

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ АГРАРНИХ НАУК УКРАЇНИ
ІНСТИТУТ БІОЕНЕРГЕТИЧНИХ КУЛЬТУР І ЦУКРОВИХ БУРЯКІВ

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

ВОЛОХА Микола Петрович

УДК 633.63: 631.35

ДИСЕРТАЦІЯ

**МОДЕЛЮВАННЯ МЕХАНІЗОВАНИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ
ВИРОЩУВАННЯ І ЗБИРАННЯ БУРЯКІВ ЦУКРОВИХ**

05.05.11 «Машини і засоби механізації
сільськогосподарського виробництва»
(технічні науки)

Подається на здобуття наукового ступеня доктора наук

Дисертація містить результати власних досліджень.
Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на
відповідне джерело_____ М.П. Волоха

Науковий консультант
Дорошенко Юрій Олександрович
доктор технічних наук, професор

Київ – 2020

АНОТАЦІЯ

Волоха М.П. Моделювання механізованих технологічних процесів вирощування і збирання буряків цукрових – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.05.11 «Машини і засоби механізації сільськогосподарського виробництва» – Національний авіаційний університет. Інститут біоенергетичних культур і цукрових буряків.

Національний університет біоресурсів і природокористування України. Київ, 2020.

Дисертація присвячена вирішенню актуальної народногосподарської задачі підвищення продуктивності виробництва єдиної вітчизняної цукросировини – коренеплодів буряків цукрових за рахунок визначення та обґрунтування оптимальних параметрів складних технологічних процесів і технічних засобів на основі комплексного підходу до їх оцінювання та моделювання, зокрема статистичного імітаційного, яке дозволяє визначити технологічні змінні, їх взаємовідносини та взаємозв'язки, виділити техніко-економічні показники, оцінити їх вплив на врожайність коренеплодів, корегувати напрямки розвитку та шляхи вдосконалення техніко-технологічної бази буряківництва.

В дисертації також вирішується важлива проблема підвищення якості цукросировини шляхом зменшення забрудненості коренеплодів при збиранні вирощеного урожаю за несприятливих агротехнічних умов, коли при тривалому заводському зберіганні наднормативно пошкоджених і забруднених землею та залишками гички і бур'янів коренеплодів значно погіршуються кондиції сировини внаслідок ураження кагатною гниллю, а втрати цукру зростають у 5–7 разів.

У результаті проведених досліджень встановлено, що серед низки агротехнічних показників складних технологічних процесів на польову схожість насіння та рівномірність розміщення сходів, а відтак, на

врожайність буряків цукрових найістотніше впливає рівномірність глибини закладання насіння у ґрунті і розмір фракцій грудочок розпушеного поверхневого шару ґрунту над ним та рівномірність інтервалів між насінинами вздовж рядка, а показники якості первинного очищення вороху коренеплодів від ґрунтових і рослинних залишків суттєво залежать від типу очисника копачів, особливо при роботі збиральних машин на ґрунтах підвищеної твердості, коли на заводські бурякоприймальні пункти разом з коренеплодами потрапляє значна кількість родючих ґрунтів і зеленої маси.

Польовими дослідженнями доведено, що серед сучасних машин для передпосівного обробітку ґрунту найвищу польову схожість насіння забезпечує Компактор (Німеччина) в агрегаті з трактором ХТЗ-17221. Проте за продуктивністю роботи цей агрегат більше ніж вдвічі поступається вітчизняним одноопераційним АРВ-8,1-01 чи АРВ-8,1-02, агрегатованими з орно-просапним трактором ХТЗ-121, при вдвічі більших витратах пального. Найкращі техніко-економічні показники забезпечує агрегат ХТЗ-121+АРВ-8,1-02, коли при найменших витратах пального продуктивність підвищується до 10 га/год, завдяки чому посівні роботи проводяться у значно стисліші строки, підвищується рівень польової схожості насіння і, як наслідок, врожайність культури.

Комбінований агрегат, що складається з навішених на передню і задню навісні системи трактора ХТЗ-121 знарядь АРВ-8,1-01 і АРВ-8,1-02, в порівнянні з Компактором в разі однакової робочої швидкості (7,5 км/год), показує продуктивність роботи більшу на 2,2 га/год, а витрати пального менші на 1,7 кг/га.

Експериментально встановлено, що розроблена геометрична модель гранної робочої поверхні у складі борончастого котка не поступається серійному культиватору УСМК-5,4Б за показниками агротехнічних вимог щодо якості передпосівного розпушування поверхневого шару ґрунту, а за нормальної щільності (1,2–1,3 г/см³) та низької вологості (16–18,5 %)

грунту суттєво його переважає (у середньому на 4–6 % за $HP_{05} = 2,75$ %) за кількістю грудочок діаметром до 25 мм у розпушеному поверхневому шарі ґрунту, що забезпечило суттєве підвищення польової схожості насіння на 2,6 % ($HP_{05} = 0,96$ %) при зменшенні витрат пального на 0,2 кг/га.

Сівба – найвідповідальніший технологічний процес вирощування буряків цукрових, який головно забезпечує рівномірність сходів по довжині рядка при заданій їх кількості на площі посіву, що в кінцевому рахунку визначає рівень врожайності.

Лабораторно-польовими експериментальними дослідженнями встановлено, що за показниками коефіцієнта варіації розміщення сходів вздовж рядка суттєву перевагу перед сівалками з механічним типом висівного апарату (ССТ-12В – 69,2 %) мають пневматичні сівалки вітчизняного (УПС-12 – 49,1 %) і, особливо, німецького («Мультикорн» – 41,9 %) виробництва.

Аналіз регресійних моделей спільного впливу взаємодії основних технологічних факторів на показники точності розміщення насіння при сівбі показав, що область екстремуму показника коефіцієнта варіації знаходиться в межах робочої швидкості сівалки $Y = 1,2 \dots 1,4$ м/с і норми висіву насіння $N = 7 \dots 8$ шт/м. Екстремального значення коефіцієнт варіації набуває за $Y = 1,35$ м/с та $N = 7,4$ шт/м.

Теоретично доведено і експериментально підтверджено, що дальність польоту насінини, яка падає відділившись від комірки висіваючого диска висівного апарата пневмосівалки, прямо залежить від її маси і початкової швидкості і обернено – від кута нахилу її вектора до горизонту. Отже, для покращення рівномірності інтервалів між висіяним в рядок насінням при його підготовці до посіву слід проводити розділення (сортування) не тільки за розмірами, а й за масою в межах однієї фракції.

На основі сукупності узагальнених результатів досліджень з методів математичного моделювання технологічних процесів і систем їх управління та проведених теоретичних досліджень розроблена нова

концепція імітаційного моделювання цілісної технології виробництва буряків цукрових. Доведено, що динаміку технологічних процесів різних рівнів складності доцільно досліджувати і прогнозувати тенденції їх розгортання на агентних імітаційних моделях. Очевидною перевагою агентного моделювання є можливість одночасного інкорпорування факторів різного рівня – від взаємодії на мікрорівні до впливу глобальних процесів.

Визначені базові засади і принципи побудови статистичних агентних імітаційних моделей у буряковиробництві.

Розроблена дворівнева концепція моделювання процесів вирощування буряків цукрових, за якою побудована агентно-імітаційна модель двоєдиного технологічного процесу передпосівного обробітку ґрунту і сівби.

Створений алгоритм розв'язання оптимізаційної багатокритеріальної задачі забезпечення максимальної польової схожості насіння на основі методу конфігурацій, який реалізується через обчислення значень параметрів механізованого технологічного процесу, що залежать від некерованих факторів зовнішнього середовища (вологість, твердість ґрунту, масові характеристики насіння), де взаємодіють агенти імітаційної моделі «ґрунт», «насінина» та «агрегат» з основними початковими параметрами (відхилення від середньої глибини обробітку ґрунту, вміст дрібних грудочок, лабораторна схожість насіння, маса, ширина захвата, робоча швидкість агрегатів, потужність двигуна, витрати пального), які є вихідною інформацією для одного циклу оптимізації.

Розроблені моделі шнеків-транспортів дискового копача, польовими експериментальними дослідженнями яких встановлено, що при роботі очисних поверхонь з навивкою у формі прямого і похилого гелікоїдів змінного кроку за твердості ґрунту вище 3,5 МПа кількість грудок діаметром більше 50 мм у разі використання експериментальних гелікоїдальних шнеків істотно зменшувалась як у варіантах між собою

(прямий, похилий), так і відносно контролю (12, 3%, 16,9 % проти 19,8 % за $НІР_{05} = 2,5\%$). За твердості ґрунту 4,0-4,5 МПа забрудненість грудками зменшувалась майже вдвічі (17,9%, 18,5% проти 35,7%). Показники вмісту домішок у вигляді зеленої маси та кількості пошкоджених коренеплодів за середньої твердості ґрунту (2,5–3,0 МПа) є найнижчі (1,7 % та 4,3 % відповідно) у разі використання похилого гелікоїдального шнека, що суттєво нижче проти контролю за показником зеленої маси (6,9 %, $НІР_{05} = 3,4\%$). За підвищеної твердості ґрунту (4,0–4,5 МПа) маса пошкоджених коренеплодів бітерним очисником досягла 29,6 %, в той час коли похилий гелікоїдальний шнек забезпечив зниження до 21,1 %, а прямий до 23,6 %, ($НІР_{05} = 2,7\%$).

Розроблений, і апробований у виробництві комплекс машин для впровадження технології сівби, вирощування і збирання буряків цукрових з комбінуванням (поєднанням) основних (30 см) і технологічних (45 см) міжрядь за схемою $4(3 \times 30 \text{ см} + 1 \times 45 \text{ см})$ на базі серійних (сівалка ССТ-12Б, культиватор УСМК-5,4Б, гичкозбиральна машина БМ-6Б, очисник головок коренеплодів ОГД-6, коренезбиральна машина КС-6Б-05) вітчизняних машин. Виробничою перевіркою доведено, що застосування розроблених машин дозволяє вирощувати та збирати БЦ з комбінованою шириною міжрядь при якості зрізування гички, доочищення головок коренеплодів і їх викопування на рівні агротехнічних вимог.

Виробничими дослідями, результати яких явились передумовою для розробки машин, доведено, що перевагою пропонованого способу виробництва є можливість формування оптимальної густоти стояння рослин (100–110 тис шт./га) при раціональному розміщенні їх на ділянці поля і площі живлення кожної рослини близькій до оптимальної. При комбінованих міжряддях посівів буряків цукрових значно інтенсивніше розвивається площа листової поверхні, особливо на початку другої половини вегетації. Установлено, що в цей період і до кінця вегетації завдяки підвищенню продуктивності фотосинтезу відбувається істотніше в

порівнянні із звичайними міжряддями наростання маси сухої речовини. Загалом, у разі застосування комбінованих міжрядь біологічна врожайність буряків цукрових суттєво збільшується, що дає можливість отримати додатково з кожного гектара 5,0–6,0 т коренеплодів з рівномірнішою масою і підвищеною на 0,4–0,6 пункти цукристістю. Наприклад, оцінка біологічної урожайності БЦ, проведена перед збиранням на площі 50 га (с. Варковичі Дубнівського р-ну Рівненської обл., 1994 р.), показала достовірну прибавку 42–58 ц/га (в залежності від густоти стояння 90–105 тис/га) на фоні отриманої на контролі (технологія з міжряддями 45 см) урожайності 480–496 ц/га.

Економічна ефективність моделей гнучких сучасних механізованих технологій вирощування та збирання буряків цукрових проводилась за рівнем прямих експлуатаційних витрат на одиницю площі та на одиницю продукції і за структурою затрат праці залежно від задіяного комплексу машин. Встановлено, що за умови впровадження технологій на базі нових вітчизняних і зарубіжних машин через додаткові витрати на придбання техніки й технологічних матеріалів прямі експлуатаційні витрати на 1 га порівняно з традиційною технологією на базі серійних машин (25511 грн) зростали і становили 30029 і 45766 грн відповідно (у цінах 2019 р.). Проте, завдяки підвищенню врожайності (з 37 т/га до 63 т/га) прямі експлуатаційні витрати в розрахунку на одиницю продукції знижуються, передусім за рахунок значного зниження затрат праці (з 131 люд-год/га – за традиційної вітчизняної технології на базі серійних машин до 26 люд-год/га – за технології на базі зарубіжних машин).

Результати досліджень впроваджені у Білоцерківській ДСС (акт впровадження закінченої НДР від 16.11. 2014 р.), ПАТ «БОРЕКС» (акт впровадження від 14.09.2015 р.), ДПДГ «Шевченківське» ІБКіЦБ (довідка про впровадження від 12.10.2015 р.), ПП ім. Зубковського Миргородського району Полтавської області (акт впровадження від 10.05.2016 р.).

На основі проведених аналітичних і експериментальних досліджень здійснено модернізацію сівалки, культиватора та збиральних машин для виробництва буряків з комбінованою шириною міжрядь, розроблено поверхні робочих органів ґрунтообробного знаряддя і шнеків-гелікоїдів дискового копача. Новизна технічних рішень захищена 5-ма патентами.

Теоретико-експериментальні результати дисертаційної роботи, що викладені у авторській монографії «Технологічний комплекс машин для виробництва буряків цукрових: ширина міжрядь. Теорія, моделювання, результати випробувань». – К. : «Центр учбової літератури», 2015. – 220 с., впроваджено у навчальному процесі НУБіП України при вивченні курсу «Сільськогосподарські машини».

Ключові слова: технічний засіб, технологічний процес, математичне моделювання, моделі імітаційні, агентні, регресійні, геометричні; буряки цукрові, польова схожість насіння, рівномірність, густота стояння рослин, комбіновані міжряддя.

ANNOTATION

Volokha M. P. Modeling of mechanized technological processes of sugar beet growing and harvesting. - Qualifying scientific work on the rights of a manuscript.

Thesis for obtaining a scientific degree of Doctor of Technical Sciences in specialty 05.05.11 "Machines and means of mechanization of agricultural production". – National Aviation University, Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet.

National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine. Kyiv, 2020.

The thesis is devoted to solving the actual national economic task of productivity increase of sugar beet roots, which are a single domestic sugar raw material. The task is solved by defining and justifying of optimal parameters of complex technological processes and technical means. It is used a

comprehensive approach to the evaluation and modeling of technological processes. In particular, it is used statistical simulation, which gives an opportunity to determine the technological variables, their relationships, to determine technical and economic indicators, to assess their impact on beet yield, to adjust the direction of improvement of technical and technological bases of beet production.

The thesis also solves an important problem of improving the quality of sugar raw materials by reducing the contamination of root crops when harvesting a crop under unfavorable agro-technical conditions, during a long factory preservation of excessively damaged and contaminated land or with residues of hips and weeds of root crops, the conditions of raw materials deteriorate considerably due to the defeat of guilty rot and cause loss of sugar grows 5-7 times.

As a result of the conducted researches, it was established that among a number of agrotechnical indicators, which characterize sugar beet yield the most important are: depth of seed placement and the size of the lumps fraction of the loose surface layer of the soil above it equability of the intervals between the seeds along the line. The quality indicators of beetroot primary cleaning from the soil and plant residues essentially depend on the type of digger purifier. Especially it is crucial while harvesting machines are working on hard soils, and a large number of fertile soils and green mass arrive to the beet-receiving plants alongside with the beetroot crops.

It is proved that among modern machines for reseeding soil cultivation, the highest field seed germination is provided by Compactor (Germany) joined with a tractor T-150K. However, this aggregate has more than two times lower productivity comparing with domestic single-phase ARV-8,1-01 or ARV-8,1-02, aggregated with a propellant tractor KhTZ-121, and needs two times more fuel. The best techno-economic indicators are provided by the unit KhTZ-121 + ARV-8,1-02. It unit has lowest fuel consumption and efficiency increases to 10 hectares / hour. Due to such characteristics the seeding works are carried out at

much shorter terms, the level of seeds germinating increases and, consequence, sugar beetroot yield also increases.

The combined unit consisting of attachments to the front and rear attachments of the tractor KhTZ-121 equipped by ARV-8,1-01 and ARV-8,1-02, comparing with the Compactor with the same operating speed (7,5 km / h), gives a productivity equal to 2.2 hectares / hour and consumes less fuel on 1.7 kg/hectare.

It has been experimentally defined out that the developed geometric model of the working surface of the harrowing roller is not worse than cultivator USMK-5,4B according to agricultural requirements. Moreover in circumstances of normal density and low soil moisture developed unit is better and it leads to increasing of seeds germinating.

Based on grate number of generalized results and the conducted theoretical and experimental studies, it has been determined that sowing is the most important technological process of sugar beet cultivation, which ensures the evenness of seeding along the length and it ultimately determines the yield level.

Laboratory and field experiments showed that, domestic pneumatic seed planter (UPS-12 – 49,1 %) and especially German ("Multikorn" – 41,9%) have a significant advantage against mechanical seed planter (SST-12V – 69,2 %) comparing the coefficient of seeding variation along the line.

The analysis of regression models of the main technological factors concerning the accuracy of the seed placement in the sowing process showed that the extremum of the variation coefficient is within the operating speed of the seeding-machine $Y = 1,2 \dots 1,4$ m / s and the seed application rate is equal to $N = 7 \dots 8$ unites/metre. Extreme value of the coefficient if $Y = 1.35$ m/s, is equal to $N = 7,4$ unites/metre.

Theoretically proved and experimentally confirmed that the flight range of a seed that falls from the cell of the sowing disk of the seeding machine depends directly on the initial velocity and inversely proportional to the angle of

inclination of its vector to the horizon. Therefore, in order to improve the equability of the intervals between the seeds along the line while preparing for sowing, calibrations should be carried out not only in size but also in mass within a single fraction.

Based on the set of generalized results of theoretical and experimental researches, a new concept of integrated technology agent simulation of beet production was developed. It is proved that agent simulation models are appropriate for researching and tendencies forecasting of complex technological processes on different levels. The obvious advantage of agent simulation is the possibility of simultaneous factors incorporation of different levels - from interaction at the micro level to the influence of global processes.

The basic principles of statistical agents of simulation models construction in beetroot production are determined.

The two-level concept of sugar beet cultivation modeling was developed. The agent-simulation model of twin technological process of preseeding tillage and sowing was constructed.

Generated for solving the optimization problem of the multicriterion problem of ensuring the maximum similarity of the seeds on the basis of the configuration method, which is implemented by calculating the values of the parameters of the mechanized process, depending on the uncontrolled environmental factors. (humidity, hardness of the ground, mass characteristics of the seed), where the interacting agents of the simulation model "soil", "seed" and "aggregate", with basic output parameters (deviations from the average depth of soil cultivation, the content of small lumps, laboratory seed germination, mass, trap width, working speed of aggregates, engine power, fuel consumption), which is the source of information for one optimization cycle.

An algorithm for solving an optimization multi-criterion problem for obtaining maximum field seed germination based on the method of deformed configurations is developed.

The models of auger of a digging wheel were developed. The experiments have shown that swapping skew helicoid and ordinary helicoid on hard soil (above 3.5 MPa), the number of earth lumps with a diameter of more than 50 mm in the case of using experimental helicoids is significantly decreased in both variants (straight, inclined) and in control (12, 3 %, 16.9 % vs. 19.8 % for HIP05 = 2.5 %). In case is the hardness of the soil is 4.0-4.5 MPa, the contamination by lumps decreased almost twice (17.9 %, 18.5 % vs. 35.7 %). Indices of the green mass impurities and the number of damaged root crops with average soil hardness (2.5-3.0 MPa) are the lowest (1.7 % and 4.3 % respectively) in case of using a skew helicoid auger, it is significantly lower than control over the green mass index (6.9 %, HIP05 = 3.4 %). In case of the increased hardness of the soil (4.0-4.5 MPa), the mass of damaged root crops by the beater cleaner reached 29.6 %, while the skew helicoid provided a decrease of 21.1 % and a direct helicoid provided a decrease to 23.6 % (HIP05 = 2.7 %).

The technology of sowing, cultivation and harvesting of beet sugar was designed, tested and implemented. This technology presumes the combination of the main (30 cm) and technological (45 cm) spaces between rows according to the scheme 4 (3×30 cm + 1×45 cm) based on experimental technological models of modernized domestic machinery.

The industrial experiments have proved that the advantage of the proposed method of production is the possibility of forming the optimum plant density (100-110 thousand units/hectare) with a rational placement of them at the field and nutrient floor of each plant close to optimal. Using combined spaces between rows of sugar beet crops, the area of the leaf surface is much more intense, especially at the beginning of the second half of the vegetation. It is defined that during this period and until the end of the vegetation, due to the increase in the productivity of photosynthesis, there is a significant increase of dry weight compared with the usual lines of growth. Thus, using combined spaces between rows, the biological yield of beet sugar is significantly increased, it gives an opportunity to yield from 5.0 to 6.0 tons of beetroots with

a uniform mass and an increase of 0.4-0.6 points with sugar content from each hectare.

The economic efficiency of agile modern mechanized technologies for sugar beet cultivation and harvesting was defined on the basis of the level of direct operating costs per unit area and per unit of production and on the labor costs structure depending on the involved complex of machines. It was defined that, in case of implementation technologies based on new domestic and foreign machines direct operating costs per unit area in comparison with the traditional technology (21503 UAH) increased due to additional costs for the purchase of technology and materials and was equal to 22749 and 38016 UAH (measured in 2015 year).

However, due to an increase in yields (from 37 tone/hectare to 63 tone/hectare), direct operating costs per unit of output declined, primarily due to a significant reduction in labor costs (from 131 man-hours/hectare – according to traditional domestic technology based on serial machinery and up to 26 man-hours/hectare – for technology on the basis of foreign cars).

The research results were implemented in the Bila Tserkva DSS (the act of implementation of the completed R&D from 16.11. 2014), PJSC "BOREX" (implementation act as of 14.09.2015), DPDG "Shevchenkivske", Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet (certificate on implementation from 10.12.2015).

Based on conducted analytical and experimental researches, modernization of the seeding machine, cultivator and harvesting machines for the production of beets with combined spaces between rows were performed. The surfaces of the working bodies of the tillage implemented and the helicoids of a digging wheel were developed. The novelty of technical solutions is protected by 7 patents.

Theoretical and experimental results of the thesis, presented in the author's monograph "Technological complex of machines for sugar beet production: width of spaces between rows. Theory, modeling, test results ". – K. : "Center for Educational Literature", 2015–2020 pp., Implemented in the educational process of

Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet of Ukraine during the study of the Agricultural Machines.

Keywords: technological process, technical means, mathematical modeling, geometric models, regression models, simulation models, agent models; sugar beet, field seed germination, uniformity, plant density, combined spaces between rows.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Монографія

1. Волоха М. П. Технологічний комплекс машин для виробництва буряків цукрових: ширина міжрядь. Теорія, моделювання, результати випробувань. К.: «Центр учбової літератури». 2015. 220 с.

Статті у наукових фахових виданнях України

2. Войтюк П. О., Гречка В. В., **Волоха М. П.** Класифікація техніки для однофазного способу збирання цукрових буряків. Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства України. 2000. Вип. 3 (17). С. 79–90. *(Здобувачем здійснено аналіз конструктивно-технологічних рішень сучасних гичкорізів і копачів щодо можливостей їх застосування за умов звуження та комбінування ширини міжрядь).*

3. **Волоха М.**, Войтюк П., Гречка В. Машинне забезпечення валкової технології збирання цукрових буряків. Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства України. 2001. Вип. 4 (18). С. 59–67. *(Здобувачем обґрунтовано потужність валка коренеплодів в залежності від рядності збиральних машин і урожайності коренеплодів).*

4. **Волоха М. П.**, Юрчук В. П. Визначення параметрів коливань коренеплодів при їх викопуванні. Наукові нотатки. 2008. Вип. 23. С. 394–401. *(Здобувачем проведено теоретико-експериментальні дослідження з визначення зусилля на руйнування зв'язків коренеплода з ґрунтом).*

5. Волоха М. П. Моделювання технологічних процесів підготовки ґрунту і насіння до сівби цукрових буряків. Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. 2013. Вип. 43. Ч. I. С. 246–252.

6. Волоха М. П. Подолання багатокритеріальності при моделюванні технологічних процесів вирощування цукрових буряків. Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства України. 2014. Вип. 18 (32). Кн. 2. С. 237–243.

7. **Волоха М. П.,** Осійчук В. С. Експериментальні дослідження якості роботи нової поверхні шнека копача коренеплодів цукрових буряків. Вісник Інженерної академії України. 2014. № 2. С. 149–152. *(Здобувачем розроблено поверхні гелікоїдальних шнеків).*

8. Волоха М. П. Модернізація комплексу серійних машин для виробництва буряків цукрових з комбінованою шириною міжрядь. Вісник Інженерної академії України. 2016. № 2. С. 33–36.

9. Волоха М. До створення агентно-імітаційної моделі технологічного процесу передпосівного обробітку ґрунту і сівби буряків цукрових. Техніка і технології АПК. 2018. № 7. С. 8–11.

10. Волоха М. П. Тенденції розвитку і можливості застосування сучасних гичкорізів і копачів для збирання буряків цукрових при звужених міжряддях. Вісник Інженерної академії України. 2018. Вип. 1. С. 208–212.

11. Волоха М. Алгоритмічний опис двоєдиного технологічного процесу підготовки ґрунту і сівби буряків цукрових. Техніка і технології АПК. 2018. № 8. С. 17–21.

Статті у наукових фахових виданнях України,

включених до міжнародних наукометричних баз даних

12. **Volokha M.,** Boldyrieva L. Modeling sugar beet production technology. Вісник Національного авіаційного університету. 2014. Т. 61.

№ 4. С. 133–139. *(Здобувачем розроблено засадничі умови імітаційного моделювання механізованих технологічних процесів буряківництва).*

13. Волоха М. П. Дослідження технологічного процесу підготовки ґрунту до сівби буряків цукрових сучасними агрегатами. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: Техніка та енергетика АПК. 2015. Вип. 226. С. 349–355.

14. Волоха М. П. Імітаційне моделювання технологічних процесів виробництва буряків цукрових. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: Техніка та енергетика АПК. 2016. Вип. 251. С. 204–214.

15. Волоха М. П. Вплив експлуатаційно-технологічних факторів на точність сівби буряків цукрових. Наукові доповіді Національного університету біоресурсів і природокористування України. 2016. № 3 (60). URL: <http://journals.nubip.edu.ua/index.php/Dopovidi/article/view/6847>.

16. **Волоха М. П.,** Дорошенко Ю. О. Дослідження процесу висіву насіння буряка цукрового сівалками пневматичного типу. Наукові доповіді Національного університету біоресурсів і природокористування України. 2016. № 6 (63).

URL: <http://journals.nubip.edu.ua/index.php/Dopovidi/article/view/7564/7285>.
(Здобувачем розроблено і досліджено математичну модель дальності падіння насінини при її висіві).

17. Волоха М. П. Аналіз технологічної ефективності процесу вирощування буряків цукрових на основі методу моделювання. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: Техніка та енергетика АПК. 2018. Вип. 296. С. 89–94.

18. Волоха М. П. Дослідження показників розміщення сходів цукрових буряків за висіву насіння механічними і пневматичними сівалками. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: Техніка та енергетика АПК. 2018. Вип. 297. С. 153–158.

19. Волоха М. П. Агентне імітаційне моделювання механізованих технологічних процесів вирощування буряків цукрових. Наукові доповіді Національного університету біоресурсів і природокористування України. 2018. № 3 (73). URL: <http://journals.nubip.edu.ua/index.php/Dopovidi/article/view/10949/9581>.

20. Волоха М. П. Підвищення якості цукросировини шляхом інтенсифікації очищення коренеплодів при їх викопуванні. Наукові горизонти. 2020. № 9 (94). С. 18–24.

Статті у наукових виданнях інших держав

21. Волоха Н. П. Разрушение связей корнеплодов с почвой при вибрационном их подкапывании. Техника в сельском хозяйстве. 1990. № 5. С. 33–35.

22. Борисюк В. А., Зуев Н. М., **Волоха Н. П.** Возделывание сахарной свеклы с узкими междурядьями. Сахарная свекла. 1990. № 2. С. 27–31. *(Здобувачем запропоновано схему комбінування міжрядь $3 \times 30 \text{ см} + 1 \times 45 \text{ см}$ в одному блоці).*

23. **Волоха Н. П.**, Клауснитцер Томас. Производственное испытание сеялки «Мультикорн». Сахарная свекла. 1993. № 3. С. 29–30. *(Здобувачем проведено порівняльні експериментальні дослідження оригінальної пневмосівалки німецького виробництва та математична обробка даних).*

24. **Волоха Н. П.**, Склярєнко А. Т. Проверка технологии. Сахарная свекла. 1993. № 3. С. 28–29. *(Здобувачем проведено апробацію багаторазового посходового внесення гербіцидів за рекомендаціями фірми Schering).*

25. **Волоха Н. П.**, Погребняк С. П. От чего зависит качество уборки. Сахарная свекла. 1995. № 8. С. 14–17. *(Здобувачем досліджено показники якості роботи вітчизняних збиральних машин у польових виробничих умовах).*

26. **Волоха Н. П.**, Войтюк П. А. Оценка работы немецких уборочных машин. Сахарная свекла. 1998. № 9. С. 18–19. *(Здобувачем проведено експериментальні польові дослідження техніко-технологічних показників самохідного комбайна SF-10 фірми F. Kleine).*

27. **Волоха Н. П.**, Погребняк С. П. Опыт применения комбайна М-41 фирмы «Матро». Сахарная свекла. 1998. № 9. С. 20–21. *(Здобувачем проведено експериментальні польові дослідження технологічних показників процесу збирання самохідного комбайна М-41 фірми Matro).*

28. Погребняк С. П., **Волоха М. П.**, Захарова В. В., Гринюк В. П. Энергосберегающая интенсивная технология. Сахарная свекла. 2000. № 2. С. 14–16. *(Здобувачем проведено теоретико-експериментальні дослідження серійних і нових вітчизняних агрегатів КОЗР-5,4 для міжрядного обробітку).*

29. **Волоха М. П.**, Погребняк С. П., Войтюк П. А. Агрегат для предпосевной обработки почвы. Сахарная свекла. 2000. № 4–5. С. 26–27. *(Здобувачем розроблено конструктивно-технологічні рішення, проведено експериментальні дослідження нових вітчизняних агрегатів АРВ-8,1-01(02) для ранньовесняного і передпосівного обробітку ґрунту).*

30. Volokha M. Tillage Tool Modeling for Soil Loosening Before Sugar Beet Seeding. TEKA. An International Quarterly Journal on Motorization, Vehicle Operation, Energy Efficiency and Mechanical Engineering. 2018. Vol. 18. No 2. P. 43–49.

31. Volokha M. Model of Trajectory of Falling Seed When Sowing Sugar Beet by Pneumatic Seeder. TEKA. An International Quarterly Journal on Motorization, Vehicle Operation, Energy Efficiency and Mechanical Engineering. 2018. Vol. 18. No 3. P. 73–79.

32. **Volokha M.**, Roik M. Simulation Modeling of Sugar Beet Sowing. Polish Journal of Science. 2020. Vol. 20. No 26. P. 43–48. *(Здобувачем запропоновано вирішувати задачу оптимізації параметрів моделі в додатку Microsoft Solver Foundation).*

Статті в інших наукових виданнях

33. Борисюк В. А., Зуев Н. М., **Волоха Н. П.**, Паламарчук В. И. Возделывание сахарной свеклы при комбинированной ширине междурядий. Механизация технологических процессов в свекловодстве. 1994. С. 3–16. *(Здобувачем розроблено комплекс машин для реалізації нового способу вирощування і збирання буряків цукрових з поєднанням основних (30 см) і технологічних (45 см) міжрядь за схемою (3×30 см+1×45 см) в одному захваті 16-рядного посівного агрегату і культиватора для міжрядного обробітку та 8-рядних машин для роздільного збирання гички і коренеплодів).*

34. **Волоха М. П.**, Погребняк С. П. Проведення передпосівного обробітку ґрунту з найменшими енерговитратами. Цукрові буряки. 1998. № 3. С. 21–22. *(Здобувачем проведено дослідження показників енерговитрат АРВ-8,1-01(02) за різних варіантів агрегування).*

35. **Волоха М. П.**, Войтюк П. О. Швидкість руху сівалки, норма висіву і точність розміщення насіння. Цукрові буряки. 1999. № 3. С. 12–13. *(Здобувачем встановлено регресійні залежності коефіцієнта варіації розміщення насіння вздовж рядка від робочої швидкості сівалки і норми висіву).*

36. Погребняк С. П., Ермантраут Е. Р., **Волоха М. П.**, Войтюк П. О., Гречка В. В. Наш вибір – вітчизняна технологія. Цукрові буряки. 2000. № 1. С. 13–15. *(Здобувачем розроблено технологічні карти збиральних операцій).*

37. Роїк М. В., **Волоха М. П.**, Войтюк П. О., Фурса А. В. Ефективність механізованих технологій вирощування та збирання цукрових буряків. Вісник аграрної науки. 2000. № 4. С. 43–46. *(Здобувачем теоретично обґрунтовано вибір серійних, нових вітчизняних і зарубіжних машин для порівняння технологій).*

38. **Волоха М. П.**, Войтюк П. О., Іванчук М. І. Вчасно визначитись з технікою для збирання. Цукрові буряки. 2001. № 4. С. 16–17. *(Здобувачем*

обґрунтовано параметри копачів і гичкорізів для комбінованих міжрядь та розпушувачів ґрунту перед сівбою).

39. **Волоха М. П.**, Войтюк П. О., Бойченко С. Ф. Переваги сівалки УПС-12. Цукрові буряки. 2003. № 3 (33). С. 22–23. *(Здобувачем проведено теоретичні та експериментальні дослідження, що вказують на переваги пневматичної сівалки УПС-12 перед механічними).*

40. Курило В. Л., **Волоха М. П.**, Войтюк П. О. Удосконалення технологій вирощування і збирання цукрових буряків. Цукрові буряки. 2005. № 5 (47). С. 20–21. *(Здобувачем запропоновано удосконалення технології за рахунок застосування менш енерго-металомістких машин).*

41. Юрчук В. П., **Волоха М. П.**, Волоха В. М. Аналіз геометричних моделей робочих поверхонь копачів коренезбиральних машин. Праці Таврійської державної агротехнічної академії. Прикладна геометрія та інженерна графіка. 2005. Вип. 4. Т. 30. С. 41–46. *(Здобувачем здійснено класифікацію і аналіз поверхонь робочих органів машин для викопування коренеплодів).*

42. Вовк Я. Ю., Сало Я. М., Думич В. В., Курило В. Л., **Волоха М. П.** Впровадження нової бурякозбиральної техніки – шлях підвищення рентабельності виробництва. Цукрові буряки. 2005. № 6 (48). С. 17–19. *(Здобувачем на основі аналізу показників питомої витрати палива доведено переваги технологій, при яких не застосовується технологічний транспорт).*

43. **Волоха М. П.**, Юрчук В. П., Болдирєва Л. В. Геометричне моделювання поверхонь гичкорізів і копачів коренезбиральних машин. Праці Таврійської державної агротехнічної академії. Прикладна геометрія та інженерна графіка. 2012. Вип. 4. Т. 54. С. 32–37. *(Здобувачем розроблено поверхні копачів з використанням методів геометричного моделювання).*

44. Волоха М. П. Принципи моделювання технологічних процесів виробництва цукрових буряків. Проблеми екологічної біотехнології. 2013.

№ 2. URL: <http://ecobio.nau.edu.ua/index.php/ecobiotech/article/view/5503/6215>.

45. **Волоха М. П.**, Балан В. М. Розробка технологічного комплексу машин для виробництва цукрових буряків з комбінованою шириною міжрядь. Збірник наукових праць Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН. 2014. Вип. 22. С. 149–157. *(Здобувачем розроблена технологічна схема комбінування міжрядь з урахуванням можливостей «вписування» робочих органів машин при проведенні сівби, міжрядних обробітків і збирання урожаю).*

46. Волоха М. Збереження родючості ґрунтів за рахунок інтенсифікації первинного очищення коренеплодів буряків цукрових. Техніка і технології АПК. 2016. № 5 (80). С. 11–13.

47. Волоха М. Тенденції розвитку і можливості застосування сучасних гичкорізів і копачів для збирання буряків цукрових при звужених міжряддях. Техніка і технології АПК. 2016. № 7 (82). С. 20–23.

48. Балан В. М., Балагура О. В., **Волоха М. П.** Адаптивна технологія вирощування маточників і насінників буряків кормових. Біоенергетика. 2020. № 1 (15). С. 21–23. *(Здобувачем встановлено, що вихід маточників залежить від повноти і рівномірності розміщення сходів).*

49. Volokha M. Effect of row spacing on photosynthetic productivity in sugar beet. Проблеми екологічної біотехнології. 2016. № 1. URL: <http://ecobio.nau.edu.ua/index.php/ecobiotech/article/view/5503/16391>.

50. Балагура О. В., Балан В. М., Цвей Я. П., **Волоха М. П.** Наукові основи адаптивної технології вирощування буряків цукрових. Цукрові буряки. 2018. № 3 (119). С. 10–13. *(Здобувачем досліджено, що адаптивна технологія, яка базується на застосуванні вітчизняних машин і просапних тракторів ХТЗ-121 (ХТЗ-16131), є найдешевшою за показниками прямих експлуатаційних витрат).*

51. Балагура О. В., Балан В. М., **Волоха М. П.** Реалізація біологічного потенціалу буряків цукрових. Збірник наукових праць Уманського національного університету садівництва. 2018. Вип. 93. Ч. I. С. 56–70. *(Здобувачем доведено, що передумовою отримання найвищого за 2013–2015 рр. річного економічного ефекту є реалізація біологічного потенціалу буряків цукрових за адаптивною технологією).*

52. Балан В. М., Балагура О. В., **Волоха М. П.** Прогнозування польової схожості насіння буряків цукрових та кормових. Біоенергетика. 2019. № 2 (14). С. 33–35. *(Здобувачем досліджено вплив польової схожості насіння на рівномірність розміщення сходів).*

53. Balagura O. V., Balan V. M., **Volokha M. P.** Прискорене розмноження сортів і гібридів буряків кормових. Наукові доповіді Національного університету біоресурсів і природокористування України. 2019. № 5(81).

URL: <http://journals.nubip.edu.ua/index.php/Dopovidi/article/view/13269>. *(Здобувачем розроблено пристрій до сівалки ССТ-12Б, який забезпечує одночасне сортування базисного насіння за питомою масою в межах однієї фракції).*

Патент України на винахід

54. Борисюк В. О., Зуєв М. М., **Волоха М. П.**, Паламарчук В. І., Маковецький О. А. Патент на винахід № 5132 Україна, МПК А01 В79/02, А01 С7/00. Спосіб вирощування цукрових буряків; заявник та власник Інститут цукрових буряків УААН; № 4720953/811; заявлено 19.07.1989; опубліковано 28.12.1994; Бюл. № 7. *(Здобувачем розроблено комплекс машин для реалізації способу, що поєднує міжряддя 30 і 45 см за схемою $3 \times 30 \text{ см} + 1 \times 45 \text{ см}$ в одному захваті 16-рядного посівного агрегата і культиватора для міжрядного обробітку та 8-рядних машин для роздільного збирання гички і коренеплодів).*

Деклараційний патент на винахід

55. Роїк М. В., Войтюк П. О., **Волоха М. П.** Деклараційний патент на винахід № 55133А Україна, МПК 7A01C1/00. Пристрій для підготовки насіння до сівби; заявник та власник Інститут цукрових буряків УААН; № 2002075487; заявлено 04.07.2002; опубліковано 17.03.2003; Бюл. № 3. *(Здобувачем розроблено конструкційно-технологічне рішення транспортера з ємностями для фіксації насінин визначеної маси).*

Патенти на корисну модель

56. Юрчук В. П., **Волоха М. П.**, Волоха В. М., Болдирєва Л. В. Патент на корисну модель №47743 Україна, МПК (2009), B08B 9/00; Робочий орган ґрунтообробного знаряддя (диск); заявник та власник Національний авіаційний університет; № и 200908002; заявлено 29.07.2009; опубліковано 25.02.2010; Бюл. № 4. *(Здобувачем розроблено різальний периметр долотоподібного зуба-розпушувача у формі рівнобічної трапеції).*

57. Юрчук В. П., **Волоха М. П.**, Башта О. Т., Волоха В. М., Болдирєва Л. В. Патент на корисну модель № 59726 Україна, МПК A01D 25/04 (2006.1). Робочий орган для викопування коренеплодів; заявник та власник Національний авіаційний університет; № и 201013625; заявлено 16.11.2010; опубліковано 25.05.2011; Бюл. № 10. *(Здобувачем запропоновано зменшувати крок гвинтової навівки транспортуючого шнека дискового копача в напрямку від центра до периферії дисків).*

58. Дорошенко Ю. О., **Волоха М. П.**, Волоха В. М., Болдирєва Л. В. Патент на корисну модель № 78042 Україна, МПК (2013.01) A01D 25/00. Копач для коренеплодів; заявник та власник Національний авіаційний університет; № и 01208785; заявлено 17.07.2012; опубліковано 11.03.2013; Бюл. № 5. *(Здобувачем обґрунтовано робочу поверхню шнека копача у формі похилого гелікоїда).*

59. Балан В. М., Цвей Я. П., **Волоха М. П.** Патент на корисну модель № 126253 Україна, МПК А01В 79/02 (2006.01). Спосіб адаптивної технології вирощування буряків цукрових; заявник та власник Інститут біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН; № у 201800218; заявлено 09.01.2018; опубліковано 11.06.2018; Бюл. № 11. *(Здобувачем досліджено, що за умови фізичної стиглості ґрунту за один прохід агрегата у складі АРВ-8,1-0,1/0,2/ + ХТЗ-121 + УПС-12 виконується передпосівний обробіток ґрунту і сівба на кінцеву густоту стояння).*

60. Балан В. М., Кулік О. Г., Рибак В. О., Змієвський В. М., **Волоха М. П.** Патент на корисну модель № 131594 Україна, МПК А01Н 1/04 (2006.01). Спосіб попередньої оцінки і відбору селекційних номерів буряків цукрових за господарсько цінними ознаками: врожайності і цукристості коренеплодів; заявник та власник Інститут біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН; № у 201807295; заявлено 27.06.2018; опубліковано 25.01.2019; Бюл. № 2. *(Здобувачем розроблено теоретичні передумови додаткового передпосівного розділення насіння за питомою масою).*

61. Балан В. М., Доронін В. А., Балагура О. В., **Волоха М. П.** Патент на корисну модель № 138627 Україна, МПК А01С 7/00 А01Н 1/04 (2006.01). Спосіб прискореного розмноження чоловічо-стерильних (ЧС) гібридів буряків цукрових (висадкова модель); заявник та власник Інститут біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН; № у 201904442; заявлено 24.04.2019; опубліковано 10.12.2019; Бюл. № 23. *(Здобувачем розроблено пристрій для додаткового передпосівного розділення насіння за масою в межах однієї фракції).*

Методичні рекомендації

62. Погребняк С. П., **Волоха М. П.**, Мацевецька Н. М. та ін. Методичні рекомендації по вивченню інтенсивних технологій виробництва цукрових буряків по зонах вирощування України. К., 1995. 33 с.

(Здобувачем розроблено рекомендації з особливостей технологічних регулювань збиральних машин відповідно до умов конкретної зони).

63. Погребняк С. П., Захарова В. В., **Волоха М. П.** та ін. Методичні рекомендації з освоєння наукових розробок інституту цукрових буряків у районних центрах України. К., 1999. 41 с. *(Здобувачем розроблено рекомендації з наладки машин).*

64. Роїк М. В., Іващенко О. О., Саблук В. Т., **Волоха М. П.** та ін. Методичні рекомендації з апробації «Технологія вирощування цукрових буряків, адаптована до ґрунтово-кліматичних умов зон бурякосіяння України». К., 2001. 29 с. *(Здобувачем розроблено рекомендації з технологічної наладки машин відповідно до стану ґрунту і агрофону поля).*

65. Цвей Я. П., **Волоха М. П.**, Власенко В. С., Бондар С. О. та ін. Рекомендації по енергозберігаючих способах обробітку ґрунту в технологіях вирощування сільськогосподарських культур. К., 2018. 27 с. *(Здобувачем досліджені показники енергозбереження залежно від культури та способу обробітку ґрунту).*

66. Цвей Я. П., **Волоха М. П.**, Бондар С. О., Кисилевська М. О. та ін. Агротехнічні заходи підвищення продуктивності біоенергетичних культур для виробництва біопалива. К., ІБКіЦБ НААН. 2018. 28 с. *(Здобувачем здійснено розробку способів на базі зарубіжних і нових вітчизняних агрегатів).*

Тези наукових доповідей

67. **Волоха М. П.**, Болдирєва Л. В. До методів проектування ґрунто-обробних органів сільськогосподарських машин. Новітні ком'ютерні технології: VIII Международная научно-техническая конференция, г. Киев, г. Севастополь, 14–17 сентября 2010 года: тези доповіді. Севастополь. 2010. С. 183–184. *(Здобувачем здійснено аналіз методів геометричного проектування).*

68. **Волоха М. П.,** Болдирєва Л. В. Моделювання процесу розпушування ґрунту ребром дискового робочого органу. Геометричне моделювання, комп'ютерні технології та дизайн: теорія, практика, освіта: VII Міжнародна науково-практична конференція, м. Київ, 3–6 травня 2011 року: тези доповіді. Ужгород. 2011. Вип. 87. С. 94–98. *(Здобувачем розроблено теоретичні основи проникнення розпушувача в поверхневий шар ґрунту).*

69. **Волоха М. П.,** Болдирєва Л. В. Вплив ступеня кришіння ґрунту на енерговитрати знаряддя зубчастого типу. Моделювання об'єктів, процесів та систем: Міжнародна науково-практична конференція, м. Київ, 24–25 травня 2011 року: тези доповіді. К., 2011. С. 44–46. *(Здобувачем визначено вплив форми різального периметра зуба на ступінь кришіння поверхневого шару ґрунту).*

70. **Волоха М. П.,** Болдирєва Л. В. Удосконалення поверхні транспортуючого шнека дискового копача коренезбиральних машин. Геометричне та комп'ютерне моделювання: енергозбереження, екологія, дизайн: VIII Міжнародна Кримська науково-практична конференція, м. Київ, м. Сімферополь, 26–30 вересня 2011 року: тези доповіді. Сімферополь. 2011. Вип. 2. С. 53–55. *(Здобувачем обґрунтовано гелікоїдальну форму робочої поверхні шнека-очисника дискового копача).*

71. Волоха М. П. Математичне моделювання траєкторії руху насінини. Архітектура та екологія, проблеми міського середовища: IV Міжнародна науково-практична конференція, м. Київ, 27–28 листопада 2012 року: тези доповіді. К., 2012. С. 6–7.

