивалених коренеплодів цикорію

На основі аналізу графічних залежності (рис. 4.11, рис. 4.12, додаток Г.5.2) можна констатувати, що:

- кількість  $K_{vk}$  вивалених коренеплодів цикорію як функція  $K_{vk} = f(g_k; c_c)$  змінюється у діапазоні від 1,5 до 5,0 %, при цьому домінуючим фактором, який найбільше впливає на параметр оптимізації  $K_{vk}$  є коефіцієнт жорсткості пружини  $c_c$  стакан вертикальної тяги копіра, рис. 4.11;

- кількість  $K_{vk}$  вивалених коренеплодів цикорію як функція  $K_{vk} = f(g_k; \alpha)$  змінюється у діапазоні від 2,5 до 5,5 %, при цьому домінуючим фактором, який найбільше впливає на параметр  $K_{vk}$  є обидва фактори  $g_k$  і  $c_c$ , рис. 4.12;

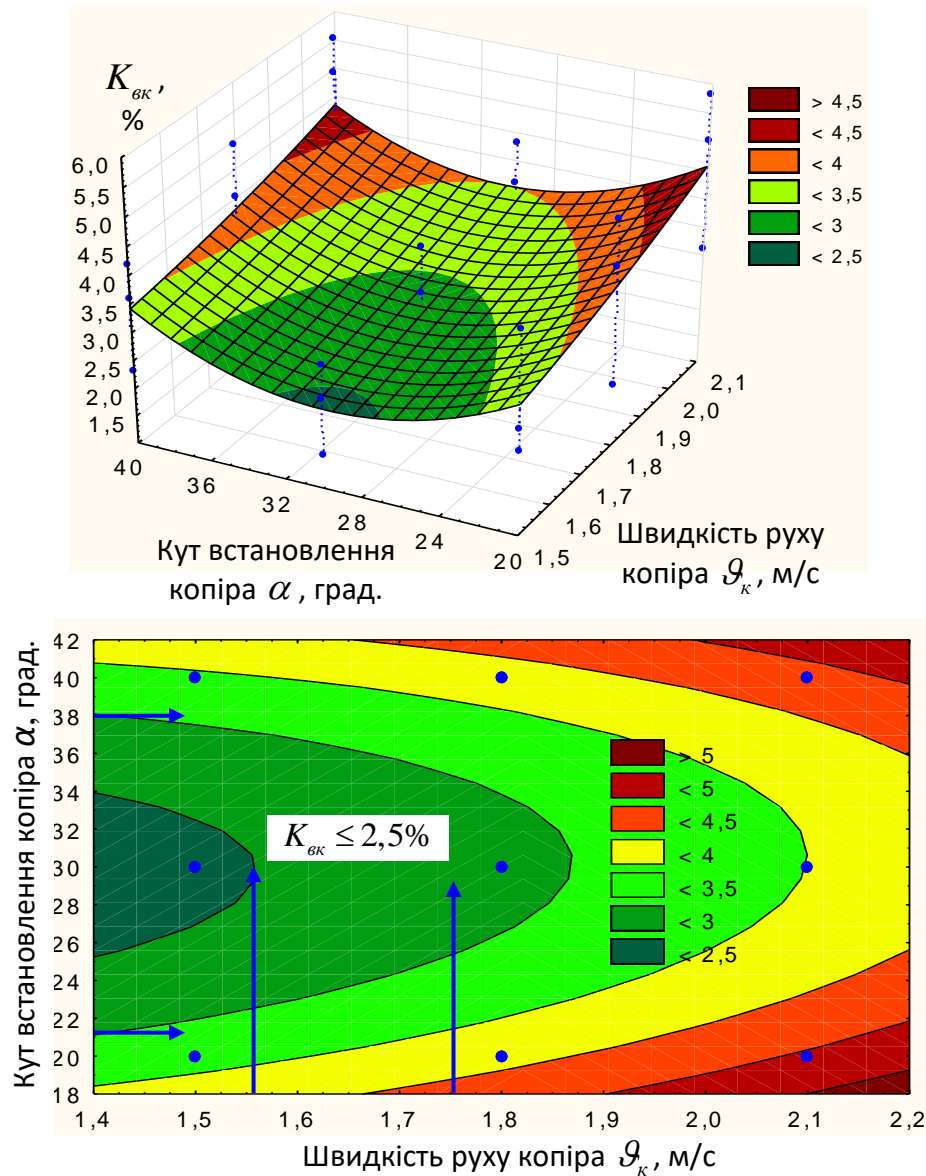


Рисунок 4.12 – Поверхня відгуку та двомірний переріз поверхні функціональної зміни  $K_{вк} = f(G_k; \alpha)$  кількості вивалених коренеплодів цикорію

- кількість  $K_{вк}$  вивалених коренеплодів цикорію як функція  $K_{вк} = f(c_c; \alpha)$  змінюється у діапазоні від 1,5 до 4,5 %, при цьому доміантним фактором, який найбільше впливає на параметр оптимізації  $K_{вк}$  є коефіцієнт  $c_c$  жорсткості пружини стакану вертикальної тяги копіра удосконаленого обрізника залишків гички з головок коренеплодів, додаток Г.5.2;

- кількість  $K_{нк}$  пошкоджених коренеплодів цикорію як функція  $K_{нк} = f(G_k; c_c)$  змінюється у діапазоні від 11 до 23 %, при цьому доміантним фактором, який найбільше впливає на параметр оптимізації  $K_{нк}$  є коефіцієнт жорсткості  $c_c$  стакану вертикальної тяги копіра, рис. 4.13;

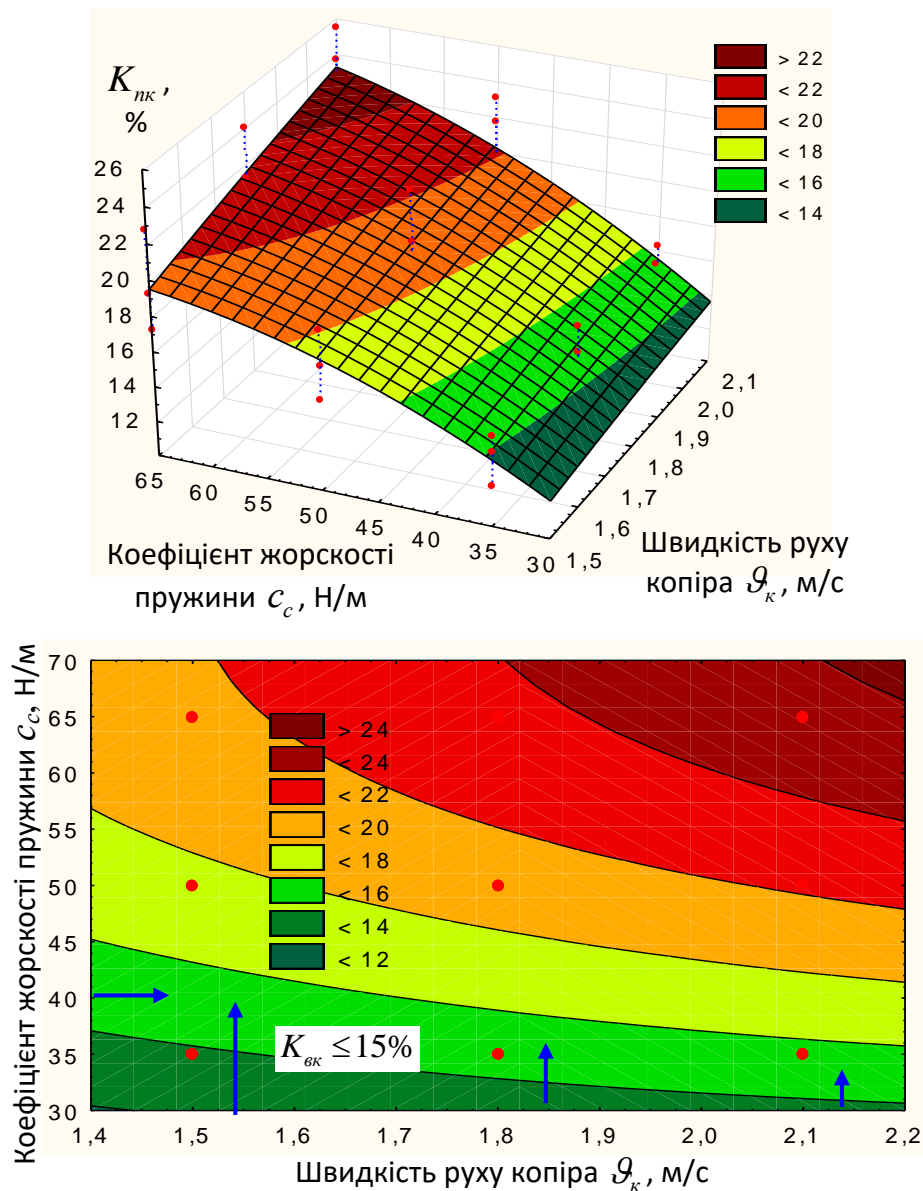


Рисунок 4.13 – Поверхня відгуку та двомірний переріз поверхні функціональної зміни  $K_{нк} = f(g_k; c_c)$  кількості пошкоджених коренеплодів

- кількість  $K_{нк}$  пошкоджених коренеплодів цикорію як функція  $K_{нк} = f(g_k; \alpha)$  змінюється у діапазоні від 14 до 21 %, при цьому доміантним фактором, який найбільше впливає на параметр  $K_{нк}$  є обидва фактори  $g_k$  і  $c_c$ , рис. 4.14;

- кількість  $K_{нк}$  пошкоджених коренеплодів цикорію як функція  $K_{нк} = f(c_c; \alpha)$  змінюється у діапазоні від 11 до 24 %, при цьому доміантним фактором, який найбільше впливає на параметр  $K_{нк}$  є коефіцієнт  $c_c$  жорсткості пружини стакану вертикальної тяги копіра, додаток Г.6.2.

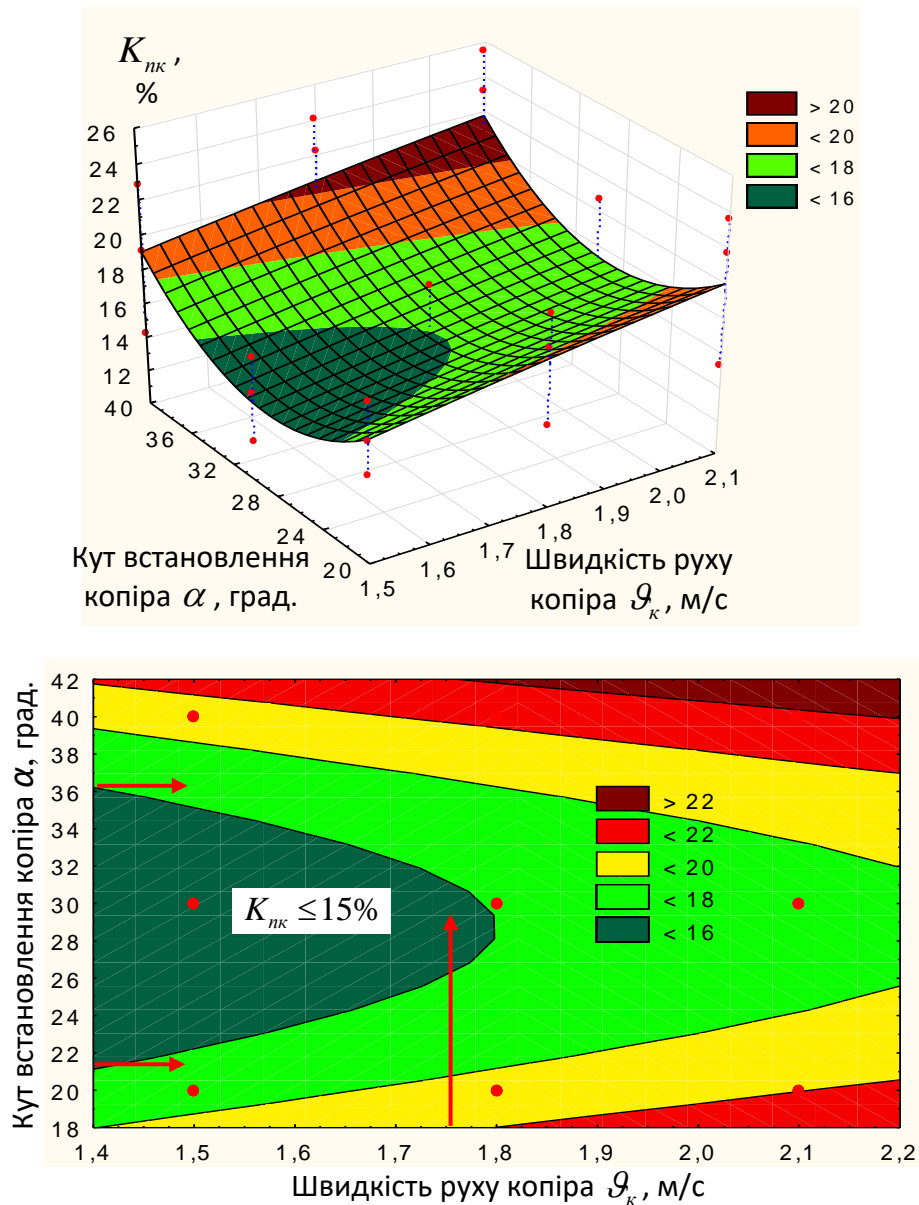


Рисунок 4.14 – Поверхня відгуку та двомірний переріз поверхні функціональної зміни  $K_{нк} = f(G_k; \alpha)$  кількості пошкоджених коренеплодів

Відсотковий приріст кількості  $K_{вк}$  вивалених коренеплодів з ґрунту та кількості  $K_{нк}$  пошкоджених коренеплодів за збільшення коефіцієнта  $c_c$  жорсткості стакану вертикальної тяги копіра в межах зміни вхідного фактора від 35 до 65 Н/м зростає в середньому, відповідно, на 3,0-3,5 % та на 10-13 %.

Збільшення швидкості руху  $G_k$  копіра в межах зміни фактора від 1,5 до 2,1 м/с не вносить суттєвої зміни показника кількості  $K_{вк}$  вивалених коренеплодів з ґрунту та показника кількості  $K_{нк}$  пошкоджених коренеплодів – відповідно,  $K_{вк}$  і  $K_{нк}$  збільшуються в середньому на 0,4-0,6 % та на 2,5-3,1 %.

Функціональна зміна вихідних параметрів оптимізації, або кількості  $K_{ек}$  вивалених коренеплодів з ґрунту та кількості  $K_{нк}$  пошкоджених коренеплодів за збільшення коефіцієнта жорсткості  $c_c$  пружини стакана вертикальної тяги в межах зміни вхідного фактора від 35 до 65 Н/м має параболічний характер, при цьому:

- мінімальне значення оптимуму функції  $K_{ек} = f(\vartheta_k; c_c)$  і  $K_{нк} = f(\vartheta_k; c_c)$ , яке дорівнює, відповідно,  $K_{ек} = f(\vartheta_k; c_c) \rightarrow \min$  (1,3 %) та  $K_{нк} = f(\vartheta_k; c_c) \rightarrow \min$  (13,9 %), отримано за швидкості руху  $\vartheta_k$  копіра не більше  $\vartheta_k \leq 1,8$  м/с, коефіцієнта жорсткості  $c_c$  пружини стакана вертикальної тяги не більше  $c_c \leq 45$  Н/м та кута  $\alpha$  встановлення копіра відносно горизонту рівного  $\alpha = 30$  град.

Функціональна зміна вихідних параметрів оптимізації, або кількості  $K_{ек}$  вивалених коренеплодів з ґрунту та кількості  $K_{нк}$  пошкоджених коренеплодів за збільшення кута  $\alpha$  встановлення копіра відносно горизонту в межах зміни вхідного фактора від 20 до 40 град. має параболічний характер, при цьому:

- мінімальне значення оптимуму функції  $K_{ек} = f(\vartheta_k; \alpha)$  і  $K_{нк} = f(\vartheta_k; \alpha)$ , яке дорівнює, відповідно,  $K_{ек} = f(\vartheta_k; \alpha) \rightarrow \min$  (2,3 %) та  $K_{нк} = f(\vartheta_k; \alpha) \rightarrow \min$  (13,9 %), отримано за кута  $\alpha$  встановлення копіра відносно горизонту в межах  $25 \leq \alpha \leq 35$  град. та швидкості руху  $\vartheta_k$  копіра не більше 1,8 м/с;

- мінімальне значення оптимуму функції  $K_{ек} = f(\alpha; c_c)$  і  $K_{нк} = f(\alpha; c_c)$ , яке дорівнює, відповідно,  $K_{ек} = f(\vartheta_k; \alpha) \rightarrow \min$  (1,3 %) та  $K_{нк} = f(\vartheta_k; \alpha) \rightarrow \min$  (10,2 %), отримано за кута  $\alpha$  встановлення копіра відносно горизонту в межах  $30 \leq \alpha \leq 35$  град. та коефіцієнта жорсткості  $c_c$  пружини стакана вертикальної тяги не більше 45 Н/м.

Обґрунтування раціональних параметрів обрізника залишків гички з головок коренеплодів цикорію необхідно проводити шляхом врахування допустимих показників кількості вивалених коренеплодів з ґрунту та кількості пошкоджень коренеплодів згідно агротехнічних вимог до процесу збирання [150], при цьому:

- зріз головки коренеплодів цикорію повинен бути прямим (горизонтальним), гладким і без відколів, а кількість коренеплодів з косим зрізом – не більше 10 % відносно загальної маси коренеплодів;

- площа зрізу повинна проходити не нижче рівня підстави зелених черешків і не вище 0,5 см від верхівки головки коренеплодів, при цьому залишки гички на головках коренеплодів не повинні перевищувати 4 % від її урожайності;

- кількість пошкоджених коренеплодів не повинно бути більше 15 %, у тому числі сильнопошкоджених – до 5 %;

- кількість вивалених коренеплодів цикорію з ґрунту – не більше 3,5 %, у тому числі обрізником головок – не більше 2,5 %.

Тоді, враховуючи отримані результати експериментальних досліджень показників  $K_{зк}$  (кількість зламаних коренеплодів у загальному випадку),  $K_{зк}^{(h_{нк})}$  (кількість зламаних коренеплодів відповідних груп відносно висоти розташування головки над рівнем поверхні ґрунту),  $K_{вк}$  (кількості вивалених коренеплодів з ґрунту) і  $K_{нк}$  (кількості пошкоджених коренеплодів) та агротехнічних вимог [149, 150] до процесу збирання коренеплодів, за яких робоча швидкість руху коренезбиральної машини повинна становити не менше 1,5 м/с, кількість вивалених коренеплодів цикорію з ґрунту обрізником головок – не більше 2,5 %, кількість пошкоджених коренеплодів не повинно бути більше 15 % можна констатувати, що встановлені показники  $K_{зк}$ ,  $K_{вк}$  і  $K_{нк}$  прагнуть до своїх мінімальних або оптимальних значень ( $K_{зк} \rightarrow \min$ ,  $K_{вк} \rightarrow \text{оптимум} (\leq 2,5 \%)$ ,  $K_{нк} \rightarrow \text{оптимум} (\leq 15 \%)$ ) дотримуються за таких параметрів обрізника [149]:

- швидкість руху  $\mathcal{G}_k$  копіра ( або коренезбиральної машини) – менше або рівна 1,8 м/с;

- коефіцієнт жорсткості  $c_n$  пружини ножа – від 30 до 45 Н/м;

- коефіцієнт жорсткості  $c_c$  пружини стакана вертикальної тяги копіра – менше або рівний 45 Н/м;

- кут встановлення  $\alpha$  копіра відносно горизонтальної площини – від 30 до 35 град.

Ці параметри робочих органів обрізника залишків гички з головок коренеплодів є раціональними параметрами.

### **4.3. Результати польових порівняльних досліджень обрізників головок коренеплодів цикорію**

Порівняльні польові дослідження трьох типів обрізників, які виконано за типом «пасивний копір-підпружинений ніж» і серійного обрізника залишків гички з головок коренеплодів цикорію («пасивний копір-пасивний ніж») реалізували згідно методики, яку наведено у підрозділі 3.4 розділу 3, де також описано конструкції порівнювальних обрізників [57].

Оптимальні параметри робочих органів порівнюваних обрізників, які було обґрунтовано на основі результатів теоретичних і експериментальних досліджень (розділи 2 і 4) наведено у додатку Г.7.3.

Характеристика коренеплодів цикорію, характеристика поля і залікової ділянки та умови проведення порівняльних досліджень наведено, відповідно у додатках В.10.4, В.11.4 і В.12.4.

Метою проведення польових порівняльних досліджень є визначення технологічної ефективності процесу зрізування залишків гички з головок коренеплодів цикорію удосконаленим обрізником загалом і ефективності застосування в конструкції обрізника окремих робочих органів (показників якості роботи) порівняно з серійним обрізником.

Після проведення польових порівняльних досліджень п'ятьох конструкцій обрізників, отримано такі результати показників якості їх роботи, які наведено у табл. 4.7.

За наведеними результатами польових порівняльних досліджень 5-х типів конструкцій обрізників залишків гички з головок коренеплодів (табл. 4.7) побудовано діаграму, яку проілюстровано на рис. 4. 15.

Показники технологічної ефективності процесу зрізування залишків гички з головок коренеплодів цикорію (показники якості роботи) удосконаленим обрізником загалом порівняно з серійним обрізником і ефективності застосування в конструкції обрізника окремих робочих органів наведено у табл. 4.8.