72. **Volokha Mykola,** Boldyrieva Larisa. Modeling of the working surface form of the topsoil loosener. Наука-будущее Литвы: 16-я Международная конференция молодых ученых, г. Вильнюс, Литва, 8 мая 2013 года: тезисы доклада. Вильнюс. 2013. Вып. 16. С. 208–214. *(Здобувачем проведено аналіз різних за формою типів розпушувачів на*

основі чого запропоновано долоноподібний зуб з трапецеїдальним перерізом).

73. **Волоха М. П.,** Дорошенко Ю. О. Оптимізація схеми сівби цукрових буряків відповідно до задіяного технологічного комплексу машин. Сучасні проблеми геометричного моделювання: XV Міжнародна науково-практична конференція, м. Мелітополь, 4–7 червня 2013 року: тези доповіді. Мелітополь. 2013. Вип. 4. Т. 57. С. 35–44. *(Здобувачем розроблено схеми сівби з одночасним врахуванням можливостей механізації технологічних процесів і оптимізації площі живлення рослин).*

74. **Волоха М. П.,** Дорошенко Ю. О. Екологічні аспекти моделювання копачів машин для збирання коренеплодів цукрових буряків. Архітектура та екологія: V Міжнародна науково-практична конференція, м. Київ, 29–30 жовтня 2013 року: тези доповіді. К., 2013. Ч. II. С. 183–187. *(Здобувачем зроблено висновок про приховану екологічну проблему, пов'язану з вивозом на завод неочищеного від землі вороху коренеплодів).*

75. **Волоха М. П.,** Балан В. М. Розробка технологічного комплексу машин для виробництва цукрових буряків з комбінованою шириною міжрядь. Методика, механізація, автоматизація та комп'ютеризація досліджень у землеробстві, рослинництві, садівництві та овочівництві: Міжнародна наукова інтернет-конференція, м. Київ, 17 червня 2014 року: тези доповіді. К., 2014. Вип. 22. С. 149–157. *(Здобувачем розроблено і апробовано у виробництві комплекс машин для впровадження технології з комбінованими міжряддями, яка забезпечує збільшення врожайності на 5,6–6,0 т/га).*

76. **Волоха М. П.,** Дорошенко Ю. О. Моделювання двоєдиного технологічного процесу передпосівного обробітку ґрунту і сівби буряків цукрових. ABIA–2015: XII Міжнародна науково-технічна конференція, м. Київ, 28–29 квітня 2015 року: тези доповіді. К., 2015. С. 4.22–4.27. *(Здобувачем розроблена агентна імітаційна модель двоєдиного технологічного процесу передпосівного обробітку ґрунту і сівби).*

77. Волоха М. П. Дослідження технологічного процесу підготовки ґрунту до сівби буряків цукрових сучасними агрегатами. Сучасні проблеми землеробської механіки: XVI Міжнародна наукова конференція, присвячена 115-річниці з дня народження академіка Петра Мефодійовича Василенка, м. Київ, 17–18 жовтня 2015 року: тези доповіді. К., 2015. С. 111–115.

78. **Волоха М. П.**, Дорошенко Ю. О. Збереження родючості ґрунтів за рахунок інтенсифікації первинного очищення коренеплодів буряків цукрових. Архітектура та екологія: VII Міжнародна науково-практична конференція, м. Київ, 16–18 листопада 2015 року: тези доповіді. К., 2015. С. 40–44. *(Здобувачем доведено, що очищення коренеплодів у полі під час їх викопування є складовою вирішення проблеми збереження родючих ґрунтів).*

79. Волоха М. П. Вплив взаємодії основних технологічних факторів на точність розміщення насіння буряків при сівбі. Технічний прогрес у тваринництві та кормовиробництві: IV науково-технічна конференція, смт Глеваха, 14–20 грудня 2015 року: тези доповіді. Глеваха, 2016. С. 25–28.

80. Волоха М. П. Адаптована агентна імітаційна модель технологічних процесів і технічних засобів вирощування буряків цукрових. АВІА–2017: XIII Міжнародна науково-технічна конференція, м. Київ, 19–21 квітня 2017 року: тези доповіді. К., 2017. С. 4.13–4.18.

81. Волоха М. П. Базові засади створення алгоритму імітаційної моделі технологічних процесів виробництва буряків цукрових. КЗЯТПС–2017: VII Міжнародна науково-практична конференція, м. Чернігів, 24–27 квітня 2017 року: тези доповіді. Чернігів. 2017. Т. 2. С. 132–135.

82. **Волоха М.**, Балан В. Виробнича перевірка технології вирощування буряків цукрових на базі вітчизняних машин, агрегованих з просапними тракторами ХТЗ. Сучасні проблеми землеробської механіки: XVIII Міжнародна наукова конференція, присвячена 117-річниці з дня

народження академіка Петра Мефодійовича Василенка, м. Кам'янець Подільський, 16–18 жовтня 2017 року: тези доповіді. Кам'янець Подільський. 2017. С. 42–45. *(Здобувачем проведено виробничу перевірку технології на базі вітчизняних машин).*

83. Волоха М. Агентне імітаційне моделювання технологічних процесів вирощування буряків цукрових. Цілі сталого розвитку третього тисячоліття: виклики для університетів наук про життя: Міжнародна науково-практична конференція, м. Київ, 23–25 травня 2018 року: тези доповіді. К., 2018. Т. 5. С. 150–151.

84. **Волоха М. П.,** Дорошенко Ю. О. Формотворення робочої поверхні шнека-очисника дискового копача коренеплодів. Обуховські читання: XIV Міжнародна науково-практична конференція, м. Київ, 29 березня 2019 року: тези доповіді. К., 2019. С. 63–67. *(Здобувачем здійснено розробки очищувальної поверхні шнека у формі прямого і похилого гелікоїдів, крок навивки яких поступово зменшується в напрямку транспортування).*

85. **Волоха М.,** Балан В. Особливості харківської енергоощадної технології вирощування і збирання маточних буряків на базі інтегрального трактора ХТЗ-121. Агроінженерія: сучасні проблеми та перспективи розвитку: II Міжнародна науково-практична конференція, присвячена 90-й річниці з дня заснування механіко-технологічного факультету НУБіП України, м. Київ, 7–8 листопада 2019 року: тези доповіді. К., 2019. С. 41–42. *(Здобувачем обгрунтовано проведення сівби комплексом у складі АРВ-8,1-02+ХТЗ-121+ССТ-18В, який за один прохід здійснює підготовку ґрунту і висів насіння).*

86. **Волоха М. П.,** Дорошенко Ю. О. Використання поняття «різальний периметр» у формотворенні робочої поверхні розпушувача ґрунту. Обуховські читання: XV Міжнародна науково-практична конференція, м. Київ, 10 березня 2020 року: тези доповіді. К., 2020.

С. 56–57. *(Здобувачем розроблено форму поперечного перерізу зуба розпушувача).*

87. Волоха М. П. Імітаційне моделювання передпосівного обробітку ґрунту і сівби як двоєдиного технологічного процесу вирощування буряків цукрових. КЗЯТПС–2020: Х Міжнародна науково-практична конференція, м. Чернігів, 29–30 квітня 2020 року: тези доповіді. Чернігів. 2020. Т. 2. С. 172–174.

88. Волоха М. П. Напрями розробки і удосконалення сучасної збиральної техніки щодо покращення якості бурякоцукрової сировини. IV Міжнародна науково-практична конференція «Біоенергетичні системи», м. Житомир, 29 травня 2020 року: тези доповіді. Житомир, 2020. С. 108–111.

ЗМІСТ

АНОТАЦІЯ	2
ANNOTATION	8
СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА	14
ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ	37
ВСТУП	39
РОЗДІЛ 1. СУЧАСНИЙ СТАН ПРОБЛЕМИ І ОСНОВНІ ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ	47
1.1. Особливості українських адаптованих технологій буряківництва	47
1.2. Аналіз технічних засобів для підготовки ґрунту під посів буряків цукрових	51
1.2.1. Знаряддя для луцення стерні і проведення глибокої оранки та агротехнічні вимоги до них	51
1.2.2. Доцільність проведення ранньовесняного розпушування ґрунту	57
1.2.3. Особливості проведення передпосівного обробітку ґрунту сучасними агрегатами	59
1.3. Сівба – найвідповідальніший етап технології вирощування буряків цукрових	65
1.3.1. Характеристика вітчизняних і зарубіжних сівалок	68
1.3.2. Переваги висівних апаратів пневматичного типу	71
1.4. Збирання урожаю – завершальний, найбільш трудомісткий етап технології виробництва буряків цукрових	74
1.4.1. Вплив способів збирання гички і коренеплодів на техніко- технологічні показники процесу у розрізі аналізу світових тенденцій	75
1.4.2. Перспективи і напрями розробки вітчизняних технічних засобів для збирання коренеплодів	87

1.4.3. Аналіз відповідності показників роботи бурякозбиральних машин нормативам державних стандартів та агротехнічних вимог.....	93
1.5. Висновки до розділу, мета та завдання дослідження	100
РОЗДІЛ 2. ТЕОРЕТИКО-ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ПЕРЕДУМОВИ	
ПІДВИЩЕННЯ ПОЛЬОВОЇ СХОЖОСТІ НАСІННЯ І	
РІВНОМІРНОСТІ РОЗМІЩЕННЯ СХОДІВ ЗА РАХУНОК	
ДОСКОНАЛОСТІ ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ.....	
2.1. Призначення технологічного процесу передпосівного обробітку ґрунту.....	103
2.2. Моделювання поверхонь робочих органів машин для проведення передпосівного обробітку ґрунту.....	105
2.2.1. Теоретичні передумови створення поверхонь робочих органів для рихлення ґрунту.....	105
2.2.2. Формотворення робочих поверхонь ґрунтообробних знарядь.....	107
2.2.3. Експериментальні дослідження показників якості роботи агрегатів для передпосівного обробітку ґрунту.....	112
2.3. Моделювання характеристик процесу точності розміщення насіння при сівбі і сходів рослин	117
2.3.1. Регресійні моделі показників рівномірності розміщення сходів	117
2.3.2. Дослідження спільного впливу взаємодії основних технологічних і експлуатаційних факторів на точність розміщення насіння при висіві.....	121
2.4. Моделювання траєкторії падіння насінини при сівбі висівним апаратом пневматичного типу	129
2.5. Розробка пристрою для сортування насіння за масою.....	134

2.6. Висновки до розділу.....	135
-------------------------------	-----

РОЗДІЛ 3. ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПЕРЕДПОСІВНОГО

ОБРОБІТКУ ҐРУНТУ І ВИСІВУ НАСІННЯ ЯК ГОЛОВ-

НОГО ДВОЄДИНОГО ПРОЦЕСУ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРО-

ЩУВАННЯ БУРЯКІВ ЦУКРОВИХ.....138

3.1. Базові засади моделювання технологічного процесу отримання сходів буряків цукрових як складної системи.....	138
3.1.1. Основні положення та визначення теорії моделювання складних об'єктів.....	144
3.1.2. Вимоги до моделей складних технологічних процесів.....	148
3.1.3. Принципи побудови математичної моделі технологічного процесу вирощування буряків цукрових.....	154
3.2. Моделювання технологічних процесів на основі оптимального планування експериментів.....	155
3.2.1. Сутність методу статистичного моделювання.....	159
3.2.2. Побудова емпіричних регресійних моделей.....	160
3.2.3. Планування багатфакторного експерименту.....	162
3.2.4. Оцінка достовірності та адекватності моделі.....	165
3.3. Дворівнева концепція моделювання як спосіб подолання багато- критеріальності оцінки складних технологічних процесів.....	171
3.3.1. Аналіз типових математичних схем аналітичних моделей основних видів процесів у складних системах.....	173
3.3.2. Сутність імітаційного моделювання складних технологічних процесів.....	175
3.3.3. Методи побудови дворівневої моделі технологічного процесу на основі агентної парадигми.....	176
3.4. Дослідження технологічних процесів передпосівного обробітку ґрунту і сівби буряків цукрових як єдиної складової технології...	181

3.4.1. Побудова математичної моделі двоєдиного технологічного процесу	182
3.4.2. Планування експериментів у методі імітаційного моделювання.....	197
3.4.3. Обробка та аналіз результатів експериментів з моделями систем	200
3.5. Висновки до розділу	218
 РОЗДІЛ 4. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ЗБИРАННЯ КОРЕНЕПЛОДІВ І ПЕРВИННОГО ОЧИЩЕННЯ ЇХ ВІД ЗАЛИШКІВ ҐРУНТУ І ЗЕЛЕНОЇ МАСИ.....	
4.1. Класифікація робочих органів і технологічних схем процесів зрізування гички, викопування і очищення коренеплодів за ознакою можливості застосування при звужених міжряддях.....	220
4.1.1. Гичкорізи.....	221
4.1.2. Викопувальні робочі органи	227
4.1.3. Очисники вороху коренеплодів	234
4.2. Геометричне моделювання очисних поверхонь викопувальних робочих органів коренезбиральних машин	241
4.2.1. Дисковий копач з гелікоїдальним шнеком змінного кроку ..	243
4.2.2. Дисковий копач зі шнеком у формі похилого гелікоїда змінного кроку	244
4.2.3. Експериментально-польові дослідження копачів.....	246
4.3. Висновки до розділу	249
 РОЗДІЛ 5. РОЗРОБКА І ВПРОВАДЖЕННЯ У ВИРОБНИЦТВО КОМПЛЕКСУ МАШИН ДЛЯ ТЕХНОЛОГІЇ З КОМБІНОВАНОЮ ШИРИНОЮ МІЖРЯДЬ.....	
5.1. Ширина міжрядь і продуктивність механізованого виробництва буряків цукрових	250

5.1.1. Залежність урожайності буряків від конфігурації і розмірів площі живлення рослин.....	254
5.1.2. Вплив ширини міжрядь на фотосинтетичну продуктивність буряків цукрових.....	255
5.1.3. Звуження міжрядь – обмежувальний фактор механізації технологічних процесів.....	261
5.1.4. Обґрунтування схеми сівби шляхом поєднання модульних блоків з різною шириною міжрядь.....	263
5.2. Розробка комплексу машин для реалізації альтернативної технології з міжряддями 3×30 см + 1×45 см.....	268
5.2.1. Сівалка ССТ–16Б.....	268
5.2.2. Культиватор УСМК–5,4Б (В).....	269
5.2.3. Гичкозбиральна машина БМ–6Б (В)	270
5.2.4. Очищувач головок коренеплодів ОГД–6 (В)	271
5.2.5. Коренезбиральна машина КС–6Б–05 (В).....	272
5.3. Дослідження виробничих посівів з комбінованими міжряддями і їх оцінка за співвідношенням «К» сторін прямокутника площі живлення.....	274
5.4. Висновки до розділу	280

РОЗДІЛ 6. ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ СУЧАСНИХ

МЕХАНІЗОВАНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ВИРОЩУВАННЯ

ТА ЗБИРАННЯ БУРЯКІВ ЦУКРОВИХ..... 282

6.1. Класифікація моделей найтипівіших технологій за рівнем матеріально-технічного забезпечення	283
6.2. Аналіз ефективності сучасних технологій виробництва буряків цукрових за показниками експлуатаційних витрат.....	286
6.3. Впровадження нової бурякозбиральної техніки – шлях підвищення рентабельності виробництва буряків цукрових.....	288
6.4. Висновки до розділу	291

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	293
РЕКОМЕНДАЦІЇ ВИРОБНИЦТВУ	297
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ.....	299
ДОДАТКИ.....	326

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

АМ – агентне моделювання

АОМ – агентно-орієнтована модель

АТВ – агротехнічні вимоги

БЦ – буряк цукровий

БЦДСС – Білоцерківська дослідно-селекційна станція

ВАТ – Відкрите акціонерне товариство

ВНІЦ – Всесоюзний науково-дослідний інститут цукрових буряків

ГТК – гідротермічний коефіцієнт

ДКЗ – Дніпропетровський комбайновий завод

ДДАЕУ - Дніпровський державний аграрно-економічний університет

ДСС – дослідно-селекційна станція

ДСГДС – державна сільськогосподарська дослідна станція

ДПДГ «Шевченківське» – Державне підприємство дослідне господарство
ІБКіЦБ «Шевченківське»

ДСТУ – державний стандарт України

ЗАТ – закрите акціонерне товариство

ІБКіЦБ НААН – Інститут біоенергетичних культур і цукрових буряків
Національної академії аграрних наук України

ІЦБ УААН – Інститут цукрових буряків Української академії аграрних
наук

ЛКМЗ – Лозівський ковальсько-механічний завод (м. Лозова Харківської
обл.)

ННЦ «ІМЕСГ» – Національний науковий центр «Інститут механізації та
електрифікації сільського господарства»

НТП – науково-технічна програма

НУБіП України – Національний університет біоресурсів і
природокористування України

НТУУ «КПІ» – Національний технічний університет України «Київський
політехнічний інститут»

ООО «Днепромаш – Инвест» - Общество с ограниченной ответственностью «Днепромаш – Инвест»

ПАТ «БОРЕКС» – Публічне акціонерне товариство «Борекс»

ПрАТ «Уманьферммаш» - Приватне акціонерне товариство «Уманьферммаш»

ПОГ – передпосівний обробіток ґрунту

п.о. – посівна одиниця

РО – робочий орган

ТеКЗ – ВО «Тернопільський комбайновий завод»

ТЗ – технічний засіб

ТП – технологічний процес

УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого – Український науково-дослідний інститут прогнозування та випробування техніки і технологій для сільськогосподарського виробництва імені Леоніда Погорілого

УкрНДІСГОМ – Український науково-дослідний інститут сільськогосподарського машинобудування

ХДТУСГ ім. Петра Василенка – Харківський національний технічний університет сільського господарства імені Петра Василенка

ЧПФ – чиста продуктивність фотосинтезу

ВСТУП

Актуальність теми. У світовому землеробстві буряк цукровий вирощується на площі понад 9 млн. га. В Україні з площі приблизно 1,7 млн. га у 1990 р. зібрали 51 млн т буряків цукрових і виробили 5,6 млн т цукру, що становило біля 15% усього світового обсягу. Впродовж років незалежності посіви буряків цукрових катастрофічно зменшувались, внаслідок чого були втрачені зовнішні ринки збуту бурякового цукру, одним із світових лідерів виробництва якого багато років була Україна. У 2012 р. зібрали всього 17,55 млн т буряків і виробили 2,22 млн т цукру, в 2019 році вони зібрані на площі лише 220 тис. га.

Разом з тим, виробництво цукру в Україні і донині є одним з провідних стратегічних напрямів розвитку економіки країни і необхідною умовою незалежності від імпортерів та коливань цін на світовому ринку. Тому цукрова промисловість потребує власної сировини та підвищення врожайності буряків цукрових, що є надважливим завданням буряківників, особливо за умов такого значного скорочення площ посівів.

Значною проблемою процесу збирання, як найбільш витратного етапу у всій технології, є забрудненість вороху коренеплодів землею, особливо при роботі машин на твердих (понад 4,0–4,5 МПа) ґрунтах, коли кількість невикопаних коренеплодів різко зростає до 13–15 % і до 40 % коренеплодів викопуються пошкодженими. Зокрема, за даними проф. Балана В. М. у 1994 році з господарств сировинної зони Погребищенського цукрового заводу на призаводський бурякопункт було привезено понад 25 тисяч тон землі і зеленої маси. Дослідженням проф. Барановського В. М. також встановлено, що в складних умовах збирання з полів вивозиться значна кількість родючого ґрунту. Вочевидь, постає важлива народногосподарська проблема збереження родючості ґрунтів, вирішити яку можливо шляхом очищення вороху викопаних коренеплодів безпосередньо в полі.

Іншою, не менш важливою проблемою, що виникає під час переробки цукросировини, є забрудненість вороху коренеплодів залишками гички та бур'янів, адже кожний відсоток зеленої маси на коренеплодах призводить до зниження доброякісності дифузійного соку на 0,4–0,5 % і збільшення вмісту цукру в мелясі на 0,1 %. Загалом, при тривалому заводському зберіганні (більше 60 діб) сильно пошкоджених і забруднених землею та рослинними залишками коренеплодів значно погіршуються кондиції сировини внаслідок ураження кагатною гниллю, а втрати цукру значно зростають.

Буряки цукрові серед інших просапних культур є найвимогливішими як до ґрунтово-кліматичних умов, так і до робочих органів машин, виконуючих складні технологічні процеси їх вирощування і збирання. Продуктивність виробництва цукробурякової сировини визначається рівнем застосовуваних механізованих технологій і досконалістю технічних засобів на всіх етапах від передпосівного обробітку ґрунту і сівби насіння весною до отримання бурякової сировини на заводі восени.

Дослідження таких складних багатопараметричних систем пов'язане з проблемою вибору найбільш інформативних ознак, розробки системних показників і обчислювального алгоритму, максимально наближених до природніх умов функціонування робочих органів машин, і потребує сучасних методів аналізу та структурно-параметричного синтезу, що наразі є мало вивченим в порівнянні з іншими відомими методами моделювання та прийняття рішень.

Наведене вказує на актуальність і значимість досліджень, спрямованих на підвищення продуктивності виробництва буряків цукрових за рахунок розв'язування поставлених завдань на основі комплексного підходу до багатокритеріального оцінювання механізованих технологічних процесів шляхом їх моделювання, зокрема агентного імітаційного.

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

Дисертаційна робота виконувалася згідно з науково-технічними програмами Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН «Організувати організаційно-економічні моделі застосування прогресивних технологій виробництва цукрових буряків» (номер державної реєстрації 0104U002621, у 2002–2005 рр.) і державними комплексними науково-дослідними роботами кафедри архітектури Національного авіаційного університету «Модернізація методичної системи підготовки майбутніх архітекторів» (номер державної реєстрації 0114U001605, у 2014–2016 рр.).

Мета і завдання дослідження. Метою дослідження є підвищення продуктивності виробництва буряків цукрових шляхом моделювання технологічних процесів і технічних засобів для їх вирощування і покращення якості коренеплодів за рахунок первинного їх очищення під час викопування. Відповідно до поставленої мети передбачалося вирішення таких завдань:

- провести аналіз сучасного стану технології вирощування і збирання буряків цукрових, визначити технологічні операції, що суттєво впливають на польову схожість насіння та показники агротехнічних вимог при їх сівбі, вирощуванні і очищенні викопуваних коренеплодів від ґрунтових і рослинних залишків;
- дослідити за техніко-економічними і агротехнічними показниками сучасні агрегати для передпосівного обробітку ґрунту; розробити геометричну модель робочої поверхні знаряддя для розпушування ґрунту;
- визначити вплив основних експлуатаційних і технологічних факторів на показники точності розміщення насіння і сходів вздовж рядка при сівбі сівалками механічного і пневматичного типу;
- розробити і опрацювати математичну модель падіння відокремленої від висіваючого диска насінини при роботі висівного апарата пневматичного типу;

- визначити засадничі умови і особливості побудови імітаційних моделей механізованих технологічних процесів вирощування буряків на основі аналізу систем управління складними технологічними процесами;
- розробити методи моделювання складних технологічних процесів вирощування буряків цукрових та створити алгоритм розв’язання оптимізаційної багатокритеріальної задачі забезпечення максимальної польової схожості насіння;
- провести комплексне оцінювання одержаних значень показників імітаційного моделювання;
- на базі дискового копача розробити геометричні моделі робочих поверхонь шнеків-транспортів з метою удосконалення процесу первинного очищення коренеплодів від грудок землі та рослинних решток, особливо за умов роботи на ґрунтах підвищеної твердості, і провести їх експериментальні дослідження;
- розширити класифікацію робочих органів сучасних збиральних машин за ознакою можливості їх застосування при звужених міжряддях;
- розробити зразки машин для реалізації і впровадження у виробництво нового способу виробництва буряків цукрових з комбінованими міжряддями; обґрунтувати раціональну схему розміщення рослин за комбінованої ширини міжрядь;
- визначити економічну ефективність результатів досліджень на тлі оцінки варіантів технологій з використанням вітчизняних і зарубіжних машин.

Об’єктом дослідження є технологічні процеси і технічні засоби виробництва буряків цукрових.

Предмет дослідження – методи моделювання механізованих технологічних процесів і удосконалення технічних засобів для вирощування та збирання буряків цукрових.

Методи дослідження. Теоретичні дослідження базуються на моделюванні механізованих технологічних процесів підготовки ґрунту і

насіння до посіву, сівби, викопування коренеплодів і відокремлення від них домішок з використанням основних положень теорії управління складними системами і прийняття рішень, методології імітаційного моделювання в середовищі AnyLogic, теоретичної і землеробської механіки, прикладної геометрії та математичної статистики.

Експериментальні дослідження на стендах, однорядних установках і зразках модернізованих машин проводились в лабораторних, лабораторно-польових та виробничих умовах з використанням методів планування і реалізації багатофакторних експериментів. Статистична обробка експериментальних даних та креслення виконувались з використанням прикладних програм Statistica, Maple, MS Excel, КОМПАС.

Наукова новизна одержаних результатів. Вперше:

- розроблено методи і структуру дворівневого моделювання двоєдиного механізованого технологічного процесу передпосівного обробітку ґрунту і сівби буряків цукрових як складної системи;
- створено алгоритмічний опис розв’язання оптимізаційної багатокритеріальної задачі отримання максимальної польової схожості насіння шляхом пошуку в просторі локальних критеріїв продуктивності окремих технологічних операцій на засадах методу конфігурацій, що деформуються;
- розроблено комплекс машин для реалізації нового способу вирощування і збирання буряків цукрових з комбінованою шириною (3×30 см + + 1×45 см) міжрядь.

Удосконалено:

- геометричну модель робочої поверхні зубчастого типу для рихлення поверхневого шару ґрунту при передпосівному обробітку;
- форму робочої поверхні гелікоїдального шнека-очищувача дискового копача для первинного очищення викопаних коренеплодів від ґрунтових і рослинних залишків за умов підвищеної і нормальної твердості ґрунту;

- конструкцію пристрою для передпосівного розділення насіння за масою в межах однієї фракції.

Дістало подальший розвиток:

- диференційне рівняння руху падаючої насінини при висіві апаратом пневматичного типу;
- принципи побудови моделі двоєдиного технологічного процесу;
- класифікація робочих органів сучасних збиральних машин за ознакою можливості застосування при звужених та комбінованих міжряддях.

Практичне значення одержаних результатів. Розроблено комплекс машин (сівалка, культиватор, гичко та коренезбиральна машина, очисник головок коренеплодів) для реалізації нового способу вирощування і збирання буряків цукрових з комбінованою шириною міжрядь, що забезпечує підвищення врожайності коренеплодів на 5,6–6,0 т/га.

Розроблено:

- розпушувач зубчастого типу знаряддя для передпосівного обробітку ґрунту, що забезпечує суттєве підвищення польової схожості насіння на 2,6 % при зменшенні витрат пального на 0,2 кг/га;
- пристрій для передпосівного розділення насіння за масою в межах однієї фракції, що за умови варіювання маси насінини до 20-25% покращує рівномірність інтервалів між висіяними у ґрунт насінинами;
- гелікоїдальні прямий і похилий шнеки дискового копача для очищення коренеплодів від ґрунтових і рослинних залишків, які за умов роботи на ґрунтах підвищеної твердості (4,0–4,5 Мпа) забезпечують зменшення забрудненості вороху коренеплодів великими грудками ($\varnothing > 50$ мм) майже вдвічі (17,9 %, 18,5 % проти 35,7 %) та суттєве зниження маси пошкоджених коренеплодів на 6,0–8,5 %, в порівнянні з серійним бітерним очисником.

Встановлено, що найбільш сприятливою для рівномірності розміщення насіння вздовж рядка є норма висіву $N = 7 \dots 8$ шт/м за робочої

швидкості сівалки 1,2...1,4 м/с.

Результати розробок і досліджень впроваджено у Білоцерківській дослідно-селекційній станції, Державному підприємстві «Дослідне господарство Шевченківське» Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН, Приватному підприємстві імені Зубковського Полтавської області; передано до використання у Публічне акціонерне товариство "БОРЕКС" та у навчальному процесі Національного університету біоресурсів і природокористування України при підготовці фахівців зі спеціальності 208 «Агроінженерія» освітнього ступеня «Магістр» механіко-технологічного факультету; використано у методичних рекомендаціях з освоєння і апробації наукових розробок Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН України.

Особистий внесок здобувача. Наукові положення, розробки і результати теоретичних та експериментальних досліджень, виконаних за темою дисертації, отримано здобувачем самостійно.

Із спільних експериментальних досліджень і публікацій та технічних рішень, у тому числі тих, що захищені патентами, здобувачем, за згодою співавторів, використано лише власну частину результатів.

Постановку завдань, аналіз і трактування отриманих результатів виконано спільно з науковим консультантом.

Апробація результатів дисертації. Основні положення і результати досліджень за темою дисертації обговорено і схвалено на міжкафедральних семінарах ФАБД Національного авіаційного університету, науково-методичній раді Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків та на наступних Міжнародних науково-практичних конференціях: – «Сучасні проблеми геометричного моделювання» (м. Луцьк, 2008 р.; м. Севастополь, 2010 р.; м. Ужгород, 2011 р.; м. Сімферополь, 2011 р.; м. Мелітополь, 2012 р., 2013 р.); – «Моделювання об'єктів, процесів та систем» (м. Київ, 2011 р.); – V, VII і VIII «Архітектура та екологія» (м. Київ, 2013 р., 2015 р., 2016 р.); – 16-й

«Наука – будущее Литвы» (м. Вільнюс, 2013 р.); – IX «Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин» (м. Кіровоград, 2013 р.); – «Методика, механізація, автоматизація та комп'ютеризація досліджень у землеробстві, рослинництві, садівництві та овочівництві» (м. Київ, 2014 р.); – XV «Науково-технічні засади розробки, випробування та прогнозування сільськогосподарської техніки і технологій» (сmt. Дослідницьке, 2014 р.); – IV «Технічний прогрес у тваринництві та кормовиробництві» (сmt. Глеваха, 2015 р.); – XVI і XVIII «Сучасні проблеми землеробської механіки» (м. Київ, 2015 р., м. Кам'янець-Подільський, 2017 р.); – «Цілі сталого розвитку третього тисячоліття: виклики для університетів наук про життя» (м. Київ, 2018 р.); – XIV і XV «Обуховські читання» (м. Київ, 2019 р, 2020 р.); – II «Агроінженерія: сучасні проблеми та перспективи розвитку» (м. Київ, 2019 р.); – VII і X «КЗЯТПС - VII», «КЗЯТПС - X», (м. Чернігів, 2017 р., 2020 р.), – IV «Біоенергетичні системи», (м. Житомир, 2020 р.).

Публікації. Основні положення дисертації викладено у 88 наукових працях, з яких одноосібна монографія, 10 статей у наукових фахових виданнях України, 9 статей у наукових фахових виданнях України, включених до міжнародних наукометричних баз даних, 12 статей у наукових виданнях інших держав, 21 стаття в інших наукових виданнях, 2 патенти на винахід, 6 патентів на корисну модель, 5 методичних розробок, 22 тези наукових доповідей.

Структура та обсяг дисертації. Загальний обсяг дисертації становить 343 сторінки. Робота складається з анотацій, вступ, 6 розділів, висновків, списку використаної літератури із 274 найменувань (35 латиницею) та додатків. Дисертація містить 119 рисунків і 22 таблиці.

РОЗДІЛ 1

СУЧАСНИЙ СТАН ПРОБЛЕМИ І ОСНОВНІ ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ

1.1. Особливості українських адаптованих технологій буряківництва

Технологія у буряківництві зокрема, як і у рослинництві взагалі, є система агротехнічних прийомів та матеріально-технічних засобів, спрямованих на виробництво конкурентоспроможної продукції і збереження та відновлення родючості ґрунтів. Характер технології, як способу виробництва, в цілому визначається досягненнями науково-технічного прогресу і рівнем розвитку продуктивних сил, економічними, соціальними та демографічними особливостями країни, регіону, конкретного господарства.

Сучасні агротехнології виробництва БЦ, як і інших просапних культур, орієнтовані на комплексну механізацію технологічних процесів, адже відомо, що для вирощування БЦ необхідно здійснювати комплекс взаємоузгоджених агротехнічних заходів, що гарантує високу врожайність та цукристість коренеплодів.

Інститутом біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН разом з іншими науково-дослідними установами та машинобудівельними підприємствами на підставі тривалих багаторічних досліджень, узагальнення історичного досвіду вирощування БЦ в Україні і світі за показниками ресурсного забезпечення галузі, виконання технологічних процесів із застосуванням вітчизняних та зарубіжних технічних засобів виробництва і ручної праці у тому числі, на протязі десятків років змодельовано й апробовано кілька варіантів технологій виробництва БЦ, яким присвоєно наступні умовні назви:

1. Екстенсивна [117, 119, 202, 248];
2. Інтенсивна (колишня українська індустріальна) [80–83, 160, 163, 173, 213, 243];

3. Високоєфективна (українська інтегрована (проміжна) [45, 124, 193, 195, 196, 202, 203, 218];

4. Біоадаптивна (зарубіжна індустріальна) [30, 34, 45, 182, 203, 210, 214, 215, 228, 242, 249, 270]

Для *екстенсивних* технологій характерним є:

- 1) максимальне обмеження енергетичних, матеріальних і ресурсних вкладень;
- 2) виключення агрохімічних речовин;
- 3) широке застосування ручної праці та кінної тяги, екстенсивних сортів низьких репродукцій, а часто й знеособленого насіння;
- 4) недостатнє внесення органічних добрив.

Такі технології (хоч вони є найменш затратними) не маючи перспектив, поступово відходять у минуле і на протязі останніх років майже не застосовуються, головним чином через недостатність людських рук у сільській місцевості.

Характерні ознаки *індустріальних інтенсивних* технологій:

- 1) концентрація енергетичних, матеріальних і фінансових вкладень на одиницю площі посівів;
- 2) використання ефективних засобів виробництва – нових сортів, гібридів, агрохімічних речовин;
- 3) застосування передових методів організації праці;
- 4) впровадження досконалих технологічних процесів і машин та механізмів, розроблених на базі новітніх досягнень науки і техніки.

Проміжні або інтегровані, технології, поєднують використання як новітніх засобів виробництва, технологічних процесів і машин та методів захисту культури від шкідників і хвороб, регулювання родючості ґрунту, так і біологічних методів, придатних для екстенсивних технологій, включаючи ручну працю.

Українська індустріальна передбачає розміщення цукрових буряків

у ланках з багаторічними травами, зайнятими та чистими парами; напівпаровий або поліпшений спосіб основного обробітку ґрунту; внесення рекомендованих доз органічних та мінеральних добрив; використання інкрустованого чи дражованого насіння гібридів цукрових буряків української або спільної з КВС селекції з показниками лабораторної схожості понад 90 %, енергії проростання – 80 % і більше, одноростковості й вирівняності – не менше 95 %; сівбу при фізичній стиглості ґрунту нормою 1,3 посівних одиниць (п.о.) на 1 га; посходову систему захисту з використанням високоефективних посходових гербіцидних композицій (бетанал прогрес ОФ, пірамін турбо, голтікс, карібу, лонтрел, пантера, центуріон та ін.); розпушування ґрунту в міжряддях після сильних дощів та при підживленні; внесення фунгіцидів для боротьби з хворобами листя (борошниста роса, церкоспороз), механізоване збирання врожаю.

Зарубіжна індустріальна. Те ж саме, але використовують дражоване насіння гібридів цукрових буряків іноземної селекції, підживлення азотними добривами здійснюють урозкид без загортання в ґрунт, ґрунт у міжряддях не розпушується, використовують комплекс машин іноземного виробництва.

Українська інтегрована (проміжна) передбачає розміщення цукрових буряків у ланках з багаторічними травами, зайнятими чистими парами, горохом, кукурудзою; напівпаровий або поліпшений спосіб основного обробітку ґрунту, внесення 30 т/га гною + Р60К80 восени + N80 в підживлення прикореневим способом, сівбу при прогріванні ґрунту на глибині 10 см до 6-7°C нормою висіву 3 п.о. на 1 га, використання протруєного насіння вітчизняних сортів та гібридів з лабораторною схожістю не нижче 80 %, одноростковістю й вирівняністю 85 %, комбіновану систему захисту від бур'янів (до сходів – ґрунтові гербіциди, по сході – вибірково лонтрел, пантера, центуріон, бетанал), систему до – і післясходових боронувальних, триразове різноглибинне розпушування ґрунту

в міжряддях з одночасним присипанням бур'янів у захисній зоні рядків, застосування ручної праці на коригуванні густоти рослин та прополюванні бур'янів, використання фунгіцидів для боротьби з хворобами, механізоване збирання врожаю.

Аналізуючи результати апробації технологій, сортів та гібридів цукрових буряків на дослідно-селекційних станціях ІБКіЦБ можна стверджувати, що індустріальні технології дають змогу повніше розкрити потенціал сучасних сортів і гібридів цукрових буряків, який знаходиться в таких межах: урожайність – 500–650 ц/га; збір цукру – 80–110 ц/га. Максимальні показники продуктивності (врожайність – 512–519 ц/га, збір цукру – 79–81 ц/га при цукристості коренеплодів 15,2–15,4 %) одержано при вирощуванні цукрових буряків саме за індустріальними технологіями.

Українська інтегрована технологія за показниками врожайності не поступається індустріальному, які потребують виробничих витрат на рівні 22,7–26,0 тис грн/га, що пов'язано з високим ресурсним забезпеченням (добрива, насіння, засоби захисту рослин). Економічнішою є українська інтегрована технологія, в якій програми удобрення та захисту рослин менш насичені, частково застосовується дешева ручна праця на догляді.

Економія виробничих витрат в українській інтегрованій технології досягнута за рахунок економії ресурсів і насичення дешевою ручною працею, затрати якої становлять 131 люд-год/га, або майже вдвічі більші, ніж за індустріальних технологій, тому собівартість продукції виявилася нижчою й становила відповідно 19,3 грн/т цукросировини. Саме це зумовило високий рівень рентабельності виробництва - 127%. Проте, у зв'язку з істотним зниженням урожайності й недобором продукції, прибуток зменшився на 4,4 тис грн/га порівняно з українською індустріальною технологією. *Таким чином, індустріальні технології поряд із високою врожайністю забезпечують одержання максимального прибутку при рівні рентабельності виробництва 112–126 %.*

1.2. Аналіз технічних засобів для підготовки ґрунту під посів буряків цукрових

1.2.1. Знаряддя для лушення стерні і проведення глибокої оранки та агротехнічні вимоги до них

Урожайність БЦ та ефективність їх виробництва визначається рівнем застосовуваних передових технологій і досконалістю технічних засобів на всіх етапах – від лушення стерні і оранки ґрунту влітку, після збирання зернових чи іншого попередника, до отримання цукробурякової сировини на заводі восени наступного року (рис. 1.1).

Підготовка ґрунту					Підго-товка насіння	Сівба	Виро-щува-ння	Збирання									
восени			весною														
Лушення стерні	Внесення мінеральних добрив	Внесення органічних добрив	Оранка	Вирівнювання борозен та гребнів	Мультивація ґрунту	Ранньовесняний обробіток ґрунту	Приготування та внесення гербіцидів	Передпосівний обробіток ґрунту	Калібрування насіння по фракціях (по зовнішній формі)	Розподіл насіння по масі	Висів насіння на заданий інтервал	Загортання на задану глибину	Формування густоти насадження	Міжрядні обробітки	Комбайнове (1-о фазне)	2-х фаз.: (гінка, корене пл. - окремо)	3-х фаз.: польові валки коренеплодів

Рис. 1.1. Основні етапи технології вирощування і збирання БЦ

Проте, аналіз досліджень проведений стосовно оцінки значимості окремих технологічних операцій та досконалості технічних засобів і їх відповідності показникам агротехнічних вимог та нормативам держстандартів свідчить про те, що серед низки складних, специфічних для даної культури механізованих технологічних процесів, визначальними є підготовка ґрунту та насіння до посіву, сівба і збирання урожаю (на рис. 1.1 виділені червоним).

Якісне проведення основного обробітку ґрунту, суттєво впливає на підвищення урожайності БЦ [30, 215, 228].

Кожна технологія вирощування БЦ починається з луцення стерні. У структурі ТП основного обробітку ґрунту напівпаровим способом луцення стерні здійснюється переважно дисковими луцильниками або дисковими боронами (табл. 1.1) [147, 229].

Таблиця 1.1

**Основні агротехнічні вимоги до технологічного процесу
луцення стерні**

<i>Показники</i>	<i>Вимоги</i>	<i>Допуски</i>
Строк проведення технологічної операції	Вслід за збиранням культури-попередника	Один день після збирання
Тривалість роботи на одному полі, дні	2	+1
Глибина обробки, см	10–12	±2
Глибина западини після поперечного проходу агрегату, см	До 4	+1
Кількість непідрізаних бур'янів на 1 м ²	Не допускається	–
Огріхи між суміжними проходами	Не допускається	–
Перекриття між суміжними проходами, см	10–15	+2
Кількість обробок	2	+1
Спосіб руху агрегату	Човниковий	–
Напрямок руху агрегату при повторній обробці	Перпендикулярно до напрямку першої обробки	Під кутом 45° до напрямку першої обробки

Метою луцення стерні є розпушування верхнього шару ґрунту, підрізування бур'янів та стерні, їх подрібнення для кращого загортання під час оранки, запобігання втратам вологи від випаровування та створення сприятливих умов для її накопичення в період між луценням та оранкою, створення агрофізичних передумов для оптимізації кришення пласта й



Рис. 1.3. Борона дискова важка БДВП-4,2 Краснянка



Рис. 1.4. Борона дискова важка причіпна БДВ-6,9

Глибока оранка є головною технологічною операцією у системі основного обробітку ґрунту, який направлений на підвищення продуктивності БЦ. Вона проводиться після лущення стерні і внесення органічних та мінеральних добрив у кінці липня чи на початку серпня.

При глибокій оранці верхній прошарок орного шару переміщується вниз, а на поверхню піднімаються глибші шари ґрунту. Якісніше обертання скиби і загортання пожнивних решток, бур'янів, добрив на більшу глибину відбувається у разі застосування ярусних плугів, у яких передній корпус підрізає верхній прошарок ґрунту на глибину близько 18 см, перевертає його і укладає на дно попередньої борозни. Укладений таким чином шар накривається зверху скибою, яка піднімається корпусом нижнього ярусу (табл. 1.2) [147].

В кінці XX століття у Європі з'явилися гідравлічні оборотні плуги різних виробників: Lemken, Rabe Werk, Frost, Kuhn, Kverneland, Gregoire Besson, Krone, Vogelnoot та ін. На протязі останніх років вітчизняні сільгоспмашинобудівники теж налагодили виробництво аналогів оборотних плугів ПНО-3,35, ПОНП-6 та ін.

Таблиця 1.2

Агротехнічні вимоги до ТП глибокої оранки

<i>Показники</i>	<i>Нормативи</i>	<i>Допуски</i>
Початок виконання робіт	Вслід за внесенням органічних добрив	1–2 дні після внесення добрив
Тривалість роботи в 1-му полі, дні	6	±2
Прямолінійність, м	Без відхилень від прямої лінії	+1 м на 500 м гону
Оборот пласта	Повний	–
Загортання після жнивних решток, бур'янів, добрив, %	Не менше 95 %	+2
Гребені, см	Не більше 5	–2
Огріхи, не оброблені поворотні смуги	Не допускаються	
Глибина оранки, см	30–32	–2

Висока якість оранки досягається при проведенні її оборотними плугами з передплужниками. Значною перевагою таких плугів є наявність лівих та правих корпусів завдяки яким можна орати поле без звальних гребенів та розвальних борозен, що є важливо при вирощуванні і збиранні ЦБ, адже всі наступні ТП по вирівнюванню поверхні ріллі значно спрощуються. При розвороті агрегата з оборотним плугом в кінці поля плуг піднімається та обертається на навісці або на рухомій рамі, в залежності від того, який він: навісний, напівнавісний чи причіпний. У такому разі оранка здійснюється човниковим способом без розбивки поля на загінки.

Незважаючи на високі ціни оборотних плугів (приблизно вдвічі дорожче звичайних) і значну масу (у 1,5 рази більше) у європейських

країнах і останнім часом в Україні вони широко застосовуються, бо забезпечують високу якість оранки.