Таблиця 4.7 – Показники якості роботи порівнюваних обрізників залишків гички з головок коренеплодів

Найменування показників	Значення показників*					
	1 тип**	2 тип	3 тип	4 тип	5 тип***	АТВ
Кількість вивалених коренеплодів з ґрунту $K_{вк}$ , %	2,1	2,3	2,3	2,7	2,9	до 2,5
Кількість пошкоджених коренеплодів $K_{пк}$ , %, із них:	13,6	13,7	14,2	15,4	18,5	до 15
кількість зламаних коренеплодів $K_{зк}$ , %	5,3	5,4	6,4	5,3	7,1	-
кількість сколених коренеплодів $K_{ск}$ , %	8,3	8,3	9,7	10,1	11,4	до 10
Залишків гички на головках коренеплодів $Z_2$ , %	2,8	3,1	3,1	3,8	4,1	до 4
Обрізаних головок $O_2$ , %	97,9	97,7	97,7	97,3	97,1	95

\* – показники якості визначено відносно маси коренеплодів; \*\* – базовий; \*\*\* – серійний; АТВ – агротехнічні вимоги

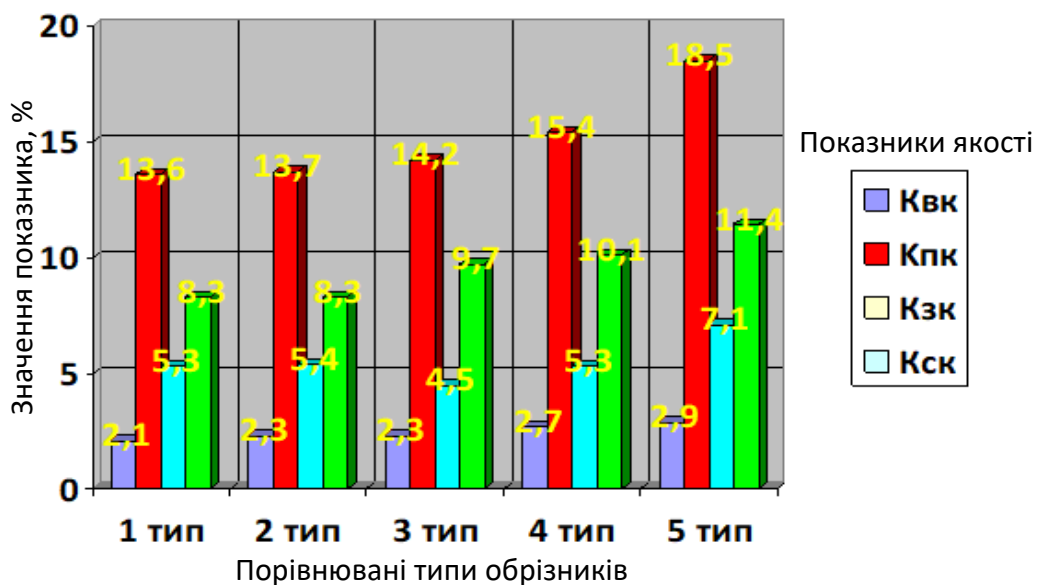


Рисунок 4.15 – Діаграма показників якості роботи порівнюваних обрізників

За наведеними результатами показників технологічної ефективності застосування порівнюваних 5-х типів конструкцій обрізників залишків гички з головок коренеплодів (табл. 4.8) побудовано діаграму, яку проілюстровано на рис. 4. 16.



Таблиця 4.8 – Показники технологічної ефективності порівнюваних обрізників

Показник	Порівнювані типи обрізників				
	1 і 5	1 і 2	1 і 3	1 і 4	4 і 5
	Технологічна ефективність, рази				
Квк	1,4 <sup>+</sup>	1,1 <sup>-</sup>	1,1 <sup>-</sup>	1,3 <sup>-</sup>	1,1 <sup>+</sup>
Кпк	1,4 <sup>+</sup>	–	1,1 <sup>-</sup>	1,1 <sup>-</sup>	1,2 <sup>+</sup>
Кзк	1,4 <sup>+</sup>	–	1,2 <sup>-</sup>	–	1,4 <sup>+</sup>
Кск	1,4 <sup>+</sup>	–	1,2 <sup>-</sup>	1,2 <sup>-</sup>	1,1 <sup>+</sup>

<sup>+</sup> – зменшення показника одного типу (наприклад, 1 типу) обрізника відносно іншого типу (5 типу);

<sup>-</sup> – збільшення показника одного типу (наприклад, 2 типу) обрізника відносно іншого типу (1 типу)

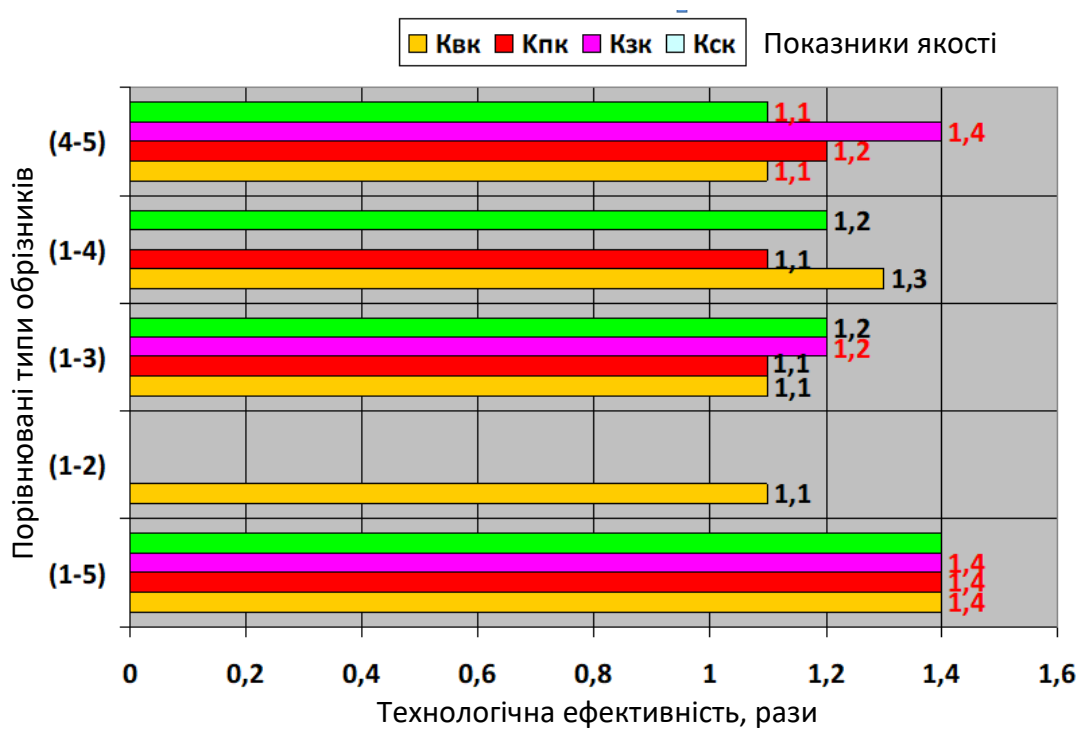


Рисунок 4.16 – Діаграма показників технологічної ефективності порівнюваних обрізників: червоний колір чисельного показника – зменшення показника; чорний колір чисельного показника – збільшення показника

Технологічна ефективність застосування удосконаленого обрізника (1 тип, або базовий) залишків гички з головок коренеплодів цикорію наглядно підтверджується отриманими результатами проведених польових порівняльних досліджень (табл. 4.7, 4.8) та аналізом рис. 4.15 і 4.16.

Так, показники кількості вивалених коренеплодів з ґрунту  $K_{вк}$ , кількості пошкоджених коренеплодів  $K_{пк}$ , кількості зламаних коренеплодів  $K_{зк}$  і кількості сколених коренеплодів  $K_{ск}$ , які отримано під час проведення польових порівняльних досліджень становлять:

- у базового обрізника залишків гички з головок коренеплодів цикорію, або удосконаленого, який виконано за 1-м типом, відповідно:  $K_{вк} = 2,1 \%$ ;  $K_{пк} = 13,6 \%$ ;  $K_{зк} = 5,3 \%$ ;  $K_{ск} = 8,3 \%$ ;

- у серійного обрізника залишків гички з головок коренеплодів цикорію, який виконано за 5-м типом, відповідно:  $K_{вк} = 2,9 \%$ ;  $K_{пк} = 18,5 \%$ ;  $K_{зк} = 7,1 \%$ ;  $K_{ск} = 11,4 \%$  (табл. 4.8, порівняння 1-4) [149].

Тобто, при застосуванні базового (удосконаленого) обрізника залишків гички з головок коренеплодів цикорію кількість вивалених коренеплодів з ґрунту  $K_{вк}$ , кількість пошкоджених коренеплодів  $K_{пк}$ , кількість зламаних коренеплодів  $K_{зк}$  і кількість сколених коренеплодів  $K_{ск}$  зменшується порівняно з серійним обрізником у середньому в 1,4 рази.

Застосування амортизатора, який закріплено на копіру більш ефективно впливає на показник кількості вивалених коренеплодів з ґрунту  $K_{вк}$  – так у 2-го типу обрізника (без амортизатора) показник  $K_{вк}$  збільшується в 1,1 рази в порівнянні з базовим. При цьому показники  $K_{пк}$ ,  $K_{зк}$  і  $K_{ск}$  практично рівні між собою (табл. 4.8, порівняння 1-2).

Виконання плоского ножа підпружиненим дозволяє зменшувати показник кількості вивалених коренеплодів з ґрунту  $K_{вк}$  і кількості пошкоджених коренеплодів  $K_{пк}$  в 1,1 рази, а показник кількості зламаних коренеплодів  $K_{зк}$  і кількості сколених коренеплодів  $K_{ск}$  – в 1,2 рази (табл. 4.8, порівняння 1-3).

Обрізник, який виконано за 4-м типом (без пружини стакана вертикальної тяги копіра) порівняно з базовим варіантом (1-й тип) призводить до збільшення кількості вивалених коренеплодів з ґрунту  $K_{вк}$  в 1,3 рази, кількості пошкоджених коренеплодів  $K_{пк}$  в 1,1 рази і кількості сколених коренеплодів  $K_{ск}$  в 1,2 рази, при цьому показники кількості зламаних коренеплодів  $K_{зк}$  однакові та рівні 5,3 % (табл. 4.8, порівняння 1-4.)

#### 4.4. Висновки до розділу

4.4.1. Кількість  $K_{зк}$  зламаних коренеплодів цикорію у загальному випадку змінюється у діапазоні від 0 до 33 шт., при цьому домінуючим фактором, який найбільше впливає на параметр оптимізації є коефіцієнт жорсткості  $c_n$  пружини ножа – за зміни коефіцієнта жорсткості пружини ножа  $c_n$  від 30 до 60 Н/м кількість  $K_{зк}$  зламаних коренеплодів цикорію у загальному випадку збільшується в середньому на 15...20 шт. в діапазоні зміни швидкості руху  $\mathcal{G}_n$  ножа від 1,6 до 2,4 м/с.

4.4.2. Встановлено, що кількість  $K_{зк}^{(h_k)}$  зламаних коренеплодів цикорію для групи коренеплодів, які розташовані над рівнем поверхні ґрунту на висоті  $h_k = 5, 9$  і  $13$  см змінюється, відповідно, у діапазоні від 0 до 6 шт., від 0 до 12 шт., від 2 до 16 шт., при цьому домінуючими факторами, які впливають на зміну параметра оптимізації  $K_{зк}^{(h_k)} \rightarrow \min$  є коефіцієнт жорсткості  $c_n$  пружини ножа.

4.4.3. Кількість зламаних коренеплодів цикорію (середній діаметр зламу – 4...6 см) прагне до середнього мінімального значення  $K_{зк} \rightarrow \min$  (від 1 до 6 шт.) за таких параметрів: швидкість руху  $\mathcal{G}_n$  підпружиненого ножа – від 1,6 до 2,0 м/с; коефіцієнт жорсткості  $c_n$  пружини ножа – від 30 до 45 Н/м.

4.4.4. Встановлено, що кількість  $K_{вк}$  вивалених коренеплодів з ґрунту та кількість  $K_{нк}$  пошкоджених коренеплодів цикорію змінюється у діапазоні, відповідно, від 1,5 до 5,5 % та від 11 до 24 % за зміни швидкості руху копіра у межах  $1,5 \leq \mathcal{G}_k \leq 2,1$  м/с, коефіцієнта жорсткості пружини стакана вертикальної тяги копіра у межах  $35 \leq c_c \leq 65$  Н/м, кута встановлення копіра відносно горизонту у межах  $20 \leq \alpha \leq 40$  град.

При цьому агротехнічні вимоги, за яких  $K_{вк} \leq 2,5$  %,  $K_{нк} \leq 15$  % дотримуються за таких параметрів обрізника:

- швидкість руху  $\mathcal{G}_k$  копіра – менше або рівна 1,8 м/с;

- коефіцієнт жорсткості  $c_n$  пружини ножа – від 30 до 45 Н/м;
- коефіцієнт жорсткості  $c_c$  пружини стакана вертикальної тяги копіра – менше або рівний 45 Н/м;
- кут встановлення копіра відносно горизонтальної площини – від 30 до 35 град.

4.4.5. Показники кількості вивалених коренеплодів з ґрунту  $K_{вк}$ , кількості пошкоджених коренеплодів  $K_{пк}$ , кількості зламаних коренеплодів  $K_{зк}$  і кількості сколених коренеплодів  $K_{ск}$ , які отримано під час проведення польових порівняльних досліджень становлять: в удосконаленого обрізника, відповідно:  $K_{вк} = 2,1 \%$ ;  $K_{пк} = 13,6 \%$ ;  $K_{зк} = 5,3 \%$ ;  $K_{ск} = 8,3 \%$ ; у серійного обрізника, відповідно:  $K_{вк} = 2,9 \%$ ;  $K_{пк} = 18,5 \%$ ;  $K_{зк} = 7,1 \%$ ;  $K_{ск} = 11,4 \%$ .

При цьому застосування удосконаленого обрізника призводить до зменшення показників  $K_{вк}$ ,  $K_{пк}$ ,  $K_{зк}$  і  $K_{ск}$  порівняно з серійним обрізником у середньому в 1,4 рази.

4.4.6. Залишки гички на головках коренеплодів у вдосконаленого обрізника зменшуються в 1,5 рази порівняно з серійним обрізником.

Основні положення розділу опубліковано у наукових працях [57, 75, 147, 149].

## РОЗДІЛ 5

### ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ

#### ВПРОВАДЖЕННЯ УДОСКОНАЛЕНОГО ОБРІЗНИКА

##### **5.1. Напрямки підвищення технологічної ефективності конструкції обрізників залишків гички з головок коренеплодів цикорію**

Приймаючи до уваги отримані показники якості роботи базового удосконаленого обрізника та його конструктивні типи в польових умовах необхідно зазначити, що основними напрямками подальшого конструктивно-технологічного удосконалення обрізників залишків гички з головок коренеплодів цикорію повинні бути:

- удосконалення системи «амортизатор-копір» шляхом виконання амортизатора копіра у вигляді набору пружин або у вигляді пружної металевої пластини, що забезпечить підвищення довговічності експлуатації обрізника;

- удосконалення системи «паралелограмний механізм-регулювальна тяга» шляхом заміни пружини тяги або виконання регулювальної тяги у вигляді гідроциліндра, що забезпечить зменшення галопування копіра та можливість більш плавного регулювання діапазону сили притиску обрізника залежно від превалюючої висоти розташування головок коренеплодів над рівнем поверхні ґрунту.

При цьому результатом прогнозованої технологічної ефективності процесу зрізування залишків гички з головок коренеплодів цикорію може бути:

- зменшення кількості вивалених коренеплодів з ґрунту та відповідно збільшення кількості обрізаних коренеплодів;

- зменшення кількості пошкоджених коренеплодів і кількості сколених коренеплодів, що призведе відповідно до зменшення втрат коренеплодів, або підвищення рентабельності виробництва коренеплодів цикорію.

Запропоновані схеми удосконалених робочих органів обрізників проілюстровані на рис. 5.1.

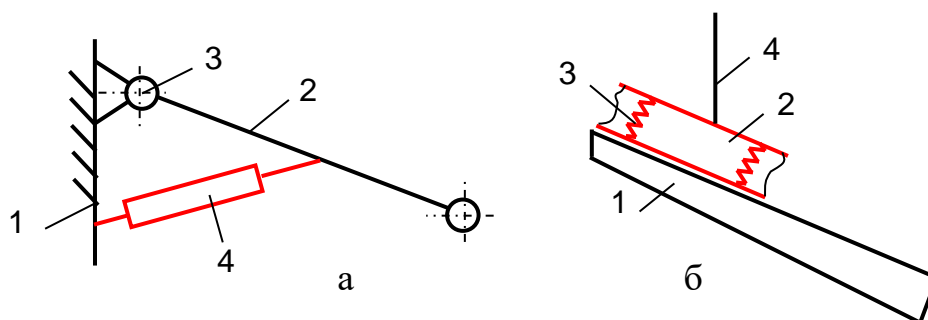


Рисунок 5.1 – Конструктивні схеми удосконалених робочих органів обрізника: а – система «паралелограмний механізм-регульовальна тяга»: 1 – рама; 2 – паралелограмний механізм; 3 – шарнір; 4 – гідроциліндр; б – система «копір-амортизатор»: 1 – копір; 2 – амортизатор; 3 – пружина; 4 – вертикальна тяга копіра

Іншим напрямком підвищення технологічної ефективності застосування обрізників залишків гички з головок коренеплодів цикорію є більш поглиблене проведення теоретично-експериментальних досліджень процесу контактної взаємодії робочих органів з коренеплодами, або процесу копіювання головок коренеплодів і зрізування гички з їх головок.

Також пошук нових сортів коренеплодів цикорію, які мають більш стійкі характеристики до динамічних навантажень і прийомів обробітку посівів коренеплодів протягом їх вегетаційного періоду дозволить зменшити втрати коренеплодів під час їх збирання.

Дисертаційну роботу виконано на основі державної науково-дослідної роботи «Розробка та комплексне дослідження синтезованих транспортно-технологічних механізмів виробничих систем» (№ державної реєстрації 0117U003998), яка виконувалася в Тернопільському національному технічному університеті імені Івана Пулюя згідно з державною програмою наукових робіт та експериментальних розробок молодих вчених «Програма діяльності КМУ «Україна-2020».

Довідка, яка підтверджує апробацію результатів наукових досліджень на Міжнародних науково-практичних конференціях наведена в додатку Д.1.1. В повному обсязі робота доповідалася на науковому семінарі кафедри інжинірингу машинобудівних технологій ТНТУ ім. І.Пулюя.

Результати досліджень передано науковцям Хмельницької державної сільськогосподарської дослідної станції Інституту кормів та сільського господарства Поділля Національної академії аграрних наук України (додаток Д.2.1) та використовуються в навчальному процесі ТНТУ ім. І.Пулюя, додаток Д.3.1.

За результатами досліджень рекомендовано такі основні параметри робочих органів обрізника для виробників, які наведено у табл. 5.1.

Таблиця 5.1. Рекомендовані параметри робочих органів обрізника

Найменування параметра робочих органів обрізника	Значення параметрів
Робоча швидкість руху обрізника, м/с	1,6...1,8
Коефіцієнт жорсткості пружини ножа, Н/м	30...45
Коефіцієнт жорсткості пружини стакана вертикальної тяги копіра, Н/м	до 45
Кут встановлення копіра відносно горизонтальної площини, град.	30...35

## 5.2. Показники економічної ефективності використання удосконалено обрізника

Економічний ефект від застосування удосконаленого обрізника на операції зрізування залишків гички з головок коренеплодів цикорію є наслідком підвищення показників якості роботи базового (удосконаленого) обрізника 1-го типу порівняно з серійним обрізником 5-го типу, табл. 4.7.

Тому вихідними даними для розрахунку показників економічної ефективності є дані показників кількості вивалених  $K_{вк}$  коренеплодів з ґрунту, кількості пошкоджених  $K_{пк}$  коренеплодів, кількості зламаних  $K_{зк}$  коренеплодів, кількості сколотих  $K_{ск}$  коренеплодів і залишків гички  $Z_g$  на головках коренеплодів порівнюваних типів обрізників.

Тому економічну ефективність виробничого застосування удосконаленого обрізника залишків гички з головок коренеплодів цикорію розрахуємо згідно методики та положеннями, які викладені у праці [151].

Згідно з [148] економічний ефект  $E_{1p}$  (грн/га) за один рік експлуатації обрізника визначається за формулою

$$E_{1p} = E_{\text{сум}} / W_{\text{об}}. \quad (5.1)$$

де  $E_{\text{сум}}$  – сумарний економічний ефект, грн/га;

$W_{\text{об}} = 300$  га – сезонний наробіток обрізника.

Сумарний економічний ефект  $E_{\text{сум}}$  складається з суми показника зменшення прямих експлуатаційних затрат і показника економічного ефекту, який є наслідком підвищення показників якості роботи удосконаленого обрізника порівняно з серійним обрізником

$$E_{\text{сум}} = (P_c - P_y) + E_n, \quad (5.2)$$

де  $P_c, P_y$  – питомі експлуатаційні затрати на експлуатацію серійного та удосконаленого обрізника грн/га;

$E_n$  – економічний ефект від експлуатації удосконаленого обрізника, грн/га.