Корпуси навісних плугів монтуються на одnobрусовій рамі у кількості від 1 до 3. Рама спирається на одне пневматичне колесо, яке регулюється за висотою вручну або за допомогою гідроциліндра. Більшість моделей навісних плугів мають регульовану ширину захвату. Зміна ширини захвату виконується безступінчасто, шляхом повороту основного бруса відносно навіски та додаткового обертання корпусів. Одночасно з поворотом бруса рами зв'язана з грядилями корпусів штанга виконує їх розворот навколо вертикальної осі. Діапазон регулювання ширини захвату одного корпусу складає від 30 до 55 см. Для візуального спостереження трактористом із кабіни за установкою необхідної ширини захвату на рамі плуга є показник, зв'язаний з механізмом повороту корпусів.

Напівнавісні та причіпні плуги можуть мати 7–9 корпусів і більше. Полиця може бути суцільною або стрічковою (рис. 1.5), що забезпечує краще рихлення відрізаної скиби ґрунту.



Рис. 1.5. Напівнавісний оборотний плуг Євро Діамант 8 фірми Lemken

Робочі поверхні корпусів (полиці) тракторних плугів загального призначення поділяють на культурні, напівгвинтові і гвинтові.

Полиці оборотних культурних плугів з циліндроїдальною робочою поверхнею в поєднанні з передплужником добре подрібнюють скибу, забезпечуючи достатній її оберт, заробляють рослинні залишки у ґрунт.

Напівгвинтові полиці з циліндроїдальною формою поверхні і гвинтові з гелікоїдальною робочою поверхнею добре обертають скибу на задернілих ґрунтах, але недостатньо подрібнюють її.

Приведені типи плужних полиць задовільно працюють при швидкостях 1,1–1,5 м/сек. Проте, однією із задач подальшого розвитку як вітчизняного, так і зарубіжного сільськогосподарського виробництва є перехід сільськогосподарських агрегатів на роботу з підвищеними швидкостями. Це дозволить значно (на 30–40 %) підвищити продуктивність і знизити металомісткість плугів. Сучасні культурні полиці після удосконалення форми робочої поверхні можуть працювати на швидкостях 1,8–2 м/с, а якість оранки при цьому підвищується [99, 101, 129, 178].

1.2.2. Доцільність проведення ранньовесняного розпушування ґрунту

Ранньовесняне розпушення ґрунту («закриття вологи») необхідно проводити в період фізичної стиглості ґрунту, коли вологість його вища на 3–4 % від нижчої межі пластичності і ґрунт не мається та подрібнюється без залипання робочих органів ґрунтообробних знарядь [16]. Тривалість такого стану верхнього шару ґрунту не більше одного-двох днів, тому й виконувати цю роботу потрібно у вказаний період, адже верхній прошарок ріллі при цьому швидко дозріває.

Запізнення з закриттям вологи на один день призводить до непродуктивних втрат 60–120 т/га води й зменшення врожайності на 0,6–1,2 т/га [82, 85, 171]. У такому разі ранньовесняне розпушування ґрунту проводять агрегатом з борін ЗБСС-1,0 та ЗОР-07, що монтуються на зчіпці СП-16. Відповідно до нормативів АТВ товщина розпушеного шару ґрунту має становити 2,5–3 см. У розпушеному шарі вміст грудок діаметром більше 20 мм не повинен перевищувати 20 %, у тому числі діаметром 50 мм – не більше 5 % від маси проби. Для рівномірності заглиблення зубів борін лінія тяги має складати кут 14–18° з поверхнею ґрунту для борін важких БЗТС-1,0 і середніх БЗСС-1,0, а для посівних ЗБП-0,6 чи райборінків ЗОР-

07 – кут 10–14°. Швидкість руху агрегата становить 6–8 км/год. Слід стежити, щоб зуби борін не забивалися рослинними рештками.

Важливо зазначити, що неприпустимим для проведення весняних обробітків є застосування парових культиваторів типу КПС-4,2, які грубо розробляють ґрунт та інтенсивно перемішують його, сприяючи значним втратам вологи.

На добре підготовлених і вирівняних восени полях з незапливаючими ґрунтами весною достатньо провести лише суцільне розпушування верхнього прошарку ґрунту або навіть відразу проводити пряму сівбу БЦ.

Важкі за механічним складом ґрунти, як і ті, що запливли і надмірно ущільнились, обробляють агрегатом, у першому ряду якого становлять важкі зубові борони БЗТС-1,0 чи пружинні типу БВП-9, а в другому – середні. Для обробітку середньо ущільнених ґрунтів в першому ряду розміщують середні, а в другому – посівні борони. Для обробітку пухких ґрунтів посівні борони розміщують у першому ряду, у другому – райборінки.

За інтенсивної технології ранньовесняне розпушування та вирівнювання ґрунту здебільшого поєднують в одну операцію. Для виконання цих робіт, а також заробки ґрунтових гербіцидів за один прохід застосовується агрегат АРВ-8,1-01 спільно розроблений УкрНДІСГОМ (м. Харків) та ІБКіЦБ, що агрегатується з тракторами класу 20–30 кН (ХТЗ-121, ХТЗ-16031) та має ширину робочого захвату 8,1 м, робочу швидкість – 9-12 км/год. Крім набору послідовно установлених робочих органів пасивного типу для розпушування і вирівнювання поверхневого шару ґрунту до складу агрегату може входити обприскувач з пристроєм для одночасного смугового внесення гербіцидів, який монтується на брусі рами [147, 175, 187, 196] (рис. 1.6).

При використанні агрегата АРВ-8,1-0,1 досягається висока продуктивність (до 6,1 га за 1 год змінного часу) та якість передпосівного обробітку ґрунту, чим забезпечується добре розпушування ґрунту на задану

глибину заробки насіння без перемішування шарів. Тип – начіпний; маса – 1900 кг.



Рис. 1.6. Комбінований агрегат на базі трактора ХТЗ-121 у складі АРВ-8,1-01 для розпушення і вирівнювання поверхневого шару ґрунту і обприскувача ОП-2000 для смугового внесення гербіцидів при сівбі

1.2.3. Особливості проведення передпосівного обробітку ґрунту сучасними агрегатами

Передпосівний обробіток ґрунту призначений для розпушення поверхневого шару до дрібно-грудочкуватого стану на глибину заробки насіння, створення вирівняного насіннєвого ложа та сприятливих умов для проростання насіння, знищення паростків і сходів бур'янів. Водночас передпосівний обробіток ґрунту є складовою частиною єдиного технологічного процесу – сівби цукрових буряків, і здійснювати його належить без розриву в часі: перший процес випереджає сівбу на два-три проходи посівного агрегату [28, 49, 61, 66, 74, 123, 173, 201].

До комплексу факторів, які суттєво впливають на польову схожість насіння, належить температура та вологість ґрунту, достатня повітрявмісткість, співвідношення між вмістом води й повітря, вирівняність структурно-агрегатного складу ґрунту до потрібних значень показників [85, 171, 214].

Відповідно до Держстандарту глибина розпушеного прошарку, залежно від вологості ґрунту, має бути від 2,5 до 4 см на всій ширині захвату знаряддя; ґрунтових агрегатів (грудочок) розміром від 1 до 10 мм

має бути не менше 90 % від загальної кількості, розміром 20 мм – до 10 %; щільність складання на суху масу в обробленому шарі – до 1,2 г/см³; висота гребенів чи глибина впадин ґрунту не повинна перевищувати 2±0,5 см; непідрізаних бур'янів має бути не більше 2 %; ширина перекриття попереднього проходу культиватора має бути від 15 до 20 см [89, 171].

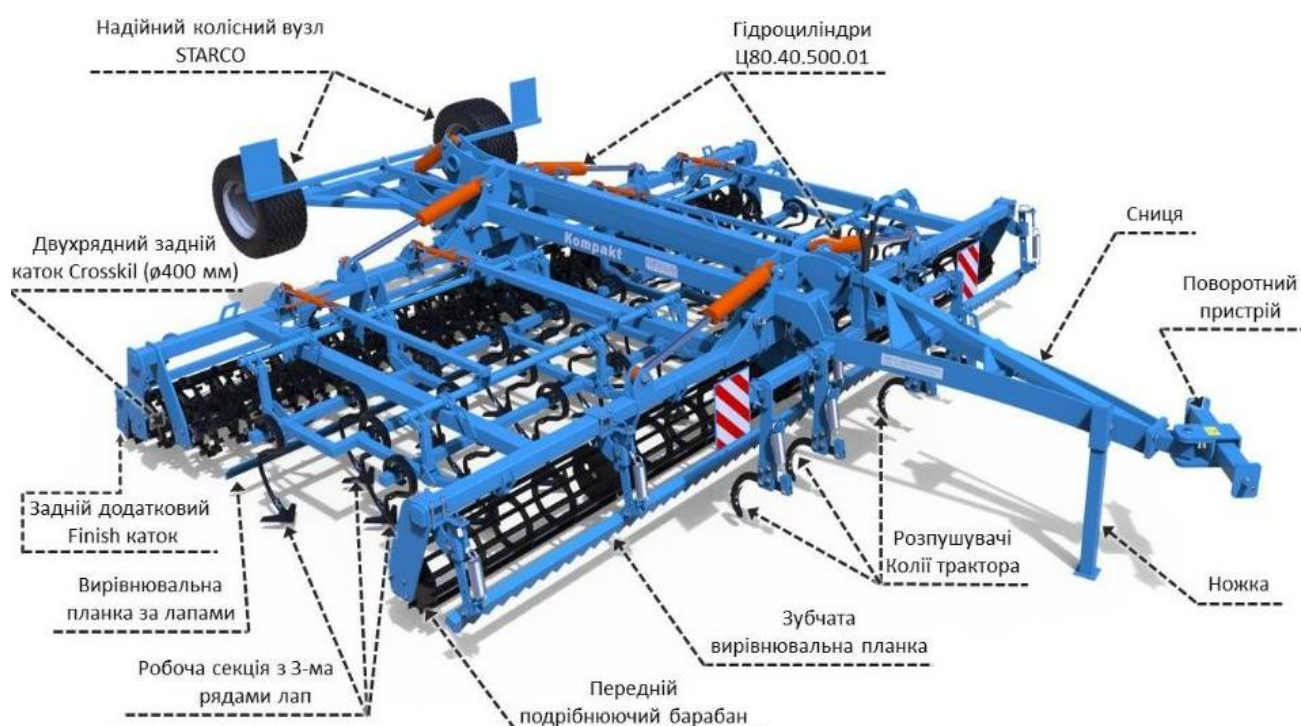
Дотримання рівномірності глибини обробки ґрунту сприяє утворенню твердого насінневого ложа, а мілкість фракцій грудочок обробленого поверхневого шару скиби забезпечить якісне загортання насінин, що разом приводить до підвищення польової схожості насіння та одночасності появи сходів. Для досягнення високих показників роботи нині використовуються сучасні комбіновані ґрунтообробні агрегати, які дають можливість підготувати ґрунт до сівби за один-два проходи. Передпосівний обробіток виконаний західноєвропейськими машинами Lemken System-Kompaktor (рис. 1.7), «Європак 6000» (рис. 1.8), Турбокомбінатор «Säpak Profi» (рис. 1.9) та іншими їх аналогами запобігає переущільненню ґрунту, адже за один прохід комбінованого ґрунтообробного агрегата виконується понад чотири операції: вирівнювання поверхневого шару ґрунту з одночасним розпушуванням його, подрібнення грудочок, ущільнення насінневого ложа. Зазначене є передумовою високоякісної сівби.



Рис. 1.7. Агрегат для передпосівного обробітку ґрунту Lemken



а



б

Рис. 1.8. Агрегат для передпосівного обробітку ґрунту «Свропак»:
а – в роботі; б – компоновка робочих органів



Рис. 1.9. Агрегат для передпосівного обробітку ґрунту Särak Profi

Робочі органи приведених комбінованих ґрунтообробних агрегатів як зарубіжного, так і вітчизняного виробництва, схеми яких зображені на рис. 1.10, комплектуються і кріпляться на грядилях рами машини в тій чи іншій послідовності в залежності від вологості і твердості ґрунту, але головним рихлячим органом є стрільчаста лапа, хоча виконання процесу

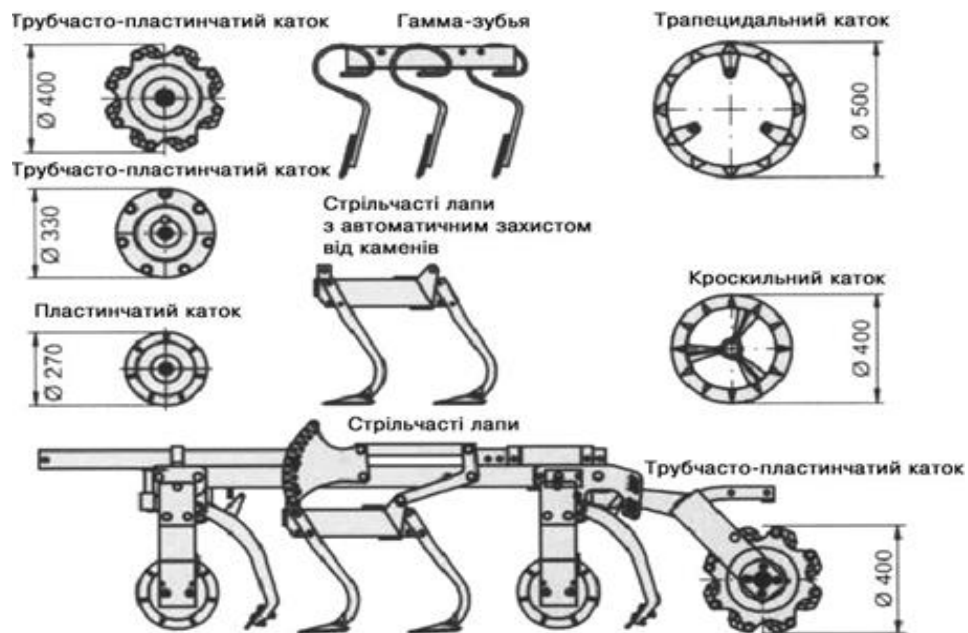


Рис. 1.10. Схеми робочих органів комбінованих ґрунтообробних агрегатів і їх повздовжнє розміщення на грядилях рами

рихлення ґрунту пасивними стрільчастими лапами пов'язане з підвищеними енерговитратами, особливо при роботі на твердих чи перезволожених ґрунтах [36, 99, 126, 157, 212].

Біля десяти вітчизняних підприємств різних форм власності виготовляють комбіновані ґрунтообробні агрегати. Але, як показують дослідження і досвід використання у виробничих умовах та відгуки буряківників різних форм власності, перевагу слід надавати техніці найвідоміших в Україні виробників: компанія VELES AGRO (м. Одеса); ТОВ «АГРИОНИКС» (м. Херсон); ВАТ «Калинівське РП «Агромаш»»; ТОВ НВП «БІЛОЦЕРКІВМАЗ»; ВАТ «Уманьфермаш»; ВАТ «Хмільниксільмаш»; ТОВ ВО «Восход».

Найближчим аналогом закордонних знарядь для виконання передпосівного обробітку ґрунту є вітчизняний комбінований агрегат «Forward-6», який розроблений одним з найбільших національних виробників сільськогосподарської техніки – компанією VELES AGRO. Конструкція машини поєднує останні досягнення провідних машинобудівних компаній світу (рис. 1.11).



Рис. 1.11. Комбінований агрегат Veles-Agro «Forward-6» для передпосівного обробітку ґрунту

На даному багатоопераційному агрегаті використовують котки і підшипникові вузли, які не потребують обслуговування (аналогічні використовуються на культиваторах типу КПП), стрільчаста лапа має підпружинений захист. Агрегат оснащений розпушувачами сліду трактора. Вирівнювання поля відбувається за допомогою трьох спеціальних планок, які розташовані попереду переднього котка, після секцій стрілчастих лап і після прикочуючих кільчасто-шпорових котків.

Регулювання глибини обробітку відбувається безступінчато в межах від 2 до 12 см, а для підвищення рівномірності і точності обробітку робочі секції стрілчастих лап встановлені на паралелограмній підвісці. Основний поверхневий шар ґрунту подрібнюється планчастим котком діаметром 400 мм, який оснащений надійними підшипниковими вузлами імпортного виробництва. Остаточне подрібнення і максимальне ущільнення ґрунту виконує кільчасто-шпоровий коток, який придатний для всіх типів ґрунтів і з метою зменшити забивання і залипання ґрунтом обладнаний спеціальними чистиками. Для запобігання утворенню ґрунтових напливів між сусідніми проходами агрегат оснащений боковими металевими захисними щитками.

Завдяки значній робочій швидкості (до 14 км/год) і ширині захвату 6 м, агрегат має високу продуктивність – до 7,2 га/год. Елементи управління передпосівним комбінованим агрегатом Forward прості і доступні для регулювання.

Для передпосівного обробітку ґрунту саме під буряки цукрові використовується також вітчизняний комбінований агрегат «Україна АПБ-6» виробництва Шепетівського заводу культиваторів, призначений для одночасного виконання операцій ранньовесняного і передпосівного обробітку. За один його прохід важкими вальцями в комбінації з легкими вирівнюється поверхня поля, розпушується і подрібнюється поверхневий шар ґрунту, ущільнюється насінневе ложе. Додаткове ефективне подрібнення ґрунту разом з вичісуванням кореневищ і проростків бур'янів

виконується за допомогою запатентованих науковцями Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків оригінальних робочих органів пружинних борін. Сліди тракторної колії розпушуються спеціальними робочими органами лапчастого типу [201].

1.3. Сівба – найвідповідальніший етап технології вирощування буряків цукрових

При проведенні однієї з найвідповідальніших операцій вітчизняної індустріальної технології виробництва цукрових буряків – сівби, відповідно до агротехнічних вимог (табл. 1.3) насіння з високим рівнем одноростковості та лабораторної схожості має розміститись у заздалегідь підготовленому ґрунті певної структури, вологості і твердості, на заданій глибині посіву і з рівномірним (у межах заданого допуску) кроком вздовж рядка [28].

На висококультурних полях за високоякісної підготовки ґрунту і достатнього забезпечення вологою глибина загортання насіння становить 2–3 см. Відхилення від заданої глибини повинно бути не більше $\pm 0,5$ см. В умовах нестійкого і недостатнього зволоження її збільшують до 3–4 см.

Негативно позначається на польовій схожості насіння збільшення глибини його заробки, що трапляється у разі запізненого терміну початку сівби. В такому разі, щоб насіння потрапило у вологий шар, його заробляють на глибину 4 см і більше, попри те, що загортання на таку глибину призводить до зниження польової схожості, яка при цьому зменшується порівняно з оптимальною глибиною (2,5–3,5 см) на 6–11 %, а врожайність – на 2,5–3 т/га [81, 82, 85, 147, 215]. При збільшенні швидкості руху посівного агрегата вище рекомендованої глибина загортання насіння зменшується, а рівномірність інтервалів між отриманими сходами по довжині рядка знижується внаслідок недостатнього контакту конуса ущільнювального колеса з ґрунтом [57], коли за високої швидкості руху сівалки насіння загортається в розпушений ґрунт, “зависаючи” в ньому, і не має достатнього контакту з ущільненим дном клиноподібної борозни (рис. 1.12).

Таблиця 1.3

Агротехнічні вимоги до здійснення технологічного процесу сівби

<i>Показники</i>	<i>Вимоги та допуски</i>
Строки сівби	Починати сівбу буряків, коли середньодобова температура ґрунту на глибині 8–10 см досягає 5–6°C, слідом за передпосівним обробітком ґрунту та закінчувати її на одному полі за 1–1,5 робочих дні*
Глибина загортання насіння	В залежності від ґрунтових та погодних умов зон бурякосіяння насіння загортати на глибину 2–4 см. Відхилення середньої глибини загортання насіння від заданої не повинно перевищувати 0,5 см
Щільність насіннєвого ложа, г/см ³	1,2–1,3
Щільність ґрунту над насінням, г/см ³	1,0–1,2
Рівномірність розподілу насіння вздовж рядка	Кількість насінин, висіяних з відхиленням 20 % від заданого інтервалу по довжині рядка, не повинно перевищувати 40 %
Кількість насінин, що висіяні на 1 м	Відхилення від заданої норми висіву насіння допускається не більше, ніж на 14 %
Ширина міжрядь	Ширина міжрядь всередині захвату сівалки повинна становити 45 см при відхиленні не більше, ніж на 1 см, а ширина стикових міжрядь – 50 см при відхиленні не більше, ніж на 5 см
Прямолінійність сівби	Відхилення осьової лінії на відрізку рядка завдовжки 50 м не повинно перевищувати 5 см
Наявність просівів	Не допускається
<i>Показники</i>	<i>Вимоги та допуски</i>
Вирівняність поверхні поля після сівби	Після проходу сівалки по осьовій лінії рядків повинен утворитись ґрунтовий гребінь висотою до 5 см, а зліва та справа від нього — борозенки завглибшки до 3 см
Ширина поворотних смуг	Ширина поворотних смуг на кінцях гонів повинна бути рівною трьом – чотирьом захватам сівалки

* Запізнення з сівбою на один день, порівняно з оптимальним строком, зменшує урожайність коренеплодів на 5–7 ц/га, на 5–6 днів – на 25–40 ц/га.



Рис. 1.12. Схеми розташування насіння у борозні залежно від робочої швидкості сівалки

Насіння не проростає також і при висіві в сухий шар ґрунту, тому що обов'язковою умовою високої польової схожості є щільний контакт насінин з вологим ґрунтом. Важливо висіяти насіння на ущільнене ложе з незруйнованою капілярною системою. За таких умов навіть у суху погоду забезпечується доступ ґрунтової вологи до насіння. Розпушений верхній шар ґрунту має бути не дуже товстим (2–4 см), щоб крізь нього легко надходив кисень з повітря і тепло. Польова схожість насіння при цьому може досягати 80–90 % і більше. Зазначене має позитивний вплив як на рівень польової схожості насіння, так і на одночасність (дружність) сходів, що загалом підвищує стартовий розвиток рослин і, як наслідок, урожайність культури [89, 109, 117, 121, 152, 154, 171, 214].

Дослідженнями науковців ІБКіЦБ і Всеросійського НДІ цукрових буряків і цукру (сmt. Рамонь, Воронежська обл.) починаючи з 80-тих років та у нинішній час доведено, що одним із головних чинників підвищення урожайності є рівномірність висіву насіння по довжині рядка [12–14, 100, 130, 133–135, 234], адже при зниженні коефіцієнта варіації інтервалів між рослинами на 1 % підвищується урожайність буряків на 0,12–0,25 т/га і їх цукристість [176]. За даними досліджень В. М. Сінченка на модельних

посівах установлено, що при середньому інтервалі між рослинами 20–25 см і зниженні коефіцієнта варіації з 50 % до 25 % підвищується урожайність коренеплодів перед збиранням на 4,7–5,3 т/га [204].

1.3.1. Характеристика вітчизняних та зарубіжних сівалок

За часів існування СРСР та в 90-і роки в Україні буряки сіяли переважно сівалками механічного типу ССТ-12А і модернізованими ССТ-12Б та ССТ-12В (рис. 1.13) розробки Кіровоградського ПКІ і виробництва ВАТ «Червона зірка» (м. Кіровоград) [155, 156, 219, 259].



Рис. 1.13. Сівалка ССТ-12В з механічними висівними апаратами

Сівалка ССТ-12В забезпечує внесення гранульованих добрив одночасно з сівбою, а у комплексі з підживлювачем ПОМ-630-1 – смугове внесення рідких комплексних добрив чи інсектицидів у зону рядків. Поряд з цим, застосування сівалок більшої рядності дозволяє скоротити строки сівби. Саме завдяки цим перевагам Кіровоградським ПКІ за участю науковців ІБКіЦБ розроблена універсальна 16-рядна сівалка ВЕГА 16 для сівби більшості технічних культур.

На протязі останніх 15-20 років найпоширеніша вітчизняна бурякова сівалка з механічними висівними апаратами ССТ-12В активно витісняється

сівалками пневматичного типу дії як західноєвропейського («Мультикорн» фірми «Франц Кляйне» (рис. 1.14), «Оптіма» – Квернеленд (рис. 1.15), «Аеромат ПВ-12» – Беккер, «Моноаір-80» – Акорд, (Німеччина); «Пневмосем» – Ноде Гужи, (Франція)), так і їх аналогами вітчизняного виробництва (СУ-12 – ПО «Оризон-прибор», (м. Сміла Черкаської області) (рис. 1.16), СПУ-5,6 – завод «Охтирсьільмаш», (м. Охтирка Сумської області) (рис. 1.17), СУПК-12, УПС-12 Веста (рис. 1.18) – ВАТ «Червона зірка», (м. Кіровоград)). Остання експортується у десятки зарубіжних країн у тому числі завдяки можливості внесення туків при сівбі [54, 57, 259].



Рис. 1.14. Пневмосівалка «Мультикорн» в роботі



Рис. 1.15. Пневмосівалка «Оптіма»



Рис. 1.16. Пневматична сівалка СУ-12 «Орізон»



Рис. 1.17. Пневматична сівалка СПУ-5,6

Поміж тим, серед вітчизняних машин, що здатні вносити у рядки стартові дози мінеральних добрив одночасно з висівом насіння, крім названих пневмосівалок (універсальна пневматична сівалка УПС-12 Веста, пневмомеханічна СУПК-12) найбільш поширеною у світі залишається сівалка з механічним висівним апаратом ССТ-12В виробництва ВАТ «Червона зірка».

Серед іноземних сівалок найбільше поширення в Україні дістали німецькі «Мультикорн» та «Оптима» з пневматичними висівними апаратами, що застосовуються у господарствах без можливості внесення мінеральних добрив у рядки. Високі технологічні можливості закладені у конструкціях вітчизняних пневматичних сівалок точного висіву (СУ-12 і СТВ-12 виробництва АТ завод «Автоштамп»), які висівають каліброване, капсульоване і дражоване насіння різних технічних просапних культур, але також не можуть вносити туки при сівбі (табл. 1.4) [44, 54, 57, 74].

1.3.2. Переваги висівних апаратів пневматичного типу

Робочий процес висівної системи вітчизняних пневматичних сівалок полягає в тому, що аналогічно до західноєвропейських, висівний апарат, наприклад сівалки УПС-12, працює за принципом розрідження повітря, що створюється в його камерах вентилятором, який приводиться в обертання від вала відбору потужності трактора. Насіння, що знаходиться в зоні забірної камери висівного диска, проходячи через зону розрідження, присмоктується до його отворів. Обладнаний механізмом регулювання знімач скидає зайві насінини, залишивши лише по одній на кожному отворі диска. За допомогою знімача кожна окрема насінина з висівного диска передається в камерне колесо, зовнішній діаметр якого більший від діаметра диска з отворами, і переноситься в зону атмосферного тиску, де вона відділяється від комірки диска і падає у борозну, попередньо створену у ґрунті наральником сошника. Колова швидкість камерного колеса узгоджена зі швидкістю руху агрегату так, щоб під час укладання насіння у вузьке клиноподібної форми насіннєве ложе не виникало імпульсного його скочування і галопування дном ложа. Висівна система пневматичних сівалок надійно забезпечує поодинокі захоплення насінин навіть за сівби на швидкості до 7 км/год. У разі присмоктування кількох насінин до одного отвору диска проводять регулювання кількості насінин на диску біля

кожного отвору з допомогою спеціального знімача. Знімач підпружинений, його положення щодо висівного диска регулюється одним держактом. Травмування насіння різних розмірів і видів при цьому виключається [88].

Роз'єднання насіння (якщо їх декілька присмокталося на отворі) можна добре контролювати через оглядове вікно на висівному диску. Скриня для насіннєвого матеріалу має розвантажувальну кришку, через яку, в разі потреби, вона очищується від залишків насіння.

Таблиця 1.4

Технічні характеристики сівалок

Показники	Марки сівалок				
	Мульти- корн	СТВ-12	СУ-12	УПС-12	ССТ-12В
Агрегат. з тракторами класу, тс	1,4–2,0				
Ширина захвата, м	5,4				
Робоча швидкість, км/год	5,0–7,0	5,0–6,0	5,0–7,0	5,0–6,0	до 5,4
Маса, кг	1240	1400	1255	1630	1433
Місткість бункерів, дм ³ : для насіння для добрив	300 Відсутні	264 Відсутні	180 Відсутні	204 280	192 280
Тип висівного апарата	Пневматичний із механічним приводом висівного диска				Механічний
Привод вентилятора пневмосистеми	Від ВВП трактора				Відсутній

Об'єм скрині з насіннєвим матеріалом становить 20–30 літрів на кожний рядок. Рештки насіння висипаються в пластмасову кришку, яка знімається зі скрині. Сівалки мають по два опорно-привідних колеса і по дві коробки зміни передач («гітари») для зміни колової швидкості камерного колеса і диска. Кожне з опорних коліс через коробку зміни передач обертає

камерні колеса і диски висівних апаратів, які укладають насіння в борозну рядка на заданий інтервал (від 7 до 42 см) зі зміною кроку від 2 до 6 сантиметрів.

Кожна висівна секція сівалки закріплена на паралелограмній підвісці, яка з'єднана з копіювальним ущільнювальним котком. Завдяки створенню вузької смуги певної щільності, наральник сошника, маючи загострену нижню частину, активно входить у ґрунт тільки на встановлену глибину 3–4 см. Грудковідводи встановлюють на передній частині паралелограмної підвіски перед сошником. Глибину ходу їх у ґрунті встановлюють так, аби після висіву рядок із насінням, закритий зверху ґрунтом, не знаходився в жолобоподібному заглибленні. Сошник сівалки має кілеподібну форму, яка забезпечує утворення вузькоклиноподібної борозенки для вкладання та фіксування насіння на дні ущільненого ложа. Наральники сошника підлягають спеціальній термічній обробці (рис. 1.18).

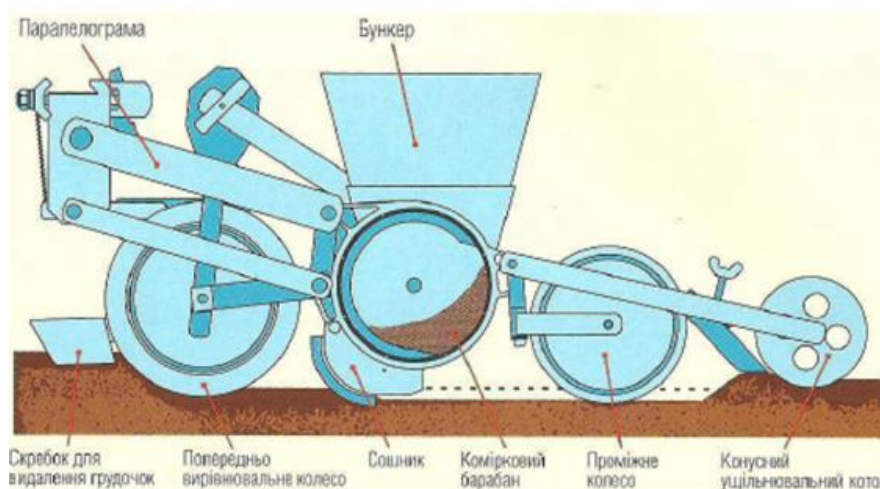


Рис. 1.18. Висівна секція сівалки точного висіву в розрізі

Встановлений слідом за наральником ущільнювальний коток, загортає насіння на дні утвореного ложа. Котки розрізняються за типами: пальчасті котки, які виконують пунктирне ущільнення ґрунту і загортання насіння на дні утвореного ложа на важких ґрунтах, забезпечуючи найвищу польову схожість; комбінований зарівнювальний робочий орган, що складається з двох котків різного діаметра вузького профілю, між якими

встановлено загортачі; конусний ущільнювальний коток, що може загортати насіння у створеному ложе як сам, так і в поєднанні з вузьким ущільнювальним котком (рис. 1.19) [54, 74].



Рис. 1.19. Сівалка УПС-12 Веста

Зазначені вище особливості конструкції висівних апаратів пневматичних сівалок (коли клубочкам насіння надається падіння до укладання в насіннєве ложе) забезпечують суттєво вищу в порівнянні з сівалкою ССТ-12В із механічними висівними апаратами рівномірність розміщення насіння вздовж рядка.

1.4. Збирання урожаю – завершальний, найбільш трудомісткий етап технології виробництва буряків цукрових

Збирання коренеплодів і гички БЦ є вирішальним етапом у технології виробництва цукробурякової сировини. Від правильної і чіткої організації даного процесу, вибору, раціонального використання та правильного налагодження збиральної техніки і транспортних засобів залежить повнота збору врожаю та загальний вихід цукру з одиниці площі.

Буряки цукрові до пізньої осені продовжують активно рости і накопичувати цукор. Наростання маси коренеплодів і підвищення цукристості триває у вересні, жовтні і навіть, за теплої погоди, у листопаді.

Так, за даними ІБКіЦБ приріст одного коренеплоду з 20 серпня по 20 вересня складає 90–110 г, а вміст цукру збільшується на 2–2,5 % (урожайність зростає на 15–30 %, цукристість – на 1,4–1,8 %). Тому до строків збирання слід підходити так, щоб по можливості отримати максимальний урожай коренеплодів та збір цукру, визначити термін початку і своєчасно закінчити збирання врожаю [22, 153, 231, 263, 265].

Високий урожай БЦ з добрими технологічними якістьми забезпечується при збиранні їх у період технічної стиглості. У ранні строки збирання буряки ще не досягли повної стиглості, а це призводить до втрат сировини та цукру. Буряки, зібрані у кінці вересня – на початку жовтня, технічно стиглі і мають високу якість.

Слід також узгоджувати збирання буряків цукрових як з максимальною масою і цукристістю коренеплодів, так і з початком втрат («відтоку» в листя) цукру, коли призупиняється процес асиміляції. Крім того, пізнє збирання пов'язане з втратами врожаю внаслідок несприятливих погодних умов – тривалі дощі, сніг, морози. Тому організаційно строки збирання коренеплодів необхідно встановлювати залежно від площі та забезпечення технічними засобами з таким розрахунком, щоб збиральні роботи завершити до кінця жовтня.

1.4.1. Вплив способів збирання гички і коренеплодів на техніко-технологічні показники процесу у розрізі аналізу світових тенденцій

В залежності від транспортування коренеплодів під час їх збирання можна виділити три найбільш поширених способи збирання – потоковий, перевалочний та потоково-перевалочний (рис. 1.20) [39].

При поточковому способі збирання викопані бурякозбиральними машинами коренеплоди навантажуються у вантажівки чи інші транспортні засоби, що рухаються поруч, і доставляються на бурякозбиральні пункти заводів. Такий спосіб забезпечує мінімальні затрати праці і коштів, менші

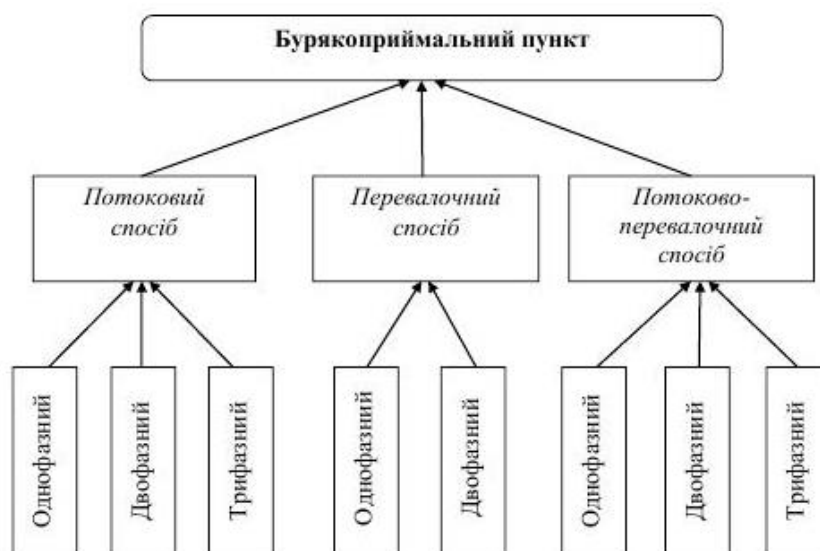


Рис. 1.20. Способи збирання урожаю буряків цукрових

втрати урожаю, вищу технологічну якість доставленої на бурякоприймальні пункти заводів цукросировини, особливо за показниками фізичної забрудненості вороху коренеплодів, а головню, підвищення валового збору коренеплодів за рахунок безпосереднього транспортування їх на цукрові заводи та уникнення тимчасового зберігання у польових кагатах.



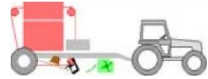

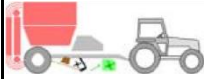
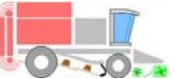
За перевалочного способу коренеплоди навантажуються в транспортні засоби з-під бурякозбиральних машин і доставляються в польові кагати для тимчасового зберігання та подальшого перевезення на бурякозбиральні пункти заводів. Проте такий спосіб застосовується в разі обмежено-дозованого приймання сировини заводами, що практикується останнім часом заводами, особливо в західноєвропейських країнах.







Потоково-перевалочний спосіб збирання БЦ поєднує поточковий та перевалочний способи. Основними технологічними прийомами збирання гички і коренеплодів є одно-, двох- та трьохфазний [39, 42].







Види і марки технічних засобів для збирання урожаю БЦ, які у світовому масштабі є найрізноманітнішими, систематизовані за техніко-експлуатаційними характеристиками відповідно до способів збирання в монографії [74] (табл. 1.5).







Таблиця 1.5



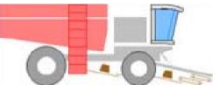



Способи збирання коренеплодів




Однофазне збирання			
Показники	 <p>KRB 1 Комбайн бункерний 1-рядний</p>	 <p>KRB-SF 1 Комбайн самохідний бункерний 1-рядний</p>	 <p>KRB 2 Комбайн бункерний 2- рядний</p>
Марки	Stoll V 100; Juko 100/XJ100; Mace; Madim 3000H, 3500; Alparslan ALP-03HM; Altinörs D 2000 THO/S, CD2000B, HD1700, C1061; Asbir; Ayhan Dünder AD2200/1500; Barış; Dünder B-HE, YD-HE; Ekerler E5000, EH/E 3000, EH/E2000; Erpul; Köylü KSBH03; Ertuğrullar; Harmak PHM2; Torunoğlu H4200, L3200, S3400; Ölçer; Özen İş KPHM-4/5; Sönmezler PH-01, CollinaS; Yiğit; ITMCO 217R02 Sanei BSR475/475A, 575J/JT	Barigelli B/1-4×4-S; Altinörs A3 KENDİ YÜRÜR 4×4	Kleine KR 2; Stoll V 202; Juko XJ 200; Thyregod T7; Tim MII SA/TE 120; KRB/S 212; Sanei B-2; TeK3 KB-2
Місткість бункера, т/м ³	(1-4,5)/(1,5-6,8)	(2,5-3)/(4-4,5)	(3,7-8)/(5,5-12)
Потужність двигуна (SF), кВт	—	60-125	—
Маса, т	1,39-3	6-6,6	2,1-7,5
Показники	 <p>KRB-SF 2 Комбайн бункерний самохідний 2-рядний</p>	 <p>KRB 3 Комбайн бункерний 3-рядний</p>	 <p>KRB-SF 3 Комбайн бункер- ний самохідний 3-рядний</p>
Марки	Barigelli Europa-4×4; Mazzotti Mb 2200; Majevisa M-519	Stoll V 300; Edenhall 743; Tim MIII SH 1204; Thyregod TT800, T7, T9	Stoll V 300 SF; Barigelli B/3-4×4-S; Rimco Aquila DUE-bifila, Aquila DUE-trifila


Місткість бункера, т/м ³	(4,5-7)/(7-11)	(8-11)/(12-17)	(7,5-11)/(11,5-17)
Потужність двигуна (SF), кВт	154-176	—	145-220
Маса, т	9,28-11	7,5-8,2	10,2-12,9
Показники	KRB 4  Комбайн бункерний 4-рядний	KRB-SF 6 (kleine)  Комбайн бункерний самохідний 6-рядний, малий	KRB-SF 6 (mittel)  Комбайн бункерний самохідний 6-рядний, середній
Марки	Edenhall 734; Edenhall 744; Thyregod T9	Kleine SF 10, SF 10-2; Franquet TETRA; Herriau Préservasol 800; Agrifac WKM 9000	Holmer Terra Dos T3; Kleine SF 20; Stoll V 600 SF; Matrot M 2011 Plus, Kroma; Moreau Voltra 6-24, Cobra, Xerris; Vervaet 17T, Beet Eater 617; Agrifac WKM 9000S, ZA215 EH; Riecam RBM 400 T/S; Barigelli B/6-4×4-S; Tim SR 2500; CKC624 «Полесьє»
Місткість бункера, т/м ³	(9-10)/(14-15)	(8,5-12)/(13-18)	(13-20)/(20-30)
Потужність двигуна, кВт	—	221-309	235-362
Маса, т	8,2-9	15,1-21	19-25,7
Показники	KRB-SF 6 (gross)  Комбайн бункерний самохідний 6-рядний, великий	KRB-SF 9  Комбайн бункерний самохідний 9-рядний	KRB-SF 12  Комбайн бункерний самохідний 12-рядний
Марки	Agrifac WKM Big Six; Grimme Maxtron 620, Rexor 620; Vervaet Beet Eater 625; ROPA euro-TIGER V8-3	ROPA euro-TIGER V8-3; Vervaet Beet Eater 925 ; Agrifac HEXA 9	Agrifac HEXA 12
Місткість бункера, т/м ³	(22-28)/(33-43)	(25-28)/(38-43)	33/50

Потужність двигуна (SF), кВт	360-444	440-444	440
Маса, т	28-32,5	35	40
Показники	KRL 3/4/6  Гичкозбиральна і коренезбиральна машини, 3/4/6-рядні	KRL-SF 6  Комбайн самохідний 6-рядний	KRL-SF 8/9  Комбайн самохідний 8/9-рядний
Марки	Grimme FT 270V+Rootster 604; Moreau EP 12+ARC 6; Franquet Super Saïga+TE 6; Standen-Pearson Spectrum MK2; Garford Victor 3/4/6	Moreau GR 4000/4005, Lectra 4005, Lectra V2, Lexxis; Matrot M 41, Magister; Herriau TH 5, Majevisa M-520; ДКЗ РКМ 607 «Кристалл»; ТеКЗ КСБ-6 «Збруч», КС-6Б-10	Moreau Suptra 9.12, Lexxis
Місткість бункера, т/м³	(0-4)/(0-6)	(0-5,2)/(0-8)	(4-7,8)/(6-12)
Потужність двигуна (SF), кВт	—	136-261	275-329
Маса, т	3,7-8,25	9,7-17	16
Двохфазне збирання			
Показники	KR 6  Комбайн-Валкоукладчик 6-рядний	KR-SF 6  Комбайн-валкоукладчик самохідний 6-рядний	K,R 6  Гичкозбиральна машина і копач-валкоукладчик, 6-рядні
Марки	Kleine KR-6II; Barigelli B/6-S, Stacmec RTV6F; КСН-6 «Полесьє»; ОКБ «Союз» КВС-6	Dewulf Orbitt	Moreau EP 11/12+ADS 700 / AS 450, EP 11/12+AS 2500 / AD 2800; Franquet Super Saïga+TE2/TE3; Dutrieux AgriService, Fontani DF/6A+EF/6V; Barigelli B/6-C; Bassi Mb6D+Mb6S;

			Mazzotti MB6D +MB6S; Stacmec DE6F+ SV6F; Dewulf Beeta 6; Gilles TR14+AD/ASC 49; C.M.G. Beet-Leaf+Beet-Lift
Місткість бункера, т/м ³	—	—	—
Потужність двигуна (SF), кВт	—	×	—
Маса, т	2,8-3,5	×	2,39-3,7
Показники	К, R 8  Гичкозбиральна машина і копач-валкоукладчик, 8-рядні	К, R 12  Гичкозбиральна машина і копач-валкоукладчик, 12-рядні	RL 2/3/4  Коренезбиральна машина 2/3/4-рядна
Марки	Gilles TR16/TR80+ +AD/AS80; Gilles TR80+C.M.G. Beet-Lift 8	JPS 12 Rangs	Agromet-Javor Nornica; Cadusa; ДКЗ МКР-2-3; ТеКЗ МКП-4
Місткість бункера, т/м ³	—	—	—
Потужність двигуна (SF), кВт	—	—	—
Маса, т	4,1-5	×	2,3-4,7
Показники	RL-SF 6  Коренезбиральна машина самохідна 6-рядна	RL 6  Коренезбиральна машина 6-рядна	RL 4/6/8/12  Коренезбиральна машина 4/6/8/12-рядна
Марки	ТеКЗ КС-6Б/-01/02/03/07; ДКЗ РКС-6, МКК-6-02, PKM-6-01/05	Grimme Rootster 604; Moreau ARC 6; Franquet TE 6; Cadusa; БОРЕКС КНБ-6; Ніжинський МЗ СУМ-6; ТеКЗ МКП-6;	Amity WIC 2300/2500/2700 ; ART'S WAY 6812A; Alloway, Parma 2200/2700/2900;

		Кочубеєвський РЗ СКП-6; Ритм КПС-6; Рязанський КЗ КПС-6	WilRich Red River 430/622/ 630/822
Місткість бункера, т/м³	(0-0,3)/(0-0,5)	(0-4)/(0-6)	(4-8)/(6-12)
Потужність двигуна (SF), кВт	59-129	—	—
Маса, т	7,8-9	4-7,1	6-16,3
Двох-трьох фазне збирання			
Показники	L  Підбирач-навантажувач	LB  Підбирач-перевантажувач	LB-SF (mittel)  Підбирач-перевантажувач самохідний, середній
Марки	Kleine L6; Franquet CDN 2000; Moreau CN 40; Gilles 136T/TS; Fontani CN/90; Herriau Super; Majevisa CN21; TAKA 2900; Уманьферммаш АЗК-6-03; БОРЕКС ПНБВ-1,6; Ніжинський МЗ ПСП-2; ППК-6 «Полесьє»; Moldagrotehnica MIS-6; Рязанський КЗ ППК-0,8; АОМЗ ПС-2	Bleinroth TLB 30, LB 20, LB 25; Sopema DT 40; Barigelli B/AC-120; Bassi Big Car; Fontani AF140 «Galeone»; Rimeco Falcon 142, Falcon 242; Stacmec AB 16SL, AB 23S/SL; De Puente P, Titan; Fuertes F1, F2; Guerra CTRH3; Mace RT 307/310/314 ; Madim M6, M10	Dewulf R7150; C.M.G. CDR 30, Dutrieux Agri-Service
Місткість бункера, т/м³	(0-1)/(0-1,5)	(5-27)/(7-40)	(16-20)/(24-30)
Потужність двигуна (SF), кВт	—	—	286-368
Маса, т	1,83-3,34	6,75-37,7	17-20
Показники	LB-SF (gross)  Підбирач-перевантажувач самохідний, великий	К 6  Гичкозбиральна машина 6-рядна	К 6/8/12  Гичкозбиральна машина 6/8/12-рядна
Марки	JPS Mega Master, Mega Star; CMC DB 4000; Dewulf R9150; Gilles RB	Kleine K6IIG; Grimme BM 330/300; Herriau; Moreau ET 12;	Amity WIC; ART'S WAY

	240T/410T-TNT/TS/ turboclean; C.M.G. CDR 40	Sopema; Fontani DF/6P; Mace; Madim P6; Majevica M536; Белдормаш БМ-6В; ДКЗ МГН-6, МБП-6, МБК-2,7; ТеКЗ БМ-6Б, МГШ-6, МБР- 6-04, ОГД-6А; Уманьферммаш МГ6; Moldagrotehnica MF-6; АОМЗ АБ-1; Рязаньський КЗ УБС- 6А, ОГД-6М, БУН-4/6; Ритм РБМ-6; Кочубеєвський РЗ БС- 6	638/1222; Alloway; 144/180/264/786/ Parma
Місткість бункера, т/м ³	(22-50)/(34-75)	—	—
Потужність двигуна, кВт	315-485	—	—
Маса, т	17,5-30	1,2-3,3	2,3-5,2
Трьохфазне збирання		Перевалочна технологія	
Показники	<p>К 6</p>  <p>Копач-валкоукладчик, 6-рядний</p>	<p>L-SF</p>  <p>Навантажувач самохідний</p>	<p>BL</p>  <p>Бункер-навантажувач стаціонарний</p>
Марки	Kleine R 6; Herriau SCORE II; Fontani EF/6V; Cadusa; Mace; Madim A6; Majevica ADS; Ніжинський МЗ КСН 2- 050; БОРЕКС КВЦБ1,2; Уманьферммаш АЗК-6-02 ; Moldagrotehnica MRS-6, SS-6; Рязаньський КЗ БУН-4/6; АОМЗ АС-1	Holmer Terra Felis; Gebo SRL 300 WR; Kleine RL 200 SF, RL 350 V; Ropa euro-Maus e-M3; Barigelli B/CS 8000; Амкодор ПС-200; Осколагро СПО-4,2; ДКЗ СПС- 4,2А	Gebo RRL 160 WR, RRL 180 KR/S; Holmer RRL; Grimme RH 24-60; Tim- Thyregod TR 7, TR 8; CTM Harpley CTM 500, CTM 9000; Larrington; Niagri; Nicholson; Tailor Made; Terry Johnson Todd Hydro-Inspecta 900/1300, Todd Mark V1
Місткість бункера, т/м ³	—	—	(6-14)/(9-22)
Потужність двигуна, кВт	—	57-240	16-127
Маса, т	1,06-1,68	9,17-23,5	6,8-10,2

Показники	Умовні позначення нім./укр.: K – Köpfen/Видалення гички; R – Roden (und Reinigen)/Викопування (і очистка); L – Laden (und Reinigen)/Навантаження (і очистка); B – Bunkern/Збір у бункер; SF – Selbstfahrend/Самохідний; «,» відноситься до окремого агрегата <i>Приклади:</i> K, R 6 – фронтальна гичкозбиральна машина, задня коренезбиральна машина, шість рядків; KRB-SF 6 – самохідний бункерний комбайн, шість рядків; RL 3 – коренезбиральна машина тракторна, три рядки; L – навантажувач- очищувач тракторний; LB – підбирач-очищувач-навантажувач бункерний (підбирач-перенавантажувач).	BL-SF  Бункер- навантажувач самохідний
Марки		Gebo BM 200, RL 300 WR; Ropa Euro-Bunkermaschine-BM3
Місткість бункера, т/		(4-8)/(6-12)
Потужність двигуна (SF), кВт		130-230
Маса, т		12,5-23,5

У Західній Європі при використанні поточно-перевалочної і перевалочної технологій збирання застосовують мобільні самохідні L-SF навантажувачі Gebo, Holmer, Kleine, Ropa, Barigelli. У Великобританії, Німеччині і Данії виробляються стаціонарні BL навантажувачі з прийомними завантажувальними бункерами 9–22 м³. Коренеплоди завантажуються в бункер з транспортних засобів або за допомогою сучасних потужних грейферних навантажувачів, продуктивність яких становить 250–350 т/год [74, 236].