При цьому:

- питомі експлуатаційні затрати  $P_i$  (грн/га) визначаються за формулою

$$P_i = e \cdot K_i + C_i, \quad (5.3)$$

де  $e$  – нормативний коефіцієнт ефективного використання капітальних вкладень ( $e = 0,15$ ) [152];

$K_i = \frac{B_o}{Q_3 T_o}$  – розмір капітальних вкладень, грн/га, де  $B_o = 15500$  грн –

балансова вартість обрізника;  $Q_3 = Q_o \tau = 0,1 B \mathcal{G}_o \tau$  – продуктивність змінного часу, га/год, де  $Q_o = 1,45$  га/год – продуктивність основного часу;  $\tau$  – коефіцієнт ефективного використання часу зміни ( $\tau = 0,8$ ) [152];  $B = 2,7$  м – робоча ширина захвату обрізника;  $\mathcal{G}_o = 5,6$  км/год – робоча швидкість руху обрізника;  $T_o = 300$  год – річне планове завантаження обрізника;

$$K_y = K_c = 15500 / 1,5 \cdot 300 = 34,5 \text{ (грн/га);}$$

$$Q_3 = 0,1 \cdot 2,7 \cdot 5,6 \cdot 0,8 = 1,2 \text{ (га/год);}$$



$C_i = C_1 + C_2 + C_3 + C_4$  – прямі експлуатаційні затрати, грн/га, де  $C_1 = \frac{K_p C_p}{Q_3}$  – сума затрат на оплату праці, де  $K_p = 1$  люд. – кількість працюючих робітників;  $C_p = 25,6$  грн/год люд. – погодинна ставка робітника [153];  $C_2 = N_o q n \Pi_n$  – питомі затрати на паливо-мастильні матеріали, де  $N_o = 55$  кВт – номінальна потужність двигуна МТЗ-80;  $q = 0,26$  кг/кВт год – витрати палива;  $n = 0,8$  – коефіцієнт використання потужності двигуна машини [149];  $\Pi_n = 56$  грн/кг – вартість пального, грн;  $C_3 = \frac{B_o a_o}{Q_3 T_o}$  – затрати на реновацію, де  $a_o = 16,6\%$  або  $0,166$  – норма відрахувань на реновацію машини [153];  $C_4 = \frac{B_o b_o}{Q_3 T_o}$  – затрати на ремонт і технічне обслуговування, де  $b_o = 15\%$ , або  $0,15$  – норма відрахувань на ремонт та технічне обслуговування машини [153].

$$C_{1y} = C_{1c} = 1 \cdot 25,6 / 1,2 = 21,3 \text{ (грн/га);}$$

$$C_{2y} = C_{2c} = 55 \cdot 0,26 \cdot 0,8 \cdot 56 = 640 \text{ (грн/га);}$$

$$C_{3y} = C_{3c} = 15500 \cdot 0,166 / 1,2 \cdot 300 = 7,2 \text{ (грн/га);}$$

$$C_{3y} = C_{3c} = 15500 \cdot 0,15 / 1,2 \cdot 300 = 6,5 \text{ (грн/га).}$$

Економічний ефект  $E_n$  від застосування удосконаленого обрізника є сумою ефектів від зменшення пошкодження коренеплодів  $E_{нк}$  і забрудненості коренеплодів залишками гички  $E_{зк}$ , грн/га

$$E_n = E_{нк} + E_{зк}. \quad (5.4)$$

Економічний ефект від зменшення пошкодження коренеплодів  $E_{нк}$  (грн/га) в загальному визначається за залежністю

$$E_{нк} = \left\{ \begin{array}{l} 0,95 \cdot 10^{-5} (K_{1нк} - K_{2нк}) Q m t k \Pi_1 - 10^{-4} (K_{1нк} - K_{2нк}) \times \\ \times [D_r - t(0,0104 + 0,00095 K_{2нк})] Q m k \Pi_6 \end{array} \right\} / W_{об}, \quad (5.5)$$

де  $K_{1нк} = 18,5\%$  і  $K_{2нк} = 13,6\%$  – кількість пошкоджених коренеплодів серійним і удосконаленим обрізником;

$Q = U_k Q_o T_o$  – кількість зібраних коренеплодів за сезон, т, де  $U_k = 18$  т/га – урожайність коренеплодів цикорію;

$D_r = 14\%$  – відсоток виходу продукції з коренеплодів [154];

$m = 0,4$  – частка сировини, що підлягає зберіганню [154];

$t = 30$  днів – середній термін зберігання коренеплодів цикорію [154];

$k = k_1 \cdot k_2 \cdot k_3$  – поправочний коефіцієнт, де  $k_1 = 0,9$  – коефіцієнт заготівлі коренеплодів;  $k_2 = 0,98$  – коефіцієнт втрат коренеплодів за період від приймання до переробки;  $k_3 = 0,75$  – коефіцієнт виходу продукції з сировини;

$C_l = 290000$  грн/т – оптова ціна продукції переробки цикорію (кава цикорію);

$\Pi_6 = 19000$  грн/т – прямі видатки на виробництво однієї тонни продукції.

$$Q = 18 \cdot 1,45 \cdot 300 = 7830 \text{ т};$$

$$k = 0,9 \cdot 0,98 \cdot 0,75 = 0,67;$$

$$E_p = \{0,95 \cdot 10^{-5} (18,5 - 13,6) 7830 \cdot 0,4 \cdot 30 \cdot 290000 - 10^{-4} (18,5 - 13,6) \times \\ \times [14 - 30 (0,0104 + 0,00095 \cdot 13,6)] 7830 \cdot 0,4 \cdot 0,67 \cdot 19000\} / 300 = 3661,6 \text{ грн/га.}$$

Економічний ефект  $E_{зк}$  (грн/га) від зменшення забрудненості коренеплодів залишками гички визначається за формулою

$$E_{зк} = \Pi_{n.c} - \Pi_{n.y}, \quad (5.6)$$

де  $\Pi_{n.c}$ ,  $\Pi_{n.y}$  – питомі приведені затрати серійного та удосконаленого обрізника на перевезення коренеплодів до місця призначення, грн/га.

Продуктивність змінного часу  $W_{з.в}$  (т/год) на вивезенні коренеплодів до місця призначення визначається

$$W_{з.в} = B_n / T_{ц}, \quad (5.7)$$

де  $B_n = q \cdot \mathcal{C}_i / 100$  – вантажоздатність причепа, т, де  $q = 4$  т – паспортна вантажоздатність причепа 2ПТС-4, т;  $\mathcal{C}_i = 100 - K_{зкi}$  – дольові залишки гички серійного та удосконаленого обрізника;

$$B_{n.c} = 4 \cdot (100 - 4,1) / 100 = 3,8 \text{ (т)}; \quad B_{n.y} = 4 \cdot (100 - 2,8) / 100 = 3,9 \text{ (т)};$$

$T_{ц} = t_{нав} + t_{пер} + t_{вив} + t_{х.пер}$  – час одного циклу відвезення коренеплодів, год,

де  $t_{нав} = B_n / U_k \cdot Q_3$  – час навантаження транспортного засобу, год.;

$$t_{нав.с} = 3,8 / 18 \cdot 1,2 = 0,175 \text{ (год.)}; \quad t_{нав.у} = 3,9 / 18 \cdot 1,2 = 0,181 \text{ (год.)};$$

$t_{пер} = L_n / \mathcal{G}_n$  – час перевезення коренеплодів до місця їх призначення, год, де  $L_n = 10$  км – шлях перевезення;  $\mathcal{G}_n = 15$  км/год – швидкість перевезення;

$$t_{пер.с} = t_{пер.у} = 0,67 \text{ (год.)};$$

$t_{вив} = 0,15$  год – час вивантаження коренеплодів, год [153];  $t_{х.пер} = L_n / \mathcal{G}_{х.н}$  – час холостого переїзду, год, де  $\mathcal{G}_{х.н} = 20$  км/год – швидкість холостого переїзду.

$$t_{х.пер.с} = t_{х.пер.у} = 0,5 \text{ (год.)};$$

$$T_{у.с} = 0,175 + 0,67 + 0,15 + 0,5 = 1,495 \text{ (год.)};$$

$$T_{у.у} = 0,181 + 0,67 + 0,15 + 0,5 = 1,501 \text{ (год.)};$$

$$W_{з.в.с} = 3,8 / 1,495 = 2,54 \text{ (т/год.)};$$

$$W_{з.в.м} = 3,9 / 1,501 = 2,6 \text{ (т/год.)}.$$

Кількість транспортних засобів  $k_{м.з}$  (шт.) для вивезення коренеплодів з визначається за формулою:

$$k_{м.з} = U_k / B_n; \quad (5.8)$$

$$k_{м.зс} = 18 / 3,8 = 4,8 \text{ (шт.)};$$

$$k_{м.зу} = 18 / 3,9 = 4,3 \text{ (шт.)}.$$

Приймаємо  $k_{м.зс} = 5$  шт.;  $k_{м.зу} = 4$  шт.

Заробітну плату працівників  $C'_{li}$  на операції вивезення коренеплодів визначаємо за формулою

$$C'_{li} = N_i r_j / T_u K_e, \quad (5.9)$$

де  $N_i = k_{м.зі}$  – кількість механізаторів, які зайняті на вивезенні, чол.;

$r_j = 25,6$  грн/год – погодинна ставка механізатора;

$K_e = 0,7$  – коефіцієнт використання експлуатаційного часу [153].

$$C'_{lc} = 5 \cdot 25,6 / 1,495 \cdot 0,7 = 122,3 \text{ (грн/га.)};$$

$$C'_{ly} = 4 \cdot 25,6 / 1,501 \cdot 0,7 = 97,5 \text{ (грн/га.)}.$$

Питомі затрати на паливо-мастильні матеріали  $C'_{2i}$ :

$$C'_{2i} = N_o q' \Pi_n n k_{m.3i} T_{ui}; \quad (5.10)$$

$$C'_{2c} = 51,5 \cdot 0,26 \cdot 56,0 \cdot 0,8 \cdot 5 \cdot 1,495 = 3587,3 \text{ (грн/га);}$$

$$C'_{2y} = 51,5 \cdot 0,26 \cdot 56,0 \cdot 0,8 \cdot 4 \cdot 1,495 = 2869,8 \text{ (грн/га).}$$

Питомі витрати на реновацію транспортних засобів  $C'_{3i}$

$$C'_{3i} = \frac{B_a \cdot a_T \cdot U_k}{T_{mp} \cdot W_{3.6i}}, \quad (5.11)$$

де  $B_a = 350000$  грн – балансова вартість транспортного агрегату МТЗ-80+2ПТС-4;

$a_T = 0,16$  – нормативний коефіцієнт амортизаційних відрахувань на реновацію;

$T_{mp} = 1000$  год – нормативне річне завантаження трактора на перевезенні [153].

$$C'_{3c} = 350000 \cdot 0,16 \cdot 18 / 2,54 \cdot 1000 = 396,9 \text{ (грн/га);}$$

$$C'_{3y} = 350000 \cdot 0,16 \cdot 18 / 2,6 \cdot 1000 = 387,7 \text{ (грн/га).}$$

Питомі відрахування  $C'_{4i}$  на капітальний і поточний ремонти та планове технічне обслуговування

$$C'_{4i} = \frac{B_a (R_k + R_n) \cdot U_k}{T_{mp} \cdot W_{3.6i}}, \quad (5.12)$$

де  $(R_k + R_n) = 0,34$  – сума нормативних коефіцієнтів щорічних відрахувань на капітальний  $R_k$  і поточний  $R_n$  ремонти [153].

$$C'_{4c} = 350000 \cdot 0,34 \cdot 18 / 2,54 \cdot 1000 = 843,3 \text{ (грн/га);}$$

$$C'_{4y} = 350000 \cdot 0,34 \cdot 18 / 2,6 \cdot 1000 = 823,9 \text{ (грн/га).}$$

Тоді:

$$C'_c = 123,3 + 3587,3 + 396,9 + 843,3 = 4950,8 \text{ (грн/га);}$$

$$C'_y = 97,5 + 2869,8 + 387,7 + 823,9 = 4178,9 \text{ (грн/га);}$$

Питомі капіталовкладення  $K'$  будуть дорівнювати:

$$K'_i = B_a U_k / W_{3.6i} T_{mp}; \quad (5.13)$$

Таблиця 5.2 – Показники розрахунку економічної ефективності застосування обрізника

Показник	Значення показника		Ступінь показника, ± %
	Серійний	Удоскон.	
Продуктивність за 1 год. змінного часу на вивезені коренеплодів, т/год.	3,8	3,9	+2,6
Кількість транспортних засобів для вивезення коренеплодів з 1 га, шт.	5	4	-20,0
Заробітна плата працівників на вивезенні коренеплодів з 1 га, грн/га	123,3	97,5	-26,5
Питомі затрати на паливо-мастильні матеріали, грн/га	3587,3	2869,8	-25,0
Питомі витрати на реновацію транспортних засобів, грн/га	396,9	387,7	-2,4
Питомі відрахування на капітальний ремонт і технічне обслуговування, грн/га	843,3	823,9	-0,5
Питомі капіталовкладення, грн/га	1771,7	1730,8	-2,4
Приведені витрати на 1 га, грн/га	5216,6	4438,5	-17,5
Економічний ефект на 1 га, грн/га	-	4439,7	
Річний економічний ефект, грн.	-	1331910	-

$$K'_c = 250000 \cdot 18 / 2,54 \cdot 1000 = 1771,7 \text{ (грн/га);}$$

$$K'_y = 250000 \cdot 18 / 2,6 \cdot 1000 = 1730,8 \text{ (грн/га).}$$

Приведені прямі експлуатаційні затрати на 1 га площі  $\Pi_{ni}$  дорівнюють:

$$\Pi_{nc} = 0,15 \cdot 1771,7 + 4950,8 = 5216,6 \text{ (грн/га);}$$

$$\Pi_{ny} = 0,15 \cdot 1730,8 + 1178,9 = 4438,5 \text{ (грн/га).}$$

Економічний ефект  $E_{зк}$  від зменшення забрудненості коренеплодів буде

$$E_{зк} = 5216,6 - 4438,5 = 778,1 \text{ (грн/га).}$$

Сумарний економічний ефект  $E_{сум}$  застосування обрізника на площі 1 га дорівнює

$$E_{сум} = 3661,6 + 778,1 = 4439,7 \text{ (грн/га),}$$

або за 1 рік експлуатації обрізника

$$E_{сум} = 4439,7 \cdot 300 = 1331910 \text{ (грн).}$$

Показники економічної ефективності наведені у табл. 5.2.

### 5.3. Висновки до розділу

5.3.1. Підвищення технологічної ефективності процесів роботи обрізників можливе шляхом подальшого конструктивного удосконалення робочих органів і більш поглибленого теоретично-експериментального аналізу контактної взаємодії копіра з головкою коренеплоду.

5.3.2. Запропоновані рекомендації виробництву для вибору раціональних параметрів удосконаленого обрізника залишків гички з головок коренеплодів цикорію.

5.3.3. Розраховані показники економічної ефективності підтверджують доцільність використання удосконаленого обрізника в виробничих умовах – економічний ефект на 1 га зібраної площі становить 4439,7 грн/га.

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі вирішено нове наукове завдання підвищення показників якості обрізування залишків гички з головок коренеплодів цикорію шляхом удосконалення конструкції та обґрунтування раціональних параметрів обрізника за умови невивалювання коренеплодів з ґрунту та непошкодження коренеплодів.

1. На основі теоретичного аналізу процесу зрізування залишків гички з головок коренеплодів удосконаленим обрізником розроблено математичні моделі, які функціонально описують процес контактної взаємодії копіра з головкою коренеплоду залежно від основних параметрів робочих органів обрізника.

2.. Встановлено, що за середніх значень коефіцієнта жорсткості пружини регулювальної тяги 40 Н/м, коефіцієнта жорсткості пружини стакану вертикальної тяги 50 Н/м та кута встановлення копіра до горизонту 30 град. допустима сумарна маса рухомих частин обрізника за умови невивалювання коренеплодів з ґрунту дорівнює 6,9 кг, а за умови непошкодження коренеплодів – 5,2 кг.

3. Сумарна горизонтальна сила контактної взаємодії копіра з головкою коренеплоду змінюється в межах від 212 до 162,5 Н, а сумарна нормальна сила – в межах від 61,5 до 161,5 Н залежно від зміни основних параметрів робочих органів обрізника, при цьому оптимальні теоретичні параметри робочих органів удосконаленого обрізника становлять: сумарна маса рухомих частин обрізника 8...9 кг; кут встановлення копіра до горизонту 30 град.; коефіцієнт жорсткості пружини регулювальної тяги 40 Н/м; коефіцієнт жорсткості пружини стакану вертикальної тяги 50 Н/м; коефіцієнт пружності амортизатора 4,7 Н/м.

4. Кількість зламаних коренеплодів цикорію у загальному випадку змінюється у діапазоні від 0 до 33 шт. та збільшується в середньому на 15...20 шт. за зміни коефіцієнта жорсткості пружини ножа від 30 до 60 Н/см в діапазоні зміни швидкості руху ножа від 1,6 до 2,4 м/с.

5. Встановлено, що кількість зламаних коренеплодів цикорію для групи коренеплодів, які розташовані над рівнем поверхні ґрунту на висоті 5, 9 і 13 см змінюється, відповідно, у діапазоні від 0-6 шт., 0-12 шт. та 2-16 шт., при цьому за середнього діаметра зламу коренеплоду 4...6 см мінімальне значення кількості зламаних коренеплодів 6 шт. отримано за швидкості руху підпружиненого ножа від 1,6 до 2,0 м/с, коефіцієнта жорсткості пружини ножа від 30 до 45 Н/м.

6. Кількість вивалених коренеплодів з ґрунту та кількість пошкоджених коренеплодів цикорію змінюється у діапазоні, відповідно, від 1,5 до 5,5 % та від 11 до 24 % за зміни швидкості руху копіра у межах від 1,5 до 2,1 м/с, коефіцієнта жорсткості пружини стакана вертикальної тяги копіра від 35 до 65 Н/м, кута встановлення копіра відносно горизонту від 20 до 40 град.

7. Агротехнічні вимоги, за яких кількість вивалених і пошкоджених коренеплодів менше, відповідно, 2,5 %, і 15 % дотримуються за таких параметрів обрізника: швидкість руху копіра – менше або рівна 1,8 м/с; маса рухомих частин обрізника – 5...8 кг; коефіцієнт жорсткості пружини ножа – від 30 до 45 Н/м; коефіцієнт жорсткості пружини стакана вертикальної тяги копіра – менше або рівний 45 Н/м; кут встановлення копіра відносно горизонтальної площини – від 30 до 35 град.

8. За результатами порівняльних досліджень встановлено, що кількість вивалених коренеплодів з ґрунту, кількість пошкоджених, зламаних і сколених коренеплодів удосконаленим обрізником зменшується у 1,4 рази порівняно з серійним обрізником, а залишки гички на головках коренеплодів – у 1,5 рази.

9. Економічний ефект від застосування удосконаленого обрізника на 1 га зібраної площі становить 4439,7 грн/га. Запропоновано для виробництва такі значення раціональних параметрів обрізника: швидкість руху обрізника 1,6...1,8 м/с; маса рухомих частин обрізника 6...7 кг; кут встановлення копіра відносно горизонтальної площини 30...35 град., коефіцієнт жорсткості пружини ножа, 30...45 Н/м; коефіцієнт жорсткості пружини регулювальної тяги до 35 Н/м; коефіцієнт жорсткості пружини стакана вертикальної тяги до 45 Н/м.



## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Барановський В.М. Барановський В.М. Основні етапи та загальні принципи сучасних тенденцій розвитку коренезбиральних машин. Вісник Тернопільського державного технічного університету. Тернопіль, 2006. Т. 11, № 2. С. 67–75.
2. Василенко А.А. Бурякозбиральні машини. ОНТИ, Державне науково-технічне видавництво України. Київ-Харків, 1937. 340 с.
3. Барановський В.М. Механіко-технологічні основи розробки адаптованих коренезбиральних машин : дис. на здобуття наук. ступеня доктора техн. наук: 05.05.11 / Барановський Віктор Миколайович. Тернопіль, ТНТУ. 2013. 402 с.
4. Глуховский В.С. Комплексная механизация производства сахарной свеклы. К.: Урожай, 1976. 220 с.
5. Погорелый Л.В. Свеклоуборочные машины: история, конструкция, теория, прогноз / Л.В. Погорелый, М.В. Татьянко. К.: Феникс, 2004. 232 с.
6. Василенко А.А. Исследование ботвосрезающих аппаратов свеклоуборочных комбайнов с обрезкой ботвы на корню. Механизация и электрификация социалистического сельского хозяйства. 1963. № 4. С. 23–27.
7. Свеклоуборочные машины. Конструирование и расчет [Погорелый Л.В., Татьянко Н.В., Брей В.В. и др.] ; под ред. Л.В. Погорелого. К. : Техніка, 1983. 168 с.
8. Адамчук В.В., Булгаков В.М., Іванишин В.В. Про розробку і створення в Україні сільськогосподарських машин сучасного рівня. Зб. наук. праць Вінницького націон. аграрн. ун-ту. Серія: Технічні науки. 2012. Вип. 11. Т. 2 (66). С. 8–14.
9. Рижук С.М., Гуков Я.С., Погорілий Л.В. Система машин в АПК – концепція і стратегія розвитку. Механізація та електрифікація сільського господарства. Глевах : Національний науковий центр «ІМЕСГ», 2002. Вип. 86. С. 5–12.

9. Дубровин В. Интенсификация процесса разработки адаптированной корнеуборочной машины / Валерий Дубровин, Геннадий Голуб, Виктор Барановский [та др.] // Motrol commission of motorization and energetic in agriculture. LUBLIN-PRESZOW, 2013. Vol. 15. № 3. С. 243–255.

10. Гуков Я.С., Грицишин М.І. Стан механізації сільськогосподарського виробництва в Україні. Механізація сільськогосподарського виробництва. К.: НАУ, 2003. Т. XIV. С.64–70.

11. 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.

12. Гурченко О.П., Барановський В.М. Результати випробування модернізованої коренезбиральної машини МКК-6А. Механізація та електрифікація сільського господарства. К.: “Урожай”, 1995. Вип. 81. С. 57–60.

13. Cesnieks Sandris, Vilde Arwids, Rueins Adolfs. Optimisation parameters of soil tillage aggregates. Механізація сільськогосподарського виробництва. К.: НАУ, 2003. Т. XV. С.121–129.

14. Напрямки вдосконалення бурякозбиральної техніки / Р.Б. Гевко, І.Г. Ткаченко, С.В. Синій, В.М. Булгаков [та ін.]. Луцьк, 1999. 168 с.

15. Mindin R.D. Calculation of mass descriptions of root crops. Proc. First. at. Cong. Appl. Mech. Chicago, 1953. P. 25–30.

16. Kanafojski Cz., Karwowski T. Teoria i konstrukcja maszyn rolniczych. Maczyny do zbioru ziemioplodow. Warszawa : PWRiL, 1972. Т.2. 933 s.

17. Ždarsky I. Biologiče a fyzikalne mechanicke vlastnosti cukrovky z hlediska mechanizace sklirne. Zemědelska technika, 1964. № 11. S. 657–672.

18. Козіброда Я.І. Тенденції розвитку машин для збирання цукрових буряків. Тернопіль : Збруч, 1996. – 91 с.

19. Lanovsky M. , Ždarsky I. Fyzikalne vlastnosti cukrovky. Zemědelska technika. 1966. № 3. S. 331–340.

20. Татьянако Н.В., Погорелый Л.В., Цымбал А.Г. Раздельная уборка. Сахарная свекла. 1972. № 1. С. 24–28.

21. Krumov I. Varringerung der Verluste beider Zuckerrübenernte. Akademie Landwirtschaft wissen schaften der DDR Tagungsbericht. 1985. Bd 1. № 229. S. 163–168.

22. Zuckerrüben – Erntesystem sechsreihig: Köpfroder KR 6-II. Franz Kleine, Maschinenfabri K GmbH Co, 1987. 4 s.

23. Аванесов Ю.Б. Свеклоуборочная техника на современном этапе. Механизации и электрофикация социалистического сельського хозяйства. 1973. № 8. С. 53–57.

24. Victor sugar beet harvesters // Проспект фірми “GARFORD FARM MACHINERY”. 1998. P. 12

25. Berezhenko E.B., Baranovsky V.M. Researching of energy saving technology for harvesting tops of root crops. Наукові нотатки. 2017. № 60. С. 50 – 55.

26. Барановский В.Н., Береженко Є.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.

27. Віктор Барановський, Галина Герасимчук, Наталя Дубчак, Євген Береженко, Володимир Бойко. Експериментальні дослідження агробіологічних характеристик коренеплодів. Вісник Львівського національного аграрного університету: агроінженерні дослідження. 2020. № 24. С 13–21.

28. Бендера І.М., Борис М.М., Борис А.М. Обґрунтування способу та конструкції машини для відокремлення гички від коренеплодів цукрових буряків. Вісник Львівського національного аграрного університету: агроінженерні дослідження. 2008. № 12(2). С. 368–364.

29. Кобець О. М. Обґрунтування робочого процесу і параметрів робочих органів для видалення гички кормових буряків : дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: 05.05.11 / Кобець Олександр Миколайович. Вінниця, 2007. 166 с.

30. Мартиненко В. Я. Механіко-технологічні основи підвищення ефективності робочих органів гичкозбиральних машин: дис. ... докт. техн. наук: 05.05.11 / Мартиненко Володимир Якимович. Тернопіль. 2000. 287 с

31. Свеклоуборочный комбайн Rora euro-Tiger V8-3 XL [Електронний ресурс] // Сельскохозяйственная техника. 2008. № 4. Режим доступа до журналу: <http://russia.profi.com>. - заголовок з екрана.

32. Бендера І.М. Експлуатація машин і обладнання / І.М. Бендера та ін. Поділ. держ. аграр.-техн. ун-т. Кам'янець-Подільський : Сисин О.В.: Абетка, 2013. 576 с.

33. 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. 9 с.

34. 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.

35. 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.

36. Погорілий М.Л. Технологічні принципи інтенсифікації робочих процесів і удосконалення бурякозбиральних машин. Механізація сільського господарства. 1999. Т. V. С. 379–387.

37. Спеціальні комбайни / [М.В. Тудель, Б.О. Козаченко, В.Г. Герасимчик та ін.]. К., 1988. 184 с.

38. 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.

39. Gruber W. Trends bei der Technik für die Zuckerrübenenernte // Landtechnik. 2001. Jg. 56. No. 6. S. 380–381.
40. Gute fachliche Praxis zur Vorsorge gegen Bodenschadverdichtungen und Bodenerosion, Referat 516: Bonn: Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft (BMVEL). 2001. 104 s.
41. Koller R. Konstruktionsmethode für den Maschinen-, Geräte- und Apparatebau. Berlin: Springer-Verlag, 1976. 191 s.
42. 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. P. 2–11.
43. Moitzi G., Boxberger J. Vermeidung von Bodenschadverdichtungen beim Einsatz von schweren Maschinen – eine aktuelle Herausforderung // Ländlicher Raum, 2007. S. 1–27.
44. 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.
45. Pirkelmann H. Futterrübenenernte: Technik in Feld und Stall. Bonn; Bad Godesberg, 1980. 32 s.
46. 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.
47. 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.
48. Сторожук І.М. Конструктивно-технологічний аналіз робочих органів гичкозбиральних машин. The scientific journal. Scientific review. Т. 2. № 12 (2015). С. 63–71.

49. 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.

50. Кормовая свекла в ГДР / В.Г. Кузьминов, Г.В. Кузьминов, А.Ф. Завгородний [та ін.] // Кормовые культуры. 1989. № 3. С. 26–30.

51. Кобець А.С. Механізоване збирання кормових буряків / А.С. Кобець, О.П. Гурченко, В.М. Барановський [та ін.]. Механізація сільського господарства. 1985. № 10. С. 6–7.

52. Гевко Р.Б. Обґрунтування конструктивно-технологічних параметрів робочих органів бурякозбиральних машин: дис. на здобуття наук. ступеня докт. техн. наук : 05.20.01 / Гевко Роман Богданович. К., 2000. 362 с.

53. Baranovsky V.M., Skalsky O.Ju. The analysis of constructive-technological aspects the function of root crops diggers. Scientific journal. Innovative solutions in modern science. Dubai, 2016. № 1(1). С. 146–154.

54. 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.

55. Гурченко О.П. Стан і прогноз розвитку техніки для збирання буряків по валковій технології / О.П. Гурченко // Збірник наукових праць національного аграрного університету. – К. : НАУ, 2000. – Т. 7. – С. 217–225.

56. Boyko V. Analysis of methods for trimming the remnants of the hillock and the designs of the cutter heads of root crops. Innovative Solutions In Modern Science. 2020. № 2(38). С. 55 – 64.

57. Барановський В.М., Береженко Є.Б., Паньків М.Р., Береженко Б.М., Бойко В.А. Технологічні аспекти процесів роботи гичкозбиральних модулів : монографія. Тернопіль: Ред.-вид. відділ ТНТУ ім. І. Пулюя, 2022. 294 с.

58. Барановський В. М., Виговський А. Ю., Сторожук І. М., Паньків В. Р. Розрахунок параметрів робочих органів гичкозбиральних машин : монографія. К.: Аграр Медіа Груп, 2015. 242 с.

59. Смаль М.В., Герасимчук О.О., Барановський В.М. Математичні моделі процесу копіювання головок коренеплодів копіром пасивного дообрізчика залишків гички. Зб. Наук. Праць Вінницького націон. аграр. ун-ту. Серія: Технічні науки. Вінниця : ВНАУ, 2012. Вип. 11. Т. 1 (65). С. 206–212.

60. Смаль М.В. Обґрунтування параметрів робочих органів гичкозбиральних машин : дис. на здобуття наук. ступеня канд. технічних наук : спеціальність 05.05.11 – машини та засоби сільськогосподарського виробництва / М.В. Смаль. Луцьк : ЛНТУ, 2014. 228 с.

61. 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.

62. 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 / Г.Б. Цьонь. Тернопіль: ТНТУ, 2019. 24 с.

63. Онищенко В.Б., Теслюк В.В., Сторожук І.М., Барановський В.М. Напрямки вдосконалення технологічного процесу видалення залишків гички з головок коренеплодів. Механізація та електрифікація сільського господарства. Глеваха: ННЦ «ІМЕСГ», 2013. С. 207–213

64. Сторожук І.М. Конструктивно-технологічний аналіз робочих органів гичкозбиральних машин. The scientific journal. Scientific review. Т. 2. № 12 (2015). С. 63–71.

65. 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.

66. Berezhenko E.V., 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.

67. 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.

68. Сторожук І.М. Удосконалений дообрізкач головок коренеплодів. Актуальні задачі сучасних технологій: Міжнародна науково-технічна конференція молодих учених та студентів, м. Тернопіль, 19-20 листопада 2014 року: тези доповіді. Т., 2014. С. 147–148.

69. 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.

70. Рибак Т.І., Цьонь О.П. Огляд гичковидаляючих апаратів бурякозбиральних машин та шляхи їх вдосконалення // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. “Технічний сервіс машин для рослинництва”. Харків, 2013. Вип. № 134. С. 203–207.

71. Цьонь О. Взаємодія робочого органу з коренеплодами при видаленні гички кормових буряків: тези доп. III Всеукраїнської студентської науково – технічної конференції “Природничі та гуманітарні науки. Актуальні питання”. Тернопіль: ТНТУ ім. Івана Пулюя, 2010. С. 183.

72. Патент 17327 Україна, МПК А01D 23/02. Пристрій для дообрізання гички. Головка С.І.; заявник і власник патенту Тернопільський державний технічний університет імені Івана Пулюя. № u200603778; заявл. 06.04.2006; опубл. 15.09.2006. Бюл. № 9. 4 с.

73. Патент 17327 Україна, МПК А01D 23/02. Дообрізувач гички. Головка С.І.; заявник і власник патенту Тернопільський державний технічний університет імені Івана Пулюя. № u200703579; заявл. 02.04.2007; опубл. 10.08.2007. Бюл. № 12. 4 с.

74. Volodymyr Boyko, Viktor Baranovsky, Vitalii Pankiv, Volodymyr Onyshchenko, Sergey Marinenko. The results of the study of the cutter of the remains of root crops haulm. Scientific Journal of the Ternopil National Technical University 2023, № 1 (109). С. 99–109.



75. Бойко В.А. Обґрунтування маси обрізника залишків гички : тези доп. X Міжнародної науково-технічної конференції «Крамаровські читання» з нагоди 116-ї річниці від дня народження доктора технічних наук, професора, члена-кореспондента ВАСГНІЛ, віцепрезидента УАСГН Крамарова Володимира Савовича (1906-1987) 23-24 лют. 2023 р., м. Київ, Національний університет біоресурсів і природокористування України. К.: Видавничий центр НУБіП України, 2023. С. 165–168.

76. Борис А.М. Визначення втрат цукроносною маси та залишків гички цукрового буряку при її безкопирному зрізі. Праці ТДАТУ. Том 1. Мелітополь: ТДАТУ, 2012. Вип. 12. С. 191–201.

77. Lyashuk O., 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.

78. Основи розробки адаптованих транспортно-технологічних систем коренезбиральних машин : монографія [В.М. Барановський, М.І. Підгурський, М.Р. Паньків, В.В. Теслюк та ін.]. Тернопіль : ТНТУ, 2014. 351 с.

79. Василенко П.М., Василенко В.П. Методика построения расчетных моделей функционирования механических систем (машин и машинных агрегатов) : учебное пособие. Киев : УСХА, 1980. 137 с.

80. Василенко П.М. Универсальные математические модели функционирования машинных агрегатов и их применения. К.: УСХА, 1982. 158 с.

81. Василенко П.М. Вступ до сільськогосподарської механіки. Київ : Сільськогоспосвіта, 1996. 252 с.

82. Погорельий Л.В. Оценка показателей работы ботвосрезающих аппаратов. Механизация и электрификация социалистического сельского хозяйства. 1963. № 5. С. 49–50.

83. Татьяна Н.В. Исследование и усовершенствование аппарата для срезания ботвы с корней сахарной свеклы до их выкопки : автореф. дис. на соискание уч. степени канд. техн. наук : спец. 05.20.11 “Механизация сельскохозяйственного производства” / Н.В. Татьяна. Х., 1967. 28 с.

84. Погорелый Л.В. Технологические и технические основы совершенствования механизированных процессов уборки сахарной свеклы : автореф. дисс. на соискание. уч. степени. докт. техн. наук : спец. 05.20.11 “Механизация сельскохозяйственного производства” / Л.В. Погорелый. К.: УСХА, 1974. С. 41.

85. Adamchuk V., Bulhakov V., Holovach I. Mathematical model of interaction of flat copier with the residues of haulm of sugar beet. Вісник аграрної науки. 2017. № 6. С. 48–54.

86. Аванесов Ю.Б. Свеклоуборочная техника на современном этапе. Механизации и электрофикация социалистического сельского хозяйства. 1973. № 8 С. 53–57.

87. Барановський В.М. Обґрунтування технологічного процесу і параметрів гвинтово-вальцювого очисника вороху кормових буряків : дис. на здобуття наукового ступеня кандидата техн. наук : 05.20.01 / Барановський Віктор Миколайович. Київ, 1996. 275 с.

88. Стельмах В.М., Марчук Д.В. Розрахунок витяжної сили агрегатів для викопування крихких коренеплодів. Збірник наукових праць ПДАТУ. 2010. № 18. С. 509–514.

89. Борис А.М. Обґрунтування раціонального діапазону копінного зрізу гички цукрових буряків. Сільськогосподарські машини: Зб. наук. ст. Вип. 21. Том I. 2011. С. 26–30.

90. Борис М.М. Обґрунтування технологічного процесу та параметрів робочого органу для відокремлення гички цукрових буряків: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: спец. 05.05.11 “Машини і засоби механізації сільськогосподарського виробництва” / М.М. Борис. Вінниця, 2009. 20 с.

91. 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.

93. Василенко А.А. Теория, конструкция и производство сельскохозяйственных машин. Основания для проектирования свеклоуборочных машин. М.-Л.: НКТМ СССР, 1940. Т.5.

93. Василенко А.А., Герасимчик В.Г. Исследование ботвосрезающих аппаратов свеклоуборочных комбайнов с обрезкой ботвы на корню. Механизация и электрификация социалистического сельского хозяйства. 1963. № 4. С. 3–7.

94. Бойко В.А. Аналіз дослідження обрізувачів гички коренеплодів : тези доп. VIII науково-технічної конференції «Інформаційні моделі, системи та технології» Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя, (Тернопіль, 9–19 грудня 2020 р.). Тернопіль: Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2020. С. 170 – 171.

95. Гурченко О.П. Розробка і дослідження коренезбиральної машини / В.М. Барановський, Г.А. Герасимчук [та ін.]. Сільськогосподарські машини. 2001. Вип. 8. С. 119–123.

96. Гурченко О.П., Барановський В.М. Технологічний процес дообрізки залишків гички. Сільськогосподарські машини. Зб. наук. статей. 2000. Вип. 7. С. 183–189.

97. Кузьминов В. Г., Чернявский С. В., Дьнкин М. Б. [и др.]. Машина для уборки ботвы кормовой свеклы. Механизация и электрификация сельского хозяйства. 1988. №11. С. 32–34.

98. Черняков Ф.А. Изыскание, исследование и обоснование аппарата для обрезки корней сахарной свеклы в условиях зоны повышенного увлажнения : автореф. дис. на соискание уч. степени кандидата технических наук : спец. 05.20.11 “Механизация сельскохозяйственного производства” / Ф.А. Черняков. Минск, 1971. 28 с.

99. Мартынов В.М. Разработка устройства для уборки ботвы кормовой свеклы : дис. на соискание уч. степени кандидата технических наук. 05.20.11 “Механизация сельскохозяйственного производства” / В.М. Мартинов. Харьков, 1989. 202 с.

100. Мартиненко В.Я., Головка С.І. Визначення деяких кінематичних параметрів апаратів для зрізування гички цукрових буряків. Вісник національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». 2002. Вип. 7. С. 97–100.

101. 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. збірник. 2005. Вип. 35. С. 78–81.

102. 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.

103. Хелемендик М.М. Підвищення механіко–технологічної ефективності трудомістких процесів у буряківництві : автореф. дис. на здоб. наук. ступеня док. техн. наук. 05.20.11 / М.М. Хелемендик. Тернопіль : ТПІ, 1996. 48 с.

104. Хелемендик М. М. Напрями і методи розробки робочих органів сільськогосподарських машин. УААН. К.: Аграрна наука, 2001. С. 247–253.

105. 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.

106. Герасимчук Г.А. Основи розробки робочих органів комбінованих систем коренезбиральних машин : монографія / [Г.А. Герасимчук, В.М. Барановський, А.Ю. Виговський, М.В. Потапенко, О.Ю. Скальський]. К.: ЦП Компринт, 2016. 286 с.

107. Герасимчук Г.А. Обґрунтування параметрів комбінованого однодискового копача кормових буряків : дис. на здобуття наук. ступеня канд. технічних наук : спеціальність 05.05.11 – машини та засоби механізації сільськогосподарського виробництва / Герасимчук Галина Андріївна. Тернопіль, 2011. 267 с.

108. Kromer K.-H. Schulze P.. Entwicklung der Mechanisierung von 1950 bis 2000. Zuckerrübe. 2001. №4. S. 254–259.

109. Smith L. The effect of defoliator flail configuration, speed and crown removal on sugarbeet yield, quality and profitability / L. Smith // Sugarbeet Research and Extension Reports. 1991. Vol. 22. P. 222–227.

109. Karwowski T. Teoria i konstrukcja maszyn rolniczych. Tom 2, część II. Maszyny do zbiru ziemniaków i buraków cukrowych / T. Karwowski. Wydanie II, Warszawa, 1982. 428 s.

110. Böhrnsen A. Landwirtschaftliches. Lehrbuch. Horst Eichhorn. Landtechnik. 7. Auflage // A. Böhrnsen, W. Brinkmann, K.-H. Kromer, und ... / Herausgegeben von Prof. Dr.Dr. h.c. Horst Eichhorn, Gießen. Printed in Germany, 1999. 348 p.

111. Beyaz A. Determination of sugar beet topping slice thickness by using image analysis technique / A. Beyaz, A. Çolak // Journal of Agricultural Machinery Science. 2010. № 3. P. 185–189.

112. Huijbregts T. Long-term storage of sugar beet in North-West Europe / T. Huijbregts, G. Legrand et al. // COBRI report. 2013. № 1. 54 p.

113. Потапенко М.В. Обґрунтування параметрів очисної системи вороху коренеплодів цикорію : дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : 05.05.11 / Потапенко Микола Валентинович. Бережани, 218. 259 с.

114. Яценко О.Я. Цикорій коренеплідний: Біологія, селекція, виробництво і переробка коренеплодів: Навчальний посібник. Умань: ФІЦБ УААН, 2003. 161 с.

115. Кінах В.А. Інтенсифікація виробництва цикорію кореневого – необхідна вимога часу / В.А. Кінах, В.О. Борисюк // Зб. наук. пр. ІЦБ УААН. – Київ, 1994. С. 127–130.

116. Яценко А.О. Продуктивність цикорію коренеплідного залежно від густоти і рівномірності розміщення рослин / А.О Яценко // Збірник наукових праць, присвячений 100 – річчю з дня народження С.С. Рубіна. Умань: УСГА, 2000. С. 220–223.

117. Гументик М.Я. Агрофізичні властивості цикорію коренеплідного як основа для обґрунтування технологічних процесів механізації його виробництва. Зб. наук. пр. ІМЕСГ УААН. 2000. С. 153–154.

118. Boyko Volodymyr. Mathematical model of the process of contact interaction of the copier with the head of the chicory root crop. Scientific Journal of the TNTU. Tern.:TNTU, 2023. Vol. 111. No 3 С. 115 – 125.

119. Сільськогосподарські машини. Основи теорії та розрахунку : підручник / [Д.Г. Войтюк, В.М. Барановський, В.М. Булгаков та ін.]. К.: Вища освіта, 2005. 446 с.

120. 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.

121. Хайліс Г.А. Основи проектування і дослідження сільськогосподарських машин : навчальний посібник / Г.А. Хайліс, Д.М. Коновалюк. К.: НМК ВО, 1992. 320 с.

122. Сивак Р.І. Короткий курс теоретичної механіки / Р.І. Сивак, І.А. Деревенько. Вінниця: ТОВ «Вінницька міська друкарня», 2016. 200 с.

123. Калетнік Г.М. Основи інженерних методів розрахунків на міцність і жорсткість : підручник. (за ред. Г.М. Калетніка, М.Г. Чаусова). Київ : Хай-Тек Прес, 2013. 528 с.

124. Шабельник Б.П. Теорія і практика обґрунтування параметрів робочих органів бурякозбиральних машин / Б.П. Шабельник. Х., 2001. 314 с.

125. Методика оцінки ступеня пошкодження коренеплодів коренезбиральною машиною / В.М. Булгаков, О.Б. Павелчак, Р.Б. Гевко [та ін.] Механізація сільськогосподарського виробництва. К.: НАУ, 2000. Т. 7. С. 14–19.

126. Гевко Р.Б., Поліщук В.А. Вибір конструктивних параметрів робочих органів бурякозбиральних машин з умови непошкодження коренеплодів. Сільськогосподарські машини. Волинське відділення ІАУ. Луцьк, 1997. С. 109–117.

127. Погорельый Л.В. Исследование и разработка технологического процесса отделения ботвы от корней сахарной свеклы : автореф. дис. на соискание уч. степени канд. техн. наук : спец. 05.20.11 “Механизация сельскохозяйственного производства” / Л.В. Погорельый. К., 1964. 24 с.

128. Ткач О.В. Цикорій та особливості його вирощування. Рослинництво. К., 2004. № 3. С. 68–74.

129. Механіка матеріалів і конструкцій. Частина II [Електронний ресурс] : навчальний посібник для студентів, які навчаються за спеціальністю «Прикладна механіка» / А.Є. Бабенко, О.О. Боронко, С.М. Шукаєв [та ін.] ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. Електронні текстові дані (1 файл: 4,82 Мбайт). Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2017. 192 с.

130. Дідух Л.Д. Основи механіки. Тернопіль: Підручники і посібники, 2010. 304 с.