Фірма Franz Kleine пропонує нову розробку з оптимізації збирального процесу – надпотужний причіп-перевантажувач LS 16 (рис.1.21), який повністю виключає прості техніки, можливі при перевезенні буряків вантажівками.



Рис. 1.21. Причіп-перевантажувач LS 16 Franz Kleine

При наповненні бункера комбайна перевантажувач приймає коренеплоди, слідуючи поруч з ним, а при підході автомобілів перевантажує вміст причепа в кузов вантажівки всього за 1,5 хв, або формує кагат на краю поля. Вивантаження коренеплодів з бункера комбайна в причіпний перевантажувач здійснюється в режимі Non-Stop, що значно підвищує продуктивність його роботи.

Не менш важливою перевагою причіпного перевантажувача LS 16 перед вантажівкою є ступінь впливу на ґрунт. При в'їзді вантажівки на поле на нього чиниться високий тиск, що негативно позначається на подальшій врожайності вирощуваних культур. Якщо питомий тиск трактора чи комбайна завдяки широкопрофільним шинам близький до ідеального, то у вантажівки цей показник у рази перевищує допустиму норму. У дощову погоду вантажівки, буксуючи, розривають колію і цілісність стерні – найважливішого елемента вологозбереження,

порушується. Крім того, після таких пробуксовок доводиться вирівнювати поля, проводячи додаткову культивуацію або боронування.

При однофазному способі збирання KRB і KRL (відповідно до позначень у табл.1.5.) комбайном за один прохід видаляється гичка, коренеплоди викопуються, очищаються від домішок, збираються в бункері і (або) завантажуються в транспорт, що рухається поруч. Зрізана з коренеплодів гичка подрібнюється і розкидається по полю або збирається в транспорт. До переваг прямого комбайнування слід віднести одноразовий прохід збирального агрегату по полю, використання машин одного типу при мінімальній їх кількості. В даний час на однофазне збирання припадає понад 58 % номенклатури усієї використовуваної в світі техніки, причому 19,5 % – на однорядні комбайни. Якщо 1–2-рядні комбайни в своїй більшості причіпні, то 6, 8, 9 і 12-рядні – виключно самохідні (SF). Провідне становище у виробництві таких комбайнів займають Німеччина, Нідерланди, Франція [137, 140, 191, 192]. Більшість комбайнів мають бункер-накопичувач. У багаторядних комбайнів місткість бункера достатня для повного заповнення транспортного засобу та (або) забезпечує рух комбайна без вивантаження коренеплодів на довжині гону не менше 500 м. Потужність двигуна і місткість бункера зі збільшенням рядності комбайнів збільшуються і досягають відповідно 440 кВт і 50 м³, як у 12-рядного комбайна Agrifac HEXA 12 [140].

Складні інтеграційні процеси в Західній Європі і США, що відбуваються останні 20-30 років у виробництві сільськогосподарської техніки, у тому числі бурякозбиральної, коли кооперуються фірми, створюються великі концерни, корпорації і холдинги на міжнаціональному рівні, супроводжуються поглибленням спеціалізації окремих фірм на основному виді продукції, що призводить до здешевлення та підвищення якості комплектуючих і кінцевого продукту. Через розорення окремих фірм чи їх злиття і перехід на більш вузьку спеціалізацію, число компаній, які розробляють і виготовляють бурякозбиральну техніку, постійно

скорочується, а виробничі потужності великих концернів, навпаки, зростають. На цьому тлі наші висновки і узагальнення щодо сучасних світових тенденцій в розвитку бурякозбиральної техніки є наступними [37, 38, 39, 41, 42, 43, 46-48, 68, 73-76, 124, 174, 199]:

- домінуюче положення займає однофазне збирання при неухильному скороченні частки 3-фазного;

- оскільки швидкість руху машин для збирання коренеплодів технічно обмежена величиною 6-7 км / год, основним способом збільшення продуктивності процесу збирання є збільшення ширини захвату агрегатів до 8-12 рядків;

- неухильне зростання в Західній Європі частки самохідної техніки;

- найбільш поширені барабанні гичкорізи з дообрізчиками у вигляді пасивних ножа і копіра, вібраційні лемішні, дискові і лемешно-дискові копачі, турбінні та вальцеві конвеєри-очисники;

- збільшення ємності бункерів комбайнів і підбирачів-перевантажувачів до 50 м³ (супутнє зростання маси завантаженої техніки до 60 т);

- використання шин великих розмірів, заміна двовісних шасі 3-4-осним, застосування гусеничного рушія;

- перевага віддається шарнірній рамі комбайна, що забезпечує зменшення радіуса його розвороту, а за рахунок зміщення задніх коліс в сторону від крайнього неприбраного рядка - рівномірне ущільнення ґрунту;

- підвищення якості очищення і зниження пошкоджуваності коренеплодів за рахунок збільшення довжини очисного тракту до 12 м при щадному кінематичному режимі сепаруючих робочих органів;

- комплектування машин різними змінними робочими органами, найбільшою мірою адаптованими до конкретних природно-кліматичних і виробничих умов;

- робочі органи переважно мають гідравлічний привід, що спрощує кінематику, знижує металоємність, забезпечує реверсування і безступінча-

ту зміну частоти їх обертання;

- застосування гідростатичного приводу ходової частини;
- впровадження комп'ютерних технологій в управління машиною і робочими органами;
- використання електронної системи управління впорскуванням палива;
- впровадження автоматичної централізованої системи змащення.

1.4.2. Перспективи і напрями розробки вітчизняних технічних засобів для збирання коренеплодів

Зарубіжні бурякозбиральні комбайни, як видно з викладеного вище, являються сучасними технічно складними і досконалими машинами, забезпечують якісне збирання коренеплодів навіть за несприятливих умов, відповідно мають високу вартість. Їх використання ефективне в господарствах з урожайністю понад 50 т/га та великою площею посівів (сезонний наробіток на комбайн має бути 600–800 га), що доведено нами [41, 47, 48] та підтверджується зарубіжними дослідниками [86, 172, 270].

В Україні переважно застосовуються самохідні бурякозбиральні комбайни М-41МН Matrot та LECTRA-4005 Moreau (Франція); R26.45K та R26.50K ROPA, SF-10 Franz Kleine, Holmer (Німеччина) (рис. 1.22) з місткістю бункера до 30 м³.



Рис. 1.22. Бункерний 6-рядний комбайн Holmer Terra Dos T3

У Франції деякі моделі оснащуються бункером меншої місткості (до 7 м^3), що забезпечує при порівняно невеликій масі комбайна його високу продуктивність. У табл. 1.5 комбайни без бункера позначені як KRL.

Провідні фірми США Amity, Art's Way, Alloway, Parma також виробляють 6, 8, 12-рядні коренезбиральні машини виключно причепні, обладнані невеликим бункером ($4,5\text{--}6,5 \text{ м}^3$) [155].

В Україні, де на протязі останніх років буряки цукрові вирощуються на площі до 300 тисяч гектарів, доцільно виробляти власний самохідний бункерний комбайн, який би відповідав таким об'ємам виробництва.

На превеликий жаль, вітчизняні аналоги таких машин, що мають бункери місткістю 10 м^3 і відносяться до цієї ж категорії, стали останніми розробками ТеКЗ (рис. 1.23, 1.24) і ДКЗ (рис. 1.25), [37, 38, 174].



Рис. 1.23. Бункерний комбайн КСБ-6 «Збруч»



Рис. 1.24. Комбайн КС-6Б-10 «Тернопіль»



Рис. 1.25. Комбайн РКМ 6-07 «Кристалл»

Наші дослідження показників питомої витрати палива й затрат праці за різних технологій збирання свідчить про перевагу однофазного (комбайнового) способу збирання над серійним комплексом машин, в якому збирання здійснюється трьома окремими машинами: гичкозбиральною БМ-6Б, доочисником головок коренеплодів ОГД-6А і коренезбиральною КС-6Б. Витрати палива бункерними комбайнами КС-6Б-10 і РКМ-6-07 менші на 50,4–54,5 %, а затрати праці - в 2,56–2,74 разів. Наявність бункера-накопичувача дозволяє вивільняти значну кількість технологічного транспорту, зменшуючи прямі експлуатаційні витрати в 1,8 рази [37, 38].

Витрати на збирання буряків відносно продуктивності машин показали, що найменше їх припадає на Holmer Terra Dos – 1010,7 грн/га (при тому, що крім викопування коренеплодів комбайн попередньо зрізує гичку), потім WIC 2500 – 1171,2 грн/га і, на кінець, КС-6Б-02 – 1487,3 грн/га [124]. Тому на великих посівних площах вигідно використовувати високопродуктивні комбайни фірм Holmer, Kleine і т.п.

Недоліком двохфазного збирання урожаю, коли гичка і коренеплоди збираються роздільно, є жорстка взаємозалежність двох агрегатів, що працюють в одному комплексі. Цей недолік усувається за умови застосування однофазного збирання, тобто прямого комбайнування.

Однофазне збирання може здійснюватися за допомогою тракторного

агрегата з фронтальною гичкозбиральною К та причіпною коренезбиральною машинами RL, якщо коренезбиральна машина має маломісткий бункер об'ємом 1,5-2,0 м³ (як, наприклад, Franquet TE6) і пристрій-транспортер для навантаження викопаних коренеплодів у транспортний засіб, що рухається поруч.

У нашій країні такі дослідження проводяться в ІБКіЦБ, ННЦ «ІМЕСГ», ХДТУСГ ім. Петра Василенка, УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого, ВАТ «БОРЕКС», ПрАТ «Уманьферммаш» та ін. як на базі нових вітчизняних орно-просапних тракторів ХТЗ-16031 (рис. 1.26) і ХТЗ-121, так і агрегатованими з тракторами МТЗ-80/82 навісною гичкозбиральною машиною (рис.1.27), причіпним копачем-навантажувачем КНБ-6 (рис. 1.28) і напівнавісними копачами-валкоукладчиками (рис. 1.29; 1.30), причіпними підбирачами-навантажувачами коренеплодів з валків (рис. 1.31, 1.32) та інших зразків дослідних бурякозбиральних машин та самохідного бункерного комбайна, розроблених за участю автора [39, 43, 46, 59, 63, 75, 76, 174, 181, 185, 186], в т. ч. впроваджених у виробництво (акти впровадження результатів НДР - додатки І, Л, М)



Рис. 1.26. Копач-валкоукладчик КВЦБ-1,2 «БОРЕКС» в агрегаті з трактором ХТЗ-16031



Рис. 1.27. Машина гичкозбиральна МГ-6 «Уманьферммаш»



Рис. 1.28. Копач-навантажувач коренеплодів КНБ-6 «БОРЕКС»



Рис. 1.29. Копач-валкоукладчик коренеплодів КВЦБ-1,2 «БОРЕКС»



Рис. 1.30. Копач-валкоукладчик АЗК-6-01 «Уманьферммаш»



Рис. 1.31. Підбирач-навантажувач коренеплодів з валків ПНБВ-1,6 «БОРЕКС»



Рис. 1.32. Підбирач-навантажувач коренеплодів з валків АЗК-6-03 «Уманьферммаш»

Таким чином, підсумовуючи, слід сказати, що для багатуукладного аграрного сектора України з її різними ґрунтово-кліматичними зонами затребувані всі технології та способи збирання коренеплодів буряків цукрових, визнані в сучасній світовій практиці. Для заповнення необхідної відсутньої техніки і в зв'язку з розширенням в майбутньому посівної площі до 800 тис. га і вище, поряд з бункерними (10 м³) комбайнами слід розробити і освоїти промисловий випуск:

- 1) шестирядного самохідного бурякозбирального комбайна однофазного збирання з бункером в 12–20 м³ для великих господарств з площею посіву не менше 500 га і врожайністю не менше 40 т/га;
- 2) навісної спереду орно-просапного трактора типу ХТЗ-121 фронтальної шестирядної гичкозбиральної машини;
- 3) причіпного підбирача-перевантажувача з бункером 15–25 м³;
- 4) причіпного бункера-накопичувача місткістю 15–20 м³;
- 5) для фермерів і невеликих господарств 1–3-рядних навісних і причіпних бункерних комбайнів однофазного збирання, особливо універсальних, пристосованих збирати також інші коренеклубнеплоди (буряк кормовий, столовий, картопля).

У перспективі альтернативу шестирядній збиральній техніці повинна скласти 8, 9, 12-рядна.

1.4.3. Аналіз відповідності показників роботи бурякозбиральних машин нормативам державних стандартів та агротехнічних вимог

Технологічна якість коренеплодів визначається рівнем застосовуваних механізованих технологій на всіх етапах від основного обробітку ґрунту до отримання бурякової сировини на заводі восени наступного року. Проте, якість викопаних коренеплодів значно залежить від технічної досконалості робочих органів бурякозбиральних машин, насамперед гичкорізів, копачів та очисників.

Перед викопуванням буряка необхідно відокремити гичку від головки коренеплода за якомога точнішого зрізу і відсутності зеленого листя на ньому. Після того, як конус наростання буде зрізано, коренеплід буряка не може продовжувати “рости” в бурті, і втрати при випаровуванні залишаються невисокими. Чим менший зріз головки коренеплода, тим менші втрати маси, але вищий вміст у ньому речовин, що перешкоджають вилученню цукру. Це важливо, оскільки сприяє збільшенню тривалості сезону збирання, який наразі становить 100 і більше днів та, відповідно, терміну зберігання на бурякоприймальних пунктах переробних заводів.

Занадто низька обрізка головки коренеплода призводить до значних втрат врожаю. Залежно від сорту буряків, за умови правильного регулювання гичкорізів, частка головок в загальній масі коренеплодів становить 8-15%.

В даний час в Україні, а ще більше в інших країнах Східної Європи, поряд з високотехнологічними самохідними застосовуються простіші причіпні бурякозбиральні комбайни, точні гичкозбиральні агрегати, шасі на колісному і гусеничному ході, тобто не зважаючи на реформи у бурякоцукровій галузі та коливання цін на світовому ринку цукру, в розвитку бурякозбиральної техніки застою не спостерігається.

Східноєвропейські сільськогосподарські підприємства обробляють великі площі насамперед за допомогою сучасних причіпних машин з простою системою агрегування. Такі шестирядні бурякозбиральні комбайни мають американське, а останнім часом і німецьке походження. Проте, це зовсім не означає, що бурякозбиральні комбайни стануть ще більшими і габаритнішими - вони і так вже давно досягли допустимих правилами дорожнього руху меж і, окрім цього, дедалі актуальнішими стають вимоги до ваги машини в аспекті захисту ґрунту. Отож, мають відроджуватись легкі самохідні комбайни і причіпні та навісні машини.

У більшості західноєвропейських виробників зрізана при збиранні гичка подрібнюється валом з ножами і укладається в міжряддя, що вперше

було розроблено компанією Stoll. Проте, для експорту всі виробники бункерних бурякозбиральних комбайнів продовжують пропонувати обладнання з боковим викидом бадилля, що особливо актуально для сильно засмічених полів Східної Європи, адже укладений гичкорізами в міжряддя рослинний матеріал штовхався б перед викопувальними робочими органами.

Наразі всі виробники розміщують перед підкопувальним лемішем комбайна полозковий датчик з дообрізчиком. Висока щільність рослин посилює вимоги до часу реагування гичкоріза у зв'язку зі скороченням відстані між коренеплодами в рядку до 15-18 см. В цілому ж регулювання ножів по висоті, як і раніше, можна досить швидко провести за допомогою досконалого паралелограмного механізму. Однак, як показують результати досліджень, на швидкості до 6 км/год 79-93 % коренеплодів обрізаються цілком задовільно ("правильна" і "висока" обрізка), але при перевищенні цієї швидкості якість обрізки гички помітно погіршується [223].

У майбутньому за листовим гичкоподрібнювачем, буде розташовуватися не обрізувач головок, а вальці з поліуретановими бичами, які інтенсивно очищають головки коренеплодів, що нами досліджувалось ще у 90-х роках. Для досягнення кращого результату бичі можуть бути різної форми і жорсткості [19].

Достатньо точна дообрізка головок залишається особливістю збирання буряків в Центральній Європі.

У США викопування і обрізка головок здійснюється в більшості випадків в два окремих етапи за допомогою навісних знарядь. Американські виробники WIC-Amity ([www. Amitytech.com](http://www.Amitytech.com)) і Artsway (www. Artsway-mfg.com) вже працюють над комбінацією з вальця зі сталевими бичами і двох наступних очищувальних вальців, що видаляють листя і частину головки. Індивідуальне регулювання висоти зрізу гичкоріза відсутнє. Цей пристрій налаштовується по всій ширині захвату на висоту від 2 до 5 см. Недоліком при цьому є вибивання з ґрунту окремих великих

коренеплодів, які отримують серйозні ушкодження на значній площі поверхні, а тому заводські втрати при випаровуванні збільшуються. Тому в США буряк консервується в величезних ангарах або складається в північних регіонах під відкритим небом на морозі.

Коренеплід має витягуватись з ґрунту якомога чистішим, тобто в ідеальному випадку кожний буряк потрібно захватувати і витягувати із землі окремо. Однак в кінці 90-х років прототипи таких машин не витримали конкуренції як малоефективні. Не прижився також метод витягування коренеплодів з ґрунту за гичку (машини брального типу), бо виконується за порівняно невеликої швидкості руху і значно залежить від стану гички на момент збирання коренеплодів, хоча саме з таких комбайнів (КСТ-2А, КСТ-3, КСТ-3А) у 20–30 роки минулого століття починалась ера будівництва бурякозбиральної техніки.

У Центральній Європі традиційно застосовуються самохідні шестирядні бурякозбиральні комбайни з бункером. Деякі компанії виробляють і більші бурякозбиральні агрегати на дев'ять (Ropa, www.ropa-maschinenbau.com; Vervaet, www.vervaet.nl) або дванадцять рядків (Agrifac, www.agrifac.nl). Ємність бункера при цьому не збільшується. Перевага таких машин полягає в збільшенні потужності процесу викопування при одночасному зниженні витрат в розрахунку на гектар і, особливо, на тону урожаю, та робочої швидкості, що разом з точнішим керуванням викопувальних робочих органів вздовж рядків забезпечує підвищення якості цукросировини.

Найпоширеніші у Східній Європі жорсткі дискові і лемішні копачі. Важливо, щоб копач не тиснув через землю на коренеплід подібно ковшу. В цілому цей ефект проявляється значно сильніше при роботі з жорстко фіксованими на рамі копачами, ніж при використанні активних копачів з системою приводу або вібраційною системою. Крім цього, активні системи вимагають значно менше тягового зусилля, ніж пасивні копачі, адже при

роботі в умовах достатньої вологості дисковий копач без приводу "вирізає" з ґрунту конус, а вміст землі у воросі коренеплодів помітно збільшується. Незважаючи на це, багато машин фірми WIC-Amity, а також нові моделі "Rootster", які фірма Grimme розробила спеціально для ринку Східної Європи, укомплектовані саме ними.

У Західній Європі компанії Holmer (www.holmer-maschinenbau.de) (за бажанням замовника) і Grimme (в самохідному комбайні Maxtron) використовують виключно дискові копачі з гідравлічним приводом, здатні зміщуватись з боку в бік. Завдяки руху дисків з незначним випередженням, коренеплоди активно беруться з ґрунту. Причіпний "Rootster" від Grimme опційно комплектується дисковими копачами з гідравлічним приводом.

Найпоширенішим у Західній Європі як і раніше залишається лемішковий жорсткий копач. Для забезпечення мінімальної забрудненості вороху коренеплодів землею на твердих і щільних ґрунтах застосовуються вібраційні приводи, коли спарені лемішки копача рухаються паралельно або назустріч один одному.

Компанія Franz Kleine, яка більшу частину своїх бурякокопачів продає сьогодні в Східній Європі, розробила двофазний копач. Подібно долоту леміш копача розрізає ґрунт по обидві сторони коренеплода і злегка піднімає його. Після цього лопатевий вал підхоплює коренеплоди і подає їх на наступні вальці. Це послаблює ефект притискання коренеплода лемішем. Крім цього копач захоплює також і ті коренеплоди, які злегка зміщені відносно осьової лінії рядка. Недоліком такого копача є підвищення тягового зусилля для переміщення значно більшого обсягу ґрунту.

Отже, принципові відмінності обох схем викопування коренеплодів полягають в тому, що лемішкові копачі застосовуються для роботи на нормальних ґрунтах, дискові копачі призначені для твердих і щільних ґрунтів та забур'янених полів. Точність управління копачами вздовж рядка

сприяє меншому забору землі та рослинних залишків, особливо при роботі у складних умовах збирання.

Гичкозбиральні машини. Вітчизняні буряковиробники використовують гичку як зелений корм для годівлі худоби, силосують або розстеляють на полі як сидеральне добриво.

Гичкозбиральні апарати повинні зрізувати гичку не нижче верхньої зони сплячих вічок і не вище 2 см від основи листків. Установлено, що при зрізуванні 1 см шийки коренеплоду, втрати урожаю становлять 5–7 %, а при зрізуванні 3-х см – зростають до 20–27 %. Поверхня зрізу повинна бути гладенькою, рівною і горизонтальною. Кількість коренеплодів з необрізаною гичкою не повинна перевищувати 8 % (всього зеленої маси – не більше 3 %). Відходи частинок головок коренеплодів у гичку при збиранні – не повинні перевищувати 5 %, а втрати гички – не більше 18 %. Забрудненість зрізаної гички землею повинна бути меншою ніж 0,5 %. [27, 96, 104, 142, 223, 229].

У відповідності до ДСТУ 4327:2013 буряки цукрові для промислового перероблення повинні містити не більше 1 % цвітушних і 5 % підв'ялених коренеплодів, базова цукристість – 16 % [122].

Коренезбиральні машини відповідно до вимог Держстандарту повинні забезпечити підкопування і витягування з ґрунту не менше 99 % коренеплодів, їх забрудненість землею допускається до 10 %, пошкодження – до 5 %. При механізованому навантаженні втрати коренеплодів повинні бути меншими 0,5 %, забрудненість – не більше 2 %. Кількість дуже пошкоджених навантажувачами-очисниками коренеплодів не повинна перевищувати 3 % [27, 96, 142].

Викопувальні робочі органи коренезбиральних машин не повинні травмувати коренеплодів. Обламування хвостиків у коренеплодів призводить до втрат врожаю. Якщо в ґрунті залишились хвостики довжиною 3,5 см втрачається 5–6 % урожаю, при довжині 5 см – втрати зростають до 10–12 % [6, 103, 265].

Однаке, такі досить жорсткі вимоги не завжди виконуються, адже на якість збирання гички і коренеплодів цукрових буряків суттєво впливають умови, при яких воно проводиться: вологість і твердість ґрунту, вирівняність рельєфу поля, засміченість посівів бур'янами, діаметр коренеплодів і відстань їх відносно один одного в рядку, бічні відхилення від осьової лінії рядка і виступання головок над рівнем ґрунту. Багаторічними дослідженнями процесів механізованого збирання БЦ, результатами державних випробувань бурякозбиральної техніки і досвідом її використання в реальних умовах експлуатації в господарствах різних зон бурякосіяння, а також власними дослідженнями автора, доведено, що показники якості збирання БЦ значною мірою залежать як від погодних умов, організаційно-господарських і технологічних факторів: стану розвитку рослин і розміщення їх в рядках; вологості і твердості ґрунту, так і від технічної досконалості робочих органів [5, 17, 22, 46-48, 104, 174, 197, 207, 228, 240, 258].

Суттєвою проблемою процесу збирання, досліджуваною нами впродовж багатьох років, є забрудненість бурякової сировини землею, особливо при роботі машин на твердих (понад 3,5–4,0 Мпа) ґрунтах, коли при втратах до 13–15 % у вигляді невикопаних і до 40 % пошкодженнях коренеплодів обсяги «безповоротної доставки» родючих чорноземів на заводські бурякоприймальні пункти у вигляді домішок сягають 40–45 % загальної маси вороху коренеплодів [46, 53, 59, 165]. Дослідженням проф. Барановського В. М. (2013 р.) підтверджується, що «...з полів вивозиться кількість родючого ґрунту, яка еквівалентна 5–10 см орного шару на площі збирання рівній 100 га» [11]. За даними ІБКіЦБ (проф. Балан В. М. та ін.) у 1994 році з господарств сировинної зони Погребищенського цукрового заводу на призаводський бурякопункт було привезено понад 25 тисяч тон землі і зеленої маси [177].

Вочевидь, постає важлива народногосподарська проблема збереження родючості ґрунтів, вирішити яку можливо шляхом

інтенсифікації процесу первинного очищення викопаних коренеплодів від ґрунтових залишків безпосередньо при їх викопуванні.

Іншою, не менш важливою проблемою, що виникає під час переробки бурякової сировини, є забрудненість вороху коренеплодів залишками гички та бур'янів. За даними НДІ цукрової промисловості (Томиленко О. Г., 1981; Чернявська Л. І., Хелемський М. З., 1996) та ІБКіЦБ (Іоніцой Ю. С., 2013), а також багатьох зарубіжних дослідників (Asher J. C., Blomquist J. E., Bosermark N. O. та ін., 2006) із збільшенням кількості гички на коренеплодах з 1,9 до 5,5 % доброякісність дифузійного соку знижується з 89,3 до 85,1 %. При цьому кожний відсоток зеленої маси на коренеплодах призводить до зниження доброякісності соку на 0,4–0,5 % і збільшення вмісту цукру в мелясі на 0,1 % [105, 165, 222, 223, 230, 241, 251, 266].

Загалом, при тривалому заводському зберіганні (більше 60 діб) сильно пошкоджених і забруднених землею та рослинними залишками коренеплодів значно погіршуються кондиції сировини внаслідок ураження кагатною гниллю, а втрати цукру зростають у 5–7 разів [103, 105, 148, 222].

Таким чином, розробка і впровадження у виробництво досконалих бурякозбиральних машин, які дозволяли б проводити якісне збирання всього вирощеного біологічного врожаю незалежно від ґрунтово-кліматичних умов і стану бурякового поля в період проведення збиральних робіт, є актуальною проблемою бурякоцукрового виробництва.

1.5. Висновки до розділу, мета і завдання дослідження

Проведений аналіз показує, що буряки цукрові серед інших просапних польових культур є найвимогливішими як до ґрунтово-кліматичних умов, так і до робочих органів машин, що призначаються для виконання низки складних технологічних процесів їх вирощування і збирання, тому продуктивність виробництва цукробурякової сировини визначається рівнем застосовуваних інтенсивних механізованих технологій і досконалістю технічних засобів на всіх етапах від передпосівного

обробітку ґрунту і сівби насіння весною до отримання бурякової сировини на заводі восени. Дослідження таких складних багатопараметричних систем пов'язане з проблемою вибору найбільш інформативних ознак, розробки системних показників та обчислювального алгоритму з урахуванням ймовірнісної природи умов функціонування, що наразі є мало вивченим в порівнянні з іншими відомими методами моделювання та прийняття рішень і перебуває в зародковому стані.

Наведений аналіз сучасного стану і проблем у механізації буряківництва дає підстави для висновку про актуальність і значимість досліджень за темою дисертаційної роботи, метою яких є підвищення продуктивності виробництва коренеплодів за рахунок постановки і розв'язування завдань на основі комплексного підходу до багатокритеріального оцінювання технологічних процесів і технічних засобів для вирощування і збирання цукрових буряків шляхом їх математичного моделювання.

Завдання дослідження полягає у розв'язанні важливої народногосподарської проблеми підвищення врожайності буряків цукрових і якості первинного очищення коренеплодів під час їх викопування.

Вирішення означеної проблеми зводиться до розв'язання завдань:

- провести аналіз сучасного стану технології вирощування і збирання буряків цукрових, визначити технологічні операції, що впливають на польову схожість насіння та показники агротехнічних вимог при їх сівбі, вирощуванні і очищенні викопуваних коренеплодів від ґрунтових і рослинних залишків;
- дослідити за техніко-економічними і агротехнічними показниками сучасні агрегати для передпосівного обробітку ґрунту; розробити геометричну модель робочої поверхні знаряддя для розпушування ґрунту і провести експериментальне дослідження;
- визначити вплив основних експлуатаційних і технологічних факто-

рів на показники точності розміщення насіння і сходів вздовж рядка при сівбі сівалками механічного і пневматичного типу;

- розробити і опрацювати математичну модель падіння відокремленої від висіваючого диска насінини при роботі висівного апарата пневматичного типу;

- визначити засадничі умови і особливості побудови імітаційних моделей механізованих технологічних процесів вирощування буряків на основі аналізу систем управління складними технологічними процесами;

- розробити методи моделювання складних технологічних процесів вирощування буряків цукрових та створити алгоритм розв’язання оптимізаційної багатокритеріальної задачі забезпечення максимальної польової схожості насіння;

- провести комплексне оцінювання одержаних значень показників імітаційного моделювання;

- на базі дискового копача розробити геометричні моделі робочих поверхонь шнеків-транспортів з метою удосконалення процесу первинного очищення коренеплодів від грудок землі та рослинних решток, особливо за умов роботи на ґрунтах підвищеної твердості, і провести їх експериментальні дослідження;

- розширити класифікацію робочих органів сучасних збиральних машин за ознакою можливості їх застосування при звужених міжряддях;

- розробити зразки машин для реалізації і впровадження у виробництво нового способу виробництва буряків цукрових з комбінованими міжряддями; обґрунтувати раціональну схему розміщення рослин за комбінованої ширини міжрядь;

- визначити економічну ефективність результатів досліджень на тлі оцінки варіантів технологій з використанням вітчизняних і зарубіжних машин.

РОЗДІЛ 2

ТЕОРЕТИКО-ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ПЕРЕДУМОВИ ПІДВИЩЕННЯ ПОЛЬОВОЇ СХОЖОСТІ НАСІННЯ І РІВНОМІРНОСТІ РОЗМІЩЕННЯ СХОДІВ ЗА РАХУНОК ДОСКОНАЛОСТІ ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ

2.1. Призначення технологічного процесу передпосівного обробітку ґрунту

Передпосівний обробіток ґрунту (ПОГ) є складовою частиною єдиного технологічного процесу – сівби буряків цукрових (БЦ), тож має здійснюватись без розриву в часі, тобто безпосередньо перед проходом посівного агрегату.

При проведенні однієї з найважливіших операцій індустріальної технології виробництва БЦ – сівби, відповідно до агротехнічних вимог (АТВ) насіння з високим рівнем одноростковості і лабораторної схожості та високою енергією проростання має розміститись у заздалегідь підготовленому ґрунті певної структури, вологості і твердості, на заданій глибині посіву і з рівномірним (у межах заданого допуску) кроком вздовж рядка. Зазначене має позитивний вплив на рівень польової схожості насіння та одночасність (дружність) сходів, що загалом підвищує початковий ("стартовий") розвиток рослин і, як наслідок, урожайність культури.

За даними досліджень ІБКіЦБ (В. С. Глуховський, 1982, А. В. Горобець, 1999, В. Л. Курило, 2008), УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого (О. А. Маковецький та ін., 1989), ДДАЕУ (Г. В. Теслюк та ін., 2013) такі показники якості виконання ПОГ, як рівномірність заданої глибини і розмір грудочок розпушеного поверхневого шару ґрунту в порівнянні з показниками вологості і температури ґрунту значно вагомніше (11–14 % проти 7–10 %) впливають на результируючий показник – польову схожість насіння (рис. 2.1) [82, 83, 85, 124, 134].

Разом з цим, як показують наші дослідження, дотримання рівномірності глибини обробітку ґрунту сприяє ущільненню насінневого ложа та накопиченню вологи, а завдяки дрібним фракціям грудочок обробленого поверхневого шару скиби забезпечується якісніше загортання насінин та поліпшується доступ світла і повітря до паростків, що також сприяє підвищенню польової схожості насіння та одночасності появи сходів (рис. 2.2) [49, 50, 54, 58, 65-67, 69, 74, 191].



Рис. 2.1. Ступінь впливу (%) основних технологічних факторів на польову схожість насіння (по проф. В. С. Глуховському)

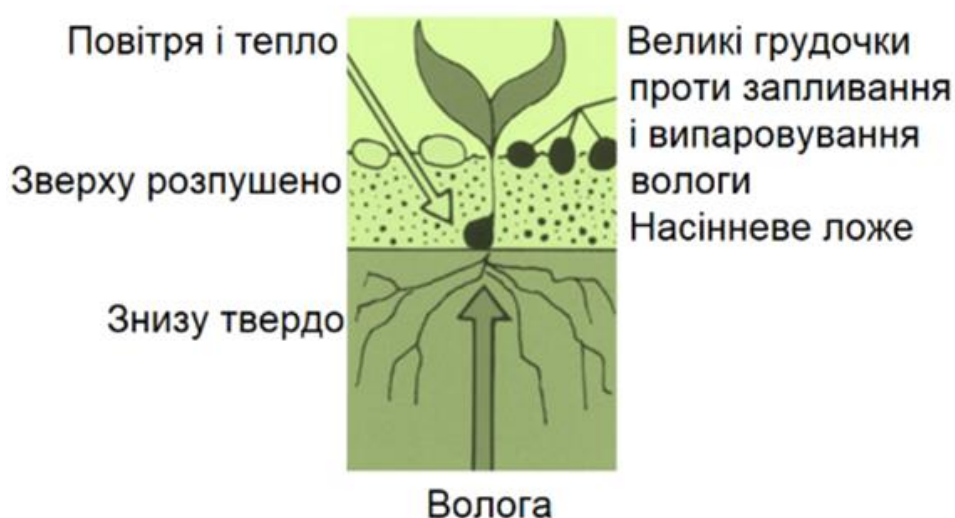


Рис. 2.2. Схема заробляння насінини в ґрунт при сівбі і живлення при проростанні.

Отже, в агротехнічному аспекті важливість передпосівного обробітку ґрунту є незаперечною.

2.2. Моделювання поверхонь робочих органів машин для проведення передпосівного обробітку ґрунту

2.2.1. Теоретичні передумови створення поверхонь робочих органів для рихлення ґрунту

Аналіз результатів відомих спеціальних дослідів з розробки розпушувачів ґрунту дає підстави стверджувати, що напружено-деформований стан поверхневого шару ґрунту при проникненні в нього кінця ребра РО близький до процесу вдавлювання у ґрунт штампа (накієчника твердоміра) і умовно поділяється на три фази [36, 175].

У першій фазі відбувається ущільнення ґрунту: структурні агрегати опускаються донизу, і, наближаючись один до одного, витискають суміші води і повітря. Відбувається інтенсивний приріст опору. У цій фазі вертикальні переміщення часток ґрунту перевершують горизонтальні. При подальшому русі штампа закінчується формування ущільненого ядра під цим штампом, яке приймає конусоподібну форму. Траєкторії часток, які лежать під ущільненим ядром, поступово відхиляючись від вертикалі, починають рухатись у горизонтальному напрямку - настає друга фаза зсувів ґрунту. Під час зсуву частинки спочатку виходять на вільну поверхню ґрунту, а потім, зі збільшенням глибини занурення штампу, втискаються у стінки масиву ґрунту. У другій фазі опір втискання штампу продовжує збільшуватися. Однак через виникнення зсувів інтенсивність зростання опору падає і стає мінімальною після стилізації зони зсувів. Після цього починається третя фаза, яка характеризується рухом частинок, при якому опір зростає з постійною інтенсивністю. Ця фаза відповідає утворенню під штампом зони стійкого ущільненого ядра та області встановлення меж рівноваги.

Застосування радіального ребра розробленої нами форми [65, 181] дозволяє розтягувати оброблювальний шар ґрунту у повздовжньому напрямку і одночасно стискати у поперечному, що, відповідно до теорії Кулона-Мора про баланс стискаючих і розтягуючих деформацій, забезпечує підвищення технологічних показників кришіння ґрунтового моноліту і зниження енерговитрат, особливо при роботі на твердих ґрунтах.

Для побудови моделі дії кінця ребра РО при проникненні в ґрунт на глибину обробітку (10-12 см) виділимо нескінченно малий його об'єм у вигляді паралелепіпеда з сторонами dx , dy , dz [50]:

$$\Delta V = dV = dx \cdot dy \cdot dz. \quad (2.1.)$$

Відомо [178, 180], що у будь-якому середовищі тіло знаходиться під тиском трьох головних взаємно перпендикулярних напружень: $\delta_1, \delta_2, \delta_3$.

При цьому відносна об'ємна деформація дорівнює

$$\Delta V = \varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3 = 3\varepsilon_{\text{сеп}} \quad (2.2)$$

$$\begin{aligned} \varepsilon_1 &= [\delta_1 - \mu(\delta_2 + \delta_3)] / E; \\ \text{де:} \quad \varepsilon_2 &= [\delta_2 - \mu(\delta_1 + \delta_3)] / E; \\ \varepsilon_3 &= [\delta_3 - \mu(\delta_1 + \delta_2)] / E \end{aligned} \quad (2.3)$$

головні лінійні деформації. Тоді

$$\Delta V = 1/E [\delta_1 - \mu(\delta_2 + \delta_3) + \delta_2 - \mu(\delta_1 + \delta_3) + \delta_3 - \mu(\delta_1 + \delta_2)] = 3\delta_{\text{сеп}}/E_0 \quad (2.4)$$

де: $E_0 = E/(1 - 2\mu)$ – об'ємний модуль пружності;

μ – коефіцієнт Пуассона (0,35 – для чорнозему,
по В. Ф. Бабкову);

E – модуль пружності (40 МПа – для чорнозему,
по С. С. Вялову).

З праць Я. М. Жука та В. Ф. Рубіна про опір ґрунтів різним деформаціям відомі дані (табл. 2.1) для зразків чорноземів при вологості 20–25 % [50, 65].

Таблиця 2.1

Середні значення тимчасового опору стисканню чорнозему

Твердість ґрунту у шарі 0...20 см, МПа	Вологість ґрунту у шарі 0...20 см, %	$\delta_{\text{сер.}}, \text{гс/см}^2$
2,4	12–16	1080
1,8	19–22	980
1,4	22–24	650

Таким чином, приведені формули і дані експериментів дозволяють дослідити і оптимізувати конструктивні параметри запропонованого РО в залежності від твердості та вологості поверхневого шару ґрунту.

2.2.2. Формотворення робочих поверхонь ґрунтообробних знарядь

Сутністю процесу подрібнення (кришіння) ґрунту є руйнування зв'язків між його частинами (агрегатами) в результаті дії на них поверхонь робочих органів (РО) з подальшим відділенням ґрунтових частинок одна від одної (розпушуванням), тобто, з поглядів класичної механіки, кришіння ґрунту – це процес перетворення скиби ґрунту деякого об'єму

$$V = abv, \quad (2.5)$$

де: a – глибина обробітку, m ;

b – ширина захвату знаряддя, m ;

v – відстань, яку проходить машина за одиницю часу, m

у грудочки, близькі за формою, наприклад, до кулі чи куба.

Відповідно до гіпотези Ріттінгера робота, яка витрачається на руйнування твердого тіла, пропорційна поверхні утворених із нього часточок, тобто сумарна поверхня грудочок, утворених проходом ґрунтообробної машини за одиницю часу, буде дорівнювати

$$s = abv \sum_{t=1}^n \frac{P_t}{d_t}, \quad (2.6)$$

де: n – кількість фракцій;

P_i – частка відповідної фракції;

d_i – середньозважене значення розміру грудочки фракції.

Узагальнений закон (Ребіндер П. А., 1968) для визначення роботи при кришінні ґрунту має вигляд:

$$A = \kappa_s S + \kappa_v V, \quad (2.7)$$

де: κ_s – питома поверхнева енергія;

κ_v – коефіцієнт пропорційності, який залежить від твердості ґрунту, рівний за величиною об'ємній роботі деформації

Формула роботи, яка витрачається на кришіння заданого об'єму ґрунту, після підстановки у (2.7) виразів (2.6) і (2.5) та виконання відповідних перетворень [50] матиме вигляд:

$$A = \frac{\pi d_{\text{гр}}^2}{4E} \sigma^2 \ln \xi,$$

де: $\xi = d_n/d_{\text{гр}}$ – ступінь кришіння ґрунту;

d_n – початковий діаметр грудочки;

$d_{\text{гр}}$ – середній діаметр грудочки після розпушування;

σ – напруження (тимчасовий опір) ґрунту при стисканні, г/см²;

E – модуль пружності, МПа.