131. Єжов С.М., Макарець М.В., Романенко О.В. Класична механіка. К.: ВПЦ "Київський університет", 2008. 480 с.

132. КД 46.16.01.005–07 “Випробування сільськогосподарської техніки. Основні положення”. К.: Держстандарт України, 2007. 34 с.

133 Baranovskiy V.M., Skalsky O.Yu., Pastushenko A.S. Chicory root crops combined harvester. INMATEH – Agricultural Engineering. 2017. Vol. 53. No. 3/2017. P. 41–50.

134. Воуко V. Аналітичні дослідження допустимої маси обрізника залишків гички з головок коренеплодів. Innovative Solutions in Modern Science. USA, New York: Center for international scientific cooperation ТК Meganom, LLC. 2023. № 3(58). С. 5 – 15.

135. Потапенко М.В. Обґрунтування параметрів очисної системи вороху коренеплодів цикорію : дис... канд. техн. наук : 05.05.11 / Потапенко Микола Валентинович. Бережани, 218. 259 с.

136. Скальський О.Ю. Обґрунтування параметрів комбінованого копача коренеплодів цикорію : дис. на здобуття ступеня доктора філософії : 05.05.11 / Скальський Олександр Юрійович. Тернопіль, 2019. 243 с.

137. Скальський О.Ю., Барановський В.М. Обґрунтування коефіцієнта втрат коренеплодів цикорію в процесі викопування. Наукові доповіді НУБіП України : електрон. науковий фаховий журнал. 2018. № 2 (72) (2018). URL: <http://journals.nubip.edu.ua/index.php/Dopovidi/article/view/10653>

138. Baranovsky Viktor, Skalskyi Oleksandr. Drinking of chicory root crops by a combined digger. Вісник Тернопільського національного технічного університету. 2018. № 2 (90). С. 115–123.

139. Надикто В.Т. Основи наукових досліджень : підручник. ТДАТУ, Херсон, 2017. 268 с.

140. Береженко Є.Б. Обґрунтування параметрів робочих органів гичкозбирального модуля : дис. на здобуття ступеня доктора філософії : спец. 133 – Галузеве машинобудування / Євген Богданович Береженко. Тернопіль, 2021. 217 с.

141. Бойко В. Методика проведення експериментальних досліджень обрізника залишків гички коренеплодів : тези доп. VI Міжнародної студентської науково-технічної конференції «Природні та гуманітарні науки. Актуальні питання»/ Тернопіль: Тернопільський національний технічний університет ім. І. Пулюя (м. Тернопіль, 27-28 квітня 2023 р.), 2023. С. 215 – 216.

142. Лудченко А.А. Основы научных исследований: учеб. пособие / А. А. Лудченко, Я. А. Лудченко, Т. А. Примак ; под ред. А.А. Лудченко. — Київ: Знання, 2000. — 114 с.

143. Яворський Б.М., Детлаф А.А., Лебедев А.К. Довідник з фізики для інженерів та студентів вищих навчальних закладів / Переклад з 8-го переробл. і випр. Вид. Т.: Навчальна книга-Богдан, 2007. 1040 с. ISBN 966-692-818-3.

144. Цехмістрова Г.С. Основи наукових досліджень: навч. посібник. Київ: Видавничий Дім «Слово», 2003. 240 с.

145. Романчиков В.І. Основи наукових досліджень: навч. посібник. Київ: Видавництво «Центр учбової літератури», 2007. 254 с.

146. Міняйло А.В. Деталі машин: підручник / А.В. Міняйло, Л.М. Тіщенко, Д.І. Мазоренко та ін. К.: Агроосвіта, 2013. 448 с. ISBN 978-966-2007-28-2.



147. Boyko Volodymyr. Experimental studies of pruning the haulm of chicory root tops. Scientific Journal of the TNTU. Tern.:TNTU, 2023. Vol. 111. No 4. С. 115 – 125.

148. Марцин В.С. Основи наукових досліджень: навч. посібник / В.С. Марцин, Н.Г. Міценко, О.А. Даниленко та ін. Львів: Ромус-Поліграф, 2002. 128 с.

149. Boyko V.A. The results of experimental research of root crops haulm harvesting : тези доп. Міжнар. наук.-практ. конф. присвяченої 90-річчю від дня народження професора Рибак Тимofія Івановича та 60-річчю кафедри технічної механіки та сільськогосподарських машин «Процеси, машини та обладнання агропромислового виробництва: проблеми теорії та практики», (Тернопіль, 29–30 вересня 2022 р.). Тернопіль: ФОП Паляниця В. А., 2022. С. 27 – 28

150. ДСТУ 4981:2008. Цикорій коренеплідний. Збирання. Показники якості та методи їх визначання. Київ, 2008. 8 с.

151. 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.

152. Адамчук В.В. Методичні рекомендації з експлуатаційно-технологічної оцінки сільськогосподарської техніки (Керівний документ) / В.В. Адамчук, М.І. Грицишин, В.М. Третяк, В.Т. Надикто, В.М. Кюрчев, О.Г. Караєв. Глеваха, 2017.

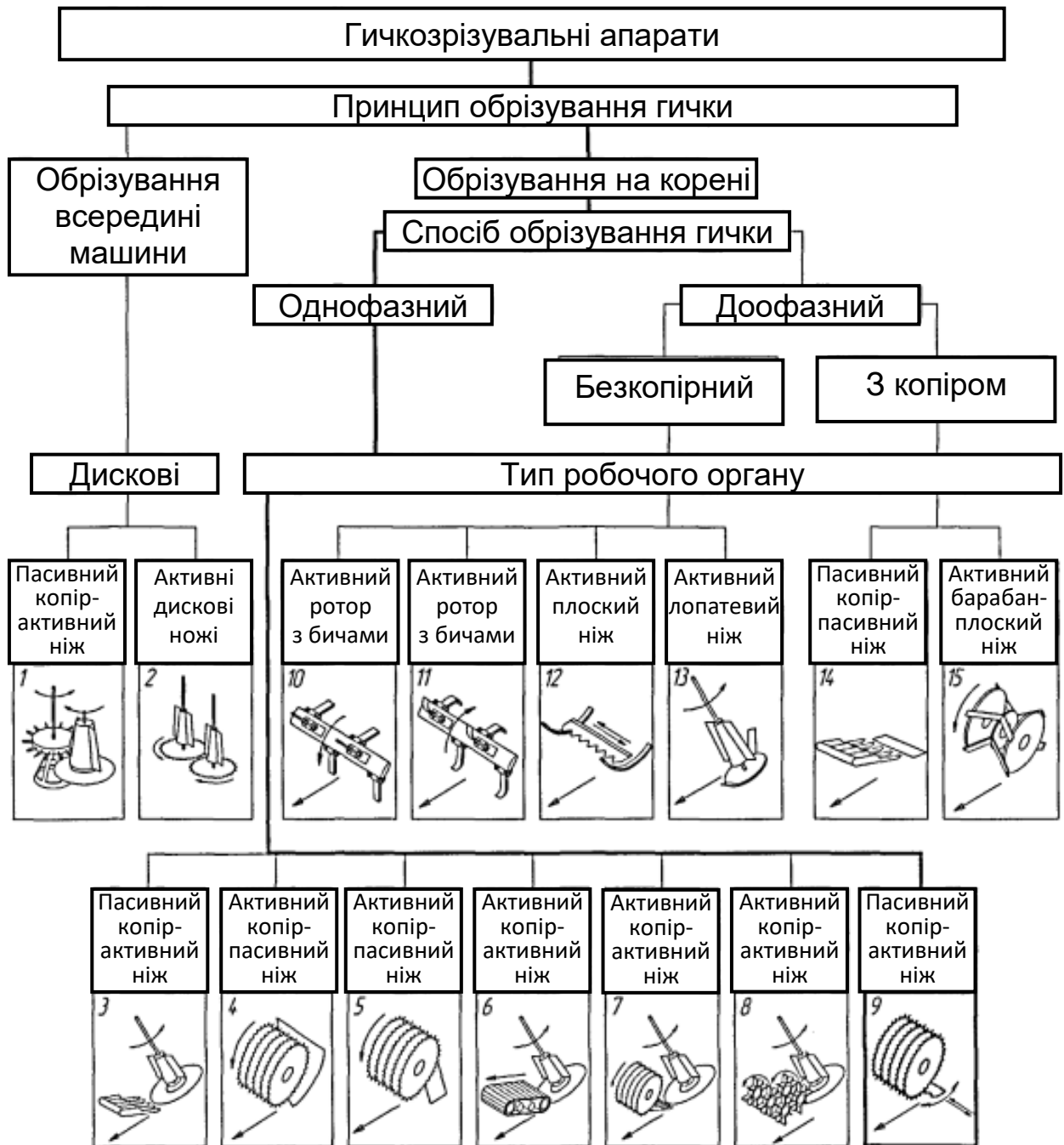
153. Методики економічного оцінювання техніки на етапі випробування: ДСТУ 4397:2005. [Чинний від 2006-01-01]. К. : Держспоживстандарт України, 2005. 16 с. (Міждержавний стандарт).

154. Стельмах В. М. Напрямки наукових досліджень з використання цикорію та продуктів на його основі з профілактичною й лікувальною метою [Електронний ресурс] / В. М. Стельмах, В. А. Бурлака // Вісник ЖНАЕУ. 2010. № 2. С. 65–72. Режим доступу : <http://ir.znau.edu.ua/handle/123456789/63>.

**ДОДАТКИ**

## Додаток А.1.2

## Класифікація конструкцій гичкозрізувальних апаратів



## Додаток А.2.2

Агробіологічні характеристики коренеплодів і гички цикорію (міжряддя 45 см)

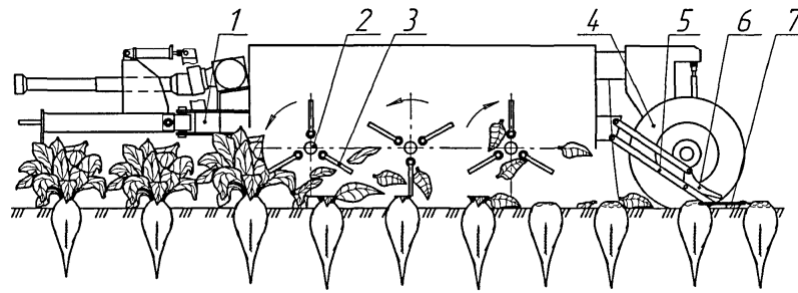
Середні показники	Відстань між коренеплодами, $S_p$ , см				
	5...10	10...20	20...30	30...40	40...50
Маса коренеплоду $m_k$ , г	300	363	408	449	503
Діаметр коренеплоду $D_k$ , мм	54,0	60,1	62,6	64,3	85,0
Довжина коренеплоду $L_k$ , мм	221	235	245	254	266
Урожайність коренеплодів $U_k$ , ц/га	130	250	230	210	190
Кут конуса росту, град.	25...30				
Розміщення головки над поверхнею ґрунту, см	від 5 до 20				
Відхилення осі коренеплоду в рядку, см	0...20				
Максимальна площа листкової поверхні, тис. м <sup>2</sup> /га	50...60				
Крихкість відносно цукрових буряків	в середньому більша в 2...2,5 рази				
Середня довжина стебел гички см	25...40				
Середня кількість стебел гички у пучку, шт.	25...35				
Середнє питоме навантаження на розрив коренеплоду $P_p$ , кг/см <sup>2</sup>	5,5...8,4				

## Фізико-механічні властивості гички коренеплодів цикорію

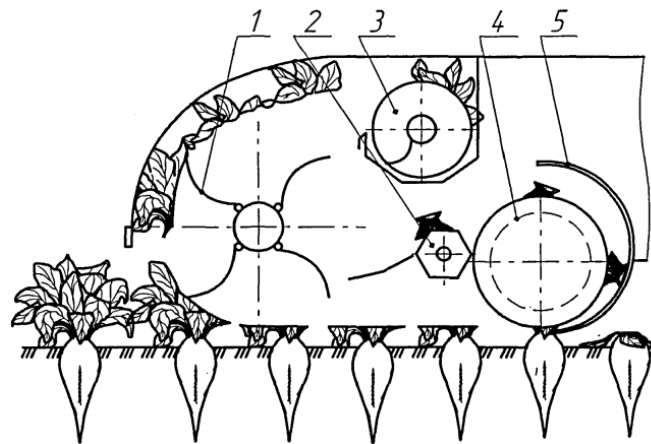
Показник	Стан гички		
	При (+t°C)	При (-t°C)	У розмороженому стані при (+t°C)
Розтяг (за силою), Н	1	1,39	1,01
Згин (за силою), Н	1	1,5	0
Стискання та зсув (за силою), Н	1	0,96	0,65
Прогин (за прогином)	1	0,5	∞
Твердість (за глибиною проникнення)	1	0,35	0,74

## Додаток А.3.2

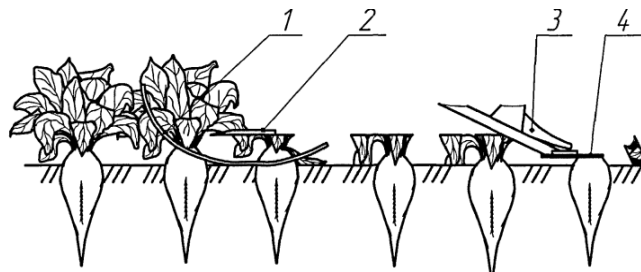
Схеми робочих органів для двостадійного способу зрізування гички



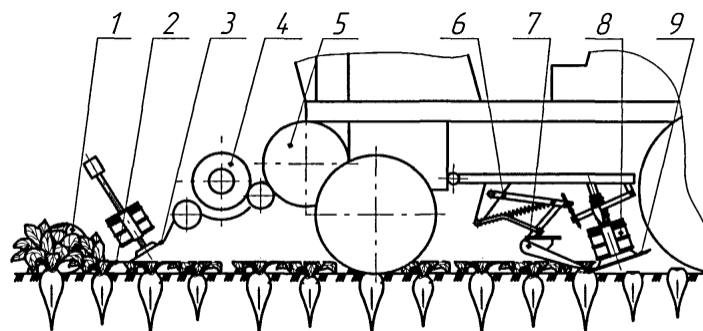
1 – рама; 2 – ротор; 3 – бич; 3 – колесо; 5 – обрізник; 6 – копір; 7 – ніж



1 – ротор; 2 – барабан; 3 – шнек; 4 – копір; 5 – ніж

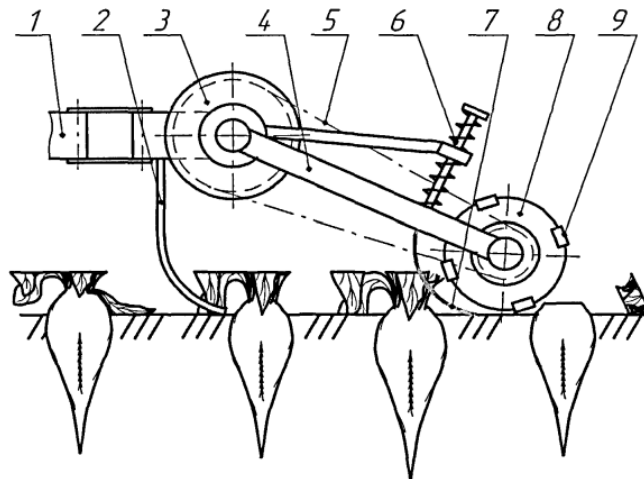


1 – лижа; 2 – сегментний ніж; 3 – копір; 4 – плоский ніж

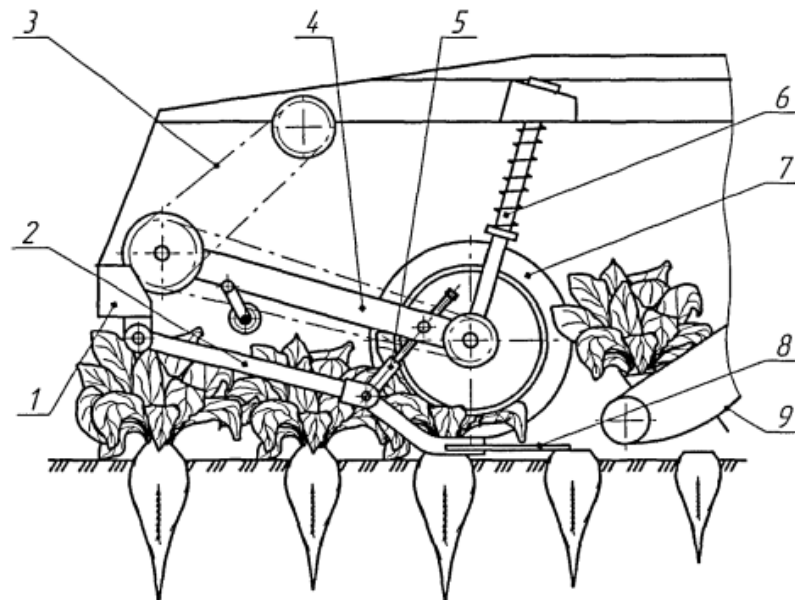


1 – колесо; 2 – лопатний ніж; 3 – диск; 4 – шнек; 5 – металник; 6 – обрізник;  
7 – копір; 8 – бітер; 9 – дисковий ніж

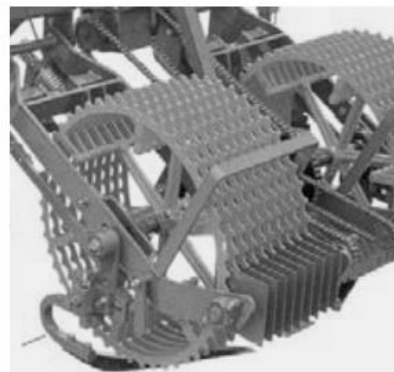
## Продовження додатку А.3.2



1 – рама; 2 – копір; 3 – зірочка; 4 – підвіска; 5 – привод барабана; 6 – пружинна система; 7 – лижа; 8 – копіювальні диски; 9 – ніж

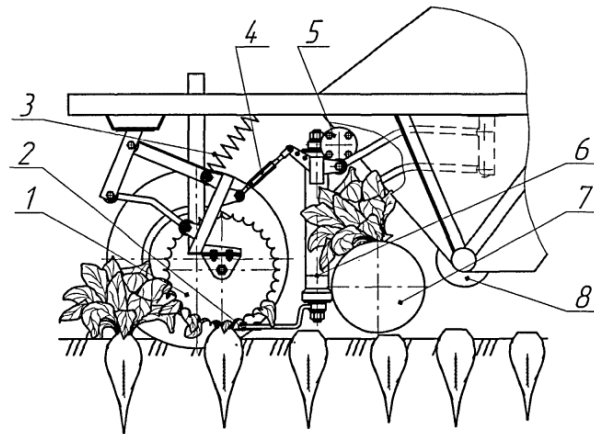


1 – рама; 2 – підвіска ножа; 3 – привод копіра; 4 – підвіска копіра; 5 – тяга регульовальна; 6 – довантажуючий пристрій; 7 – копір; 8 – ніж; 9 – транспортер

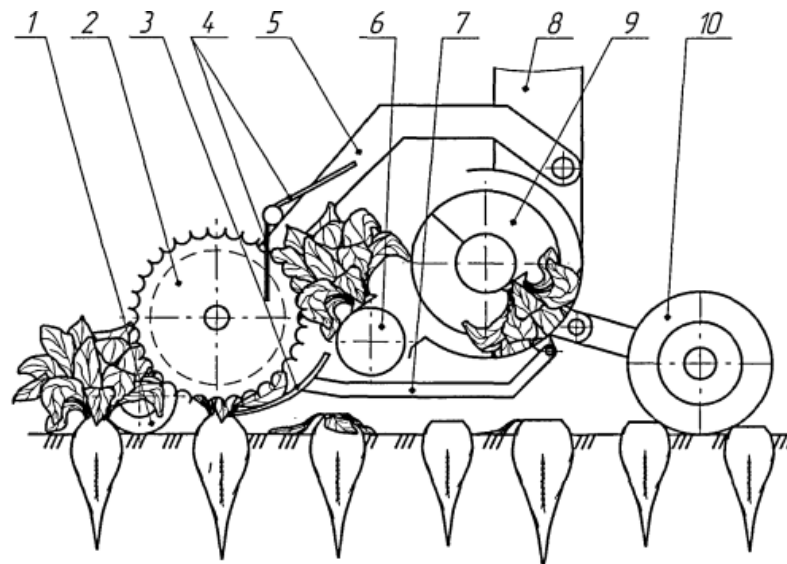


Апарати з активним катковим копіром і пасивним плоским ножем

## Продовження додатку А.3.2



1 – копір; 2 – ніж; 3 – пружина; 4 – гвинтова пара; 5 – гідровібратор;  
6 – ріжучий апарат; 7 – приймальний бітер; 8 – транспортер гички



1 – каток; 2 – копір; 3 – ніж; 4 – гребінка; 5 – кронштейн копіра; 6 – підбирач; 7 – кронштейн ножа; 8 – направляюча труба; 9 – шнек; 10 – колесо

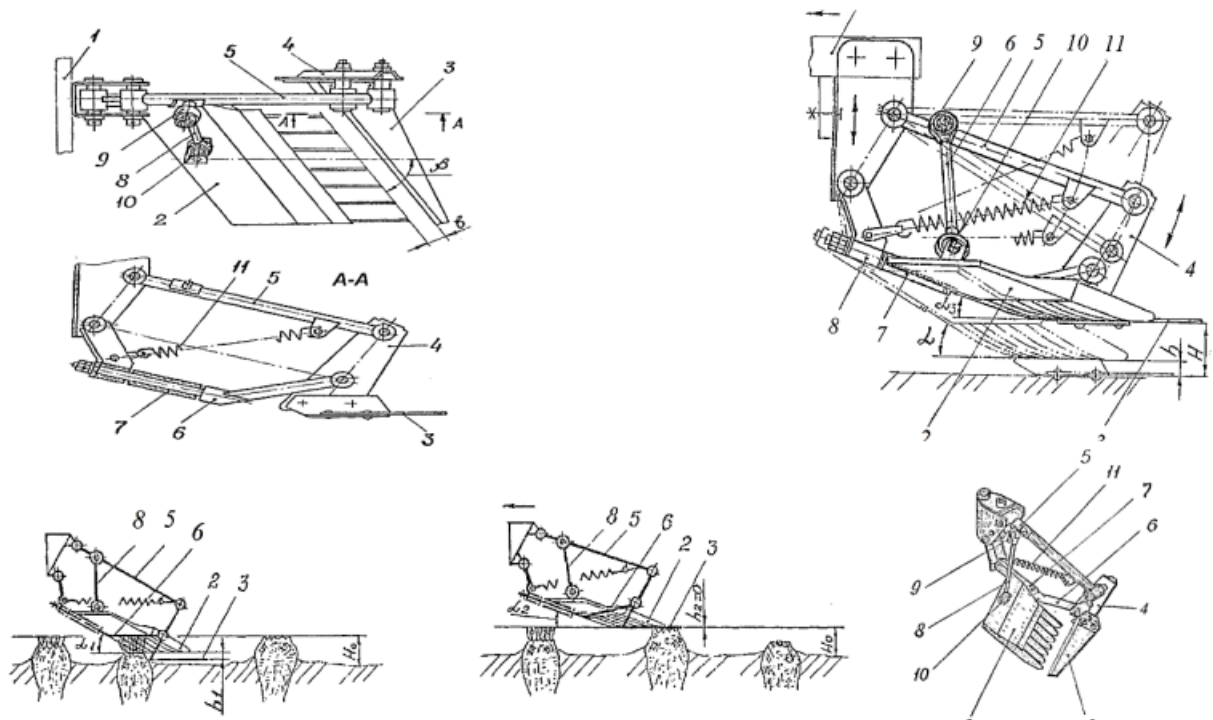
## Додаток А.4.2



Структурна схема модульної побудови коренезбиральної машини

## Додаток А.5.2

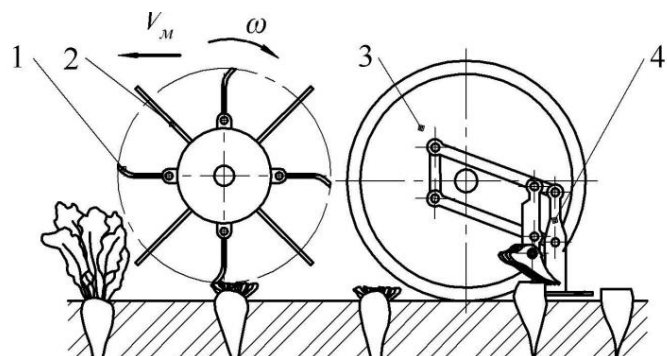
## Пристрій для зрізування гички коренеплодів на корені



1 – рама; 2 – копір; 3 – ніж; 4 – вертикальна стійка; 5 – верхня штанга;  
6 – нижня штанга; 7 – вісь; 8 – тяга регулювання копіра; 9, 10 – кульові шарніри; 11 – пружина

## Додаток А.6.2

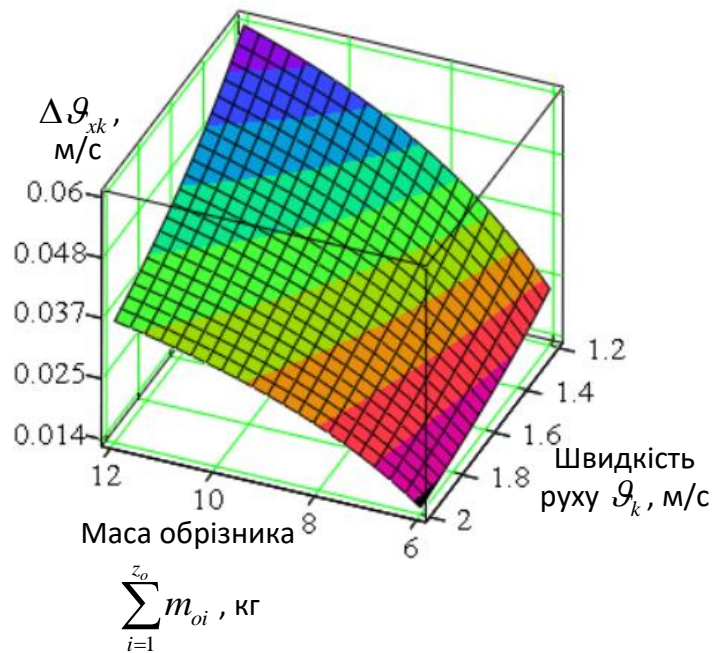
## Технологічна схема зрізування гички



1 – ніж роторного гичкоріза; 2 – лопаті;  
3 – каток вдавлювання подрібненої гички в ґрунт

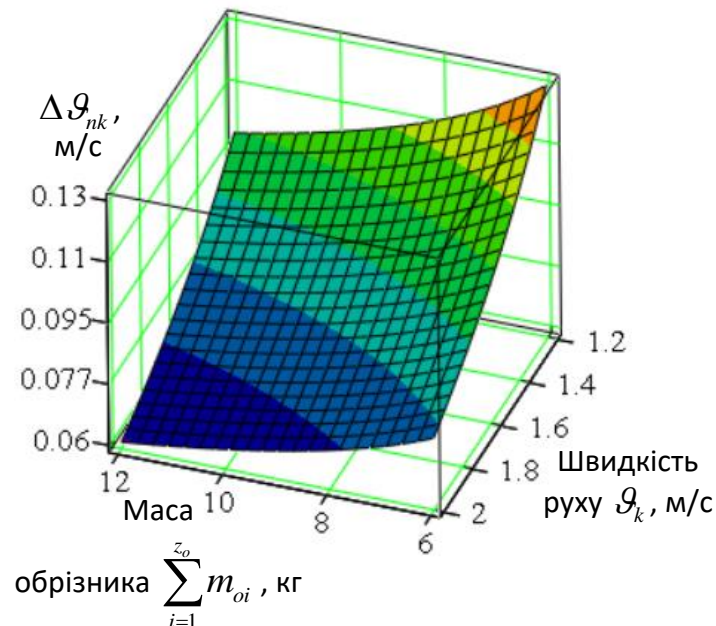


## Додаток Б.1.1



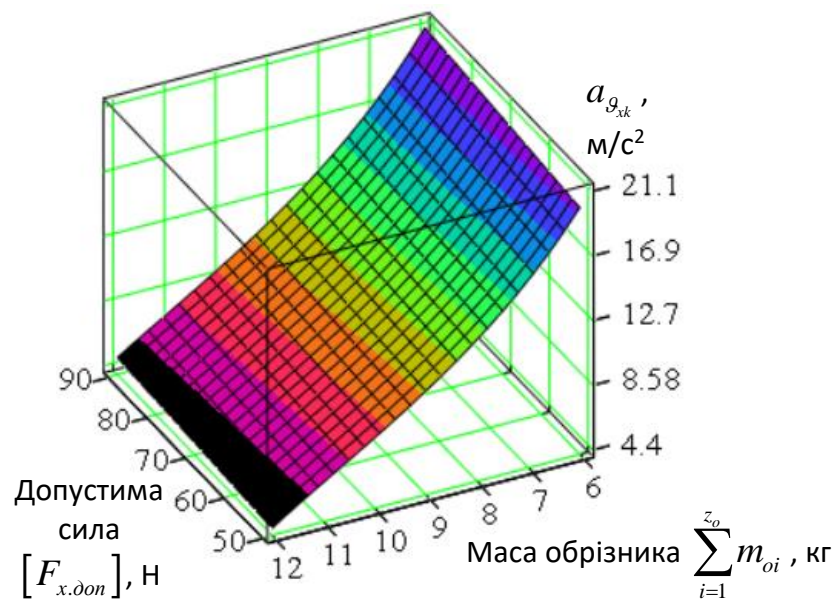
Залежність зміни горизонтальної  $\Delta g_{xk}$  швидкості як функція  $\Delta g_{xk} = f(\sum_{i=1}^{z_0} m_{oi}, g_k)$  за кута встановлення копіра до горизонту  $\alpha = 30$  град. та коефіцієнта жорсткості пружини регулювальної тяги  $c_p = 40$  Н/м

## Додаток Б.2.1



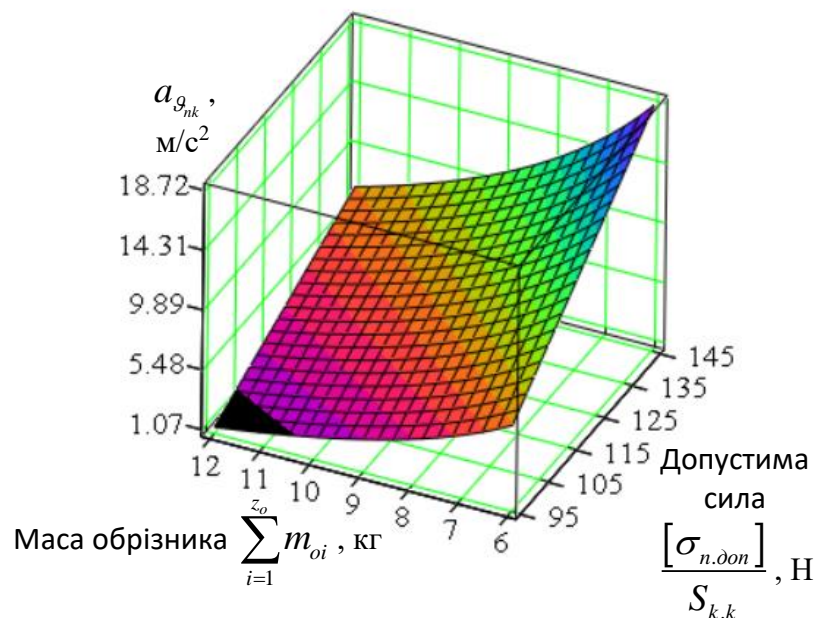
Залежність зміни нормальної  $\Delta g_{nk}$  швидкості як функція  $\Delta g_{nk} = f(\sum_{i=1}^{z_0} m_{oi}, g_k)$  за коефіцієнта жорсткості пружини стаканя вертикальної тяги  $c_c = 50$  Н/м та кута встановлення копіра до горизонту  $\alpha = 30$  град

Додаток Б.3.1



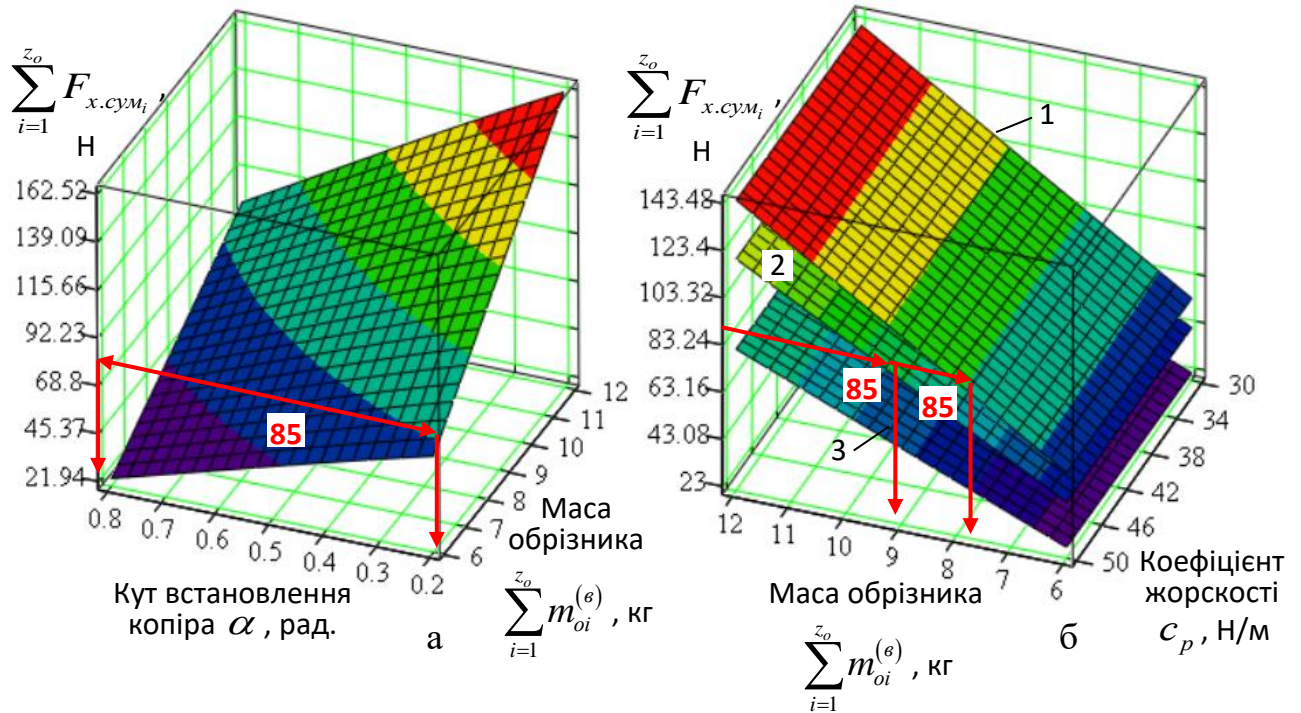
Залежність зміни горизонтального прискорення  $a_{g_k}$  руху копіра як функція  $a_{g_{xk}} = f([F_{x.don}]; \sum_{i=1}^{z_0} m_{oi})$ , коефіцієнт жорсткості пружини регулювальної тяги  $c_p = 40$  Н/м, кут встановлення копіра до горизонту  $\alpha = 45$  град.

Додаток Б.4.1



Залежність зміни нормального прискорення  $a_{g_{nk}}$  руху копіра як функція  $a_{g_{nk}} = f([\sigma_{n.don}] / S_{k.k}; \sum_{i=1}^{z_0} m_{oi})$ , коефіцієнт жорсткості пружини регулювальної тяги  $c_p = 40$  Н/м,  $c_c = 50$  Н/м, кут встановлення копіра до горизонту  $\alpha = 45$  град.

## Додаток Б.5.2



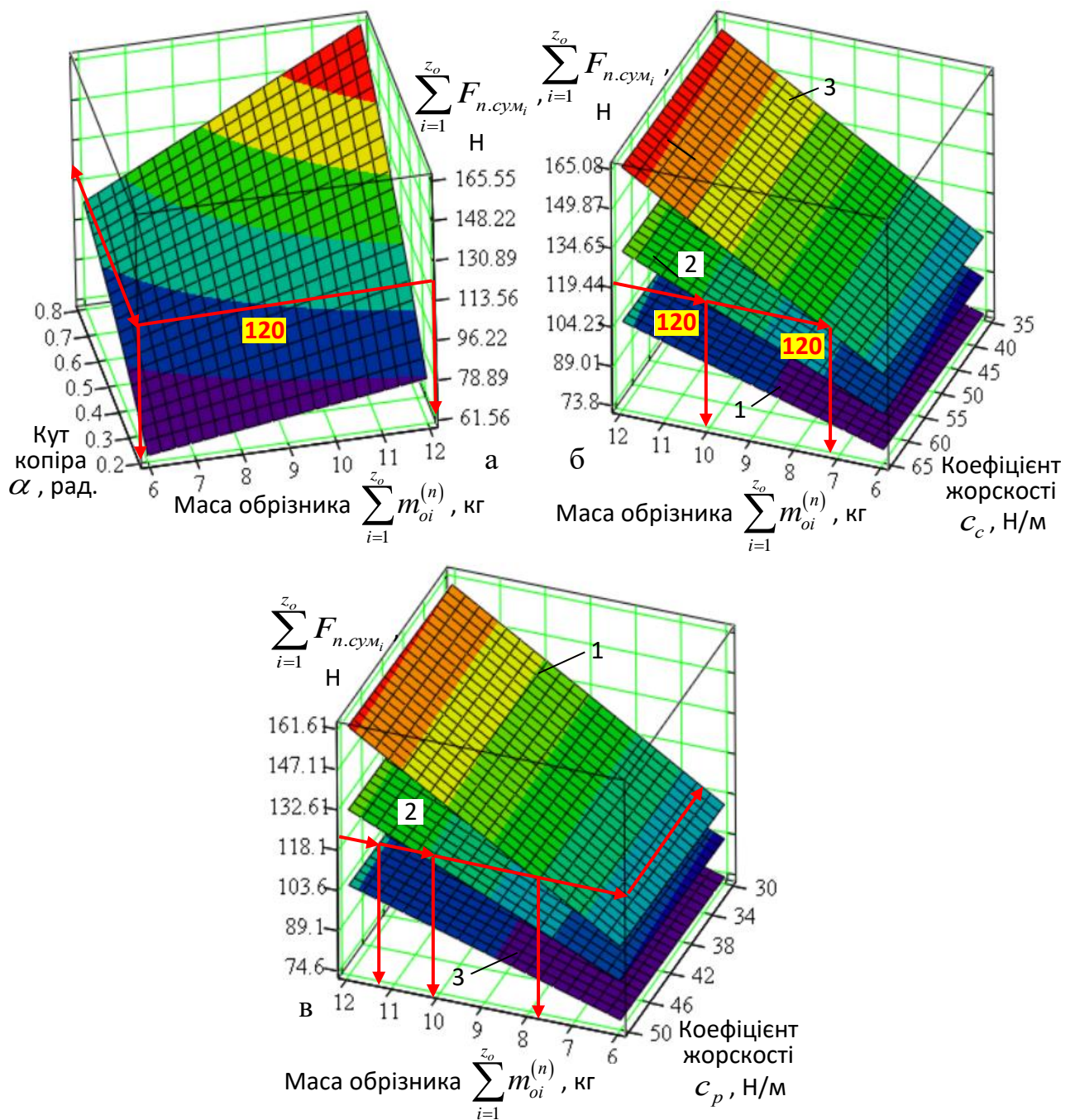
Залежність зміни сумарної горизонтальної сили з умови невивалювання

коренеплодів цикорію з ґрунту як функція: а –  $\sum_{i=1}^{z_x} F_{x.cym_i} = f(\sum_{i=1}^{z_o} m_{oi}^{(\theta)}; \alpha)$ ,  $c_p = 40$

Н/м,  $k_a = 4,7$  Н/м; б –  $\sum_{i=1}^{z_x} F_{x.cym_i} = f(\sum_{i=1}^{z_o} m_{oi}^{(\theta)}; c_p)$ , 1, 2, 3 – відповідно,  $\alpha = 15, 30,$

45 град.,  $k_a = 4,7$  Н/м;

## Додаток Б.6.2



Залежність зміни сумарної нормальної сили з умови непошкодження

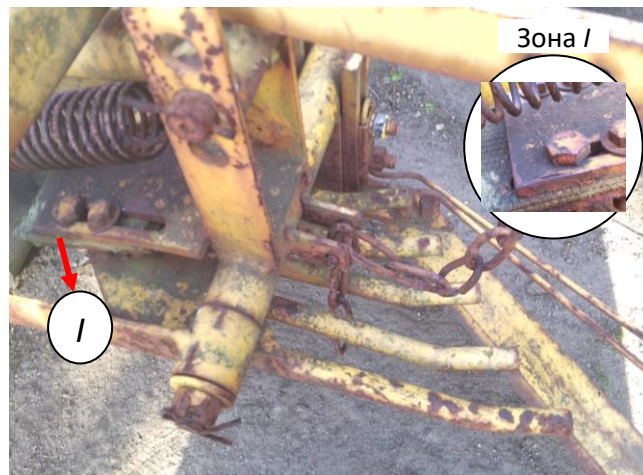
коренеплодів цикорію як функція: а –  $\sum_{i=1}^{z_x} F_{n.cym_i} = f(\sum_{i=1}^{z_0} m_{oi}^{(n)}; \alpha)$ ,  $c_p = 40$  Н/м,  $c_c =$

50 Н/м,  $k_a = 4,7$  Н/м; б –  $\sum_{i=1}^{z_x} F_{n.cym_i} = f(\sum_{i=1}^{z_0} m_{oi}^{(n)}; c_c)$ , 1, 2, 3 – відповідно,  $\alpha = 15, 30,$

45 град.,  $c_p = 40$  Н/м,  $k_a = 4,7$  Н/м; в – а –  $\sum_{i=1}^{z_x} F_{n.cym_i} = f(\sum_{i=1}^{z_0} m_{oi}^{(n)}; c_p)$ , 1, 2, 3 –

відповідно,  $\alpha = 15, 30, 45$  град.,  $c_c = 50$  Н/м,  $k_a = 4,7$  Н/м

## Додаток В.1.1



Загальний вигляд обрізника залишків гички з головок коренеплодів

## Додаток В.2.1

Технічна характеристика гичкозрізувальної машини

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
Ширина захисної зони рядка, м	0,15

## Додаток В.3.1

Технічна характеристика удосконаленого обрізника

Показники	Значення показників
Маса рухомих частин обрізника, кг	7,3
Коефіцієнт жорсткості пружини регулювальної тяги, Н/м	15...45
Коефіцієнт жорсткості пружини стакана вертикальної тяги, Н/м	35...65
Коефіцієнт жорсткості пружини ножа, Н/м	30...60
Кут встановлення копіра відносно горизонту, град.	20...40
Зазор між копіром і ножем, мм	0...10
Коефіцієнт пружності амортизатора, Н/м	4,7

## Додаток В.4.2

Значення швидкості руху ножа  $\mathcal{G}_n$ 

Довжина маятника $l_m$ , м	Кут відхилення маятника $\theta$ , град.		
	30	36	46
	Початкова швидкість руху ножа $\mathcal{G}_n$ , м/с		
0,8	1,5	2,15	2,25
0,9	1,54	2,36	2,34
<b>0,95</b>	<b>1,58</b>	<b>1,97</b>	<b>2,39</b>
<b>0,99</b>	<b>1,62</b>	<b>2,08</b>	<b>2,41</b>
<b>1,03</b>	<b>1,65</b>	<b>2,1</b>	<b>2,45</b>
1,1	1,7	2,35	
1,2	1,78	2,46	
1,3	1,85	2,55	

## Додаток В.5.2

Методика статистичної обробки експериментальних даних

Зв'язок між кодованими  $x_i$  та натуральними  $X_i$  значеннями змінних вхідних факторів, нульовий рівень  $x_0$ , або середнє значення та інтервали варіювання  $\Delta x_i$  кожного діючого змінного фактора планованого двофакторного експерименту типу ПФЕ  $3^2$  встановлювали за залежністю:

$$X_i = (x_i - x_0) / \Delta x_i; \quad (1)$$

$$x_0 = 0,5(x_{max} + x_{min}), \quad \Delta x_i = 0,5(x_{max} - x_{min}), \quad (2)$$

де  $x_{i0}$  – значення  $i$ -го фактору на нульовому рівні;  $x_i$  – натуральне позначення  $i$ -го фактору;  $x_0, x_{max}, x_{min}$  – значення нульового, верхнього та нижнього рівнів фактора;  $\Delta x_i$  – числове значення інтервалу варіювання  $i$ -го фактора.