Отже, робота на подрібнення ґрунту збільшується із збільшенням ступеня його кришіння та тимчасового опору при стисканні і залежить від форми розпушувача.

Поверхні робочих органів відомих ротаційних знарядь для розпушування поверхневого шару ґрунту як західноєвропейського (фірми LEMKEN, ROPA — Німеччина; WADERSTAG — Швейцарія та ін.) так і українського виробництва виконані у формі загострених зубців голчастого чи долотоподібного типу, що закріплені на маточинах змонтованих у батареї дисків. Широко розповсюдженими лишаються донині також

пасивні клиноподібні лапи різних марок культиваторів (УСМК-5,4Б, КОЗР-8,1 та ін.) для рихлення ґрунту, які характеризуються підвищеними енерговитратами, що зазначалось у Розділі 1.

Спільним для форм робочих поверхонь приведених ґрунтообробних знарядь є подібність до клина, який утворений двома, трьома чи більшою кількістю граней (наприклад – пірамідою), або кривою поверхнею, отриманою в результаті руху твірної (наприклад – овала) змінної форми вздовж напрямної (наприклад – циклоїди), як у роботі [238], або комбінуванням гранних і кривих поверхонь. Тому у поперечному перерізі зубців переважно маємо (рис. 2.3): ромб /квадрат, прямокутник/ (а); коло (б) чи еліпс (в).

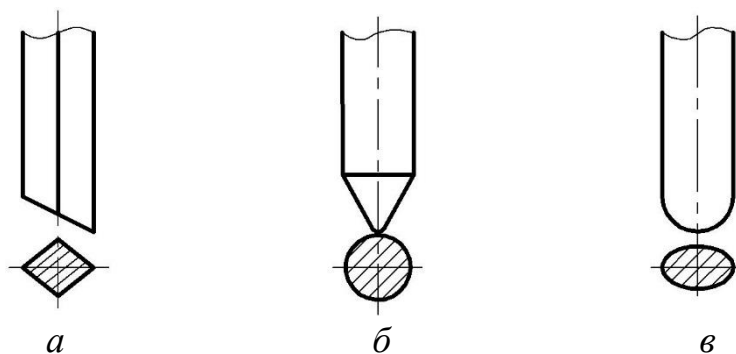


Рис. 2.3. Існуючі форми поперечного перерізу голчастих зубців ґрунтообробного знаряддя

Серед наведених схем гранні поверхні мають функціональну перевагу перед криволінійними, адже їх ребра розрізають моноліт скиби, що полегшує проникнення РО у ґрунт і сприяє його подальшому кришенню боковими гранями зубців.

З іншого боку, як показують результати наших попередніх пошукових досліджень, енергозберігаючий напружено-деформований стан ґрунту досягається деформаторами достатньо малої площі по відношенню до глибини обробітку, тобто зубчастими, проникнення яких у ґрунт носить характер ударного процесу [50].

Повний аналітичний опис взаємодії робочого органа з ґрунтом є

надскладною задачею зі змінними вихідними умовами, адже процес кришення являється багатофакторним і має ймовірнісний характер. Параметри машин такого типу зазвичай відпрацьовуються експериментально і досі не мають адекватного теоретичного обґрунтування і аналітичного задання. Причина цього полягає в складності і неоднозначності аналітичного опису переміщення шару ґрунту по робочій поверхні і, особливо, сходу з неї. А без цього створити повноцінну математичну модель неможливо. Разом з тим введення до розгляду деяких емпіричних припущень дає змогу одержати наближену графо-аналітичну модель.

Певної уваги заслуговує запропонована професором А. М. Панченком (ДДАЕУ) оригінальна методика аналітичної оцінки якості кришення ґрунту, яка базується на теорії внутрішніх напружень та на понятті «різальний периметр» і через експертну оцінку якості роботи знаряддя дає змогу "вийти" на потрібну форму робочої поверхні розпушувача [180].

У розвиток цієї теорії в роботі [220] наводиться методика запозичення принципів форми тіла морських істот для розробки ґрунтообробних знарядь. Робота ґрунтообробних машин в умовах заниженої консолідації ґрунту вимагає саме покращення обтічності робочої поверхні. Тобто, одночасне кришення і розпушування треба забезпечувати не за рахунок підпірного різання, а за рахунок різання з ковзанням. При цьому величина тягового опору приймається за критерій раціональності конструкції за умови, що загальний тяговий опір поділяється на складові елементи подібності біологічного аналогу і технічного прототипу: лобова частина (рильце) – долотоподібний наконечник розпушувача; бокові плавники – стрільчасті крила; вертикальний кильовий плавник – грудкоподрібнювач. Такий підхід дає змогу під час обчислень перейти до формування нескінченно малих прямолінійних ділянок різального периметра – інтегральної граничної лінії кришення оброблюваного ґрунту.

Таким чином, за результатами аналізу досліджень з формотворення гранних робочих поверхонь розпушувачів і їх здатності кришити ґрунт за допомогою «різального периметра», утвореного переміщенням у просторі елементарного клина (долота), була розроблена геометрична модель робочої поверхні зубчастого диска ґрунтообробного знаряддя, який відрізняється тим, що поперечний переріз кожного із зубців 1 виконаний у вигляді рівнобічної трапеції $KFEN$, а радіальний – прямокутного трикутника ABC , довгий катет AC якого розташований перпендикулярно до осі маточини 2 і перетинається під прямим кутом з більшою основою трапеції KH (рис. 2.4) [181].

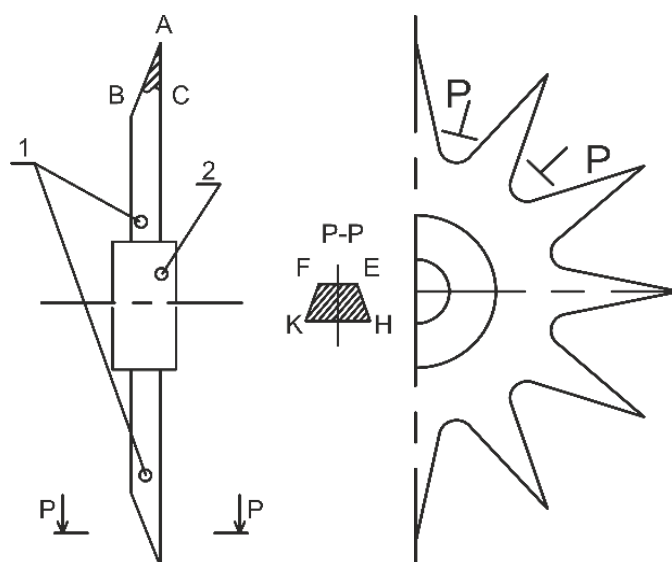


Рис. 2.4. Геометрична модель поверхні робочого органа для передпосівного обробітку ґрунту

Зуб розробленої робочої поверхні, перекочуючись у ґрунті, розтягує оброблювану скибу у повздовжньому напрямку і одночасно стискає у поперечному, створюючи при цьому такий напружено-деформований стан ґрунту, при якому відповідно до теорії Кулона-Мора про баланс стискаючих і розтягуючих деформацій забезпечується підвищення технологічних показників кришіння ґрунтового моноліту і зниження енерговитрат, особливо при роботі на ґрунтах підвищеної твердості.

Порівняльні польові дослідження знаряддя з новими експериментальними РО у складі котка борончастого в порівнянні з серійним культиватором УСМК-5,4Б (контроль), проведені в ДПДГ «Шевченківське» ІБКіЦБ (Додаток Л) показали, що експериментальні РО не поступаються серійним, а за щільності ґрунту $1,2\text{--}1,3 \text{ г/см}^3$ та низької абсолютної вологості (16–18,5 %) суттєво їх переважають (у середньому на 4–6 % ($\text{НІР}_{05} = 3,6 \%$) за кількістю грудочок діаметром до 25 мм у розпушеному шарі ґрунту), що забезпечило підвищення польової схожості насіння (рис. 2.7) [69].

2.2.3. Експериментальні дослідження показників якості роботи агрегатів для передпосівного обробітку ґрунту

В недалекому минулому передпосівний обробіток ґрунту здійснювали переважно одноопераційними агрегатами. Спочатку проводили тільки оранку, потім – культивацію зораного поля, за нею – боронування і, нарешті, за необхідності, – коткування. Тобто ґрунтообробні агрегати одним полем проходили чотири рази. Це зумовлювало подовження строків передпосівного обробітку, надмірне ущільнення ґрунту, зростання витрат пального.

Нині ж у буряковиробництві широко застосовують комбіновані ґрунтообробні агрегати, які за один прохід виконують до шести операцій, тобто одночасно здійснюють повний цикл робіт з підготовки ґрунту до сівби.

Зазначене забезпечує скорочення строків підготовки ґрунту до сівби загалом, що особливо важливо для передпосівного обробітку, адже за таких умов зменшуються ущільнення ґрунту рушіями енергетичних засобів та витрати пального, а також питома металомісткість процесу на одиницю обробленої площі порівняно з аналогічним сумарним показником задіяних одноопераційних агрегатів. За даними наших досліджень

показники якості кінцевого результату обробітку ґрунту при цьому не тільки не знижуються, а навпаки - поліпшуються [67, 69, 194-196, 202].

За сучасної вітчизняної технології ранньовесняне розпушення та вирівнювання ґрунту здебільшого поєднують в одну операцію. Для виконання цих робіт за один прохід застосовується агрегат АРВ-8,1-01. Робочими органами агрегата є послідовно установлені шлейфи-вирівнювачі, здвоєні лапи-бритви, пружинні зуби, пруткові ротори. Ширина захвату 8,1 м, швидкість руху 9–12 км/год.(рис. 2.5, вверху, зліва). Доведено, що за такого обробітку ґрунту вирівнюється поверхня поля (висота гребнів після проходу агрегата становила в середньому 3-3,5 см), а щільність ґрунту складала 1,1-1,3 г/см³. Вміст грудок у розпушеному поверхневому шарі ґрунту розміром більше 20 мм не перевищував 25% [175, 195, 196].

Для проведення суто передпосівного обробітку використовується агрегат АРВ-8,1-02, який, в основному, комплектується здвоєними лапами-бритвами, прутковими барабанами-роторами і рейковими шлейфами (рис. 2.5, вверху, справа). Проте, в залежності від стану ґрунту, що створився на момент проведення робіт, можуть бути застосовані пруткові барабани більшого або меншого діаметру чи ланцюгові шлейфи замість рейкових. Оскільки всі перераховані РО є пасивними, то важлива роль відводиться робочій швидкості агрегата, яка може досягати 12 км/год за умови збереження заданої глибини обробітку і плавності ходу робочих органів у ґрунті.

Агрегати АРВ-8, 1-01 і АРВ-8,1-02, які розроблені спільно науковцями УкрНДІСГОМ (м. Харків) та ІБКіЦБ (2003-2008 рр.), є прототипом розробки культиватора для передпосівного обробітку ґрунту «Червонец», що нині виробляється Лозівським ковальсько-механічним заводом – ЛКМЗ (м. Лозова Харківської обл.) (рис. 2.5).



Рис. 2.5. Культиватор для проведення передпосівного обробітку ґрунту «Червонец»

Агрегатується «Червонец» з тракторами класу 20–30 кН (ХТЗ-17221, ХТЗ-121, ХТЗ-16031).

Серед конструктивних особливостей культиватора слід відзначити використання S-подібної пружинної стійки стрічастих лап захватом від 35 до 150 мм, розташованих двома рядами, відстань між якими 125 мм. Пружна деформованість стійки забезпечує коливання лап у ґрунті, які вібрують як у напрямку руху, так і поперек, обмежуючи при цьому вертикальні переміщення. За рахунок цього гарантується строге дотримання заданої глибини обробітку, підвищується інтенсивність та якість кришення, знижується тяговий опір і забивання робочого органу ґрунтом та рослинними залишками.

Рівномірне ущільнення та вирівнювання ґрунту і додаткове подрібнення забезпечують подвійні зубчасті котки різного діаметра і форми (трубчастий і зубчастий) за рахунок коливаючої підвіски.

Дослідженнями технологій за трьома варіантами на Уладово-Люлинецький ДСС ІБКіЦБ встановлено, що проведення підготовки ґрунту

перед сівбою БЦ агрегатами АРВ-8,1-0,1/0,2/ із застосуванням культиваторів КОЗР-5,4-01/02/ при догляді за посівами забезпечує істотне підвищення урожайності на 2,7–3,4 т/га проти контролю, де використовувались серійні культиватори УСМК-5,4Б [195].

На УкрНДПВТ ім. Л. Погорілого проводили порівняльні польові дослідження показників якості виконання технологічного процесу ПОГ низкою технічних засобів: комбінованими агрегатами АРВ-8,1-01 і АРВ-8,1-02, Компактором «К-600А» (Німеччина), культиватором УСМК-5,4Б (ВАТ «Уманьферммаш») (контроль), визначивши при цьому обсяги енерговитрат (Додаток І) [67, 194, 202]. Агрегатували машини з тракторами МТЗ-1025, ХТЗ-17221 і ХТЗ-121, а сівбу проводили сівалкою Мультикорн (Німеччина) після кожного з ґрунтообробних агрегатів. Найвищу польову схожість насіння (лабораторна 80-85 %) 64,8 % ($НІР_{05} = 0,8 \%$) одержали в разі проведення передпосівного обробітку ґрунту Компактором в агрегаті з трактором ХТЗ-17221 завдяки досягненню найрівномірнішої глибини розпушуваного поверхневого шару ґрунту та належному його подрібненню (рис. 2.6). Проте, за продуктивністю цей агрегат був на рівні МТЗ-1025+УСМК-5,4Б і більше ніж вдвічі поступався одноопераційним агрегатам, особливо з трактором ХТЗ-121, а витрати пального при цьому зросли вдвічі (рис. 2.7).

Вітчизняний комбінований агрегат, що складається з АРВ-8,1-01 і АРВ-8,1-02, навішених на передню і задню навісні системи трактора ХТЗ-121, в порівнянні з Компактором (3720 кг) тяж матеріалоемкий (3750 кг), але в разі однакової робочої швидкості (7,5 км/год) продуктивність його роботи більша на 2,2 га/год (за рахунок збільшення ширини захвату), а витрати пального менші на 1,7 кг/га. Проте, через погіршення рівномірності глибини розпушуваного шару і якості розпушування польова схожість насіння істотно знизилась (62,0 % проти 64,8 %).

Найкращі техніко-економічні показники забезпечує агрегат ХТЗ-121+АРВ-8,1-02, хоча за польовою схожістю насіння він дещо (на 0,9 %) поступається Компактору. Витрати ж пального скорочуються вдвічі, а пи-

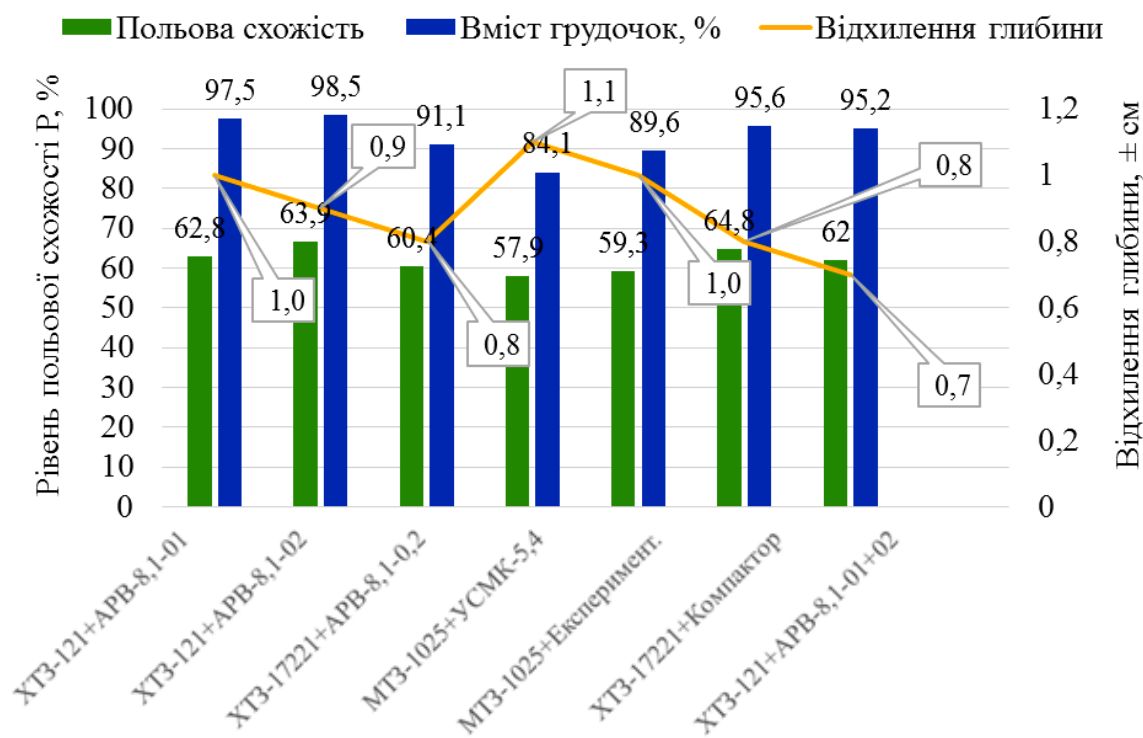


Рис. 2.6. Залежність польової схожості насіння від глибини обробітку ($4,0 \pm \sigma$) см і вмісту дрібних грудочок ($\varnothing < 25$ мм)

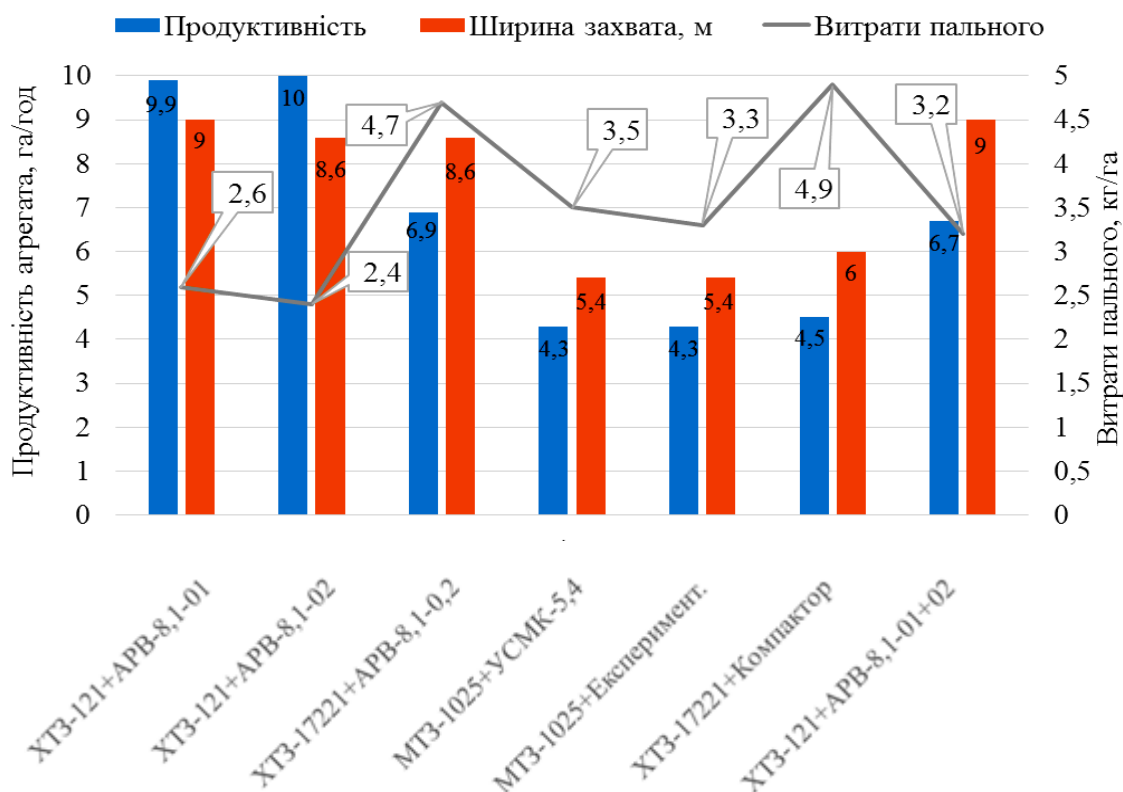


Рис. 2.7. Залежність продуктивності роботи агрегатів для передпосівного обробітку ґрунту від ширини їх захвату і витрат пального

тома енергонасиченість процесу – втричі [67, 194]. Головною ж перевагою даного агрегату є підвищена продуктивність роботи – 10 га/год, що більше ніж вдвічі порівняно з Компактором чи культиватором УСМК-5,4Б, завдяки чому забезпечується проведення посівних робіт у стислі строки.

Таким чином, навіть не посилаючись на ціну Компактора, яка у рази перевищує ціну вітчизняних культиваторів, а керуючись лише результатами агротехнічної і техніко-економічної оцінки, можна зробити висновок про доцільність використання для передпосівного обробітку ґрунту агрегата у складі ХТЗ-121+АРВ-8,1-02.

2.3. Моделювання характеристик процесу точності розміщення насіння при сівбі і сходів рослин

Основними критеріями урожайності БЦ на етапі підготовки ґрунту перед сівбою є створення сприятливих умов для забезпечення максимальної польової схожості насіння, а на етапі сівби – точність розміщення насіння вздовж рядка та за глибиною його загортання у ґрунт.

Сучасні механізовані технології виробництва БЦ передбачають виконання сівби насіння на кінцеву густоту з тим, щоб отримати 5,5–6,0 рівномірно розміщених по довжині рядка сходів рослин. При цьому дуже важливо правильно визначитися з нормою висіву насіння, врахувавши такі фактори як якість насіння (лабораторна схожість, одноростковість та енергія проростання мають бути не менше 95 %), наявність шкідників і хвороб, рівень засміченості поля бур'янами та ін. За таких умов при отриманні сходів коефіцієнт варіації величини інтервалів між ними (V_{cx}), як характеристики їх рівномірності, вочевидь буде нижчим по відношенню до коефіцієнта варіації розміщення вздовж рядка висіяних насінин V_n .

2.3.1. Регресійні моделі показників рівномірності розміщення сходів

Результатами досліджень, які проведені нами спільно з представниками фірми Ф. Кляйне вперше на Україні з використанням оригінальної сівалки

“Мультикорн” (Німеччина) у 1993 р. на полях с. Кодаки Васильківського району Київської області [44] і підтверджені даними державних випробувань на УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого у 1999 р. [57] доведено, що пневматичні сівалки як зарубіжного, так і вітчизняного виробництва (СУ-12, завод “Оризон”, м. Сміла Черкаської області) забезпечують вищу рівномірність розміщення сходів вздовж рядка, ніж краща серед вітчизняних сівалка ССТ-12В з механічними висівними апаратами (табл. 2.2).

Значення коефіцієнта варіації величини інтервалів між рослинами, отримані по кожній із сівалок у розрізі років дещо різняться через те, що умови проведення сівби, режими роботи машин, якість їх виготовлення, а також точність технологічних регулювань у різні роки були неоднаковими. Тому для зручності порівняння сівалок щодо кожної з них визначені усереднені значення коефіцієнтів варіації величини інтервалів між рослинами.

Таблиця 2.2

Показники якості роботи сівалок у польових умовах

Показники	Марки сівалок та їх виробники											
	“Мультикорн” фірма Ф. Кляйне, Німеччина						СУ – 12 з-д “Оризон” м.Сміла, Україна					
Робоча швидкість, м./с	1,0	1,5	2,0	1,0	1,5	2,0	1,0	1,5	2,0	1,0	1,5	2,0
Норма висіву розрахункова, шт./пог.м	8 – 10			12 – 14			8 – 10			12 – 14		
Середній інтервал між рослинами, см	13,7	12,4	15,3	9,4	10,9	10,4	12,4	12,8	13,5	9,4	10,6	11,2
	11,4	12,1	13,8	8,8	14,9	12,1	13,7	13,0	12,9	10,7	11,2	12,6
Коефіцієнт варіації, %	46,9	49,8	59,4	47,5	54,2	64,2	48,5	52,2	67,1	49,0	53,6	64,7
	36,6	45,7	49,8	38,3	37,2	59,3	42,4	47,8	48,2	43,5	49,4	50,8
Тип висівного апарату	Пневматичний з механічним приводом висівного диска										Механічний	

Примітка. У чисельнику наведено дані з використанням інкрустованого насіння фракції 4,5–5,5 мм, у знаменнику — дражованого такої ж фракції.

Усереднений коефіцієнт варіації V_{cx} пневматичних сівалок при висіві дражованого насіння нормою 8–10 шт/м становить 49,1 %, а сівалки

ССТ-12В – 69,2 %, за сівби інкрустованим насінням, відповідно, 56,7 % і 81,4 %.

Варто зазначити, що вітчизняні пневмосівалки СУ-12 і УПС-12 незначно поступаються «еталонній» німецькій сівалці «Мультикорн» за коефіцієнтом V_{cx} . Коефіцієнт варіації інтервалів між сходами названих сівалок у середньому становив відповідно 48,6 %, 53,9 % і 41,9 % [54, 57, 92].

Переваги пневматичних сівалок істотніші у разі сівби дражованим (рис. 2.8, 2.9), але виявлені також і при сівбі інкрустованим насінням (рис. 2.10, 2.11), причому як фракції 4,5–5,5 мм, так і мілкішої 3,5–4,5 мм.

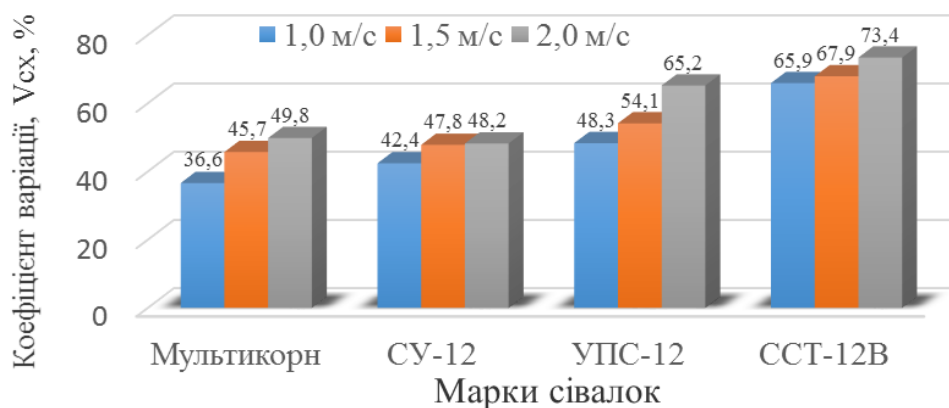


Рис. 2.8. Вплив швидкості руху сівалок з нормою висіву насіння 8-10 шт./м на величину коефіцієнта варіації розміщення сходів (фракція дражованого насіння 4,5–5,5 мм)

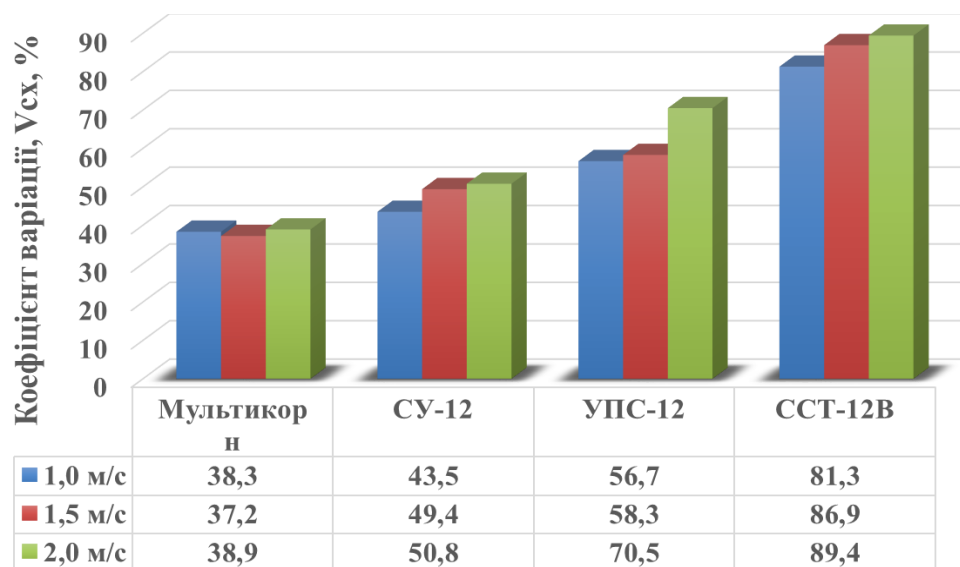
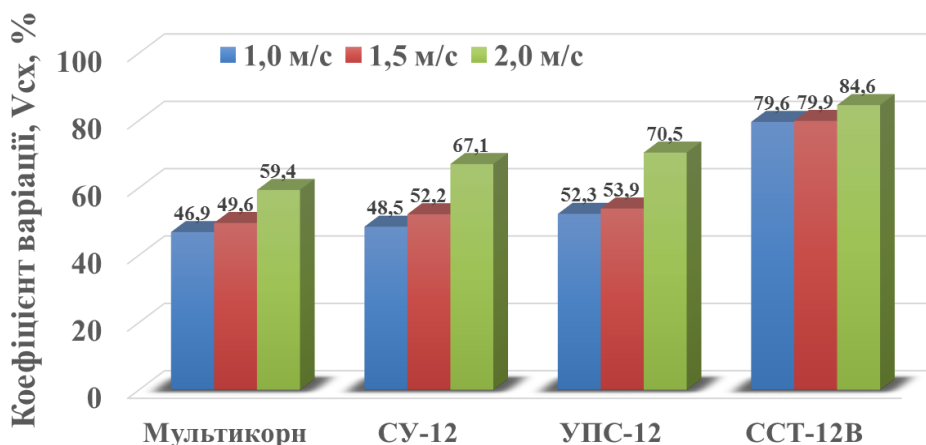


Рис. 2.9. Вплив швидкості руху сівалок з нормою висіву насіння 12-14 шт./м на величину коефіцієнта варіації розміщення сходів (фракція дражованого насіння 4,5–5,5 мм)

Статистичною обробкою отриманих даних встановлено, що зі збіль-



Марки сівалок

Рис. 2.10. Вплив швидкості руху сівалок з нормою висіву насіння 8-10 шт./м на величину коефіцієнта варіації розміщення сходів (фракція інкрустованого насіння 4,5–5,5 мм)

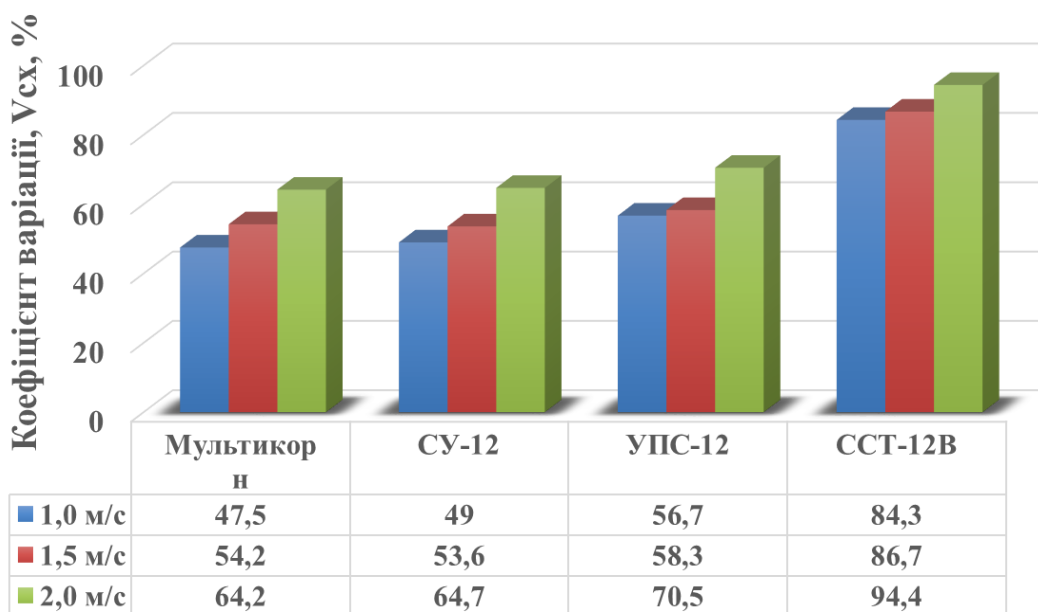


Рис. 2.11. Вплив швидкості руху сівалок з нормою висіву насіння 12-14 шт./м на величину коефіцієнта варіації розміщення сходів (фракція інкрустованого насіння 4,5-5,5 мм)

шенням швидкості руху сівалки Y (1,0–2,0 м/с) і норми висіву N (5–11 шт/м) рівномірність розміщення насіння у ґрунті по довжині рядка погіршується, а залежності коефіцієнта варіації розміщення сходів $V_{сх}$ (%) описуються наступними рівняннями регресії [78, 144]:

$$V_{cx} = a + a_1Y + a_2YN + a_3/Y,$$

або: $V_{cx} = 41,82Y + 0,89YN + 63,87/Y - 92,5$, % (дражоване, фракції 3,5–4,5 мм);

$$V_{cx} = 41,69Y + 0,90YN + 63,45/Y - 94,1$$
, % (дражоване – 4,5–5,5 мм);

$$V_{cx} = 41,20Y + 0,91YN + 63,02/Y - 87,2$$
, % (інкрустоване – 3,5–4,5 мм);

$$V_{cx} = 41,30Y + 0,90YN + 63,04/Y - 88,3$$
, % (інкрустоване – 4,5–5,5 мм).

2.3.2. Дослідження спільного впливу взаємодії основних технологічних і експлуатаційних факторів на точність розміщення насіння при висіві

Теоретичними дослідженнями і пошуковими дослідями встановлено, що основний вплив на параметр оптимізації (коефіцієнт варіації розміщення насіння V_n) здійснюють наступні фактори: експлуатаційний – швидкість руху посівного агрегата (Y , м/с); технологічні – норма висіву насіння (N , шт/м) і середній інтервал між насінинами (S , см) [57].

Перед початком експерименту проводили кодування факторів. При плануванні експерименту [144, 168] для дослідження рівномірності інтервалів між висіяними насінинами визначали рівні варіювання факторів, представлені в табл. 2.3.

Таблиця 2.3

Інтервали та рівні варіювання факторів

Показники	Кодове позначення	Фактори та їх позначення		
		Робоча швидкість сівалки Y , м/с	Норма висіву насіння N , шт/м	Середній інтервал між насінинами S , см
Умовне позначення	x_i	x_1	x_2	x_3
Верхній рівень	+1	2,0	9,0	11,0
Основний рівень	0	1,5	7,0	15,5
Нижній рівень	-1	1,0	5,0	20,0
Інтервал варіювання	ε_i	0,5	2,0	-4,5

Проводився експеримент типу 2^3 , де кількість факторів $k = 3$, число рівнів $p = 2$, кількість дослідів $N = 8$, кількість повторних дослідів $n = 3$ відповідно до матриці:

№ дослідів	Матриця			Натуральні значення змінних			Коефіцієнт варіації
	x_1	x_2	x_3	Y	N	S	$V, \%$
1	-1	-1	-1	1,0	5,0	20,0	21,8
2	-1	1	-1	1,0	9,0	20,0	19,1
3	1	-1	-1	2,0	5,0	20,0	16,6
4	1	1	-1	2,0	9,0	20,0	14,9
5	-1	-1	1	1,0	5,0	11,0	18,7
6	-1	1	1	1,0	9,0	11,0	20,1
7	1	-1	1	2,0	5,0	11,0	18,9
8	1	1	1	2,0	9,0	11,0	21,6
Σ	0	0	0	1,5	7,0	15,5	17,2

В результаті розрахунків коефіцієнтів регресії отримано математичну модель другого порядку [64]:

$$y = 0,0164 + 0,283x_1 - 0,324x_2 - 0,0876x_3 - 0,1946x_1x_2 - 0,4125x_1x_3 + 0,1648x_2x_3 + 0,3061x_1^2 - 0,0845x_2^2 + 0,0624x_3^2 \quad (2.8)$$

Адекватність моделі перевірялась за критерієм Фішера на рівні значимості $\alpha = 0,05$ при ступенях свободи $\nu_1 = 18 - 3 = 16$; $\nu_2 = 3 - 1 = 3$.

$$F_{\text{табл.}}(16;3) = 8.66$$

$$F_1 = (1.419 - 1) \frac{18-3}{3-1} = 2.23; (F_1 \leq F_{\text{табл.}}), y \text{ немультіколінеарна з іншими.}$$

$$F_2 = (1.331 - 1) \frac{18-3}{3-1} = 1.76; (F_2 \leq F_{\text{табл.}}), x_1 \text{ немультіколінеарна з іншими.}$$

$$F_3 = (1.125 - 1) \frac{18-3}{3-1} = 0.67; (F_3 \leq F_{\text{табл.}}), x_2 \text{ немультіколінеарна з іншими.}$$

$$F_4 = (1.043 - 1) \frac{18-3}{3-1} = 0.23; (F_4 \leq F_{\text{табл.}}), x_3 \text{ немультіколінеарна з іншими.}$$

Оскільки розрахований критерій Фішера менше $F_{\text{табл}}$, то отриману математичну модель другого порядку можна вважати адекватною.

Аналіз отриманого рівняння проводили методом двомірних перетинів поверхонь відгуку, побудованих на основі канонічних рівнянь.

Для використання отриманої моделі в якості розрахункової формули проводили її розкодування відповідно до рівняння (2.8):

$$\hat{y} = 0,0055 + 0,566Y - 0,162N + 0,0195S - 0,1946YN + 0,1833YS - 0,0183NS + 1,2244Y^2 - 0,0211N^2 + 0,003S^2 \quad (2.9)$$

Для побудови двомірного перетину поверхні відгуку, що характеризує показник коефіцієнта варіації в залежності від норми висіву насіння (x_2) та середнього інтервалу між рослинами (x_3), у рівняння (2.8) підставляли значення $x_1 = 0$. В результаті отримали рівняння в канонічній формі:

$$\begin{aligned} \hat{y} &= 0,055 - 0,162x_2 + 0,0195x_3 - 0,0183x_2x_3 + 0,0211x_2^2 + 0,0013x_3^2 \\ \begin{cases} \frac{\partial \hat{y}}{\partial x_2} = -0,162 - 0,0183x_3 + 0,0422x_2 = 0 \\ \frac{\partial \hat{y}}{\partial x_3} = 0,0195 - 0,0183x_2 + 0,0026x_3 = 0 \end{cases} &; \\ x_2 &= 3,4554, \\ x_3 &= 16,8206. \end{aligned}$$

$$Y_s = 0,055 - 0,5598 + 0,328 - 1,0636 + 0,2519 + 0,3678 = -0,6207.$$

$$Y + 0,6207 = 3,4554X_2^2 + 16,8206X_3^2 \quad (2.10)$$

Кут повороту нових координатних осей в центрі поверхні відгуку для даного випадку:

$$\begin{aligned} \text{ctg} 2\alpha &= \frac{0,0211 - 0,0013}{-0,0183} = -1,0819; \\ \alpha &= 68^\circ. \end{aligned}$$

Поверхню відгуку (рис. 2.12, а) будували за допомогою прикладної програми Maple 11 [10] на основі рівняння (2.10).

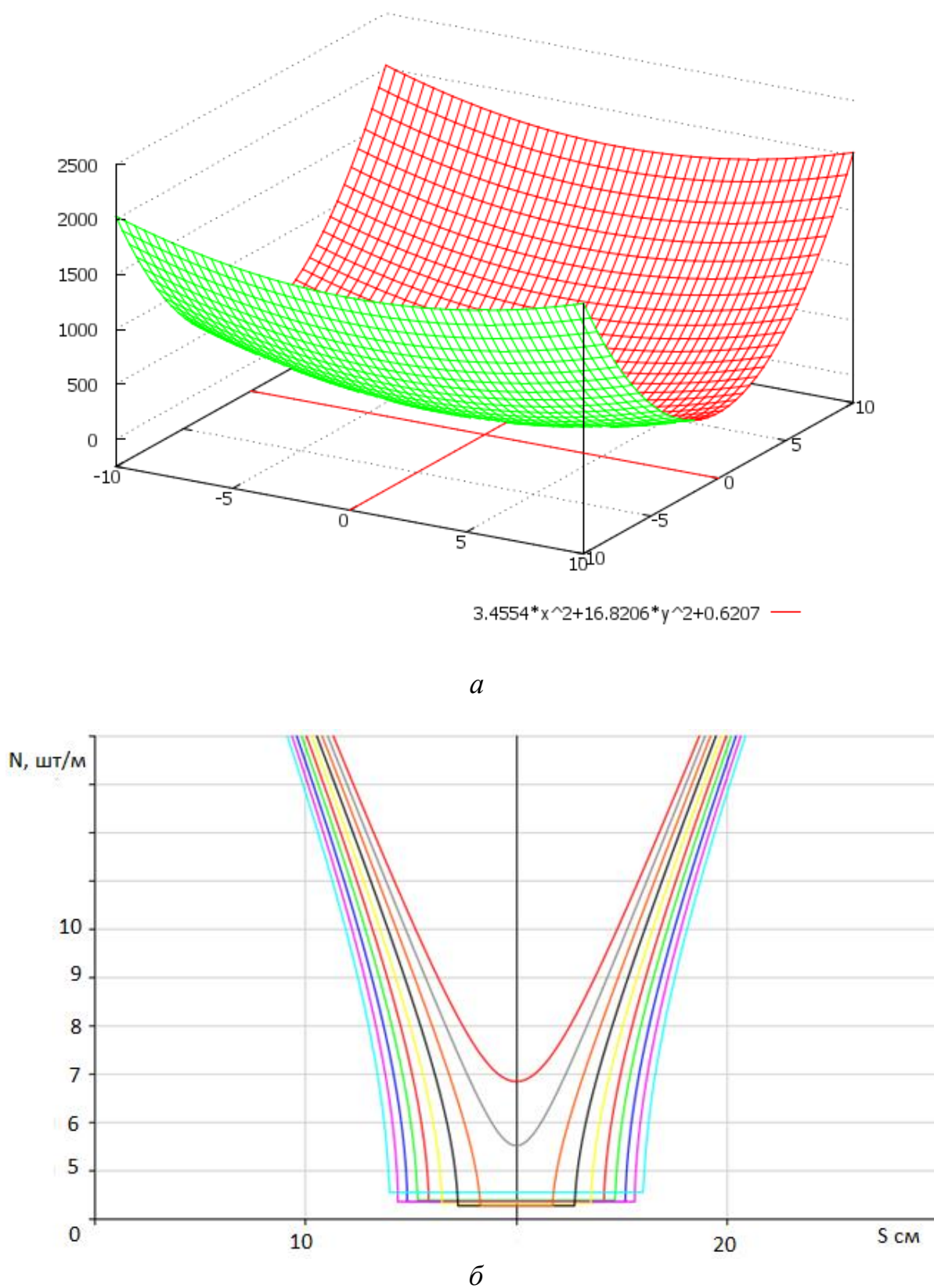


Рис. 2.12. Графік (а) та двомірний перетин (б) поверхні відгуку, що характеризує показник коефіцієнта варіації при $x_1 = 0$

Двомірний перетин (рис. 2.12, б) показує спільний вплив взаємодії факторів (x_2 та x_3) в області екстремуму за показником коефіцієнта варіації в точці з $\hat{y} = -0,6207^\circ$ при величині факторів відповідно $N = 5,8$ шт/м та $S = 14$ см. Область екстремуму знаходиться в межах $N = 5 \dots 7$ шт/м і $S = 11 \dots 15$ см.

Для побудови двомірного перетину поверхні відгуку, що характеризує показник коефіцієнта варіації в залежності від робочої швидкості сівалки (x_1) та середнього інтервалу між рослинами (x_3), у рівняння (2.8) підставляли значення $x_2 = 0$. В результаті отримали рівняння в канонічній формі:

$$\hat{y} = 0,0055 + 0,566x_1 + 0,0195x_3 + 0,1833x_1x_3 + 1,2244x_1^2 + 0,003x_3^2$$

$$\begin{cases} \frac{\partial \hat{y}}{\partial x_1} = 0,566 + 0,1833x_3 + 2,4488x_1 = 0 \\ \frac{\partial \hat{y}}{\partial x_3} = 0,0195 + 0,1833x_1 + 0,006x_3 = 0 \end{cases};$$

$$x_2 = -0,099,$$

$$x_3 = -0,2237.$$

$$Y_s = 0,0055 - 0,056 - 0,0044 + 0,0041 + 0,0012 + 0,0001 = -0,0386.$$

$$Y + 0,0386 = -0,099X_1^2 - 0,2237X_3^2. \quad (2.11)$$

Кут повороту нових координатних осей в центрі поверхні відгуку для даного випадку:

$$\operatorname{ctg} 2\alpha = \frac{0,3061 - 0,0624}{-0,4125} = -0,5915;$$

$$\alpha = 60^\circ.$$

Поверхню відгуку (рис. 2.13, а) будували на основі рівняння (2.11).

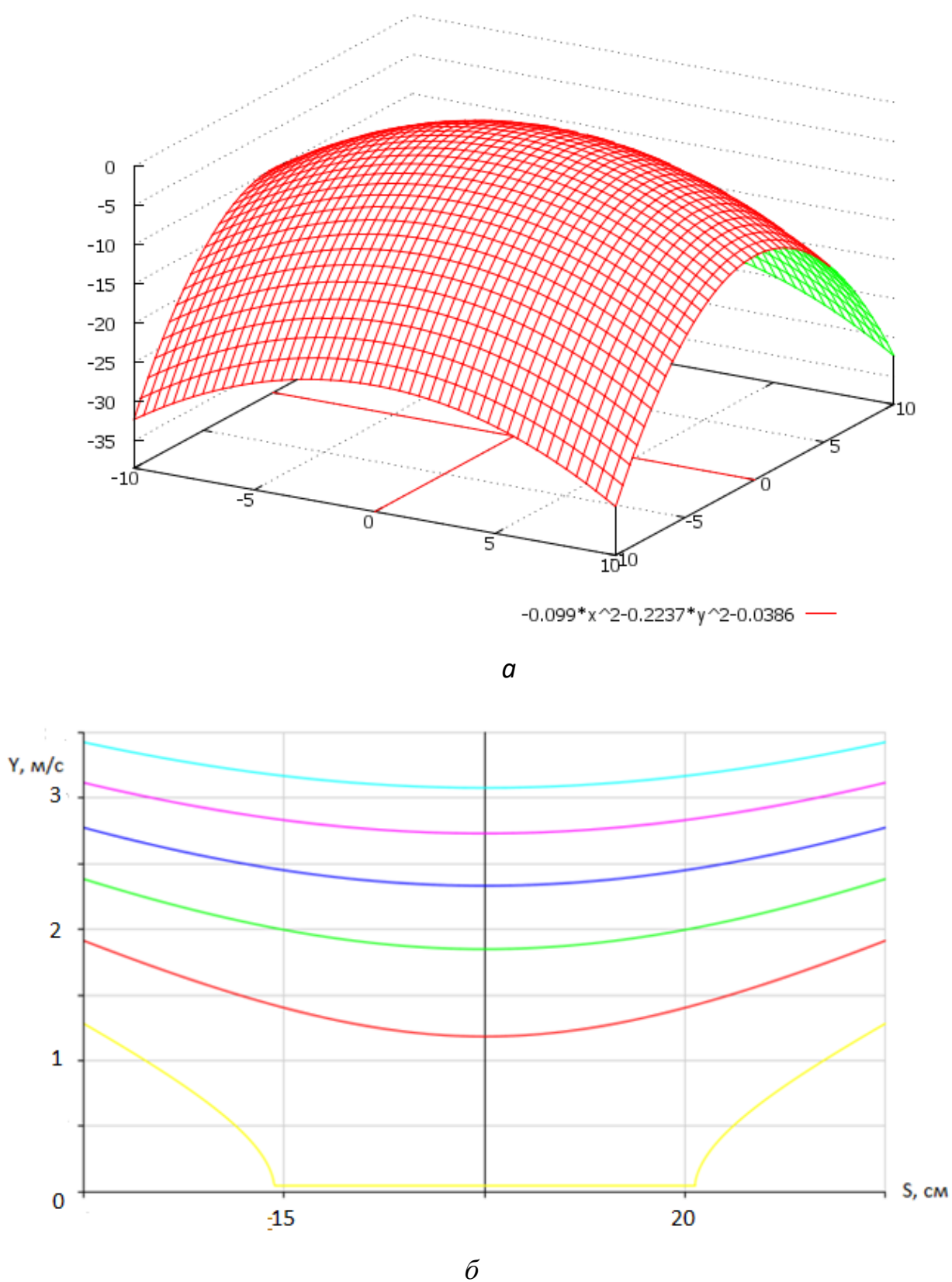


Рис. 2.13. Графік (а) та двомірний перетин (б) поверхні відгуку, що характеризує показник коефіцієнта варіації при $x_2 = 0$

Аналіз даного двомірного перетину (рис. 2.13, б) показує спільний вплив взаємодії факторів (x_1 та x_3) в області екстремуму за показником коефіцієнта варіації в точці з $\hat{y} = -0,6207^\circ$ при величині факторів відповідно $Y = 1,62$ м/с та $S = 17,1$ см. Область екстремуму знаходиться в межах $Y = 1,5 \dots 1,65$ м/с і $S = 16 \dots 18$ см.

Для побудови двомірного перетину поверхні відгуку, що характеризує показник коефіцієнта варіації в залежності від робочої швидкості сівалки (x_1) та норми висіву насіння (x_2), у рівняння (2.8) підставляли значення $x_3 = 0$. В результаті отримали рівняння в канонічній формі:

$$\hat{y} = 0,0055 + 0,566x_1 - 0,162x_2 - 0,1946x_1x_2 + 1,2244x_1^2 + 0,0211x_2^2$$

$$\begin{cases} \frac{\partial \hat{y}}{\partial x_1} = 0,566 - 0,1946x_2 + 2,4488x_1 = 0 \\ \frac{\partial \hat{y}}{\partial x_2} = -0,162 - 0,1946x_1 + 0,0422x_2 = 0 \end{cases};$$

$$x_1 = 0,1167,$$

$$x_2 = 4,3769.$$

$$Y_s = 0,055 + 0,066 - 0,709 - 0,0994 + 0,0167 + 0,4042 = -0,2665.$$

$$Y + 0,2665 = 0,1167X_1^2 + 4,3769X_2^2. \quad (2.12)$$

Кут повороту нових координатних осей в центрі поверхні відгуку для даного випадку:

$$\operatorname{ctg} 2\alpha = \frac{1,2244 - 0,0211}{-0,1946} = 6,1835;$$

$$\alpha = 4,5^\circ.$$

Поверхня відгуку (рис. 2.14, а) побудована на основі рівняння (2.12).

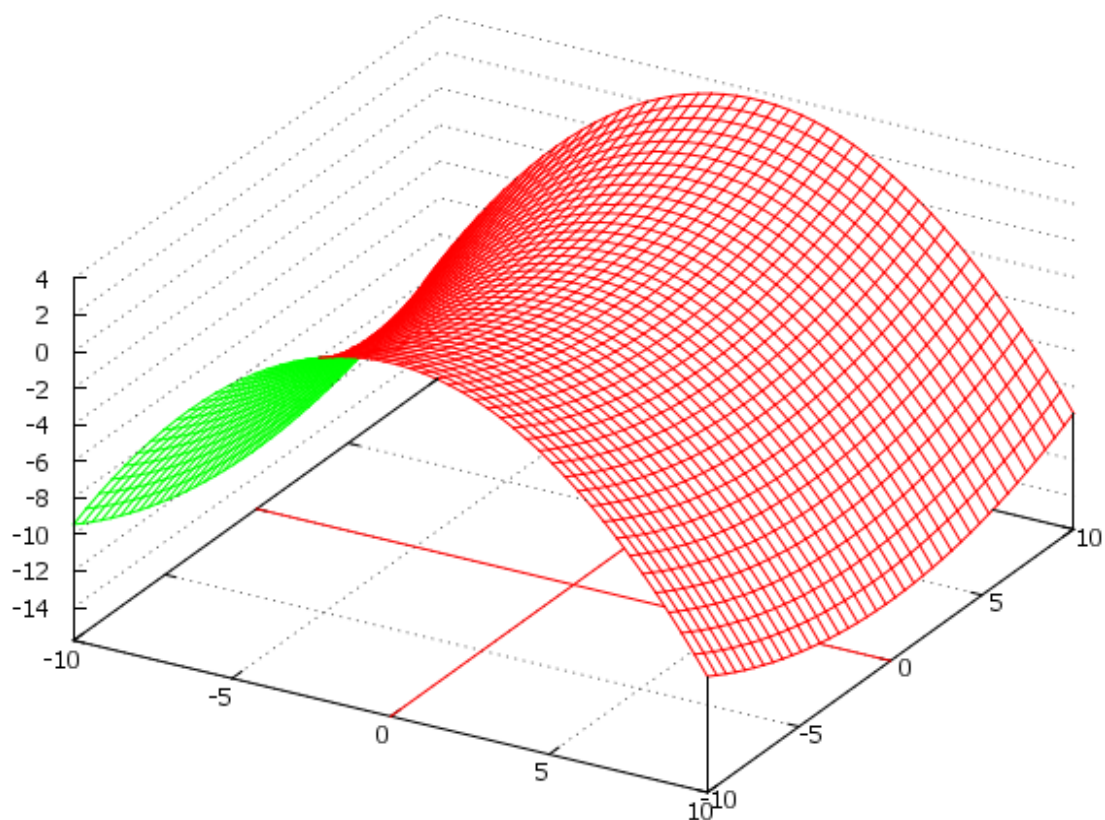
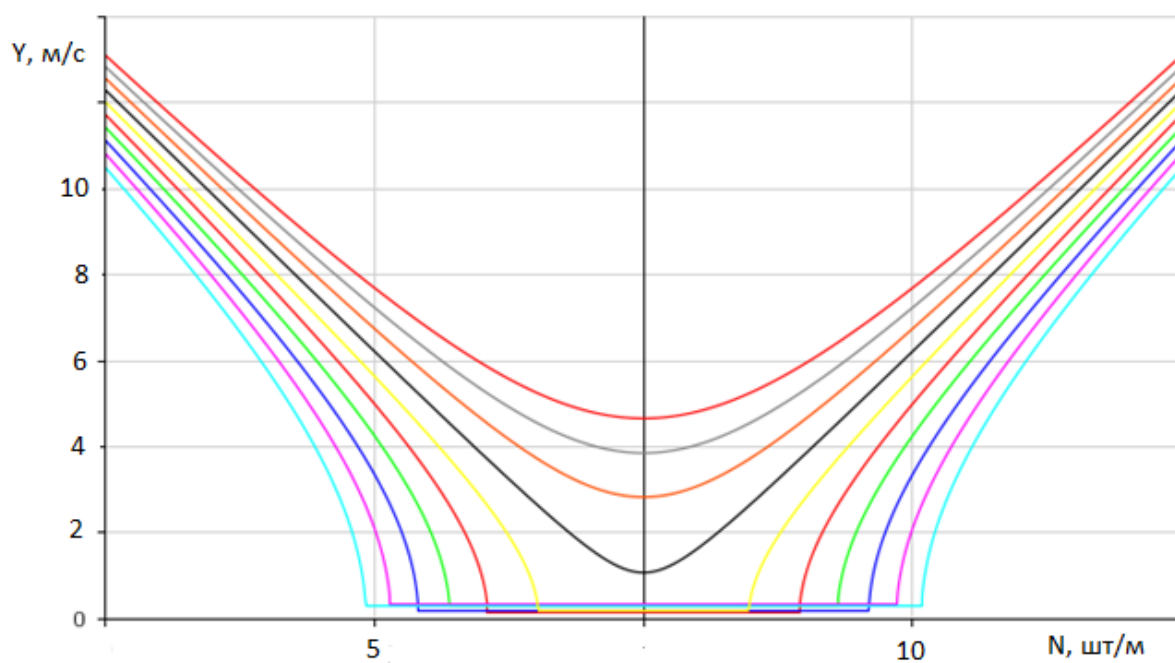
*a**б*

Рис. 2.14. Графік (а) та двомірний перетин (б) поверхні відгуку,
що характеризує показник коефіцієнта варіації при $x_3 = 0$

Таким чином, двомірний перетин (рис. 2.14, б) показує спільний вплив взаємодії робочої швидкості сівалки Y (фактор x_1) та норми висіву насіння N (фактор x_2) в області екстремуму ($Y = 1,2 \dots 1,4$ м/с, $N = 7 \dots 8$ шт/м) на показник коефіцієнта варіації розміщення насіння V_n , % за величини факторів відповідно $Y = 1,35$ м/с та $N = 7,4$ шт/м.

2.4. Моделювання траєкторії падіння насінини при сівбі висівним апаратом пневматичного типу

Висівний апарат вітчизняних сівалок пневматичного типу, наприклад УПС-12, як і західноєвропейські, працює за принципом розрідження повітря, що створюється в його камерах вентилятором, який приводиться в обертання від ВВП трактора. Насіння, що знаходиться в зоні забірної камери висівного диска, проходячи через зону розрідження, присмоктується до його комірок. Обладнаний механізмом регулювання скидач, знімає зайві насінини, залишивши лише по одній на кожній комірці диска. Диск переносить насінину в зону атмосферного тиску, де вона відділившись від комірки, летить у повітрі по деякій кривій і падає у клиноподібну борозну, створену в ґрунті наральником сошника (рис. 2.15) [51, 54, 62].

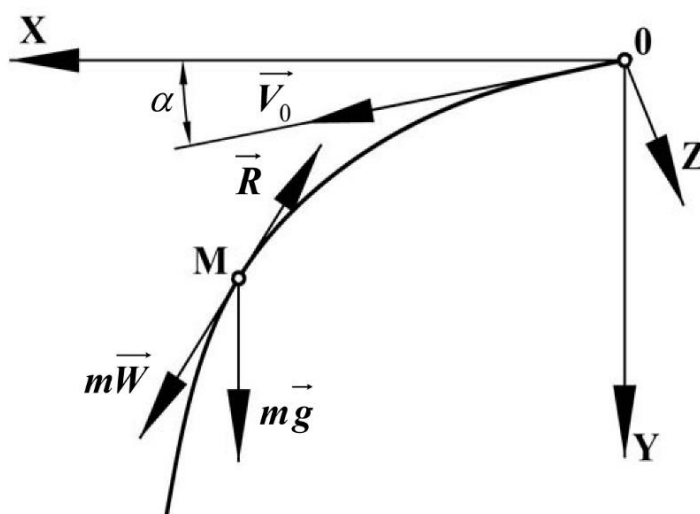


Рис. 2.15. Схема руху насінини при падінні

Насінину приймаємо за матеріальну точку масою m , посівний агрегат здійснює рівномірний поступальний рух вздовж осі X , диск обертається з постійною кутовою швидкістю проти напрямку руху сівалки (в площині рисунка – за напрямом обертання стрілки годинника).

Визначимо закон руху та рівняння траєкторії точки m з початковою швидкістю \vec{V}_0 напрямленою під кутом α до горизонту. Прийmemo, що сила спротиву руху пропорційна швидкості точки \vec{V} :

$$\vec{R} = -\mu m \vec{V} \quad (2.13)$$

де μ – коефіцієнт, який при $\vec{V} = \text{const}$ обернено пропорційний масі m .

Введемо систему координат Oxy , початок відліку якої збігається з початковим положенням точки [92]. Початкові умови: $t=0$, $x_0=0$, $y_0=0$, $\dot{x}_0 = V_0 \cos \alpha$, $\dot{y}_0 = V_0 \sin \alpha$. У поточному положенні M на точку діють сила ваги $m\vec{g}$ та сила спротиву \vec{R} , напрямлена протилежно до напрямку руху (вектора швидкості). Виходячи з основного рівняння динаміки і закону незалежності дії сил [15], можемо записати:

$$m\vec{W} = m\vec{g} + \vec{R}. \quad (2.14)$$

Визначимо проекції векторного рівняння (2.14) на осі координат:

$$mW_x = -\mu m V_x, \quad mW_y = mg - \mu m V_y.$$

Враховуючи, що $W_x = \ddot{x}$, $W_y = \ddot{y}$, а $V_x = \dot{x}$ та $V_y = \dot{y}$, і скоротивши вирази на m , одержимо систему двох рівнянь:

$$\begin{cases} \ddot{x} = -\mu \dot{x} \\ \ddot{y} = g - \mu \dot{y} \end{cases} \quad (2.15)$$

Для інтегрування першого рівняння даної системи заміниmo \ddot{x} на $\frac{d\dot{x}}{dt}$

і поділимо змінні: $d\dot{x}/\dot{x} = -\mu dt$. Перший інтеграл матиме вигляд:

$$\ln \dot{x} = -\mu t + C_1. \quad (2.16)$$

Підставивши у (2.16) відповідні початкові умови ($t = 0$, $x_0 = V_0 \cos \alpha$), одержимо: $C_1 = \ln V_0 \cos \alpha$. Внесемо значення C_1 в рівняння (2.16):

$$\ln \dot{x} = -\mu t + \ln V_0 \cos \alpha$$

або ж

$$\ln \frac{\dot{x}}{V_0 \cos \alpha} = -\mu t$$

Звідкіля одержимо

$$\dot{x} = V_0 e^{-\mu t} \cos \alpha. \quad (2.17)$$

Замінивши у рівнянні (2.17) \dot{x} на $d\dot{x}/dt$ та поділивши змінні, після інтегрування знаходимо другий інтеграл першого рівняння системи (2.15):

$$x = -\frac{V_0}{\mu} e^{-\mu t} \cos \alpha + C_2. \quad (2.18)$$

Підставивши початкові умови ($t = 0$, $x = 0$), одержимо:

$$C_2 = -\frac{V_0}{\mu} \cos \alpha. \text{ Затим, скориставшись цим значенням, одержимо з (2.17)}$$

рівняння траєкторії руху точки у проекції на вісь x :

$$x = \frac{V_0}{\mu} (1 - e^{-\mu t}) \cos \alpha. \quad (2.19)$$

Для інтегрування другого рівняння системи (2.15) замінимо у ньому \ddot{y} на $d\dot{y}/dt$ і поділимо змінні:

$$d\dot{y}/-g + \mu\dot{y} = -dt$$

Перший інтеграл одержаного диференційного рівняння має вигляд:

$$\ln (-g + \mu\dot{y}) = -\mu t + C_3 \quad (2.20)$$

Підставивши у (2.20) початкові умови – $t = 0$, $\dot{y} = V_0 \sin \alpha$, – одержимо: $C_3 = \ln(-g + \mu V_0 \sin \alpha)$. Внісши це значення у (2.20), одержимо:

$$\ln \frac{g - \mu\dot{y}}{g - \mu V_0 \sin \alpha} = -\mu t. \quad (2.21)$$

Звідкіля маємо

$$\frac{g - \mu\dot{y}}{g - \mu V_0 \sin \alpha} = e^{-\mu t} \quad (2.22)$$

Розв'язавши рівняння (2.22) відносно \dot{y} одержимо:

$$\dot{y} = -\frac{1}{\mu}(g - \mu V_0 \sin \alpha)e^{-\mu t} + \frac{g}{\mu} \quad (2.23)$$

Замінивши \dot{y} рівнянні (2.23) на $\frac{dy}{dt}$ та поділивши змінні, проінтегруємо його:

$$y = \frac{1}{\mu^2}(g - \mu V_0 \sin \alpha)e^{-\mu t} + \frac{g}{\mu}t + C_4 \quad (2.24)$$

Підставивши у (2.24) початкові умови ($t = 0$, $y = 0$), одержимо: $C_4 = \frac{1}{\mu^2}(g - \mu V_0 \sin \alpha)$. У результаті одержимо рівняння траєкторії руху точки у проекції на вісь y :

$$y = \frac{1}{\mu^2}(g - \mu V_0 \sin \alpha)(1 - e^{-\mu t}) + \frac{g}{\mu}t. \quad (2.25)$$

Рівняння траєкторії руху точки в проекціях на осі x і y – залежності (2.19) та (2.25) – подані у параметричній формі, де t – параметр часу. Після виключення з цих рівнянь параметра t і проведення відповідних перетворень, шукане рівняння траєкторії руху точки (насінини) матиме вигляд:

$$y = \frac{1}{\mu} \frac{g - \mu V_0 \sin \alpha}{V_0 \cos \alpha} x + \frac{g}{\mu^2} \ln\left(1 - \frac{\mu}{V_0 \cos \alpha} x\right). \quad (2.26)$$

Якщо систему рівнянь (2.15) записати у вигляді

$$\begin{cases} \ddot{x} + \mu \dot{x} = 0 \\ \ddot{y} + \mu \dot{y} = g \end{cases}$$

то її можна розв'язувати як систему звичайних диференціальних рівнянь. Розв'язок першого рівняння цієї системи записується як загальний розв'язок однорідного диференціального рівняння у формі:

$$x = C_1 e^{-\mu t} + C_2, \quad (2.27)$$

де μ – один із коренів $b_1 = 0$ та $b_2 = -\mu$ характеристичного рівняння

$$b^2 + \mu b = 0. \quad (2.28)$$

Звідси $C_3 = -C_5 = -\frac{V_0}{\mu} \sin \alpha - \frac{g}{\mu^2}$. Тоді рівняння траєкторії руху точки

за координатою y матиме такий вигляд:

$$y = \frac{1}{\mu^2} (g - \mu V_0 \sin \alpha) (1 - e^{-\mu t}) + \frac{g}{\mu} t. \quad (2.29)$$

Підсумкове рівняння траєкторії руху точки (насінини) має вигляд:

$$y = \frac{1}{\mu} \frac{g - \mu V_0 \sin \alpha}{V_0 \cos \alpha} x + \frac{g}{\mu^2} \ln \left(1 - \frac{\mu}{V_0 \cos \alpha} x \right). \quad (2.30)$$

Легко бачити, що одержана залежність (2.30) повністю збігається з залежністю (2.26), чим підтверджується правильність математичних викладок.

Графічна інтерпретація чисельних розрахунків отриманої моделі (2.26, 2.30) приведена на рис. 2.17 [62].

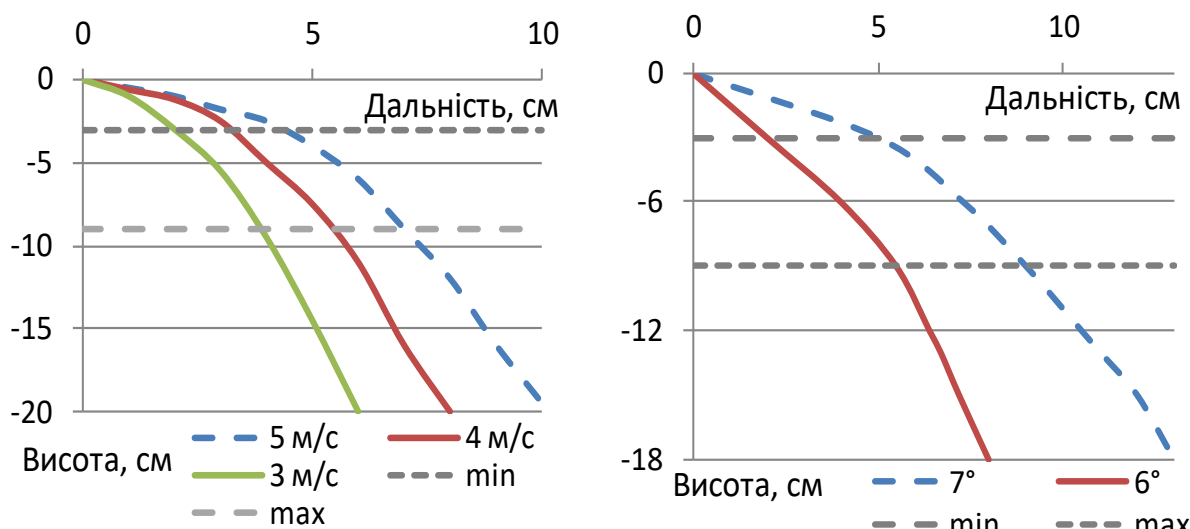


Рис. 2.16. Вплив початкової швидкості (зліва) і кута нахилу її до горизонту (справа) на дальність падіння насінини

Отже, дальність падіння відокремленої від висівного диска насінини прямо залежить від початкової швидкості її падіння і обернено – від кута α нахилу вектора швидкості до горизонту, тобто при зростанні швидкості з 3 до 5 м/с зростає і дальність її падіння з висоти, наприклад, 9 см на дно борозни з 3,8 до 6,9 см відповідно; при зростанні кута падіння з 6° до 7° дальність падіння з такої ж висоти зменшується з 8,8 до 5,1 см. Зазначене

дозволяє визначати точність висіву (рівномірність та довжину інтервалів між висіяним у ґрунт насінням) і оцінювати технологічний процес сівби.

2.5. Розробка пристрою для сортування насіння за масою

За нинішніх умов як звичайне інкрустоване (капсульоване), так і дражоване насіння затарюється на заводах і постачається до господарств не за масою, а за посівними одиницями. Одна посівна одиниця містить 100000 насінин [88, 91], отож при висіві на одному гектарі однієї посівної одиниці на 1 м² припадає 10 насінин, а на один метр довжини рядка – 4–5 насінин. Висівають 1,2–1,5 посівних одиниць, а інколи, в залежності від умов конкретного поля, і більше.

Експериментами з визначення маси інкрустованого і дражованого насіння різних сортів шляхом його зважування при забезпеченні високого рівня репрезентативності встановлено, що середня маса, наприклад, дражованої насінини, сорту Матадор фракції 3,25–4,25 мм складає 27,34 мг ($0,2734 \times 10^{-3}$ г) з відхиленнями в межах від 19,05 до 43,30 мг, що становить 22 % за коефіцієнтом варіації [89, 184]. Внаслідок цього, навіть за такого незначного коливання незначної маси насінини, траєкторії падіння окремих насінин і відповідно інтервали між ними при досягненні дна борозни, теж будуть різними, як доведено теоретично вище. Даний висновок підтверджується також експериментами з висівом насіння на липку стрічку, яка рівномірно рухалась, та уповільненою стробоскопічною зйомкою.

З метою покращення коефіцієнта варіації розміщення насіння вздовж рядка, розроблений новий пристрій [184] для підготовки насіння (матеріальних точок різної маси), який надає можливість сортувати насінини за масою в межах однієї фракції з тим, щоб траєкторія їх польоту після відокремлення від висіваючого диска була однаковою. Задача вдосконалення відомого аналога, який містить розташовані один за одним диск 1 і сошник 2, вирішується тим, що слідом за сошником додатково

установлюється секційний транспортер з вмонтованими ємностями 3, які фіксують насіння визначеної маси (рис. 2.18).

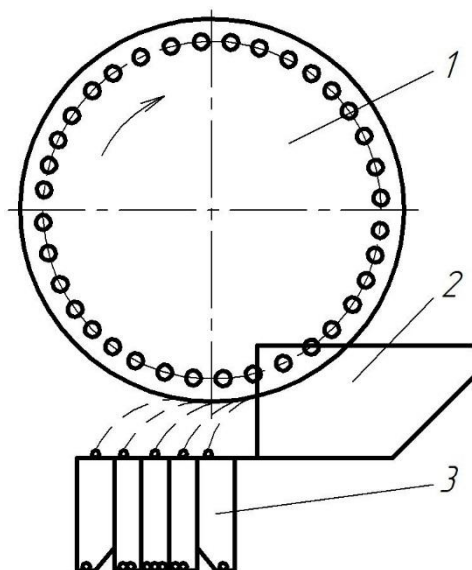


Рис. 2.17. Схема пристрою для сортування насіння за масою

Пристрій являє собою головну частину посівної секції сівалки з висівним диском 1, сошником 2 та транспортером 3 з вмонтованими ємностями для фіксації падаючого насіння. При обертанні диска 1 насіння по одному в кожному отворі переміщується в зону сошника 2, після чого в залежності від своєї маси потрапляє в різні ємності транспортера 3, що рухається в напрямку осі обертання диска 1. Розділене таким чином насіння затарюється із кожної секції транспортера окремо і використовується для сівби. Оскільки все відсортоване насіння належить до однієї розмірної фракції, то якість сівби при такому його розподілі вочевидь підвищується.

2.6. Висновки до розділу

На результуючий показник двоєдиного технологічного процесу сівби буряків цукрових (передпосівний обробіток ґрунту і висів) – польову схожість насіння суттєво впливає рівномірність глибини його закладання і мілкість грудочок розпушеного поверхневого шару ґрунту над ним.

Серед сучасних машин для передпосівного обробітку ґрунту найвищу польову схожість насіння забезпечує Компактор (Німеччина) в

агрегаті з трактором Т-150К. Проте за продуктивністю роботи цей агрегат більше ніж вдвічі поступається вітчизняним одноопераційним АРВ-8,1-01 чи АРВ-8,1-02, агрегатованими з орно-просапним трактором ХТЗ-121, при вдвічі більших витратах пального.

Продуктивність роботи комбінованого агрегату, що складається з навішених на передню і задню навісні системи трактора ХТЗ-121 знарядь АРВ-8,1-01 і АРВ-8,1-02, в порівнянні з Компатором в разі однакової робочої швидкості (7,5 км/год), є на 2,2 га/год більшою, а витрати пального – на 1,7 кг/га менші.

Найкращі техніко-економічні показники забезпечує агрегат ХТЗ-121+АРВ-8,1-02, коли витрати пального скорочуються вдвічі, а продуктивність підвищується до 10 га/год, завдяки чому посівні роботи проводяться у значно стисліші строки, підвищується рівень польової схожості насіння і, як наслідок, урожайність культури.

Грунтообробне знаряддя з новою робочою поверхнею (патент на корисну модель №47743) не поступається серійному культиватору УСМК-5,4Б за показниками агротехнічних вимог, а за щільності ґрунту 1,2–1,3 г/см³ та низької вологості (16–18,5 %) суттєво його переважає (у середньому на 4–6 % за кількістю грудочок діаметром до 25 мм у розпушеному шарі ґрунту), що забезпечило підвищення польової схожості насіння.

Пневматичні сівалки як зарубіжного («Мультикорн» (Німеччина)), так і вітчизняного виробництва (СУ-12, УПС-12, які незначно поступаються «еталонній» німецькій сівалці), забезпечують вищу рівномірність розміщення сходів вздовж рядка, ніж краща серед вітчизняних сівалка ССТ-12В з механічними висівними апаратами. Усереднений коефіцієнт варіації v_{cx} (%) пневматичних сівалок при висіві дражованого насіння нормою 8–10 шт/м становить 49,1 %, а сівалки ССТ-12В – 69,2 %, за сівби інкрустованим насінням, відповідно, 56,7 % і 81,4 %.

Статистичною обробкою експериментальних даних та аналізом отриманих рівнянь регресії встановлено, що зі збільшенням швидкості руху сівалки Y (1,0–2,0 м/с) і норми висіву N (5–11 шт/м) рівномірність розміщення насіння у ґрунті, а відтак і сходів рослин, по довжині рядка погіршується.

Область екстремуму спільного впливу взаємодії двох факторів (швидкість руху сівалки Y , норма висіву насіння N) за показником коефіцієнта варіації розміщення насіння $V_n(\%)$ знаходиться в межах $Y = 1,2 \dots 1,4$ м/с і $N = 7 \dots 8$ шт/м. Екстремальне значення V_n ($Y = 1,35$ м/с, $N = 7,4$ шт/м).

Дальність падіння насінини, що летить відділившись від висіваючого диска висівного апарату пневмосівалки, прямо залежить від початкової швидкості і обернено від кута нахилу її вектора до горизонту. Маса насінини впливає опосередковано на дальність її падіння.

При підготовці насіння до сівби доцільно проводити сортування не тільки за розмірами, а й за масою в межах однієї фракції.

РОЗДІЛ 3

ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПЕРЕДПОСІВНОГО ОБРОБІТКУ ҐРУНТУ І ВИСІВУ НАСІННЯ ЯК ГОЛОВНОГО ДВОЄДИНОГО ПРОЦЕСУ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОЩУВАННЯ БУРЯКІВ ЦУКРОВИХ

3.1. Базові засади моделювання технологічного процесу отримання сходів буряків цукрових

Успішна реалізація будь-якої механізованої технології виробництва буряків цукрових можлива за наступних чинників:

- висока культура землеробства;
- достатнє технічне, ресурсне і технологічне забезпечення;
- висока організація праці, технологічна дисципліна і зацікавленість в кінцевих результатах.

Буряки цукрові – надзвичайно вимоглива до поживного режиму культура, тому ґрунтові умови її вирощування є досить обмежуючим фактором. Буряк цукровий формує основну частину врожаю в ґрунті, отже є вимогливим до стану орного горизонту і своєчасний та якісний обробіток ґрунту має надзвичайно велике значення для формування високого врожаю коренеплодів. Оптимальних результатів при вирощуванні буряків цукрових можна досягти тільки за високої культури землеробства на всіх ланках сівозміни. Це особливо стосується якісного виконання всіх польових робіт в оптимальні агротехнічні терміни і у відповідності до показників агротехнічних вимог. Допущені помилки і недоліки в інших ланках сівозміни не можна виправити на полі буряків цукрових навіть при найвищих витратах.

Обробіток ґрунту знаходиться в тісному взаємозв'язку з конкретними ґрунтово-кліматичними умовами місцевості вирощування буряків цукрових. Приймати рішення щодо вибору технології основного і передпосівного обробітку ґрунту треба з урахуванням конкретних

ґрунтових і погодних умов, технічних можливостей, строку проведення сівби. Але при цьому слід намагатися досягти оптимального на час сівби стану ґрунту для проростання насіння та “стартового” розвитку сходів і росту рослин буряків цукрових.

У попередньому Розділі 2 викладено наступне.

Сучасні ґрунтообробні знаряддя дозволяють підготувати ґрунт до сівби буряків цукрових за 1–2 проходи. При настанні фізичної стиглості ґрунту поле до висіву насіння буряків цукрових можна підготувати за один прохід комбінованого агрегату. Це є важливим елементом енергозбереження і передумовою високоякісної сівби. Головними помилками при виконанні передпосівного обробітку ґрунту є надто ранній початок робіт при ще сирому ґрунті, надмірна кількість робочих проходів через те, що окремі операції не поєднуються в одному агрегаті, занадто висока робоча швидкість, глибока та нерівномірна за глибиною і розміром мілких фракцій ґрунту передпосівна культивация.

Отже, передпосівний обробіток ґрунту та безпосередньо сівбу визначаємо найважливішими етапами вирощування, що впливають на одночасність сходів, початковий розвиток рослин і, як наслідок, на врожайність буряків цукрових. Щоб не допустити пересихання поверхневого шару ґрунту розрив у часі між ними має бути мінімальним – не більше ніж півгодини.

Таким чином, передпосівний обробіток ґрунту та сівба, хоч і є окремими технологічними операціями, проте сукупно являються єдиним технологічним процесом з локальними критеріями, на значення яких впливає значна кількість некерованих факторів та параметрів. Саме тому даний двоєдиний технологічний процес слід розглядати як складну систему з проведенням процедури багатокритеріальної оптимізації [58] (рис. 3.1).

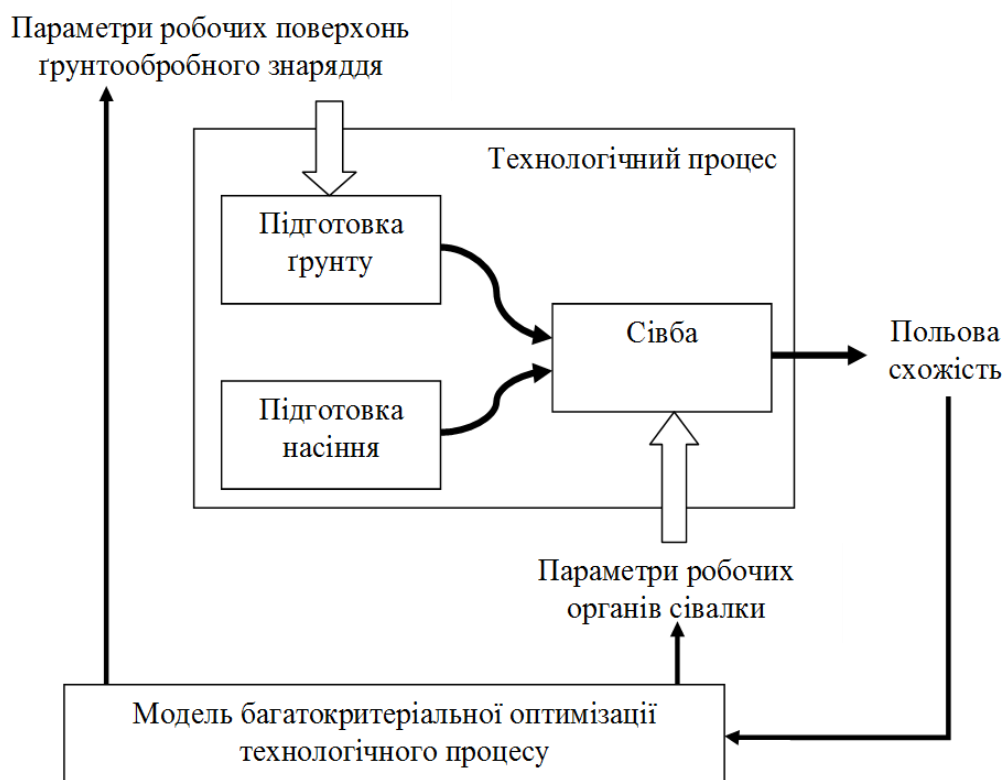


Рис. 3.1. Схема багатокритеріальної оптимізації двоєдиного технологічного процесу передпосівного обробітку ґрунту і сівби буряків цукрових

Поняття «система» широко використовується в науці і практиці для позначення об'єктів вивчення людини. У науково-технічній літературі, Інтернеті, засобах масової інформації об'єкти різної природи називаються відповідними видами систем – технічної, економічної, політичної, соціальної, операційної і т. д.

Для того щоб орієнтуватися у величезному різноманітті об'єктів, які визначаються як система, розроблені класифікації систем. Існує багато класифікацій, кожна з яких ґрунтується на певних класифікаційних ознаках: число елементів, характер і тип зв'язків, способи взаємодії з навколишнім середовищем і т.д. Досить всеохоплююча класифікація наводиться в роботах [9, 131, 198]. Відповідно до цієї класифікації системи поділяються на природні, які створені природою, і штучні, які створені людиною. Далі природні поділяються на живі і неживі, а штучні – на

формальні і неформальні системи. Важливість цієї класифікації в тому, що в ній чітко виділяється формальна система, або інакше модель системи. Виникнення формальної системи є результатом взаємодії дослідника з системою як частиною середовища згідно з поставленими цілями. Схема взаємодії показана на рис. 3.2 [131].

Дослідниками називають людей, які виходячи з поставлених цілей вивчають системи, створюють їх опис, пояснюють механізми взаємодії частин і передбачають поведінку системи в часі [131]. Цілі для дослідника формулює людина, що приймає рішення (ЛПР), яка вирішує завдання, пов'язані з управлінням, функціонуванням і розвитком системи. При цьому під розвитком розуміється постановка цілей і планування дій для досягнення цілей, а під функціонуванням – виконання дій, спрямованих на досягнення цілей.

Середовище або суперсистему (метасистему) для системи S утворює сукупність об'єктів, що взаємодіють з S . У взаємодії «система-дослідник» виділяють дії спостереження і дослідження.

Під спостереженням розуміється відображення системи органами почуттів (аналізаторами) дослідника. Спостереження дозволяє створити у дослідника образ системи і середовища, з якими далі виконуються операції

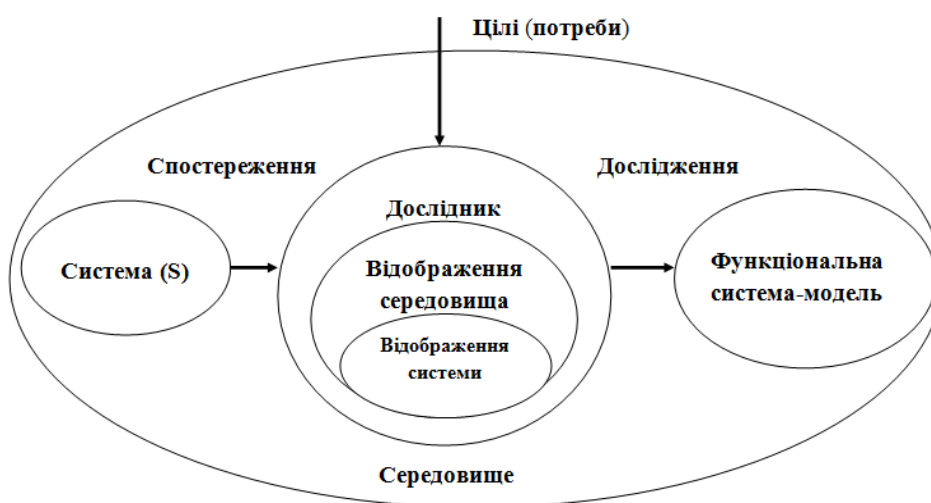


Рис. 3.2. Схема взаємодії «система-дослідник»

аналізу та синтезу. Образи, зафіксовані в пам'яті дослідника, визначаються як представлення.

Дослідження – це процес отримання нових знань про системи, відображених в образах і уявленнях. Дослідження реалізується шляхом виконання етапів опису, пояснення і передбачення. Опис – це фіксація в знаковій системі уявлень. Пояснення полягає у формулюванні емпіричних закономірностей і виявленні причинно-наслідкових зв'язків. Пояснення дозволяє впорядкувати факти в часі, що робить можливим передбачати поведінку системи. Передбачення – це опис майбутнього системи, її елементного складу, структури та поведінки відносно середовища.

Результатом дослідження, тобто виконання етапів опису, пояснення і передбачення, є створення формальної системи, яка інакше називається моделлю. Побудова моделі є інтерактивним процесом, реалізація якого спрямована на усунення помилок дослідником на етапах опису, пояснення і прогнозування. Інтерактивний процес передбачає виконання коригування образів і уявлень, що і показано на рис. 3.2. Таким чином, модель є аналогом досліджуваної системи, процесу чи явища, який створюється для визначення властивостей системи, процесу, явища і прогнозування їх поведінки.

Під моделюванням розуміється процес побудови моделі на основі зазначеної на рис. 3.2 схеми взаємодії «дослідник – система». Теорія моделювання являє собою взаємопов'язану сукупність положень, визначень, методів і засобів створення та вивчення моделей. Ці положення, визначення, методи і засоби, як і самі моделі, є предметом теорії моделювання.

Аналіз досвіду використання моделей в природних, технічних і гуманітарних науках дозволяє зробити висновок, що модель – це наше уявлення про досліджуваний об'єкт, своєрідна форма кодування інформації про об'єкт. Можна сказати, що модель – це об'єкт будь-якої природи, який при дослідженні здатний заміщати реально існуючий об'єкт

з метою отримання нової інформації про останній. Об'єкт – все, на що спрямована діяльність людини [106]. Будь-який об'єкт дослідження є нескінченно складним і характеризується нескінченним числом станів і параметрів. Для даної роботи об'єктом дослідження є двоєдиний технологічний процес передпосівного обробітку ґрунту і сівби.

Таким чином, можна сказати, що система – це сукупність взаємопов'язаних елементів і компонентів, що має цілком конкретну структуру і цілком конкретне цільове призначення. Елемент системи – частина системи, що не піддається подальшому діленню. Виділимо систему та елементи відповідно до технологічних процесів вирощування буряків цукрових. Вся сукупність технологічного циклу від обробітку ґрунту до збирання буряків цукрових, технічні засоби та робочі органи, які використовуються в технології, насіння та добрива, а також контрольовані агрокліматичні умови створюють систему, яка забезпечує ефективність процесів буряківництва.

Зовнішнє (навколишнє) середовище – множина існуючих поза системою (об'єктом) елементів будь-якої природи, що впливають на систему (об'єкт) або перебувають під її (його) впливом [225]. Для технологічного процесу вирощування цукрових буряків в якості зовнішнього середовища будемо розглядати вологість, температуру, щільність, хімічний склад ґрунту, геологічні умови, якісні характеристики насіннєвого матеріалу тощо.

Моделювання – заміщення досліджуваного об'єкта (оригіналу) його умовним чином, описом або іншим об'єктом (моделлю) і пізнання властивостей оригіналу шляхом дослідження властивостей моделі [107]. Моделювання – метод пізнання навколишнього світу, який можна віднести до загальнонаукових методів, застосовуваним як на емпіричному, так і на теоретичному рівні пізнання [32].

Моделювання двоєдиного технологічного процесу передпосівного обробітку ґрунту і сівби цукрових буряків надає можливість подолати

інформаційний бар'єр складності і провести з його моделлю необхідні експерименти для визначення властивостей моделі, а на їх основі – властивостей системи.

3.1.1. Основні положення та визначення теорії моделювання складних об'єктів

Основні положення теорії моделювання складних об'єктів зведено до документа, що визначає ядро знань. Ядро знань – body of knowledge (BOK) – з моделювання та імітаційного моделювання – modeling and simulation (M&S) – створюється під керівництвом Національної асоціації навчальних систем (National Training Systems Association – NTSA) [222]. Ядро знань M&SBOK відкрите для професіоналів в області моделювання. З метою редагування та удосконалення M&SBOK створений спеціальний наглядовий комітет. Члени цього комітету відомі і відкриті для спілкування та обміну думками. Для того щоб підтримувати такий інтерактивний підхід до створення M&SBOK, був організований механізм отримання рекомендацій від колег у галузі моделювання та імітаційного моделювання.

Можна виділити кілька аспектів розуміння того, що таке ядро знань M&SBOK. З прагматичної точки зору, ядро знань – це:

- структуровані знання, що використовуються представниками даної дисципліни в якості рекомендацій в практиці і роботі;
- задана сукупність знань у певній галузі, які повинен опанувати спеціаліст для того, щоб кваліфікуватися як практик;
- стартовий майданчик для об'єднання деякого співтовариства.