Порядок обробки експериментальних даних кількості зламаних коренеплідів цикорію як функції  $K_{зк}^{(h_{ki})} = f(\mathcal{G}_n; c_n)$  був наступним.

1. Отримавши масив експериментальних даних проводимо перевірку його відтворюваності.

Для оцінки відтворюваності застосовували критерій Кохрена

$$G = \frac{S_{u.\max}^2}{\sum_{i=1}^n S_u^2} \leq G_m(0,05; n; f_u), \quad (3)$$

де  $G_m = (0,05; N; f_u)$  – табличне значення критерію Кохрена при 5%-му рівні значимості, при числі дослідів  $N$  і числі степенів свободи  $f_u = m - 1$  із числом повторності  $m$ ;  $S_u^2$ ,  $S_{u.\max}^2$  – дисперсія та її максимальне значення.

Дисперсію на  $u$ -му рівні визначали за формулою

$$S_u^2 = \frac{1}{m-1} \sum_{i=1}^m (y_{uik} - \bar{y}_u)^2, \quad (4)$$

де  $y_{uik}$  – значення вихідного параметру на відповідній повторності.

В загальному похибку значення параметра оптимізації кожного експерименту розраховували за формулою

$$S_y^2 = \frac{1}{n} \sum_{u=1}^n S_u^2. \quad (5)$$

2. Якщо в результаті перевірки за допомогою критерію Кохрена доведено, що процес відтворюваний, то наступним кроком в обробці результатів експериментальних даних є визначення коефіцієнтів регресії.

Коефіцієнти регресії апроксимуючої функції, представлені у вигляді  $K_{zk}^{(h_{ki})} = f(\mathcal{G}_n; c_n)$ , за умови ортогональності та симетрії побудованої моделі ПФЕ  $3^2$ , визначали за відповідними формулами:

$$b_i = \frac{\sum_{u=1}^N x_{iu} \bar{y}_u}{\sum_{u=1}^N x_{iu}^2} = \frac{\sum_{u=1}^N x_{iu} \bar{y}_u}{N}; \quad b_{ij} = \frac{\sum_{u=1}^N x_{iu} x_{ju} \bar{y}_u}{N}; \quad b_{ijk} = \frac{\sum_{u=1}^N x_{iu} x_{ju} x_{ku} \bar{y}_u}{N}, \quad (6)$$

де  $b_0$ ,  $b_i$ ,  $b_{ij}$ ,  $b_{ijk}$  – вільний член, коефіцієнти  $i$ -го фактора та сумісної взаємодії факторів;  $x_{iu}$  – значення кодової змінної у відповідному стовпці плану-матриці проведення експериментів;  $\bar{y}_u$  – середній результат  $u$ -го дослідів;  $u$ ,  $i$ ,  $j$ ,  $k$  – порядковий номер дослідів; номер фактора; номер фактора, відмінного від  $i$ -го;  $N$  – кількість проведених експериментів однієї повторності.

Рівняння регресії апроксимуючої функції, представленої у вигляді,  $K_{зк}^{(h_{ki})} = f(\mathcal{G}_n; c_n)$  у загальному вигляді має наступний запис

$$Y = b_0 + b_p X_p + b_r X_r + \dots + b_{pr} X_p X_r + \dots + b_p^2 X_p^2 + \dots \quad (7)$$

Це рівняння описує вплив окремих факторів і їх взаємодій на вихідний параметр оптимізації, або довжину різання  $K_{зк}^{(h_{ki})}$  головок коренеплідів.

3. Перевірку адекватності рівняння регресії, представленого у вигляді функціонала  $K_{зк}^{(h_{ki})} = f(\mathcal{G}_n; c_n)$ , проводили за критерієм Фішера

$$F = \frac{S_{ad}^2}{S_y^2} < F_m(0,05; f_{ad}; f_y), \quad (8)$$

де  $S_{ad}^2 = \frac{1}{f_{ad}} \sum_{u=1}^n (y - \bar{y}_u)^2$  – дисперсія адекватності;  $f_{ad} = n - k - 1$  – число степенів свободи дисперсії адекватності при кількості факторів рівному  $k$ ;  $f_y = n(m - 1)$  – число степенів свободи дисперсії відтворюваності.

Визначали дисперсію адекватності та розрахунковий критерій відповідності Фішера  $F_p$

$$S_{ag}^2 = \frac{n}{N - g'} \sum_{u=1}^N (\bar{y}_u - \tilde{y}_u)^2; \quad F_p = \frac{S_{ag}^2}{S_y^2}, \quad (9)$$

де  $N - g'$ ,  $g'$  – число степенів вільності дисперсії адекватності та значимих коефіцієнтів в рівнянні регресії;  $\tilde{y}_u$  – значення відгуку в  $u$ -й точці плану, обчислене за рівнянням регресії;  $S_y^2$  – дисперсія відтворення досліду.

Визначали табличне значення критерію Фішера  $F_T$  за заданим рівнем значимості  $\alpha$  і двома степенями відповідності  $f_{ag} = N - g$  та  $f_y = N(n - 1)$ .

Умову адекватності вибраної емпіричної математичної моделі  $K_{зк}^{(h_{ki})} = f(\mathcal{G}_n; c_n)$  перевіряли згідно з нерівністю (8)  $F_p < F_T$ .

Отримане розрахункове значення  $F_p$  порівнювали з табличним значення критерію Фішера  $F_T$ .



Якщо умова  $F_p < F_T(0,05, f_{ag}, f_y)$ , виконувалась, тобто розрахункове значення  $F_p$ - критерію Фішера менше табличного  $F_T$  при 5 %- му рівні значущості, числі степені вільності дисперсії адекватності  $f_{ag} = N - g$  та числі степені вільності дисперсії відтворюваності  $f_y = N(n-1)$ , то одержане емпіричне рівняння регресії вибраної математичної моделі  $K_{зк}^{(h_{ki})} = f(\mathcal{G}_n; c_n)$  адекватно описує реальний процес зміни параметра оптимізації, або зміни експериментальних даних.

4. Провівши перевірку адекватності необхідно оцінити значимість коефіцієнтів регресії  $b_i, b_{ij}, b_{ijk}$ , використавши критерій Стюдента, при цьому коефіцієнт регресії  $b_i, b_{ij}, b_{ijk}$  значимий, якщо виконується умова

$$|b_i| \geq t_m(0,05; f_y) \frac{S_y}{\sqrt{n}}, \quad (10)$$

де  $t_m(0,05; f_y)$  – табличне значення критерію Стюдента при 5%-ому рівні значимості.

Визначали дисперсію похибок дослідів у рядках плану ПФЕ

$$S_u^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{j=1}^n (y_{uj} - \bar{y}_u)^2, \quad (11)$$

де  $n$  – кількість повторності одного експерименту;  $j = 1, 2, \dots, n$ .

Визначали дисперсію відтворення дослідів та похибку відтворення

$$S_y^2 = \frac{1}{N} \sum_{u=1}^N S_u^2; \quad S_y = \sqrt{S_y^2}; \quad (12)$$

- визначали умову значимості коефіцієнтів  $b_i$  рівняння регресії, яке характеризує довжину різання  $K_{зк}^{(h_{ki})}$  головки коренеплідів

$$b_{i(jk)} > \frac{t_T S_y}{\sqrt{Nn}}, \quad (13)$$

де  $t_T$  – табличне значення коефіцієнта Ст'юдента, яке вибирається з таблиці залежно від ступеня відповідності  $f$  та рівня значимості  $\alpha$ , при цьому  $f = (n-1)N$ .

Якщо умова значимості (13) не виконується, то такий коефіцієнт  $b_i$  рівняння регресії приймали рівним нулю, а відповідний член  $x_i$  рівняння регресії виключали.

## Додаток В.6.2

План-матриця проведення планованого експерименту типу ПФЕ  $3^2$ 

№ досл.	Рівні факторів			Взаємодія факторів	Параметр оптимізації, $K_{3K}^{(h_{ki})} = f(\mathcal{G}_H; c_H)$			Середнє значення
					Повторюваність			
	$x_0$	$x_1,$ $\mathcal{G}_H$	$x_2,$ $c_H$	$x_1 x_2,$ $\mathcal{G}_H \cdot c_H$	1	2	3	$K_{3K}^{(h_{ki})}$
1, 10, 19	+1	-1	-1	+1	$Y_{11}$	$Y_{12}$	$Y_{13}$	$Y_{1c}$
2, 11, 20	+1	+1	-1	-1	$Y_{21}$	$Y_{22}$	$Y_{23}$	$Y_{2c}$
3, 12, 21	+1	0	-1	0	$Y_{31}$	$Y_{32}$	$Y_{33}$	$Y_{3c}$
4, 13, 22	+1	-1	+1	-1	$Y_{41}$	$Y_{42}$	$Y_{43}$	$Y_{4c}$
5, 14, 23	+1	+1	+1	+1	$Y_{51}$	$Y_{52}$	$Y_{53}$	$Y_{5c}$
6, 15, 24	+1	0	+1	0	$Y_{61}$	$Y_{62}$	$Y_{63}$	$Y_{6c}$
7, 16, 25	+1	-1	0	0	$Y_{71}$	$Y_{72}$	$Y_{73}$	$Y_{7c}$
8, 17, 26	+1	+1	0	0	$Y_{81}$	$Y_{82}$	$Y_{83}$	$Y_{8c}$
9, 18, 27	+1	0	0	0	$Y_{91}$	$Y_{92}$	$Y_{93}$	$Y_{9c}$

## Додаток В.7.3

План-матриця експерименту типу ПФЕ 3<sup>3</sup>

№ досл.	Рівні факторів				Взаємодія факторів			Параметр оптимізації, $K_{БК}, K_{ПК}$			Середні значення $K_{БК}, K_{ПК}$
								Повторюваність			
	$x_0$	$x_3$	$x_4$	$x_5$	$x_3 x_4$	$x_3 x_5$	$x_4 x_5$	1	2	3	$Y_{сер.}$
1	+1	-1	-1	-1	+1	+1	+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	+1	+1	-1	+1	-1	-1	$Y_{51}$	$Y_{52}$	$Y_{53}$	$Y_{5c}$
6	+1	0	+1	-1	0	0	-1	$Y_{61}$	$Y_{62}$	$Y_{63}$	$Y_{6c}$
7	+1	-1	0	-1	0	+1	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	+1	-1	+1	-1	$Y_{111}$	$Y_{112}$	$Y_{113}$	$Y_{11c}$
12	+1	0	-1	+1	0	0	-1	$Y_{121}$	$Y_{122}$	$Y_{123}$	$Y_{12c}$
13	+1	-1	+1	+1	-1	-1	+1	$Y_{131}$	$Y_{132}$	$Y_{133}$	$Y_{13c}$
14	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	$Y_{141}$	$Y_{142}$	$Y_{143}$	$Y_{14c}$
15	+1	0	+1	+1	0	0	+1	$Y_{151}$	$Y_{152}$	$Y_{153}$	$Y_{15c}$
16	+1	-1	0	+1	0	-1	0	$Y_{161}$	$Y_{162}$	$Y_{163}$	$Y_{16c}$
17	+1	+1	0	+1	0	+1	0	$Y_{171}$	$Y_{172}$	$Y_{173}$	$Y_{17c}$
18	+1	0	0	+1	0	0	0	$Y_{181}$	$Y_{182}$	$Y_{183}$	$Y_{18c}$
19	+1	-1	-1	0	+1	0	0	$Y_{191}$	$Y_{192}$	$Y_{193}$	$Y_{19c}$
20	+1	+1	-1	0	-1	0	0	$Y_{201}$	$Y_{202}$	$Y_{203}$	$Y_{20c}$
21	+1	0	-1	0	0	0	0	$Y_{211}$	$Y_{212}$	$Y_{213}$	$Y_{21c}$
22	+1	-1	+1	0	-1	0	0	$Y_{221}$	$Y_{222}$	$Y_{123}$	$Y_{22c}$
23	+1	+1	+1	0	+1	0	0	$Y_{231}$	$Y_{232}$	$Y_{233}$	$Y_{23c}$
24	+1	0	+1	0	0	0	0	$Y_{241}$	$Y_{242}$	$Y_{243}$	$Y_{24c}$
25	+1	-1	0	0	0	0	0	$Y_{251}$	$Y_{252}$	$Y_{253}$	$Y_{25c}$
26	+1	+1	0	0	0	0	0	$Y_{261}$	$Y_{262}$	$Y_{263}$	$Y_{26c}$
27	+1	0	0	0	0	0	0	$Y_{271}$	$Y_{272}$	$Y_{273}$	$Y_{27c}$

## Додаток В.8.3

Характеристика коренеплодів цикорію при проведенні експериментів з визначення кількості зламаних коренеплодів, кількості вивалених коренеплодів з ґрунту, кількості пошкоджених коренеплодів

Найменування показників	Одиниця вимірювання	Значення показників
Сорт цикорію	Уманський 99	
Ширина міжрядь: - середня - середньоквадратичне відхилення	см ± см	45 0,86
Врожайність коренеплодів	ц/га	180...250
Густота насаджень рослин	шт./м <sup>2</sup>	5...12
Врожайність гички	кг/м <sup>2</sup>	1,25...1,75
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

## Додаток В.9.3

Характеристика поля і залікової ділянки при проведенні експериментів з визначення кількості зламаних коренеплодів, кількості вивалених коренеплодів з ґрунту, кількості пошкоджених коренеплодів

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	20,4 21,6 22,3
Щільність ґрунту, МПа в шарі, см: від 0 до 10 більше 10 до 20 більше 20 до 30	0,95 1,35 1,55

## Додаток В.10.3

Умови проведення експериментів з визначення кількості зламаних коренеплодів, кількості вивалених коренеплодів з ґрунту, кількості пошкоджених коренеплодів

Найменування показників	Значення показників
Попереднє зрізування основного масиву гички	Безкопірне зрізування
Тип роторного гичкоріза	Горизонтальний вал з шарнірними плоскими ножами
Швидкість руху копіра, м/с	1,2...2,2
Укладання зрізаної гички	У міжряддя невикопарих коренеплодів

## Додаток В.11.4

Характеристика коренеплодів цикорію проведення порівняльних досліджень

Найменування показників	Одиниця вимірювання	Значення показників
Сорт цикорію	Уманський 99	
Ширина міжрядь:		
- середня	см	45
- середньоквадратичне відхилення	± см	0,75
Середня врожайність коренеплодів	ц/га	180
Середня густина насаджень рослин	шт./м <sup>2</sup>	8
Середня врожайність гички	кг/м <sup>2</sup>	1,35
Відстань між коренеплодами в рядку	см	14...18
Середній діаметр коренеплодів	см	10
Співвідношення між групами коренеплодів за масою	%	26/54/20
Середнє відхилення коренеплодів від осьової лінії рядка	± см	2,6
Середня висота розміщення головок над рівнем поверхні ґрунту	± см	8 ± 0,5

## Додаток В.12.4

Характеристика поля і залікової ділянки проведення порівняльних досліджень

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	18,8
більше 10 до 20	20,3
більше 20 до 30	21,3
Щільність ґрунту, МПа в шарі, см:	
від 0 до 10	1,05
більше 10 до 20	1,4
більше 20 до 30	1,6

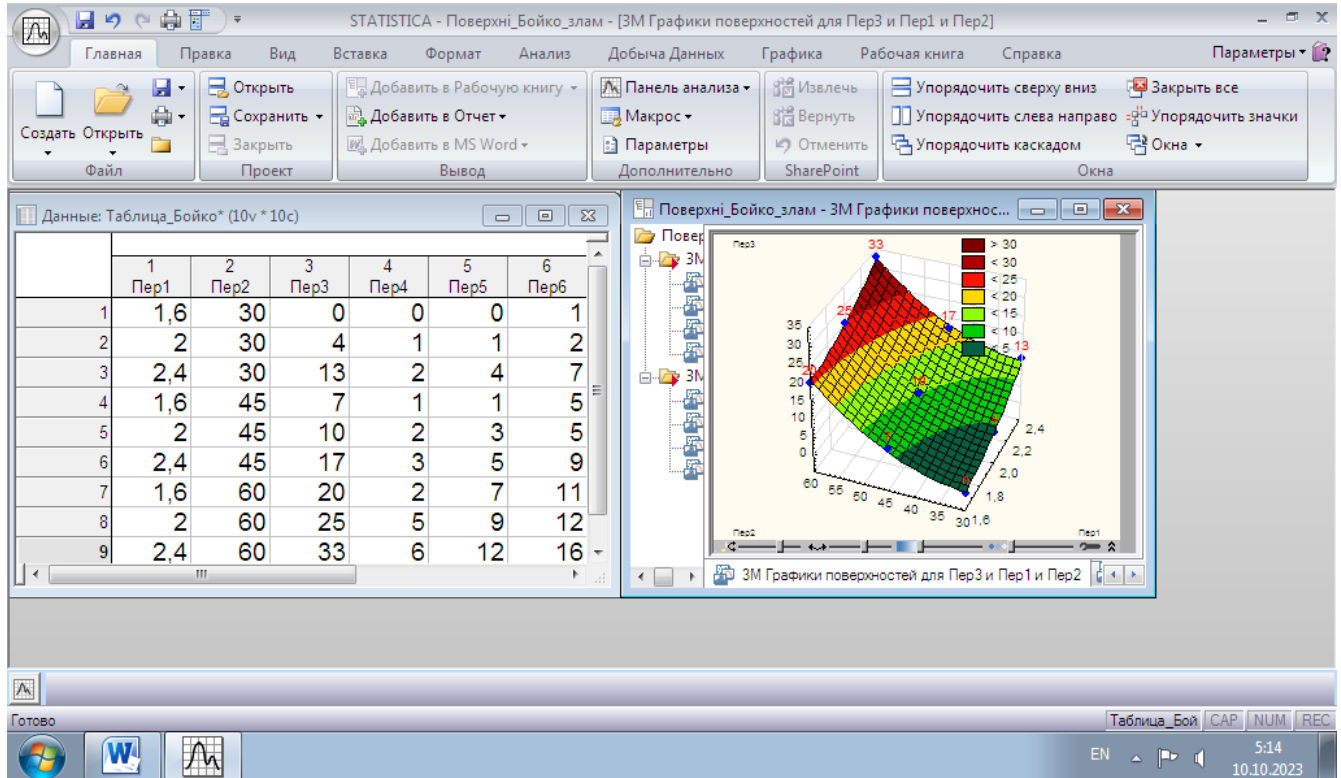
## Додаток В.13.4

Умови проведення експериментів проведення порівняльних досліджень

Найменування показників	Значення показників
Попереднє зрізування основного масиву гички	Безкопірне зрізування
Тип роторного гичкоріза	Горизонтальний вал з шарнірними плоскими ножами
Швидкість руху копіра, м/с	1,5...2,1
Укладання зрізаної гички	У міжряддя невикопарих коренеплодів

## Додаток Г.1.1

Експериментальний масив даних середньої кількості  $K_{зк}$  зламаних коренеплодів цикорію у загальному вигляді та кількості  $K_{зк}^{(h_{5k})}$ ,  $K_{зк}^{(h_{9k})}$ ,  $K_{зк}^{(h_{13k})}$  зламаних коренеплодів цикорію по групам коренеплодів



Пер1 – швидкість руху ножа, м/с;

Пер2 – жорсткість пружини ножа, Н/м;

Пер3 – кількість зламаних коренеплодів  $K_{зк}$ , шт.;

Пер4-Пер6 – кількість зламаних коренеплодів  $K_{зк}^{(h_{5k})}$ ,  $K_{зк}^{(h_{9k})}$ ,  $K_{зк}^{(h_{13k})}$ , шт.