В деякій мірі розвиток M&SBOK обґрунтовується існуванням ядер знань з інших дисциплін. Деякі дисципліни мають кілька ядер знань для подання своїх різних напрямків. Наприклад, у рамках управління якістю можна виділити наступні:

- ядро знань з якості;
- ядро знань з якості та підвищення продуктивності;

- ядро знань для Екзаменаційної комісії Національної ради інспекторів;
- ядро знань по Шість Сигм (Six Sigma) Американського товариства якості;
- ядро знань з сертифікації фахівця в галузі якості Американського товариства якості.

Визначення поняття імітаційного моделювання має два напрямки. Як процес термін імітаційне моделювання має технічне і нетехнічне значення. Як нетехнічний термін моделювання означає імітацію. В якості технічного терміну імітаційне моделювання має два аспекти, тобто, набуття досвіду та проведення експериментів. З точки зору експериментування, імітаційне моделювання – це спрямоване на мету експериментування з використанням динамічних моделей. З точки зору досвіду, моделювання – це метод набуття досвіду в контрольованих умовах.

Технічні визначення охоплюють будь-який тип імітаційного моделювання, незважаючи на те, комп'ютеризоване воно чи ні і чи виконано воно лише на програмному забезпеченні або за допомогою апаратного та програмного забезпечення. Крім того, обидва ці технічні визначення полегшують спадну декомпозицію сутностей і діяльностей, залучених у даний процес.

Моделювання та імітаційне моделювання, зокрема, має безліч сфер застосування: навчання, освіта, підтримка прийняття рішень, сфера розваг, аграрний сектор. З точки зору експериментування, прикладні області включають всі інженерні, технічні області, а також більшість нетехнічних областей, таких як мистецтво, біологія, хімія, управління, медицина і фізика, а також освіта і сфера розваг. Не є виключенням і процеси вирощування сільськогосподарських культур.

Існує два типи імітаційного моделювання, залежно від того, чи працює програма симулятор незалежно від системи, яку вона представляє, чи ні. Звідси виділяються автономні та інтегровані процеси моделювання.

Автономний процес моделювання – це процес, в якому моделююча програма працює незалежно від досліджуваної системи. Таке моделювання використовується в наступних цілях:

- тренування і удосконалення рухових навичок, навичок у прийнятті рішень і комунікаціях, операційних навичок через набуття практичного досвіду в регульованому середовищі;
- здобуття освіти;
- підтримки прийняття рішень;
- сфери розваг (імітаційні ігри, анімація динамічних систем).

Наприклад, моделювання при прийнятті рішень застосовується для здійснення наступного:

- передбачення поведінки системи та її продуктивності з обмеженнями, властивими імітаційній моделі;
- оцінка альтернативних моделей, параметрів, експериментальних і операційних умов з поведінки моделі;
- аналіз чутливості;
- технічне проектування;
- макетування;
- планування;
- збір даних;
- доказ певної концепції.

Інтегрований процес моделювання припускає, що програма моделювання працює спільно з досліджуваною системою. Основні цілі цього полягають у тому, щоб підтримати і збагатити, розширити функціонування реальної системи. Щоб підтримати функціонування реальної системи, дана система і імітаційна програма працюють поперемінно, щоб забезпечити прогнозовані результати. Для розширення функціонування реальної системи ця система і імітаційна програма працюють одночасно для забезпечення оперативної діагностики та внесення додаткової функціональності.

Моделювання може розглядатися з різних точок зору, тобто:

- інфраструктура для підтримки діяльності в реальному світі;
- обчислювальна діяльність;
- системна діяльність;
- діяльність, що базується на моделі;
- діяльність з формування знань;
- діяльність з обробки знань.

Моделювання як інфраструктура для підтримки діяльності в реальному світі відповідає сприйняттю типу чорного ящика. У цьому випадку фахівці розглядають моделювання як інструмент для досягнення інших цілей. Ця точка зору дозволяє зосередитися на первісній проблемі, з якою вони стикаються.

При розумінні моделювання як обчислювальної діяльності акцент робиться на різні рівні: від відтворення моделі поведінки до використання спеціальних середовищ, які дозволяють вирішувати завдання за допомогою імітаційного моделювання.

Моделювання як системна діяльність використовується для знаходження значень виходу, входу або змінних стану системи за умови, що значення двох інших видів змінних відомі. Теорія систем надає базу для формалізмів моделювання, а також для символічної обробки моделей для великої кількості динамічних систем, включаючи цілеспрямовані системи, системи зі змінною структурою, еволюційні системи.

Моделювання як діяльність, що ґрунтується на моделі, дозволяє створювати автоматизовані середовища розв'язання задач за допомогою імітаційного моделювання.

Моделювання як діяльність з формування знань передбачає, що це є цілеспрямована діяльність, яка базується на динамічних моделях, що дозволяє фахівцям об'єднувати моделювання з кількома іншими методами здобування знань.

Ядро знань M&SBOK надає корисне керівництво для професіоналів. Оскільки моделювання і, зокрема, імітаційне моделювання являють собою важливий крок розв'язання будь-якої прикладної задачі, знання основ моделювання є актуальними для вирішення складних завдань удосконалення технологічних процесів вирощування сільськогосподарських культур, зокрема буряків цукрових.

3.1.2. Вимоги до моделей складних технологічних процесів

Простота моделі будь-якого технологічного процесу, в т. ч. вирощування буряків цукрових, в порівнянні з реальною системою, як зазначалося вище, дозволяє подолати інформаційний бар'єр складності і провести з моделлю необхідні експерименти. Метою планованих експериментів є визначення властивостей моделі і на їх основі властивостей системи.

Спрощення моделі в порівнянні з модельованою системою є однією з основних вимог моделювання. Однак ця вимога повинна виконуватися разом з іншими основними вимогами універсальності, адекватності, точності та економічності, що висуваються до моделей.

Під ступенем універсальності моделі розуміється повнота відображення тих якостей досліджуваної системи, які визначаються метою дослідження.

Для визначення інших вимог використовуються зовнішні, внутрішні та вихідні параметри. Вектор зовнішніх параметрів Z відображає властивості зовнішнього середовища. Вектор внутрішніх параметрів X відображає властивості елементів, з яких система складається, або інакше – відображає внутрішній зміст системи. І нарешті, вектор вихідних параметрів Y відображає властивості системи відносно інших систем і зовнішнього середовища.

Між X , Y , Z має місце функціональне співвідношення:

$$Y = F(X, Z), \quad (3.1)$$

яке є математичною моделлю системи при відповідному визначенні F .

Нехай Y_s – вектор вихідних параметрів на виході системи, а Y_m – вектор вихідних параметрів на виході моделі системи.

Тоді відносна похибка визначається як

$$\varepsilon = \frac{|Y_m - Y_s|}{Y_s}. \quad (3.2)$$

Для зведення отриманої векторної оцінки відносної похибки до скалярної величини використовують деяку норму вектора, прикладами якої можуть бути:

$$\|\varepsilon\| = \sqrt{\sum_{j \in \overline{1, n}} \varepsilon_j^2}; \quad \|\varepsilon\| = \max_{j \in \overline{1, n}} \varepsilon_j,$$

де ε_j ($j \in \overline{1, n}$) – компоненти вектора ε .

Під адекватністю моделі розуміється здатність відображати задані властивості досліджуваної системи із заданою похибкою, граничне значення якої може задаватися константою $\delta > 0$.

З виразів (3.1), (3.2) випливає, що значення норми $\|\varepsilon\|$ залежить від векторів X і Z . Важливим інженерним завданням є визначення вектора X , мінімізуючого $\|\varepsilon\|$ при заданому векторі Z . Якщо позначити $\|\varepsilon\| = f(X, Y)$, то зазначена задача формалізується записом

$$\min_{\{x\}} f(X, \bar{Z}) = \varepsilon_m,$$

де \bar{Z} – заданий вектор Z , тобто конкретний набір значень параметрів зовнішнього середовища.

Очевидно, що при зміні вектора \bar{Z} отримуються різні значення ε_m . Множина \bar{Z} і відповідна їй множина значень ε_m використовуються для побудови області адекватності, що визначається як

$$\{\bar{Z} \mid \varepsilon_m < \delta\}.$$

Економічність моделі характеризується витратами ресурсів комп'ютера на її реалізацію. При цьому до ресурсів насамперед належать машинний час і оперативна пам'ять. Непрямими показниками витрат цих ресурсів є число операцій, необхідних для звернення до моделі, розмірність і число внутрішніх параметрів моделі.

Вимоги точності, універсальності, адекватності, як правило, суперечать вимозі економічності. Це протиріччя вирішується шляхом компромісного рішення, яке досягається реалізацією узгоджених, взаємних поступок у вимогах.

Для побудови математичної моделі використовуються неформальні і формальні методи [170].

Неформальні методи використовуються для отримання математичних моделей елементів системи, що розташовуються на різних ієрархічних рівнях.

Реалізація неформальних методів включає вивчення закономірності процесів і явищ у модельованій системі або її елементах, виділення істотних факторів, прийняття різного роду припущень та їх обґрунтування, математичну інтерпретацію наявних відомостей і т.д.

Усі зазначені операції побудови математичної моделі реалізуються кваліфікованими фахівцями. Від успішності реалізації цих операцій залежать показники ефективності математичної моделі – ступінь універсальності, точність, економічність.

Метою вивчення закономірностей процесів і явищ є визначення природи процесів, явищ і законів, яким вони підкоряються. Аналіз складних технологічних процесів виробництва буряків цукрових на основі моделювання надає можливості розуміння внутрішньої структури процесів, визначення впливових факторів, обґрунтування параметрів технічних засобів, які використовуються для забезпечення підготовки ґрунту, сівби та збирання буряків цукрових з урахуванням взаємного впливу різних етапів.

Виділення істотних факторів є важливою неформальною операцією, реалізація якої можлива за допомогою фахівців, які добре обізнані у предметній області. З практики побудови математичних моделей відомо, що 20 % факторів визначають 80 % властивостей модельованої системи, а інші 80% чинників визначають 20 % властивостей. Проблема полягає у визначенні цих 20 % істотних факторів. Їх визначення реалізується за допомогою експертних методів, якими передбачається отримання експертних оцінок і їх обробка методами статистики з введенням нових коефіцієнтів, що враховують важливість оцінки того чи іншого експерта [128].

Під математичною інтерпретацією наявних відомостей розуміється емпірична інтерпретація як тлумачення об'єктів формальних і змістовних теорій у категоріях реального світу [128]. У процесі емпіричної інтерпретації, яка характерна для прикладної математики, зв'язуються поняття теорії з об'єктами і відношеннями фізичного простору. Наприклад, однією з широко використовуваних теорій прикладної математики є теорія графів, основними поняттями якої є вершина, ребро, дуга.

Неформальні методи використовуються для розробки як теоретичних, так і емпіричних математичних моделей. Теоретичні моделі є результатом дослідження процесів та їх закономірностей, які характерні для розглянутого класу об'єктів і явищ.

Емпіричні моделі створюються для вивчення властивостей системи, які вона проявляє відносно зовнішнього середовища, тобто відносно оточуючих її систем. Ці моделі часто належать до класу «чорна скриня» вигляду

$$Y = F(Z), \quad (3.4)$$

основна відмінність яких від моделей (3.1) полягає в тому, що не враховується внутрішній устрій системи, який виражається вектором внутрішніх параметрів системи X .

Для визначення F у моделі (3.4) проводяться експерименти, які полягають у зміні за заздалегідь розробленим планом вектора Z і фіксації

відповідних значень вектора Y . У результаті отримують так звані «статистики моделювання» $\{Y_j, Z_j \mid j \in \overline{1, m}\}$, де j – індекс експерименту, m – загальне число експериментів, Y_j, Z_j – вектори Y, Z у j -му експерименті.

Обробка статистики моделювання дозволяє визначити F . При обробленні спочатку висувається гіпотеза про структуру моделі (про вигляд моделі), а потім визначаються параметри моделі часто на основі методу найменших квадратів [97]. Складність технологічних процесів вирощування БЦ, велика кількість некерованих факторів та впливових характеристик не дозволяють використовувати тільки емпіричні, або теоретичні моделі та потребує розробки спеціальних підходів щодо моделювання.

Таким чином, у цілому методикою одержання математичних моделей елементів технологічних процесів вирощування буряків цукрових на основі неформальних методів передбачається виконання послідовності наступних дій.

1. Визначаються властивості, які необхідно відобразити в моделі. Вибір властивостей залежить від цілей і задач моделювання і визначає ступінь універсальності математичної моделі.

2. Підготовка інформації щодо кожної властивості, обраної в п.1. Джерелами інформації є бази даних і знань, науково-технічна література з описом раніше виконаних розробок подібних математичних моделей, результати експериментів, досвід і знання експертів і т.д.

3. Розробка структури математичної моделі, під якою розуміється загальний вигляд математичних співвідношень без вказівки чисельних значень параметрів моделі. Структура St і вектор параметрів C є парою моделі F в (3.1), тобто

$$F = \langle St, C \rangle. \quad (3.5)$$

Відомо, що під структурою розуміється деякий набір елементів, з яких складається об'єкт, що вивчається, з відносинами між елементами.

Для завдання структури математичної моделі в якості елементів використовуються такі категорії як розмірність, лінійність, нелінійність, детермінованість, стохастичність, дискретність, неперервність і т.д. Структура моделі задається перерахуванням зазначених категорій.

4. Розрахунок числових значень параметрів C математичної моделі в парі (3.5).

Задачу визначення параметрів $C = (c_1, c_2, \dots, c_k)$ у режимі нормального функціонування модельованого об'єкта, тобто без подачі на об'єкт спеціальних керуючих впливів, називають задачею ідентифікації параметрів моделі. Для розв'язання завдання ідентифікації використовується інформація про структуру St та спостереження за входом і виходом об'єкта моделювання при його взаємодії із зовнішнім середовищем. Якщо зафіксувати властивості елементів системи, що виражаються вектором X , то для визначення параметрів C моделі (3.1) необхідна інформація надається парою

$$I = \langle Z_i, Y_i \rangle, (i \in \overline{1, n}),$$

де Z_i, Y_i – вектори в момент спостереження $t_i \in [0, T]$ з інтервалу $[0, T]$,

n – число спостережень.

Визначення C зводиться до реалізації алгоритму на вихідних даних у вигляді структури St і спостережень I , тобто

$$C = \varphi(St, I). \quad (3.6)$$

Алгоритми φ розв'язання задачі ідентифікації поділяються на два великі класи – адаптивні і неадаптивні.

Під адаптивним алгоритмом φ_a розуміється алгоритм, що дозволяє отримати значення параметрів C_{i+1} на $(i+1)$ кроці алгоритму за значеннями параметрів C_i на попередньому i -му кроці і інформації про значення входів і виходів об'єкта моделювання на $(i+1)$ кроці $I_{i+1} = \langle Y_{i+1}, Z_{i+1} \rangle$, тобто

$$C_{i+1} = \varphi_a(C_i, I_{i+1}).$$

Таким чином, адаптивний алгоритм дозволяє отримати значення параметрів шляхом реалізації послідовності з n кроків. При цьому на кожному кроці використовується тільки інформація про стан входів і виходів на даному кроці і значення параметрів на попередньому кроці алгоритму.

На відміну від адаптивного, неадаптивний алгоритм припускає використання відразу всієї інформації про стан входів, виходів об'єкта моделювання $I = \langle Z_i, Y_i \rangle i \in \overline{1, n}$. Прикладом неадаптивного алгоритму є алгоритм на основі методу найменших квадратів [200].

Формальні методи використовуються головним чином для побудови математичних моделей систем на основі наявних моделей елементів системи та зв'язків між елементами. При цьому часто моделями елементів є компонентні рівняння, а зв'язки елементів один з одним враховуються за допомогою топологічних рівнянь [170].

3.1.3. Принципи побудови математичної моделі технологічного процесу вирощування буряків цукрових

Математичне моделювання базується на таких загальних принципах, як інформаційність, здійсненність, множинність, але при побудові моделей складних технологічних процесів, до яких відносяться процеси вирощування буряків цукрових, необхідно враховувати деякі додаткові аспекти. В даній дисертаційній роботі дістали подальшого розвитку основні принципи моделювання складних технологічних процесів буряківництва, які досліджуються автором у статтях [49, 55, 58, 60, 268].

1. Доцільність моделювання – основоположний принцип побудови будь-яких моделей. Моделювання як процес представлення об'єкта, процесу або явища має бути цілеспрямованим, економічно обґрунтованим та отриманий результат (тобто модель) не повинен підвищувати складність.

2. Наявність достатньої інформації – принцип інформаційної достатності, тобто для побудови моделі необхідна наявність апріорної інформації, яка дозволяє побудувати адекватну модель. Повнота та невизначеність наявної інформації обумовлюють доцільність, адекватність та ефективність моделювання.

3. Множинність моделювання – принцип представлення реального об'єкту або процесу множиною моделей, які відображають різноманітні аспекти його функціонування. Вибір типу моделювання, деталізація опису процесу, складність моделі – все це повинно узгоджуватись з цілями та завданнями моделювання.

4. Агрегативність моделі – принцип моделювання складних систем як сукупності більш простих складових, які об'єднані моделлю більш високого рівня – агрегатом. Ієрархічне уявлення процесу дозволяє суттєво спростити модель складного об'єкту, зосередити увагу на головних аспектах, деталізація яких розглядається на нижчому рівні абстракції.

5. Координованість – принцип моделювання складної системи через декомпозицію та врахування взаємного впливу автономних підсистем. Будь-який технологічний процес складається з певного набору операцій, що обумовлює цілком природну декомпозицію та моделювання окремих стадій як автономних підсистем, які взаємодіють між собою. Узгодженість параметрів, інформаційних та матеріальних потоків між окремими підсистемами, а також між рівнями агрегування моделі дозволяє ефективно вирішувати складні завдання управління.

3.2. Моделювання технологічних процесів на основі оптимального планування експериментів

Цілі моделювання технологічних процесів буряківництва визначаються цілями дослідження, які найчастіше полягають у створенні нової системи або в модернізації функціонуючої системи з урахуванням ефективності. Показником ефективності є перевищення корисності пропонованого варіанта системи над вартістю створення й експлуатації

цього варіанта. Проте визначити ефект у повному обсязі, як правило, не вдається, оскільки він проявляється не тільки безпосередньо, як результат функціонування пропонованого варіанта системи, а й опосередковано, як результат функціонування інших систем, з якими пов'язана досліджувана система.

Планування та проведення експериментів реалізується з метою отримання статистик моделювання, обробка яких дозволяє визначити шукані параметри. План експериментів являє собою певний порядок наборів поєднань значень варійованих параметрів (факторів). Число наборів визначає число експериментів.

Основне завдання планування експериментів, що проводяться з моделлю на комп'ютері, полягає в отриманні всієї необхідної інформації про досліджувану систему при мінімальних або обмежених витратах ресурсів комп'ютера на реалізацію процесу отримання статистик моделювання.

Аналіз результатів моделювання реалізується після обробки статистик моделювання методами кореляційного, дисперсійного та регресійного аналізу. Після складання плану експериментів з моделлю системи, для реалізації цього плану необхідно зібрати результати експериментів у вигляді певних статистик моделювання і організувати їх оброблення відповідно до мети моделювання.

Вибір методів оброблення статистик моделювання здійснюється з обов'язковим урахуванням наступних особливостей експериментів з моделями систем [87, 107].

По-перше, експерименти з моделями систем дозволяють отримувати вибірки досить великого обсягу для кількісної оцінки характеристик процесу функціонування досліджуваної системи. Такі великі обсяги вибірок дозволяють отримувати оцінки параметрів високої точності і достовірності. Однак при цьому виникає проблема зберігання проміжних результатів у процесі оброблення великих масивів інформації. Ця

проблема, як правило, розв'язується шляхом розроблення рекурентних алгоритмів обробки інформації, що дозволяє отримувати оцінки у процесі проведення експериментів.

По-друге, складність модельованих систем не дозволяє апіорі висловити досить обґрунтоване судження про закон розподілу, наприклад, вихідних характеристик системи. Тому широко використовується практика оцінки моментів розподілу – математичного очікування, дисперсії, кореляційного моменту та ін.

По-третє, блочність конструкції моделі складної системи зумовлює можливість роздільного дослідження окремих частин. Таке дослідження можливе за умови програмної імітації вхідних змінних для однієї з частин моделі за оцінками вихідних змінних іншої частини.

Статистики моделювання у вигляді множини значень параметрів і їх подальше оброблення методами статистики дозволяють провести аналіз зв'язків між величинами параметрів. Для цього використовуються відомі методи кореляційного, регресійного і дисперсного аналізу [35, 77, 116, 148, 216, 264].

За допомогою кореляційного аналізу визначають, наскільки тісним є зв'язок між випадковими величинами. Тіснота зв'язку встановлюється за допомогою коефіцієнтів кореляції

$$r_{\xi\eta} = \frac{M[\xi - M[\xi]] \cdot M[\eta - M[\eta]]}{\sqrt{D[\xi]D[\eta]}},$$

де $M[\xi]$, $M[\eta]$ – математичні очікування випадкових величин ξ і η ; $D[\xi]$, $D[\eta]$ – дисперсії випадкових величин ξ і η .

За допомогою статистик моделювання або, інакше, на основі N реалізацій експериментів визначається оцінка коефіцієнта кореляції:

$$\hat{r}_{\xi\eta} = \frac{\sum_{k=1, N} (x_k - \bar{x})(y_k - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{k=1, N} (x_k - \bar{x})^2 \sum_{k=1, N} (y_k - \bar{y})^2}},$$

$$\text{де} \quad \bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{k \in 1, N} x_k, \quad \bar{y} = \frac{1}{N} \sum_{k \in 1, N} y_k.$$

Значення $\hat{r}_{\xi\eta}$ характеризує близькість залежності між випадковими величинами ξ і η до лінійної. При $|r_{\xi\eta}|=1$ має місце функціональна, нестохастична, лінійна залежність виду

$$y = b_0 + b_1 x.$$

При $|r_{\xi\eta}|=0$ має місце взаємна некорельованість.

Поміж тим, слід зауважити, що незалежні випадкові величини завжди некорельовані. Однак некорельовані випадкові величини можуть бути залежними.

Випадок, коли $0 < r_{\xi\eta} < 1$ відповідає або наявності лінійної кореляції з розсіюванням, або наявності нелінійної кореляції результатів експериментів.

Як зазначалося вище, кореляційний аналіз дозволяє встановити існування зв'язку та ступінь його щільності, але при цьому не встановлюється модель зв'язку між параметрами або змінними, які цікавлять дослідника.

Для визначення моделі зв'язку використовується регресійний аналіз. У результаті проведення експериментів отримують набори даних у вигляді певних значень параметрів, що цікавлять дослідника. Найчастіше це вихідні параметри з одного боку, а з іншого – це вхідні або внутрішні параметри системи.

Візуальний аналіз указаних даних дозволяє висловити припущення про структуру моделі або, інакше кажучи, визначити вид моделі. Після цього обчислюються значення параметрів моделі, які б мінімізували похибку між даними, отриманими на основі експериментів і моделі. Дана задача часто розв'язується за допомогою методу найменших квадратів [35].

3.2.1. Сутність методу статистичного моделювання

Проведення експериментів для отримання статистичних даних майже завжди є складним завданням в силу ряду факторів, що впливають на технологічні процеси. У буряківництві до таких факторів можна віднести розтягненість процесу у часі, погодні умови, рівень кислотності ґрунту тощо. Проте, необхідну статистику для оцінки параметрів складних технологічних процесів вирощування буряків цукрових дозволяє отримати метод статистичного моделювання.

Суть методу статистичного моделювання, який ще називають методом статистичних випробувань Монте-Карло, полягає в розробленні імітаційної моделі процесу функціонування досліджуваного об'єкта при випадкових входніх впливах, при випадкових змінах внутрішніх параметрів [141]. Метод статистичного моделювання використовується для вивчення стохастичних об'єктів. Основний напрямок використання методу демонструється наступним прикладом.

Нехай є деяка система S , на вхід якої подаються випадкові входні дії x_1 і x_2 , як це показано на рис. 3.3.

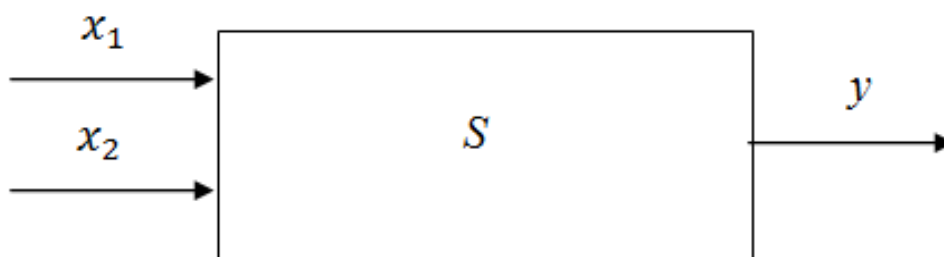


Рис. 3.3. Приклад системи з випадковими входніми впливами

Відомо, що $x_1 = 1 - e^{-\lambda}$, $x_2 = 1 - e^{-\mu}$, де λ, μ – випадкові величини, для яких відома функція їх розподілу (інтегральний закон розподілу).

Відомо також, що $y = \sqrt{x_1^2 + x_2^2}$. Очевидно, що y є випадковою величиною і необхідно дати оцінку її математичному очікуванню $M[y]$.

Реалізація методу статистичного моделювання для оцінки значення $M[y]$ зводиться до реалізації імітаційної моделі у вигляді наступного алгоритму.

На основі заданих законів розподілу випадкових величин λ та μ генеруються значення цих випадкових величин λ_i, μ_i ($i \in \overline{1, N}$), де N – кількість значень або обсяг вибірки значень випадкових величин.

Для кожного набору значень λ_i та μ_i обчислюємо значення вихідної величини y :

$$\forall i \in \overline{1, N} \quad y_i = \sqrt{(1 - e^{-\lambda_i})^2 + (1 - e^{-\mu_i})^2}.$$

На основі множини значень $\{y_i | i \in \overline{1, N}\}$ визначається середнє значення випадкових величин y

$$\bar{y} = \frac{1}{N} \sum_{i \in \overline{1, N}} y_i.$$

При $N \rightarrow \infty$ отримане значення \bar{y} прагне до $M[y]$:

$$\lim_{N \rightarrow \infty} \bar{y} = M[y].$$

Отже, використання методу статистичного моделювання технологічного процесу вирощування буряків цукрових дозволить за короткі строки з меншими затратами отримати оцінки параметрів процесу.

3.2.2. Побудова емпіричних регресійних моделей

Серед багатьох форм зв'язків між явищами важливу роль грає причинна, сутність якої складається в породженні одного явища іншим. Кожний результативний показник залежить від численних і різноманітних факторів. Звідси важливим методологічним питанням в аналізі господарської діяльності є вивчення й вимір впливу факторів на величину досліджуваних показників.

Факторний аналіз є одним з розділів багатомірного статистичного аналізу. У загальному вигляді схему проведення факторного аналізу можна представити у вигляді, наведеному на рис. 3.4 [49].

Основними задачами факторного аналізу є наступні:

- відбір факторів, що визначають досліджувані результативні показники;
- класифікація й систематизація факторів з метою забезпечення комплексного й системного підходу до дослідження їхнього впливу на результати господарської діяльності;

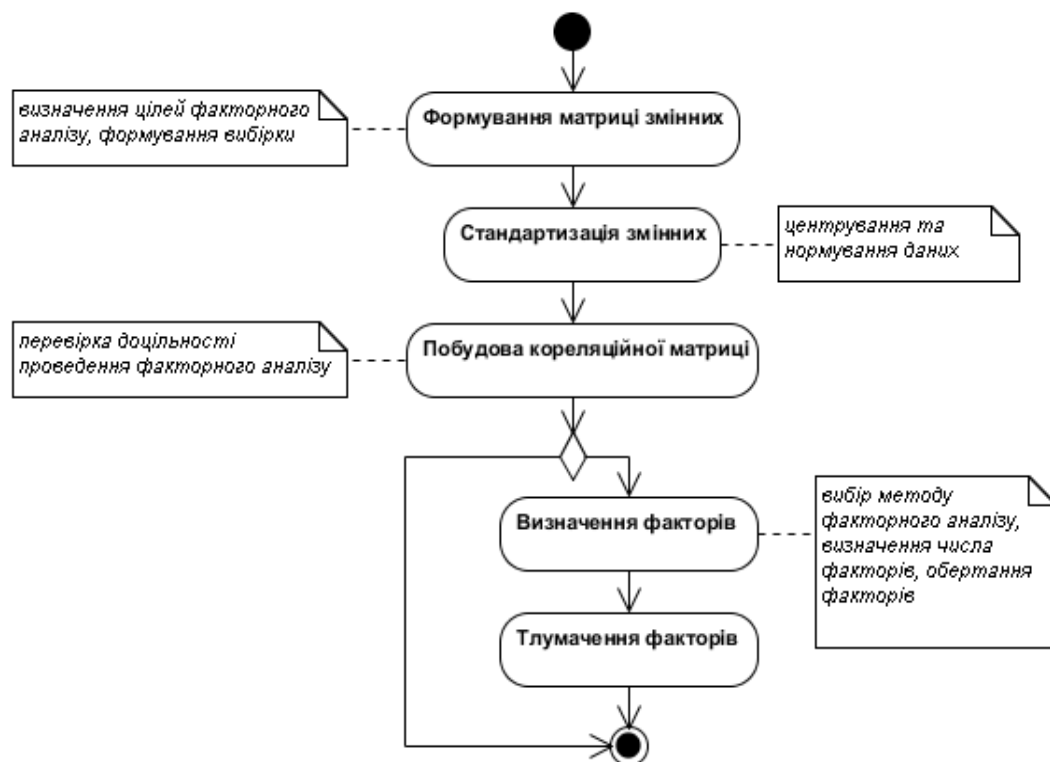


Рис. 3.4. Загальна схема проведення факторного аналізу

- визначення форми залежності між факторами й результативним показником;
- моделювання взаємозв'язків між результативним і факторним показниками;
- розрахунок впливу факторів і оцінка ролі кожного з них у зміні величини результативного показника;
- робота з факторною моделлю (практичне її використання).

Однією з принципових проблем моделювання складних систем є проблема одночасного моделювання різних видів процесів. Проблема полягає в тому, що математичні схеми для моделювання різних видів

процесів не сполучаються одна з одною, що не дозволяє отримати узагальнену модель складної системи. Це також відноситься до двоєдиного ТП передпосівного обробітку ґрунту та сівби БЦ, який є гетерогенним та стохастичним, що доводиться автором в статтях [55, 58, 253, 268].

Емпірична модель технологічного процесу буряківництва являє собою статистичний аналог теоретичної статистичної моделі. За її допомогою визначаються основні статистичні оцінки параметрів побудованої моделі. Об'єктивність отриманих оцінок емпіричної моделі багато в чому залежить від репрезентативності й однорідності вибірових даних. Результати спостережень обробляють в такій послідовності. По-перше, вихідні дані розбиваються на інтервали і складають ряд розподілу функціональної ознаки, визначають абсолютні й відносні частоти і будують гістограму розподілу. По-друге, розраховують параметри закону розподілу. По-третє, оцінюють ступінь згоди теоретичної кривої з дослідженими даними. Оцінку ступеня згоди частіше за все проводять за допомогою критерію χ^2 -квадрат. Таким чином, теоретична крива розподілу зіставляється з емпіричним розподілом, що надає дані для подальшого моделювання та проведення експериментів.

3.2.3. Планування багатфакторного експерименту

Основне завдання планування експерименту полягає в отриманні всієї необхідної інформації про складний технологічний процес буряківництва при обмежених витратах ресурсів на одержання результату моделювання. Це завдання розв'язується за допомогою імітаційної програми на основі використання теорії планування експериментів, в якій основними поняттями є поняття фактора та реакції. Фактори можуть бути керованими і некерованими, тими, що спостерігаються, та не спостережуваними, досліджуваними і такими, що не вивчаються, кількісними та якісними, фіксованими і випадковими. Планом експерименту зазвичай передбачається одночасна зміна кількох чинників.

Після складання плану експериментів з моделлю технологічного процесу, для реалізації цього плану необхідно зібрати результати експериментів у вигляді певних статистик моделювання і організувати їх оброблення відповідно до мети моделювання. Оброблені результати подаються в заданому вигляді досліднику або особі, що приймає рішення.

Як вже зазначалося вище, збирання статистик моделювання реалізується відповідною підпрограмою імітаційної моделі, а оброблення результатів експериментів та їх видача досліднику проводиться підпрограмою закінчення імітації.

Вибір методів оброблення здійснюється з обов'язковим врахуванням наступних особливостей експериментів з моделями систем [8, 258].

По-перше, експерименти з моделями систем дозволяють отримувати вибірки досить великого обсягу для кількісної оцінки характеристик процесу функціонування досліджуваної системи. Такі великі обсяги вибірок дозволяють отримувати оцінки параметрів високої точності і достовірності. Однак при цьому виникає проблема зберігання проміжних результатів у процесі оброблення великих масивів інформації.

Ця проблема, як правило, розв'язується шляхом розроблення рекурентних алгоритмів обробки інформації, що дозволяє отримувати оцінки у процесі проведення експериментів.

По-друге, складність модельованих систем не дозволяє апріорі висловити досить обґрунтоване судження про закон розподілу, наприклад, вихідних характеристик системи. Тому широко використовується практика оцінення моментів розподілу – математичного очікування, дисперсії, кореляційного моменту та ін.

По-третє, блочність конструкції моделі складної системи зумовлює можливість роздільного дослідження окремих частин. Таке дослідження можливе за умови програмної імітації вхідних змінних для однієї з частин моделі за оцінками вихідних змінних іншої частини.

До якості оцінок параметрів, одержуваних у результаті оброблення експериментів, пред'являються відомі з теорії статистики вимоги [120, 136, 145, 273]:

- незсуненість оцінки, коли $M[\hat{x}] = x$, де \hat{x} – оцінка параметра x ;
- ефективність оцінки, коли оцінка \hat{x} така, що забезпечується мінімум дисперсії, тобто $\min M[(\hat{x} - x)^2]$;
- узгодженість оцінки, коли забезпечується збіжність за ймовірністю оцінки \hat{x} до оцінюваного параметра x при збільшенні числа експериментів, тобто

$$\lim_{N \rightarrow \infty} P[|\hat{x} - x| \geq \varepsilon] = 0$$

де ε – величина похибки.

У тому випадку, коли метою експериментів є отримання саме закону розподілу, а не моментів розподілу, то за результатами експериментів отримують значення вибіркового закону розподілу $\hat{F}(x)$ або функції густини $\hat{f}(x)$. Потім висувається гіпотеза про відповідність одержаного емпіричного розподілу якому-небудь теоретичному розподілу.

Перевірка гіпотези здійснюється за допомогою статистичних критеріїв узгодженості Колмогорова, Пірсона, Смірнова, Стюдента та ін. [94, 114, 216].

При обробленні та аналізі результатів експериментів виникає задача порівняння середніх вибірок. Наприклад, нехай проведено n серій експериментів, у результаті яких отримані n сукупностей випадкової змінної $y - \{y^{(1)}\}, \{y^{(2)}\}, \dots, \{y^{(n)}\}$. Якщо виявиться, що математичні очікування зазначених сукупностей $\{M^{(1)}\}, \{M^{(2)}\}, \dots, M\{y^{(n)}\}$, відрізняються незначно, то сукупність $\{y^{(1)}\}, \{y^{(2)}\}, \dots, \{y^{(n)}\}$, утворює однорідний статистичний матеріал, який можна розглядати як об'єднану

сукупність вигляду $\{y^{(1)}, y^{(2)}, \dots, y^{(n)}\}$, що значно збільшує обсяг інформації про властивості об'єкта, який вивчається на основі моделі.

Перевірку гіпотези про рівність математичних очікувань можна реалізувати за допомогою одного з критеріїв узгодженості (Смірнова, Стюдента чи іншого) та процедури попарного порівняння математичних очікувань сукупностей. При великому числі сукупностей число попарних порівнянь буде значним, що робить дану перевірку гіпотези про рівність неефективною.

Набагато ефективніша перевірка гіпотези про рівність математичних сподівань реалізується на основі дисперсійного аналізу, який полягає у перевірці гіпотези про тотожність вибіркової і генеральної дисперсій.

3.2.4. Оцінка достовірності та адекватності моделі

Для оцінок, отриманих при моделюванні технологічних процесів буряківництва, виникає проблема забезпечення точності і результатів моделювання. Використання в моделі елементів статистичного моделювання призводить до стохастичності результатів експериментів з моделлю. Рішення проблеми пов'язується з отриманням оцінок точності і достовірності при заданому числі експериментів, яке обумовлюється обмеженими ресурсами, або, навпаки, з отриманням оцінки числа експериментів при заданих значеннях точності та достовірності [74].

Нехай E – деякий показник досліджуваної системи S , значення якого є результатом експерименту. Позначимо \hat{E} оцінку розглянутого показника. Стохастичність результатів експериментів і обмеженість числа експериментів N призводять до того, що в загальному випадку $E \neq \hat{E}$.

Величина $\varepsilon = |E - \hat{E}|$ називається точністю оцінки, а ймовірність $Q = P\{|E - \hat{E}| < \varepsilon\}$ – її достовірністю. Величину $\varepsilon_0 = \frac{\varepsilon}{E}$ називають відносною

точністю, а ймовірність $Q_0 = P\left\{\frac{|E - \hat{E}|}{E} < \varepsilon\right\}$ – відносною достовірністю оцінки.

Для того щоб за заданими ε , Q визначити число експериментів N або, навпаки, за заданим значенням N знайти точність ε і достовірність Q , необхідно знати закон розподілу, принаймні, величини точності ε . Однак апріорі він невідомий. Дана складність долається висуванням припущення про характер закону розподілу випадкової величини оцінки \hat{E} .

Наприклад, нехай метою експериментів з імітаційної моделлю є отримання оцінки \hat{p} ймовірності появи деякої події A – $p = p(A)$. В даному випадку $E = p$, $\hat{E} = \hat{p}$. Оцінка \hat{p} може розглядатися як $\hat{p} = \frac{m}{N}$, де m – число появ події A в N експериментах. Тоді достовірність Q визначається виразами:

$$Q = P\left\{\left|p - \frac{m}{N}\right| < \varepsilon\right\};$$

$$Q = P\left\{p - \varepsilon < \frac{m}{N} < p + \varepsilon\right\}.$$

Оцінку \hat{p} можна подати як

$$\hat{p} = \frac{1}{N} \sum_{i \in 1, N} x_i,$$

де x_i – результат реалізації деякої випадкової величини ξ , яка приймає значення 1, коли подія A відбувається, і значення 0, коли подія A не відбувається. При цьому $x_i = 1$ з ймовірністю p , а $x_i = 0$ з ймовірністю $(1 - p)$.

Визначимо математичне очікування $M[\xi]$ і дисперсію $D[\xi]$ випадкової величини ξ :

$$M[\xi] = x_i p + x_i (1 - p) = 1 \cdot p + 0 \cdot (1 - p) = p,$$

$$D[\xi] = (x_i - M[\xi])^2 p + (x_i - M[\xi])^2 (1 - p) = (1 - p)^2 p + (0 - p)^2 (1 - p) =$$

$$= p(1 - p).$$

Отримані значення $M[\xi] = p$, $D[\xi] = p(1 - p)$ використовуємо для визначення математичного очікування і дисперсії оцінки $\hat{p} = M[\hat{p}]$, $D[\hat{p}]$:

$$M[\hat{p}] = M\left[\frac{m}{N}\right] = M\left[\frac{1}{N} \sum_{i \in 1, N} x_i\right] = \frac{1}{N} M\left[\sum_{i \in 1, N} x_i\right] = \frac{1}{N} \sum_{i \in 1, N} M[x_i] = \frac{1}{N} N \cdot M[\xi] =$$

$$= M[\xi] = p;$$

$$D[\hat{p}] = D\left[\frac{m}{N}\right] = \frac{1}{N^2} D\left[\sum_{i \in 1, N} x_i\right] = \frac{1}{N^2} \sum_{i \in 1, N} D[x_i] = \frac{1}{N^2} N \cdot D[\xi] = \frac{1}{N} p(1 - p).$$

Те, що $M[\hat{p}] = p$, означає незсуненість оцінки \hat{p} .

З центральної граничної теореми теорії ймовірностей випливає, що $\hat{p} = \frac{m}{N}$ за досить великих значень N можна розглядати як випадкову величину, яка описується нормальним законом розподілу ймовірностей з математичним очікуванням $M[\hat{p}] = p$ та дисперсією $D[\hat{p}] = \frac{1}{N} p(1 - p)$.

Тому для визначення достовірності оцінки скористаємося співвідношенням:

$$Q = P\left\{p - \varepsilon < \frac{m}{N} < p + \varepsilon\right\} = \Phi_0\left(\frac{p + \varepsilon - p}{\sqrt{p(1 - p)}} \sqrt{N}\right) - \Phi_0\left(\frac{p - \varepsilon - p}{\sqrt{p(1 - p)}} \sqrt{N}\right),$$

де Φ_0 – стандартна функція, що зветься інтегралом Лапласа.

Виходячи з властивості симетрії кривої нормального закону розподілу, що означає

$$\Phi_0(-z) = 1 - \Phi_0(z),$$

для розглянутого випадку отримуємо:

$$\Phi_0\left(\frac{p-\varepsilon-p}{\sqrt{p(1-p)}}\sqrt{N}\right)=1-\Phi_0\left(\frac{p+\varepsilon-p}{\sqrt{p(1-p)}}\sqrt{N}\right).$$

З урахуванням цього співвідношення вираз для достовірності оцінки набуває вигляду:

$$Q=\Phi_0\left(\frac{p+\varepsilon-p}{\sqrt{p(1-p)}}\sqrt{N}\right)-1+\Phi_0\left(\frac{p+\varepsilon-p}{\sqrt{p(1-p)}}\sqrt{N}\right).$$

Елементарні перетворення дозволяють отримати співвідношення

$$\Phi_0\left(\frac{\varepsilon\sqrt{N}}{\sqrt{p(1-p)}}\right)=\frac{1+Q}{2}.$$

З чого випливає, що

$$\frac{\varepsilon\sqrt{N}}{\sqrt{p(1-p)}}=t_\varphi, \quad (3.7)$$

де t_φ – квантиль нормального закону розподілу ймовірностей порядку

$\varphi = \frac{1+Q}{2}$, значення якого наводяться у спеціальних таблицях.

З виразу (3.7) визначається точність

$$\varepsilon=t_\varphi\sqrt{\frac{p(1-p)}{N}}, \quad (3.8)$$

яка обернено пропорційна \sqrt{N} .

З виразу (3.8) нескладно розрахувати число експериментів N , необхідних для отримання оцінки \hat{p} з точністю ε і достовірністю Q :

$$N=t_\varphi^2\frac{p(1-p)}{\varepsilon^2}. \quad (3.9)$$

Виразами (3.8), (3.9) для визначення точності ε і числа експериментів N можна було б користуватися, якби було відомо значення ймовірності p .

На практиці для визначення p проводиться, так зване, попереднє моделювання, яке полягає у реалізації $N=N_0$ експериментів, за

результатами яких визначається значення $p_0 = \frac{m}{N_0}$, яке і приймається як значення p , тобто $p = p_0$.

Зауважимо, що з виразу (3.9) для числа експериментів N випливає істотна залежність значення N від дисперсії оцінюваної випадкової величини $D[\hat{p}] = \frac{1}{N} p(1-p)$. Тому, очевидно, вигідно з точки зору витрат ресурсів на проведення експериментів вибирати такі оцінювані показники ефективності модельованої системи S , які мають малі значення дисперсії, що призводить до незначного числа необхідних експериментів.

Необхідна кількість експериментів визначається двома способами:

- на основі виразу (3.9);
- на основі припущення про розподіл ймовірностей вихідних характеристик.

Перший спосіб реалізується шляхом дворазового прогону, коли спочатку виконується прогін з N_0 експериментів, що дозволяє отримати значення $p_0 = \frac{m}{N_0}$, яке прирівнюється до значення p , тобто $p = p_0$, у виразі (3.9). Після цього визначається N за допомогою (3.9), яке і використовується як критерій зупинки експериментів. При цьому, якщо $N_0 \geq N$, то експерименти завершуються відразу, а якщо $N_0 < N$, то необхідно виконати другий прогін, реалізувавши $N - N_0$ експериментів, і завершити виконання експериментів [74].

Другий спосіб полягає в реалізації послідовного аналізу для визначення мінімально необхідного числа експериментів N . Практика показує, що використання цього способу дозволяє одержати таке число експериментів N , яке часто у два рази менше числа N , одержуваного на

основі першого способу, що призводить до явного скорочення використовуваних ресурсів [74].

Відповідно до другого способу число N розглядається як випадкова величина, що залежить від результатів $(N - 1)$ попередніх експериментів.

У послідовному аналізі обсяг вибірки, тобто значення N , не фіксується. Після чергового i -го експерименту приймається одне з можливих рішень:

- прийняти деяку гіпотезу;
- прийняти альтернативну гіпотезу;
- продовжити експеримент, тобто провести наступний $(i + 1)$

експеримент.

Таке послідовне планування процесу проведення експериментів ґрунтується на принципі максимальної правдоподібності і послідовній перевірці статистичних гіпотез, сутність чого полягає в наступному. Передбачається, що розподіл генеральної сукупності характеризується функцією густини ймовірностей $Y = f(y, \theta)$ з невідомим параметром θ . Висуваються дві гіпотези – H_0 і H_1 . Гіпотеза H_0 полягає в тому, що значення невідомого параметра θ дорівнює θ_0 , тобто $\theta = \theta_0$. Інша гіпотеза H_1 полягає в тому, що $\theta = \theta_1$. Висунуті гіпотези перевіряються на підставі вибірки наростаючого об'єму m .