## Додаток Г.2.1

Результати статистичних розрахунків кількості  $K_{зк}$  зламаних коренеплодів  
цикорію у загальному вигляді

STAT

3 -кол-во переменных; полином второй степени; зависимость 6  
Уровень вероятности P=0.95 t-альфа крит.= 2.305

N	Корреляция	Коэффициент регрессии	Статистич. ошибка	t-альфа	Коэфф. эластичности	Значимость коэфф. регрессии
Зависимая переменная						
Y		+39.970489501953				
Независимые переменные						
1	+0.493	-34.968894958496	+19.06901	-1.83	-4.88	незначим
2	+0.836	-1.122273921967	+0.34719	-3.23	-3.52	значим
1*1	+0.498	+12.492390632629	+4.65601	+2.68	+3.58	значим
1*2	+0.961	-0.000010197865	+0.08783	-0.00	-0.00	незначим
2*2	+0.852	+0.020000822842	+0.00331	+6.04	+3.04	значим

Имя файла BOYKO .STA

Нажмите любую клавишу

STAT

Таблица анализа дисперсии

Компоненты дисперсии	Сумма квадратов	Число степеней свободы	Среднее значение
Регрессия	884.6676	5	176.934
Остаток	3.3325 0	3	1.111
Итого	888.0001	8	

Коэффициент множественной детерминации D= 0.996  
Коэффициент множественной корреляции R= 0.998  
Стандартное отклонение оценки s= 1.054  
F критерий Фишера = 159.282  
Коэффициент D значим с вероятностью P = 0.99454

Имя файла BOYKO .STA

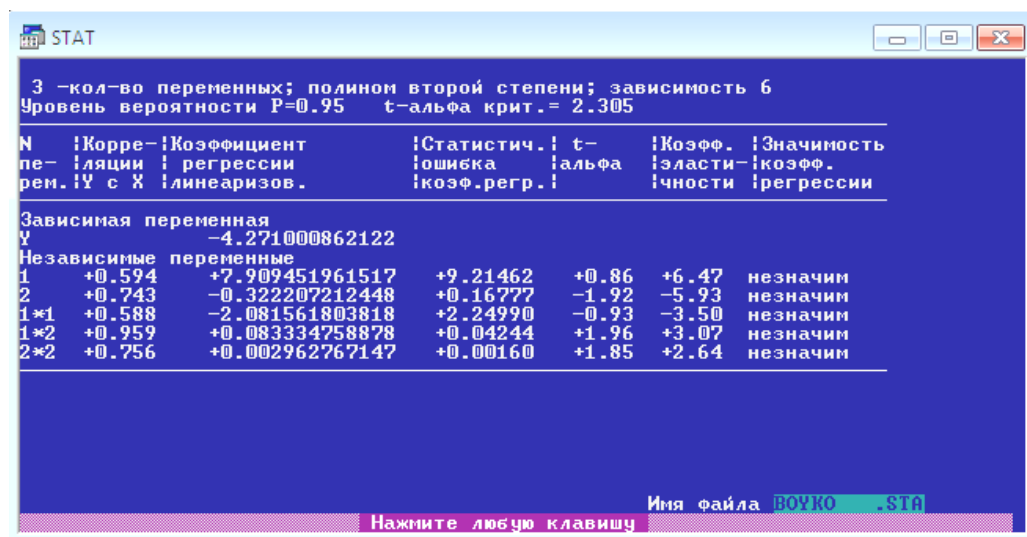
Нажмите любую клавишу



## Додаток Г.3.1

Показники статистичних розрахунків кількості  $K_{зк}^{(h_{5k})}$ ,  $K_{зк}^{(h_{9k})}$ ,  $K_{зк}^{(h_{13k})}$  зламаних коренеплодів цикорію по групам коренеплодів

Для групи коренеплодів  $h_k = 5$  см,  $K_{зк}^{(h_{5k})}$



3 -кол-во переменных; полином второй степени; зависимость 6  
Уровень вероятности P=0.95 t-альфа крит. = 2.305

N	Корреляция	Кoefficient регрессии	Статистич. ошибка	t-альфа	Кoeff. эластичности	Значимость коэфф. регрессии
Зависимая переменная						
Y		-4.271000862122				
Независимые переменные						
1	+0.594	+7.909451961517	+9.21462	+0.86	+6.47	незначим
2	+0.743	-0.322207212448	+0.16777	-1.92	-5.93	незначим
1*1	+0.588	-2.081561803818	+2.24990	-0.93	-3.50	незначим
1*2	+0.959	+0.083334758878	+0.04244	+1.96	+3.07	незначим
2*2	+0.756	+0.002962767147	+0.00160	+1.85	+2.64	незначим

Имя файла ВОУКО .STA  
Нажмите любую клавишу

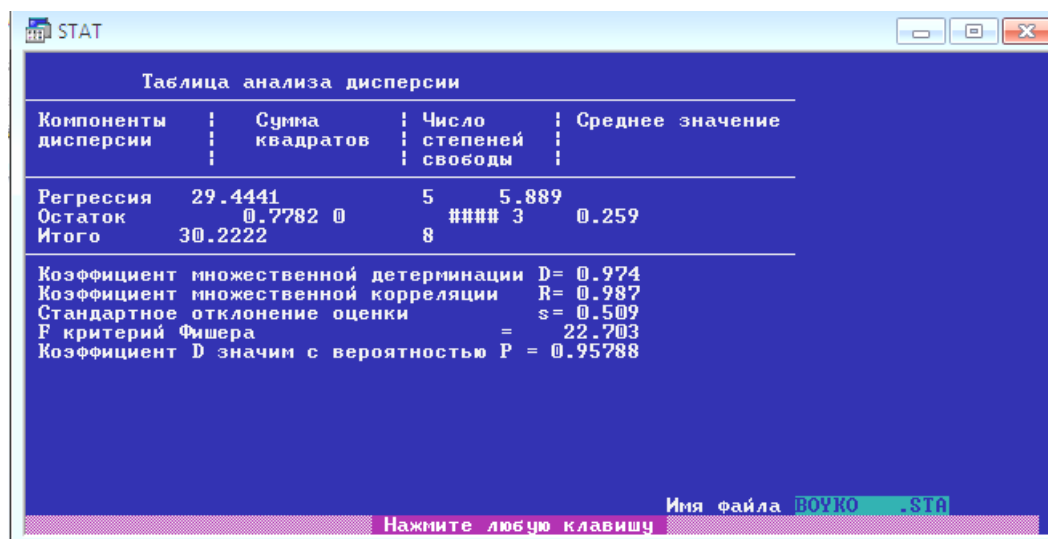


Таблица анализа дисперсии

Компоненты дисперсии	Сумма квадратов	Число степеней свободы	Среднее значение
Регрессия	29.4441	5	5.889
Остаток	0.7782 0	3	0.259
Итого	30.2222	8	

Кoefficient множественной детерминации D = 0.974  
Кoefficient множественной корреляции R = 0.987  
Стандартное отклонение оценки s = 0.509  
F критерий Фишера = 22.703  
Кoefficient D значим с вероятностью P = 0.95788

Имя файла ВОУКО .STA  
Нажмите любую клавишу

## Продовження додатку Г.3.1

Для групи коренеплодів  $h_k = 9$  см,  $K_{зк}^{(h_k)}$

STAT

3 - кол-во переменных; полином второй степени; зависимость 6  
 Уровень вероятности P=0.95 t-альфа крит.= 2.305

N	Корреляция	Коэффициент регрессии	Статистич. ошибка	t-альфа	Коэфф. эластичности	Значимость коэфф. регрессии
Зависимая переменная						
Y	+19.080230712891					
Независимые переменные						
1	+0.465	-8.955230712891	+6.73110	-1.33	-3.84	незначим
2	+0.824	-0.827783465385	+0.12255	-6.75	-7.98	значим
1*1	+0.468	+3.124273300171	+1.64351	+1.90	+2.75	незначим
1*2	+0.943	+0.041665349156	+0.03100	+1.34	+0.80	незначим
2*2	+0.849	+0.011111228727	+0.00117	+9.50	+5.18	значим

Имя файла **BOYKO .STA**  
 Нажмите любую клавишу

STAT

Таблица анализа дисперсии

Компоненты дисперсии	Сумма квадратов	Число степеней свободы	Среднее значение
Регрессия	129.5848	5	25.917
Остаток	0.4152 0	### 3	0.138
Итого	130.0000	8	

Коэффициент множественной детерминации D= 0.997  
 Коэффициент множественной корреляции R= 0.998  
 Стандартное отклонение оценки s= 0.372  
 F критерий Фишера = 187.251  
 Коэффициент D значим с вероятностью P = 0.99535

Имя файла **BOYKO .STA**  
 Нажмите любую клавишу

## Продовження додатку Г.3.1

Для групи коренеплодів  $h_k = 9$  см,  $K_{зк}^{(h_{3k})}$

STAT

3 -кол-во переменных; полином второй степени; зависимость б  
Уровень вероятности P=0.95 t-альфа крит. = 2.305

N	Корреляция	Кoefficient регрессии	Статистич. ошибка	t-альфа	Кoeff. эластичности	Значимость коэфф. регрессии
Зависимая переменная						
Y		+36.669029235840				
Независимые переменные						
1	+0.442	-37.680931091309	+9.70224	-3.88	-9.97	значим
2	+0.854	-0.327841311693	+0.17665	-1.86	-1.95	незначим
1*1	+0.452	+11.451532363892	+2.36896	+4.83	+6.22	значим
1*2	+0.945	-0.041671823710	+0.04469	-0.93	-0.50	незначим
2*2	+0.868	+0.008149005473	+0.00169	+4.84	+2.35	значим

Имя файла BOYKO .STA

Нажмите любую клавишу

STAT

Таблица анализа дисперсии

Компоненты дисперсии	Сумма квадратов	Число степеней свободы	Среднее значение
Регрессия	191.3595	5	38.272
Остаток	0.8627 0	### 3	0.288
Итого	192.2222	8	

Кoefficient множественной детерминации D = 0.996  
Кoefficient множественной корреляции R = 0.998  
Стандартное отклонение оценки s = 0.536  
F критерий Фишера = 133.091  
Кoefficient D значим с вероятностью P = 0.99344

Имя файла BOYKO .STA

Нажмите любую клавишу

## Додаток Г.4.2

## Показники статистичних розрахунків

- кількості  $K_{ок}$  вивалених коренеплодів з ґрунту

STAT

4 -кол-во переменных; полином второй степени; зависимость 6  
Уровень вероятности P=0.95 t-альфа крит. = 2.053

N	Корреляция	Коэффициент регрессии	Статистич. ошибка	t-альфа	Коэф. эластичности	Значимость коэф. регрессии
Зависимая переменная						
Y	+6.437561035156					
Независимые переменные						
1	-0.024	-0.748475730419	+27.72733	-0.03	-0.38	незначим
2	+0.795	-0.352518171072	+12.05785	-0.03	-4.95	незначим
3	-0.024	-0.538742125034	+2.63669	-0.20	-4.54	незначим
1*1	-0.005	+0.324143379927	+63.46638	+0.01	+0.30	незначим
1*2	+0.675	+0.610431551933	+13.39723	+0.05	+15.42	незначим
1*3	+0.001	-0.023544706404	+5.08807	-0.00	-0.37	незначим
2*2	+0.782	-0.001283891499	+0.00172	-0.75	-0.95	незначим
2*3	+0.501	-0.019006701186	+0.40191	-0.05	-8.00	незначим
3*3	+0.013	+0.009810197167	+0.20901	+0.05	+2.66	незначим

Имя файла BOYK02 .STA  
Нажмите любую клавишу

STAT

Таблица анализа дисперсии

Компоненты дисперсии	Сумма квадратов	Число степеней свободы	Среднее значение
Регрессия	20.5454	9	2.283
Остаток	15.3175 0	17	0.901
Итого	35.8630	26	

Коэффициент множественной детерминации D= 0.573  
Коэффициент множественной корреляции R= 0.757  
Стандартное отклонение оценки s= 0.949  
F критерий Фишера = 2.534  
Коэффициент D значим с вероятностью P = 0.94989

Имя файла BOYK02 .STA  
Нажмите любую клавишу

## Продовження додатку Г.4.2

- кількості  $K_{нк}$  пошкоджених коренеплодів

STAT

4 -кол-во переменных; полином второй степени; зависимость 6  
Уровень вероятности P=0.95 t-альфа крит.= 2.053

N	Корреляция	Кoefficient регрессии	Статистическая ошибка	t-альфа	Кoeff. эластичности	Значимость коэф. регрессии
1	+0.204	+0.351047843695	+92.49007	+0.00	+0.03	незначим
2	+0.761	-1.042673230171	+40.22139	-0.03	-2.85	незначим
3	+0.204	-1.041516900063	+8.79520	-0.12	-1.71	незначим
1*1	+0.225	-5.507132053375	+211.70480	-0.03	-0.99	незначим
1*2	+0.770	+1.626668095589	+44.68916	+0.04	+7.99	незначим
1*3	+0.232	-0.968312621117	+16.97227	-0.06	-2.96	незначим
2*2	+0.749	-0.003704235423	+0.00575	-0.64	-0.54	незначим
2*3	+0.667	-0.046596545726	+1.34067	-0.03	-3.81	незначим
3*3	+0.246	+0.068476542830	+0.69720	+0.10	+3.61	незначим

Зависимая переменная Y +40.585468292236  
Независимые переменные

Имя файла BOVKO2 .STA  
Нажмите любую клавишу

STAT

Таблица анализа дисперсии

Компоненты дисперсии	Сумма квадратов	Число степеней свободы	Среднее значение
Регрессия	181.5303	9	20.170
Остаток	170.4364 0	### 17	10.026
Итого	351.9667	26	

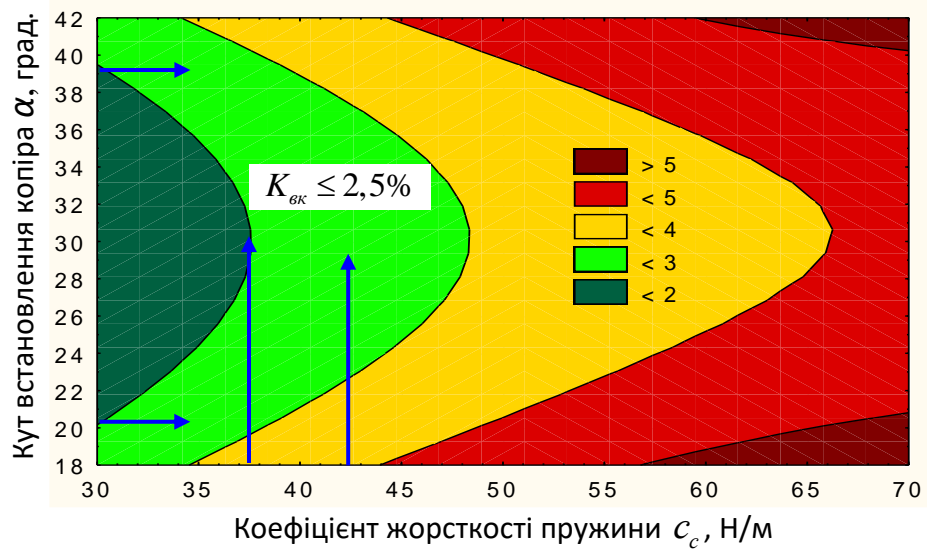
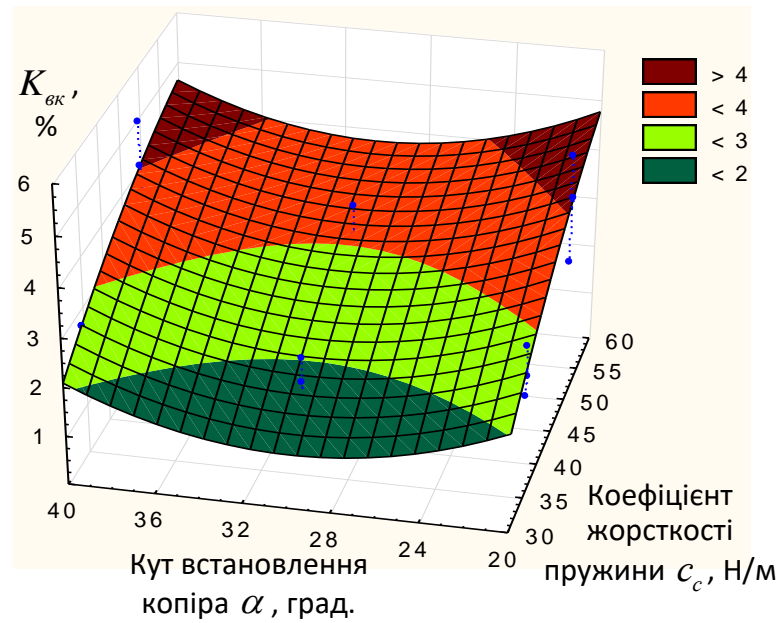
Кoefficient множественной детерминации D= 0.516  
Кoefficient множественной корреляции R= 0.718  
Стандартное отклонение оценки s= 3.166  
F критерий Фишера = 2.012  
Кoefficient D значим с вероятностью P = 0.89341

Имя файла BOVKO2 .STA  
Нажмите любую клавишу

## Додаток Г.5.2

Поверхня відгуку та двомірний переріз поверхні функціональної зміни

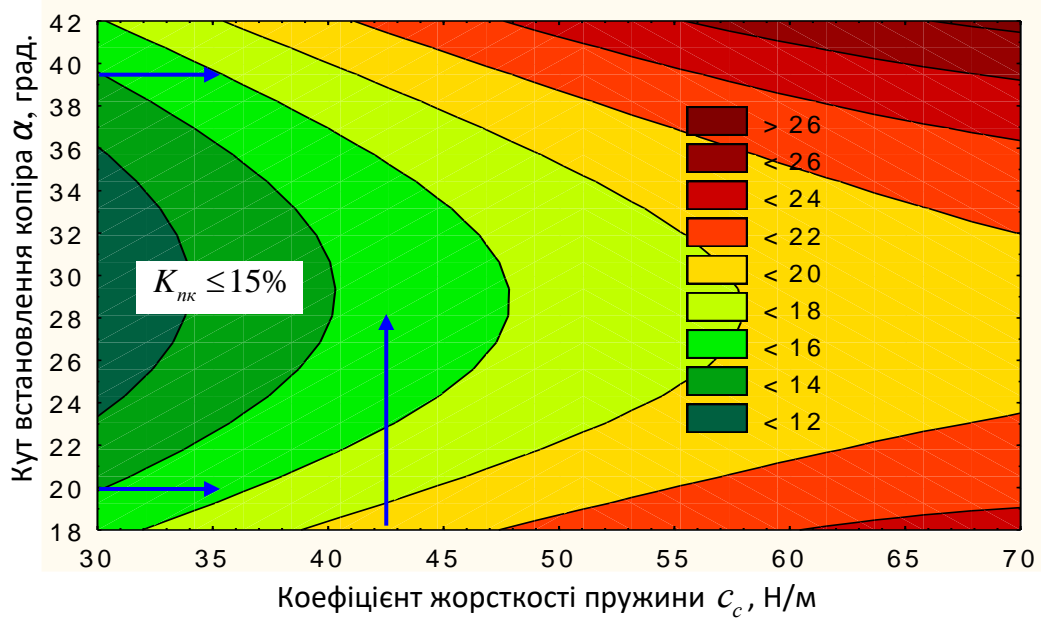
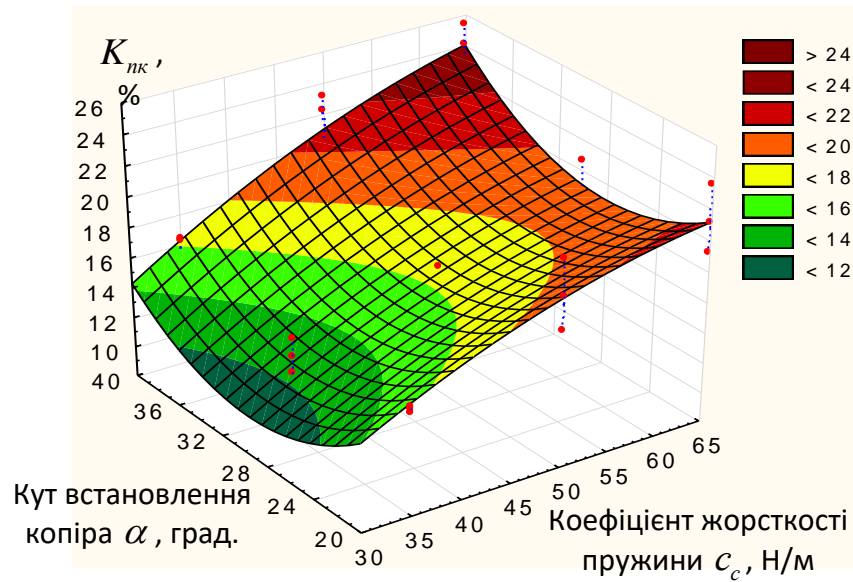
$$K_{\text{вк}} = f(c_c; \alpha) \text{ кількості вивалених коренеплодів цикорію}$$



## Додаток Г.6.2.

Поверхня відгуку та двомірний переріз поверхні функціональної зміни

$K_{нк} = f(c_c; \alpha)$  кількості пошкоджених коренеплодів цикорію



## Додаток Г.7.3

## Параметри робочих органів порівнювальних обрізників

Параметри	Тип обрізника				
	1-й тип, удоск.	2-й тип	3-й тип	4-й тип	5-й тип, серійн.
Коефіцієнт жорсткості пружини вертикальної тяги, Н/м	45	45	-	45	-
Коефіцієнт жорсткості пружини ножа, Н/м	35	35	35	-	-
Кут встановлення копіра відносно горизонту, град.	30	30	30	30	30
Зазор між копіром і ножем, мм	5	5	5	5	5
Коефіцієнт пружності амортизатора, Н/м	4,7	-	4,7	4,7	-



## Додаток Д.1.1

Довідка про апробацію результатів дослідження

## Додаток Д.2.1

## Довідка про проведення порівняльних досліджень



**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

---

№ 2517 жовтня 2023 р.

## ДОВІДКА

Видана аспіранту кафедри інжинірингу машинобудівних технологій Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя Бойку Володимиру Андрійовичу про те, що він з 10 жовтня по 14 жовтня 2023 року проводив польові порівняльні дослідження обрізників залишків гички з головок коренеплодів цикорію сорту «Уманський 99» з визначення основних показників якості роботи: кількості вивалених коренеплодів з ґрунту, кількості пошкоджених, зламаних і сколотих коренеплодів і залишків гички на їх головках. Результати дослідження прийнято для використання науковцями дослідної станції.

Від Учасника:

Директор ДП «ДГ «Самчики»  
ХДСГДС ІКСГП НААН»

М.П.



підпис

Ж.А. Молдаван

## Додаток Д.3.1

Довідка про впровадження результатів дослідження в навчальний процес