Ймовірність отримання вибірки об'ємом m за умови, що вірна гіпотеза H_0 , дорівнює

$$P_{0m} = f(y_1, \theta_0) \cdot f(y_2, \theta_0) \cdot \dots \cdot f(y_m, \theta_0).$$

Ця ж ймовірність, але за умови, що вірна гіпотеза H_1 , визначається як

$$P_{1m} = f(y_1, \theta_1) \cdot f(y_2, \theta_1) \cdot \dots \cdot f(y_m, \theta_1).$$

Процедура перевірки правильності висунутих гіпотез реалізується на основі відношення правдоподібності $\frac{P_{1m}}{P_{0m}}$.

Після кожного чергового експерименту визначаються P_{1m} та P_{0m} з подальшою перевіркою умов і прийняття рішення:

- якщо $\frac{P_{1m}}{P_{0m}} \leq B$, то приймається гіпотеза H_0 ;
- якщо $\frac{P_{1m}}{P_{0m}} < A$ або $\frac{P_{1m}}{P_{0m}} > B$, то експерименти продовжуються;
- якщо $\frac{P_{1m}}{P_{0m}} \geq A$, то приймається гіпотеза H_1 .

У зазначених умовах $0 < B < 1$, $A > 1$, $m \in \overline{1, N}$.

Для забезпечення збіжності необхідно, щоб

$$A \leq \frac{1-\beta}{\alpha}; \quad B \geq \frac{\beta}{1-\alpha},$$

де α – ймовірність помилки першого роду, тобто це ймовірність відкинути гіпотезу H_0 , якщо вона вірна;

β – ймовірність помилки другого роду, тобто це ймовірність прийняти гіпотезу H_1 , якщо вона помилкова.

Таким чином, моделювання складних технологічних процесів буряківництва доцільно виконувати на основі використання методу статистичного моделювання, планування експериментів та оцінки якості моделі.

3.3. Дворівнева концепція моделювання як спосіб подолання багатокритеріальності оцінки складних технологічних процесів

При управлінні різними технологічними процесами необхідно забезпечити в реальному масштабі часу розрахунок і оптимізацію режиму, який гарантовано буде лежати в області допустимих режимів. Методи, які

зазвичай застосовують, мало підходять для вирішення завдань такого класу через можливість появи довільних неконтрольованих помилок в кінцевих результатах при наявності похибок у вихідних даних. Тому при управлінні такими об'єктами доводиться орієнтуватися на найнесприятливіше поєднання чинників невизначеності і використовувати стратегію гарантованого результату.

До теперішнього часу математичне моделювання дискретних слабо структурованих процесів і систем, для яких характерні множина критеріїв, стохастичність, інтервальність або нечіткість значень вихідних даних, все ще знаходиться у зародковому стані. З метою вирішення цієї проблеми нами розроблена концепція дворівневого моделювання в умовах невизначеності (рис. 3.5) [58].

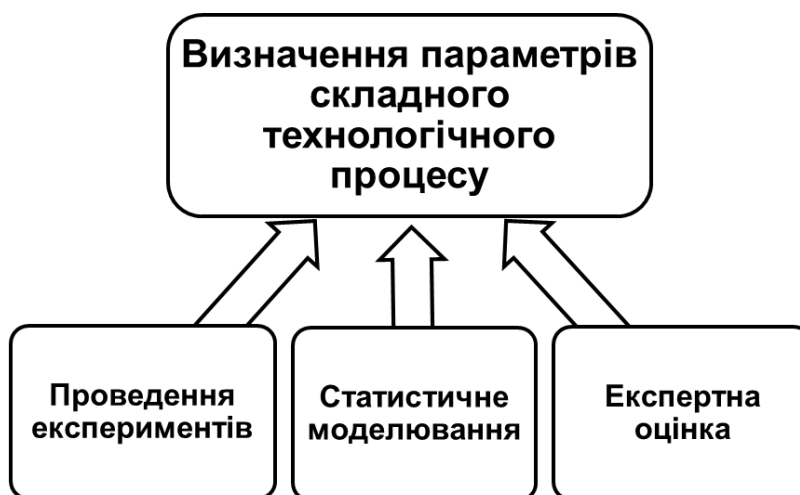


Рис. 3.5. Схема дворівневої концепції моделювання ТП

На нижньому рівні здійснюється моделювання вихідних даних на базі експертного оцінювання, статистичного моделювання та розрахунків параметрів РО. Математичне моделювання верхнього рівня забезпечує постановки багатокритеріальних математичних задач.

Задача управління технологічним процесом вирощування БЦ є багатокритеріальною внаслідок того, що окремі технологічні операції мають власні локальні критерії. Основними критеріями на етапі передпосівного обробітку ґрунту є створення сприятливих умов для забезпечення

максимальної польової схожості насіння, а на етапі сівби - точність розміщення сходів за коефіцієнтом варіації, що разом підвищує ефективність стартового розвитку рослин [61, 69]. На значення цих критеріїв впливає значна кількість некерованих факторів та параметрів технологічних процесів, про що зазначалось вище.

Таким чином, складні технологічні процеси передпосівного обробітку ґрунту та сівби буряків цукрових необхідно моделювати на двох рівнях. Аналіз показує, що задачі нижнього рівня вирішуються шляхом проведення експериментів, залученням експертів або методом статистичного моделювання, проте задача верхнього рівня – аналітичними методами оптимізації. Це обумовлює необхідність розробки не тільки моделей різних рівнів моделювання, а також і моделей сполучення [49].

3.3.1. Аналіз типових математичних схем аналітичних моделей основних видів процесів у складних системах

Розроблення аналітичної моделі реалізується на основі математичної схеми, під якою розуміється апарат чи засіб математики, що дозволяє найбільш повно відобразити характер досліджуваного процесу [145]. Прикладами математичних схем є диференціальні рівняння, скінченно-різницеві рівняння та ін.

До основних видів процесів у складних системах відповідно до характеру їх перебігу відносять неперервні, дискретні, детерміновані, стохастичні. Найчастіше об'єктами дослідження є поєднання зазначених основних видів: неперервно-детерміновані, дискретно-детерміновані, дискретно-стохастичні і неперервно-стохастичні процеси. Для розроблення аналітичних моделей цих процесів використовуються відповідні математичні схеми, що визначаються як типові математичні схеми.

Для розроблення аналітичної моделі неперервно-детермінованих процесів в якості типової математичної схеми використовуються диференціальні рівняння; для дискретно-детермінованих – скінченні

автомати; для дискретно-стохастичних – імовірнісні автомати; для неперервно-стохастичних – системи масового обслуговування.

Проблем концептуального характеру не виникає, коли всі процеси в системі одного виду, тобто всі, наприклад, неперервно-детерміновані або дискретно-детерміновані. У такому випадку модель системи подається системою моделей, кожна з яких відображає відповідний процес і розроблена на основі певної типової математичної схеми, загальної для всіх моделей. Таким чином, якщо в системі протікають кілька неперервно-детермінованих процесів, то їх моделлю може бути система диференціальних рівнянь.

Додаткові складності виникають, коли в системі протікають кілька процесів різного виду і обумовлюються вони тим, що моделі процесів різного виду, як правило, не сполучаються в систему моделей.

Подолання зазначеної складності привело до розроблення уніфікованої математичної схеми, що дозволяє одноманітно відображати різні види процесів. Групою вчених під керівництвом професора Бусленко Н. П. У 60-х роках минулого століття була запропонована уніфікована математична схема, яка названа агрегатом [31]. Всі раніше зазначені типові математичні схеми є окремими випадками агрегату і можуть бути отримані з нього шляхом введення певних обмежень або умов.

Реальні складні системи, як правило, досліджуються за допомогою двох видів математичних моделей: аналітичної та імітаційної, а також на основі їх спільного використання (комбіноване моделювання) [127, 149, 211, 221].

В аналітичних моделях функціонування складної системи представляється системою функціональних співвідношень, які можуть доповнюватися різноманітними логічними умовами. Часто така система є системою диференціальних, скінченно-різницевих та інших видів рівнянь.

Найбільш повні дослідження за допомогою аналітичного моделювання вдається провести, коли отримують явні залежності між

величинами, що характеризують досліджувану якість реальної системи, і параметрами системи. Для отримання таких залежностей доводиться спрощувати явища, які спостерігаються в реальних системах.

Коли явища в системі настільки складні, що їх спрощення стає занадто грубим наближенням до дійсності, слід відмовитися від аналітичного моделювання і використовувати для дослідження подібних систем імітаційне моделювання.

3.3.2. Сутність імітаційного моделювання складних технологічних процесів

Імітаційне моделювання не передбачає тих спрощень явищ у реальній системі, які необхідні для реалізації аналітичного моделювання. В імітаційній моделі функціонування складної системи подається набором алгоритмів. Ці алгоритми на основі фактичних значень параметрів і відомостей про початковий стан системи дозволяють відтворити функціонування системи в кожній конкретній ситуації.

Найбільш часто імітаційне моделювання використовується в наступних випадках:

- коли імітаційне моделювання виявляється єдиною можливістю дослідження складної системи через труднощі спостереження явищ у реальних умовах;
- коли необхідно дослідити процеси у складній системі шляхом їх штучного уповільнення або прискорення;
- при підготовці фахівців для роботи з новою технікою, коли імітаційна модель є засобом для придбання навичок експлуатації нової техніки;
- коли вивчаються нові ситуації у складних системах, про які мало що відомо або невідомо нічого, і тому імітаційна модель є єдиним засобом для перевірки стратегій і правил поведінки в нових ситуаціях;

– коли особливе значення має послідовність подій у складній системі й імітаційна модель використовується для виявлення можливих «вузьких місць» та інших труднощів у функціонуванні системи, що вивчається, при введенні до неї нових елементів.

До основних переваг імітаційного моделювання відносять:

- можливість опису явищ і процесів у складних системах на високому рівні деталізації;
- відсутність обмежень на вигляд залежностей функціональних відносин, використовуваних для опису функціонування складних систем (нелінійність, нестационарність, стохастичність і т.д.);
- можливість дослідження динаміки взаємодії елементів і компонентів системи у просторі параметрів і в часі.

Однак є й недоліки імітаційного моделювання:

- розроблення імітаційної моделі складної системи, як правило, вимагає досить великих витрат ресурсів і часу;
- імітаційна модель як будь-яка модель не є точною, але при цьому ступінь неточності оцінити важко або неможливо.

Термін «імітаційне моделювання» означає, що за допомогою таких математичних моделей результат не обчислюється. Результат, який цікавить дослідника, за допомогою імітаційного моделювання отримують на основі обробки експерименту (імітації) на моделі при заданих вихідних даних. Експеримент при цьому полягає в реалізації алгоритму або множини алгоритмів, що відображають функціонування досліджуваної системи. Імітація являє собою чисельний метод проведення на комп'ютері експериментів з математичними моделями, що описують поведінку складної системи протягом заданого або того періоду часу, що формується.

3.3.3. Методи побудови дворівневої моделі технологічного процесу на основі агентної парадигми

Імітаційне моделювання являє собою процес побудови узагальненої

моделі системи з алгоритмічним описом основних правил її поведінки та процесів. Зазвичай імітаційна модель створюється для відповіді на питання «що, якщо ...», тобто для дослідження можливих сценаріїв розвитку системи при варіації певних параметрів. Після створення моделі з нею проводять численні симуляції – імітаційні експерименти. Під час них відбувається ітераційний процес уточнення або відкидання гіпотез, що використовувалися для опису системи. Такий підхід дозволяє отримати аналог експерименту в різних галузях, зокрема у сільськогосподарському виробництві.

Можливий перелік практичних задач, до яких ефективно застосовується імітаційне моделювання, можна умовно розташувати на різних рівнях. На найдетальнішому рівні знаходиться так зване фізичне моделювання, де розглядаються конкретні матеріальні об'єкти з їх точними розмірами, відстанями, швидкостями, прискореннями та часом. Моделі виробництв з конвеєрами, верстатами, операторами розташовані вище, оскільки зазвичай тут є можливість абстрагуватися від точних фізичних траєкторій і часу та використовувати їх усереднені значення або стохастичні моделі.

Особливим типом імітаційного моделювання є агентне моделювання, яке об'єднує переваги традиційних дискретно-подійних моделей та моделей системної динаміки. Агентне моделювання є сучасним методом вивчення складних процесів. Таке моделювання дозволяє аналізувати зв'язок між поведінкою агентів на мікрорівні та її наслідками на макрорівні. Основу цього підходу до моделювання складають агентно-орієнтовані моделі (АОМ). АОМ – спеціальний клас обчислюваних моделей, що базуються на індивідуальній поведінці агентів.

В основі агентно-орієнтованих моделей лежать три основні ідеї [269]:

- 1) об'єктна орієнтованість;
- 2) здатність агентів до навчання (або їх еволюція);

3) складність обчислень.

Домінуючим методологічним підходом є підхід, при якому обчислюється рівновага або псевдорівновага системи, що містить у собі безліч агентів. При цьому, власне моделі, використовуючи прості правила поведінки, можуть видавати вельми цікаві результати. АОМ складаються з агентів, що динамічно взаємодіють за певними правилами. Середовище, в якому вони взаємодіють, може бути достатнє складним [74].

Вважається, що АОМ доповнюють традиційні аналітичні методи. Останні дозволяють нам охарактеризувати рівновагу системи, а АОМ – досліджувати можливість отримання такого стану. АОМ можуть пояснити причину виникнення таких явищ, як: терористичні організації, війни, обвалення ринку акцій та ін. В ідеалі АОМ можуть допомогти ідентифікувати критичні моменти часу, після настання яких надзвичайні наслідки матимуть незворотній характер.

На відміну від системної динаміки або дискретно-подійних моделей у рамках агентно-орієнтованого моделювання не існує такого місця, де б централізовано визначалася динаміка системи в цілому. Замість цього аналітик визначає поведінку на індивідуальному рівні, а глобальна поведінка виникає як результат діяльності багатьох агентів, кожен з яких слідує своїм власним правилам, живе в загальному середовищі і взаємодіє з середовищем і з іншими агентами. Тому агентне моделювання (АМ) є моделюванням від низу до верху.

На додаток до стандартних задач побудови моделі, практичне АМ потребує виконання наступних кроків:

- визначення агентів і теоретичних основ поведінки агентів;
- визначення взаємовідносини між агентами і теоретичних основ таких відносин;
- пошук платформи для АМ і розробка стратегії АМ моделі;
- отримання необхідних даних для агентів,

- перевірка (валідація) моделі поведінки агентів (на додаток до всієї моделі в цілому);

- запуск моделі та аналіз вихідних даних з точки зору зв'язку між поведінкою агентів на мікрорівні та поведінкою всієї системи в цілому.

Кожен з етапів більш детально виглядає таким чином.

1. Визначення агентів з точним завданням їхньої поведінки та взаємодії з іншими агентами – це основа для розробки достовірних агентних моделей. Агенти – це ті, хто зазвичай приймають рішення в системі.

2. Як тільки агенти визначені, наступним головним завданням стає визначення поведінки агентів. Тут можна рекомендувати наступне:

- а) знайти теоретичні основи поведінки агентів. Наприклад, можна почати з нормативної моделі і використовувати цю модель в якості відправної точки для розробки простої і наочної евристичної моделі поведінки;

- б) можна також почати з поведінкової моделі, якщо є підходяща поведінкова теорія та результати її застосування виглядають адекватними;

- в) коли поведінка окремих особистостей використовується в якості основи для агентних моделей існуючих або гіпотетичних систем, корисні техніки для застосування можна запозичити з інженерії знань і загального моделювання.

Загальна АМ поєднує парадигму агентного моделювання із ідеями з організаційної теорії, щоб визначити модель, яка є керованою цілями. Загальне моделювання корисно використовувати на початковій стадії розробки агентної моделі. Загальне агентне моделювання може бути використано для поліпшення розуміння та перевірки правильності функціонування агентних моделей, для визначення, наскільки ці моделі правдоподібні, для демонстрації концепцій агентного моделювання всім зацікавленим сторонам і для тестування ідей про поведінку агентів у нестандартних ситуаціях.

Для представлення можливих дій агента та його взаємодії із зовнішнім середовищем необхідно мати інструмент, який дозволяє у формальному вигляді описувати поведінку агента. Поведінка агента в даній роботі покладена в основу його формальної архітектури, яка є інструментом, що дозволяє проектувати поведінку агента із використанням чітких формальних методів. Формальна архітектура агента задається через опис середовища, в якому функціонує агент, та сприйняття агентом цього середовища, а також його діями (рис. 3.6) [58, 74].

При використанні підходів, заснованих на формальній логіці, функції сприйняття та вибору дії агента описується як набір тверджень, або правил, цієї логіки. При цьому агент підтримує базу знань, що містить множину тверджень формальної логіки, які описують причинно-наслідкові зв'язки між станами зовнішнього середовища та сприйняттями агента, а також між

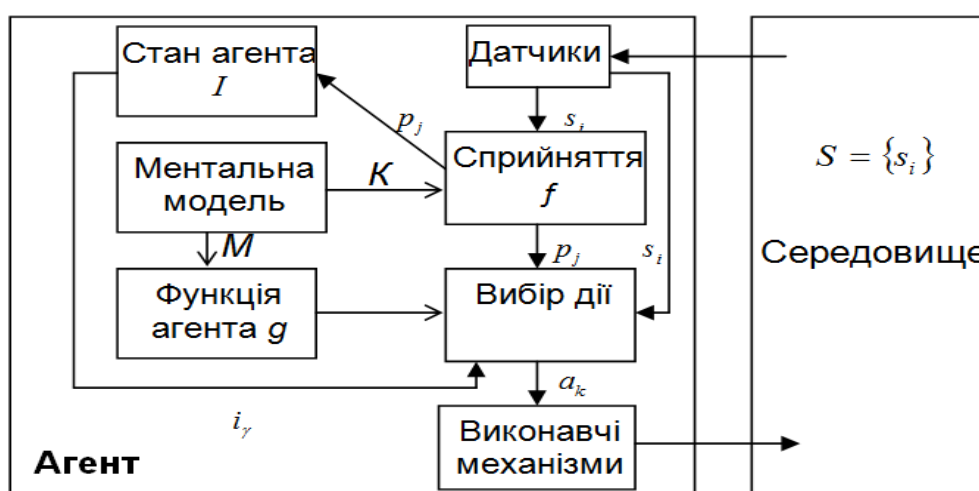


Рис. 3.6. Формальна архітектура агента

сприйняттями середовища та діями агента. Такий агент називається логічним агентом.

Агент, який обирає дію на основі поточного сприйняття, ігноруючи всю історію попередніх сприйняття, є простим рефлексним агентом. Такий тип агентів є достатньо простим. У багатьох випадках для успішного функціонування агента можуть знадобитися знання двох видів.

З одного боку, це інформація про те, як середовище змінюється незалежно від агента. З іншого боку, це знання про те, як власні дії агента впливають на середовище. Агент, який використовує такі знання про існування зовнішнього середовища, є рефлексним агентом, заснованим на моделі.

Таким чином, ми дійшли до висновку, що агентне моделювання є методом, який дозволяє глибше розуміти і пояснювати складні технологічні процеси на основі розробки дворівневих моделей.

3.4. Дослідження технологічних процесів передпосівного обробітку ґрунту і сівби буряків цукрових як єдиної складової технології

В основу побудови моделей технологій виробництва сільськогосподарських культур закладені типові технологічні карти, розроблені відповідно умовам природно-економічних зон. Однак вони намічають загальні орієнтири, середні для зони. Щороку необхідно вносити зміни на конкретному полі, наприклад, залежно від погодних умов. При пошуку оптимального рішення вибору технології та конкретного технологічного процесу треба знайти прийнятну форму запису, що сполучить строгу послідовність із детальністю аналізу ситуації на полі та у парку машин. Варто знати яким чином можна досягти найвищої прогнозованої врожайності не збільшуючи енерговитрат [129, 156, 210].

Послідовність побудови моделі здійснюється в такий спосіб:

1. Аналіз біологічних характеристик культури та зони вирощування.
2. Визначення особливостей агротехнічних операцій.
3. Визначення складу технологічних процесів і місця операцій в них.
4. Запис послідовності процесів у технології.
5. Визначення параметрів моделі.
6. Синтез моделі технології в цілому.

Ресурсозберігаючі технології виробництва сільськогосподарських культур передбачають виконання робіт за умови раціональної організації і керування технологічними процесами при підвищенні універсальності технічних засобів за рахунок, зокрема, їх автоматизації [115, 129, 210, 215].

Сутність енергозберігаючих технологій виробництва продукції рослинництва полягає в тому, що ряд енергоємних технологічних процесів у типовій технології замінюють менш енергоємними і досягають раціонального агрегування сільськогосподарської техніки, але за умови, що врожайність культури не знизиться.

3.4.1. Побудова математичної моделі двоєдиного технологічного процесу

Формально проблему підвищення продуктивності технологічного процесу можна описати таким чином. Є технологічний процес, яким можна керувати, існує необхідність підвищення його продуктивності шляхом зміни керуючих параметрів. При цьому технологічний процес повинен задовольняти виділеним в результаті проведеного аналізу особливостям .

1. Управління технологічним процесом здійснюється зміною його параметрів.
2. Регулювання параметрів можливе в досить широких межах.
3. Оцінку кінцевого результату управління можна отримати, вимірявши характеристики після закінчення технологічного циклу.
4. Процес не має функціональної залежності між його параметрами і вихідним результатом в явному вигляді.
5. Побудова детермінованої моделі технологічного процесу недоцільна.

Враховуючи наявність декількох критеріїв оцінки технологічних процесів розглянемо багатокритеріальну постановку задачі ефективного

керування складним технологічним процесом. Формально задача багатокритеріальної оптимізації є наступною [58].

Нехай f_1, \dots, f_q – критерії (цільові функції), за якими оцінюється ефективність технологічного процесу. Кожен з q критеріїв залежить від вектора параметрів (вхідних впливів) $x = (x_1, \dots, x_n)$ і важливість критеріїв описується коефіцієнтами відносної важливості (вагами) y_1, \dots, y_q . Критерії f_1, \dots, f_q утворюють вектор критеріїв $f = (f_1, \dots, f_q)$, а коефіцієнти y_1, \dots, y_q – ваговий вектор $y = (y_1, \dots, y_q)$. Критерії f_j , що входять до складу векторного критерію, будемо називати локальними. Кожному конкретному значенню параметрів технологічного процесу $x = (x_1, \dots, x_n)$ можна поставити у відповідність вектор оцінок $f(x) = (f_1(x), \dots, f_q(x))$. Тоді задачу прийняття рішення можна формалізувати наступним чином.

Знайти вектор параметрів технологічного процесу $x^* = (x_1^*, \dots, x_n^*)$, який забезпечує максимальні значення локальних критеріїв за умов відповідності вимогам та обмеженням цього технологічного процесу:

$$\max_{x \in X} f_i(x), \quad i = 1, \dots, q, \quad X = \{x : x \in \Omega, g_j(x) \geq b_j, j = 1, \dots, L\},$$

де: $f_i(x)$ – локальні критерії, значення яких або обчислюються за моделями, або отримані в результаті вимірювання;

$g_j(x) \geq b_j, j = 1, \dots, L$ – функції обмежень, що визначають допустимі режими X технологічного процесу;

Ω – множина існуючих параметрів технологічного процесу.

Така постановка задачі відповідає класу задач багатокритеріальної оптимізації. До основних проблем такої постановки задачі управління технологічним процесом передпосівного обробітку та сівби буряків цукрових слід віднести наступні: 1) неузгодженість; 2) неформалізований, якісний характер локальних критеріїв; 3) необхідність формалізації правил

порівнянь рішень щодо отримання найкращого; 4) складність методів пошуку компромісного рішення.

Досліджуваний технологічний процес передпосівного обробітку ґрунту та сівби можна представити в дискретно-статичному вигляді і тоді з ним можна взаємодіяти як з «чорною скринею» протягом одного технологічного циклу. Проте, з метою зменшення складності задачі, а також вирішення проблеми подолання багатокритеріальності, в даній роботі запропоновано наступний підхід.

В результаті виконання послідовності технологічних операцій за умов певних фіксованих параметрів можна отримати кінцевий продукт з відповідним набором властивостей. Кінцевий результат можна розглядати як точку в просторі критеріїв якості технологічного процесу. Нехай $x = (x_1, \dots, x_n)$ – це така «точка», якій відповідає вектор значень локальних критеріїв $f(x) = (f_1(x), \dots, f_q(x))$, які описують властивості отриманого продукту, тобто результату технологічного процесу.

Проведені нами дослідження довели наявність зв'язку між параметрами $x = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ та значеннями локальних критеріїв $f(x) = f_1(x), f_2(x), \dots, f_m(x)$. Тому задачу підвищення продуктивності механізованих технологічних процесів вирощування БЦ розглядали як задачу пошуку у просторі локальних критеріїв якості. Для вирішення цієї задачі використовували відповідні математичні методи.

Порівняльний аналіз відомих алгоритмів пошукової оптимізації показав переваги запропонованого академіком РАН Риковим О. С. [206] методу конфігурацій, що деформуються, як найбільш придатного для вирішення поставленої задачі. У даному методі використовуються правильні симплекси в якості основної конфігурації. Управління процесом пошуку в таких методах здійснюється за рахунок вибору локально оптимального напрямку зсуву центру симплекса і вибору величини кроку, що забезпечує зменшення значення функції, яка оптимізується в центрі

симплекса. Величина кроку змінюється шляхом зміни розміру симплексу зі збереженням правильної форми симплекса.

Конфігурація – це множина вершин, що складається з k точок, число яких більше розмірності n простору незалежних змінних і які лежать одночасно у підпросторі розмірністю, меншою за n . Для пошуку максимального значення функції на кожній ітерації використовується певна конфігурація $f_i(x)$.

Використані симплексні методи для розв'язання деякої задачі двовимірної безумовної мінімізації. Область допустимих значень в цьому випадку збігається з усім простором R^2 і є площиною.

Для розв'язання задачі мінімізації функції мети $f(x)$, де $x \in R^2$, застосовано симплексний метод з відображенням однієї вершини на кожному кроці і правильним симплексом. У даному випадку правильним симплексом є рівносторонній трикутник. При русі до екстремуму на кожному кроці оптимізації відображається та вершина трикутника, в якій функція $f(x)$ приймає максимальне значення. В результаті послідовних відображень утворюється ланцюжок трикутників $S_1, S_2, \dots, S_N, \dots$, причому центри цих трикутників x^1, x^2, \dots, x^N здійснюють коливальні рухи вздовж градієнтного напрямку [61, 66] (рис. 3.7)

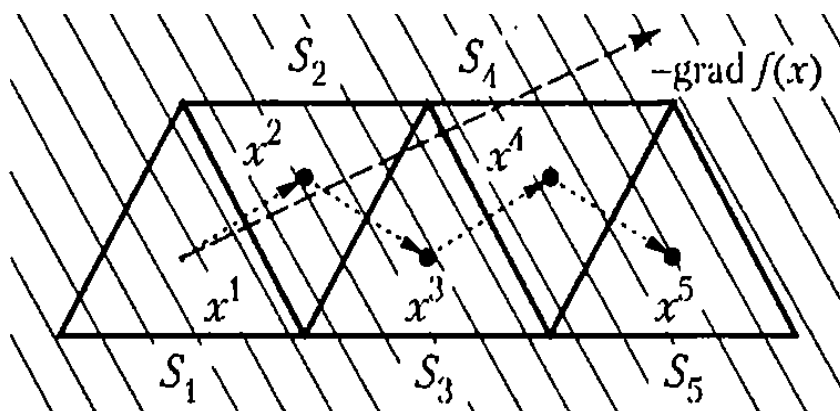


Рис. 3.7. Приклад процедури з відображенням однієї вершини на кожному кроці

У якості критерію локальної оптимальності нами використаний критерій, за яким відображаються ті вершини, в яких значення функції, що оптимізується є більшим за значення функції в центрі симплекса. На рис. 3.8 наведено приклад застосування такого критерію.

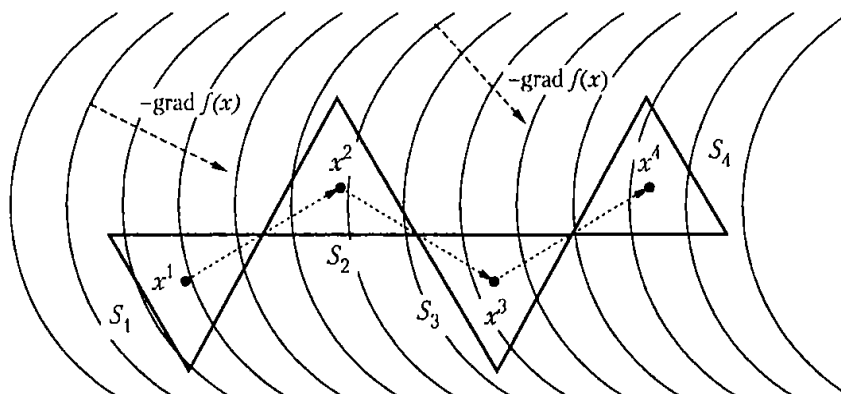


Рис. 3.8. Приклад процедури з відображенням декількох вершин, значення функції в яких більше, ніж значення функції в центрі симплекса

При цьому розв'язувались проблеми з організації можливих напрямків зміщення центру симплекса та вибору серед них симплекса оптимального напрямку та розміру.

Під відображенням $m+l$ ($m=1, \dots, n; l=0, \dots, n-m$) вершин симплекса S_N розуміємо такий паралельний перенос $m+l$ його вершин вздовж напрямку від геометричного центру m відображуваних вершин симплексу S_N , до центру невідображуваних $n+1-m-l$ вершин симплексу $S_{N'}$, при якому симплекс S_{N+1} , що утворений $n+1-m-l$ невідображуваними вершинами симплексу S_N і $m+l$ новими вершинами, є правильним симплексом S_N .

Вибрано критерії локально оптимального напрямку зсуву центру симплекса з безлічі можливих напрямків $\Omega_N(p)$:

$$I_1^N = -(\text{grad } f(x^N), p),$$

$$I_2^N = -\Delta f_N = f^*(x^N) - f^*(x^{N+1}),$$

$$I_3^N = -\Delta f_N / (m+l),$$

$$I_4^N(m) = \sum_{i=1}^m \left(f(x^{N,i}) - f^*(x^N) \right),$$

де $x^{N,i}$ – i -та вершина симплексу S_N ;

$f^*(x^N)$ дорівнює будь-якому вимірному значенню $f(x^N)$ у центрі x^N симплексу S_N або середньому арифметичному значенню функції $f(x)$ у вершинах симплексу S_N :

$$f^*(x^N) = \frac{1}{n+1} \sum_{i=1}^{m+1} f(x^{N,i}). \quad (3.10)$$

Значення критерію I_1^N дорівнює величині проекції одиничного вектора p на вектор антиградієнту і характеризує близькість напрямку p і зміщення центру симплекса x^N до антиградієнтного напрямку. Значення критерію I_2^N пов'язано зі зменшенням значення функції $f(x)$ у центрі симплексу S_N при зміщенні центру симплексу x^N в напрямі p . Значення критерію I_3^N дорівнює зменшенню $f(x)$ в центрі симплекса, віднесеному до одного з вимірів функції $f(x)$. Критерій I_4^N можна застосувати для відображення m вершин і він дорівнює сумі відхилень значень функції $f(x)$ в m вершинах від значення або оцінки значення (3.10) функції в центрі симплекса.

Для визначення напрямку $p_N^{(i)}$, вибрано локально-оптимальний пошуковий алгоритм, де на кожній N -й ітерації вектор $p_N^{(i)}$ і відповідні відображення вершини визначаються у результаті розв'язання задачі:

$$p_N^{(i)} = \arg \max_{p \in \Omega_N} I_i^N(p), \quad i = 1, \dots, 5. \quad (3.11)$$

Оскільки в симплексному алгоритмі напрям $p_N^{(i)}$ визначається відображеними вершинами m і l , то вираз (3.11) можна переписати у вигляді:

$$(m^N, l^N) = \arg \max_{p \in \Omega_N} I_i^N(m, l).$$

Послідовність значень цільової функції $f(x)$ в центрах симплексів $\{f(x^N)\}$ була монотонно спадною, причому розмір симплексу зберігається сталим при виконанні умови монотонності і стрибкоподібно змінюється при її порушенні. Відповідно до описаного підходу необхідно ввести правило перевірки монотонного спадання $\{f(x^N)\}$ і правило зменшення розміру симплекса R_N . Розмір симплекса будемо змінювати в моменти порушення умови (умова успішності кроку):

$$f^*(x^N) - f^*(x^{N+1}) \geq \varepsilon \|x^N - x^{N+1}\|^2$$

відповідно до правила

$$R_{N+1} = \gamma(t) R_1$$

де $f^*(x^N)$ обчислюється за формулою (3.10) або дорівнює вимірюваному значенню $f(x^N)$ в точці x^N ;

$\varepsilon > 0$, $0 < \gamma(t) \leq 1$ – параметри алгоритму;

t – номер стиснення симплексу.

Вибираємо алгоритм зменшення розміру симплекса. Нерухомою залишається вершина $x^{N,n+1}$ з мінімальним значенням цільової функції $f(x)$, а відстань від решти n вершин до вершини $x^{N,n+1}$ зменшується в $\gamma(t)/\gamma(t-1)$ разів.

Положення вершин визначається за формулами:

$$x^{N+1,i} = x^{N,n+1} + (x^{N,i} - x^{N,n+1})\gamma(t)/\gamma(t-1), \quad i = 1, \dots, n;$$

$$x^{N+1,n+1} = x^{N,n+1}.$$

Алгоритм безумовної мінімізації зі сталим розміром симплексу, що показаний на рис.3.9, ґрунтується на приведених нижче формулах (3.12) і полягає в наступних кроках [66]:

$$\begin{aligned}
x^{N+1} &= x^N + \frac{2m^N}{n+1-l^N} \Delta_N(m^N, l^N); \\
x^{N+1,j} &= x^{N,j} + 2\Delta_N(m^N, l^N), \quad j=1, \dots, m^N; \\
x^{N+1,j} &= x^{N,j} + \frac{2m^N}{n+1-l^N} \Delta_N(m^N, l^N), \quad j=m^N+1, \dots, m^N+l^N; \\
x^{N+1,j} &= x^{N,j}, \quad j=m^N+l^N, \dots, n+1.
\end{aligned} \tag{3.12}$$

1. Побудувати правильний симплекс S_1 з центром x^1 і радіусом описаної гіперсфери R_1 .
2. Приймаємо $N=1$.
3. Виміряти значення функції $f(x)$ у вершинах симплекса S_N .
4. Визначити $f^*(x)$ за формулою (3.10).
5. Пронумерувати вершини симплекса S_N в порядку зменшення значень функції $f(x)$ в цих вершинах.
6. Обчислити значення критерію I_i^N
7. Визначити $I_i^N(m^N, l^N) = \max I_i^N$
8. Відобразити $m^N + l^N$ вершин, побудувати симплекс S_{N+1} за формулами (3.12).
9. У нових вершинах симплекса S_{N+1} виміряти значення функції $f(x)$.
10. Переходимо до наступного кроку, коли $N = N + 1$.
11. Визначити $f^*(x)$ за формулою (3.10).
12. Перевірити виконання рівності

$$f^*(x^N) - f^*(x^{N+1}) \geq \varepsilon \|x^N - x^{N+1}\|^2.$$

При її виконанні перейти до п.5. а в разі невиконання – до п.13

13. Пошук припинити. Запам'ятати вершину з мінімальним значенням функції.

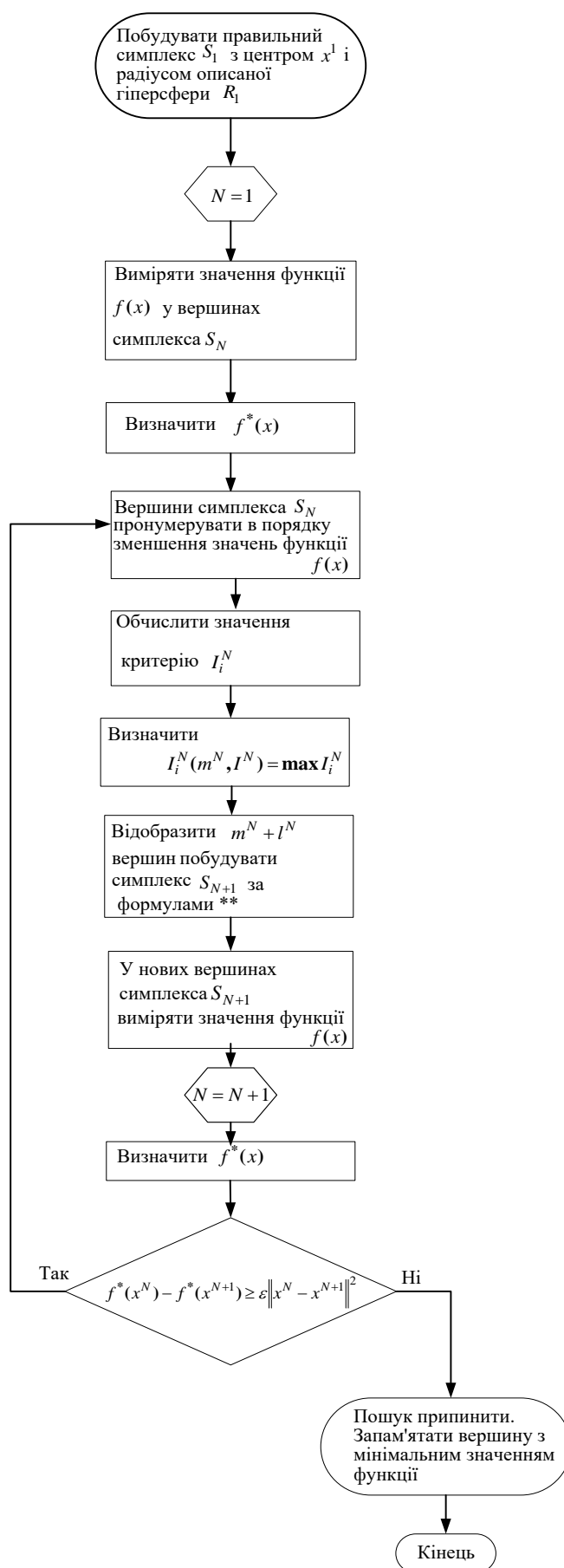


Рис. 3.9. Алгоритм безумовної мінімізації зі сталим розміром симплексу

Для визначення значень критеріїв, що пов'язані із відповідною точкою у просторі незалежних змінних, на нижньому рівні моделювання необхідно реалізувати експеримент. Враховуючи складнощі проведення реального експерименту, в роботі запропоновано використання імітаційного моделювання.

Особливим видом імітаційного моделювання є агентне моделювання. Агент являє собою активний інформаційний об'єкт, яким може позначатись суб'єкт господарської діяльності, технологічний пристрій, організація, населений пункт і т.д. Залежно від того, який об'єкт являє собою агент, модель може відповідати високому рівню абстракції, середньому, низькому або поєднувати кілька рівнів. Таким чином, ця парадигма моделювання є найбільш універсальною.

Основною відмінністю агентного підходу є побудова моделі за принципом знизу вгору. Залежності між агрегованими величинами не задаються виходячи з експертних знань про реальний світ, а виходять з процесу моделювання індивідуальної поведінки багатьох агентів, їх взаємодії один з одним і з об'єктами, які моделюють навколишнє середовище. Наприклад, дослідження виробництва БЦ відбувається не в поняттях готової продукції (коренеплодів), а в моделі закладені можливі реакції окремого виробничого (технологічного) процесу і окремого виконавця (машини, робочого органа) на зміну умов і завдань виробництва (отримання максимальної польової схожості, урожайності). У агентів є можливість обмінюватися інформацією, впливаючи на поведінку один одного саме цим.

Модель може враховувати просторові характеристики, взаємне розташування агентів по відношенню один до одного та об'єктів навколишнього середовища. При агентному підході до побудови моделі можливе використання гетерогенних елементів моделі.

До головних переваг агентного підходу слід віднести:

- можливість аналізувати зв'язок між поведінкою агентів на макрорівні;
- можливість аналізу наслідків поведінки на макрорівні;
- відсутність централізованого визначення динаміки системи
- визначення поведінки на індивідуальному рівні, а глобальна поведінка виникає як результат діяльності багатьох агентів.

Таким чином, поєднуючи розглянуті вище методи, пропонується наступна схема вирішення задачі вибору параметрів технологічного процесу передпосівного обробітку ґрунту та сівби БЦ на двох рівнях (рис. 3.10) [49, 58].

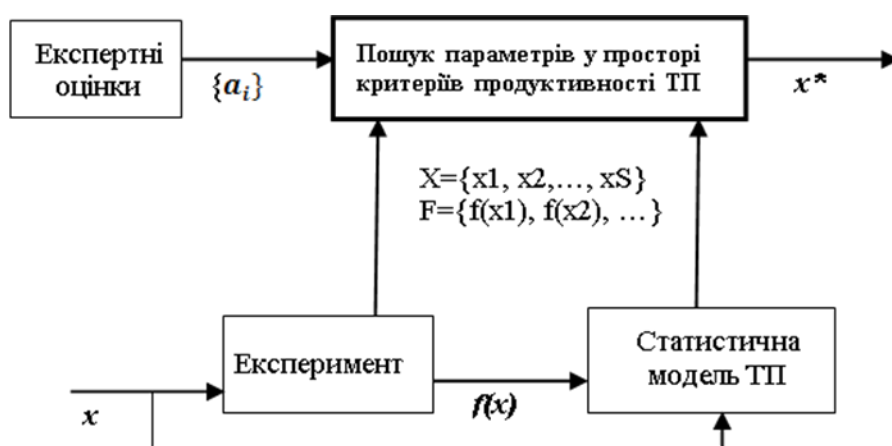


Рис. 3.10. Структурна схема постановки задачі моделювання параметрів технологічного процесу

Аналіз методичних рекомендацій чи вказівок з тих чи інших агротехнічних заходів показує, що в більшості випадків вони зводяться до форми «Якщо ..., то ...», тоді в лівій частині фрази стоять умови, а в правій – рекомендації або значення нормативів, параметрів, характеристик, тощо. При описі, наприклад, міжрядного рихлення посівів однієї або іншої культури рекомендується спосіб обробітку залежно від стану ґрунту, типу робочого органа, глибини обробітку і т. п.

Проте, саме агентне моделювання і є тим інструментом, який дозволяє отримати бажані відповіді, адже основна суть методу – це увага до мікрорівня взаємодії самих «учасників» досліджуваного процесу. Основними компонентами агентного моделювання є визначення:

1) «агентів» (agents); 2) середовища (environment); 3) правил (rules). Інакше кажучи, агентна модель (і, власне, агентне моделювання) – це сукупність агентів, які взаємодіють у певному середовищі відповідно до деяких правил, визначених дослідником.

Серед цих компонентів ключовим для розуміння суті підходу є визначення поняття «агент». Можна бачити, в першу чергу акцент робиться на тому, що агенти – це об’єкти з певним унікальним (у рамках конкретної моделі) набором характеристик, які здатні діяти автономно в певному середовищі і які взаємодіють з іншими агентами.

Другим компонентом агентного моделювання є середовище, де між собою взаємодіють агенти. Роль середовища у моделі може бути різною – від просто інформування про просторове розміщення агентів до визначального впливу на стан і поведінку агентів. Іншими словами, в одних моделях середовище може просто надавати інформацію про те, в якому конкретно місці зараз перебуває агент. В інших моделях кожне місце в середовищі може містити додаткову інформацію, яка впливає на стан і поведінку агентів.

Третім компонентом агентного моделювання є правила. Два попередні компоненти складають «оболонку» моделі, основний структурний вигляд. Правила наповнюють модель «життям». Правила визначають, на досягнення яких цілей орієнтуються агенти, як вони поведуться, як вони оцінюють і реагують на своє середовище, на стан навколишніх агентів-сусідів.

Позначимо зовнішнє середовище агента за допомогою множини станів S . Можливі дії агента описуються за допомогою множини дій A . Абстрактно агент може представлятися як функція [18].

$$g_S : S \rightarrow A,$$

тобто вибір конкретної дії із множини можливих дій агент здійснює на основі поточного стану зовнішнього середовища $s_i \in S$. При цьому дії

агента можуть впливати на середовище, але не контролювати його повністю.

Для представлення агента зручно використовувати модель сприйняття зовнішнього середовища. Для цього вводиться множина можливих сприйняття P та функція $f: S \rightarrow P$, яка описує, у який спосіб певні стани середовища сприймаються агентом. Тоді агент представляється за допомогою функції

$$g_P: P \rightarrow A,$$

тобто дія агента визначається у загальному випадку поточним сприйняттям стану зовнішнього середовища $p_j \in P$.

Модель агента із сприйняттям еквівалентна базовій. Проте вона дозволяє ввести наступну додаткову властивість агента: різні стани середовища можуть однаково сприйматися і навпаки – один стан може по-різному сприйматися агентом.

Іншим варіантом рішення задачі включення попередніх дій при виборі поточної дії є введення поняття стану агента. При цьому вважається, що агент має певні внутрішні структури даних, які він модифікує в залежності від сприйняття поточного стану зовнішнього середовища, та на основі отриманих результатів обирає дію. Для формалізації цього процесу вводиться множина I внутрішніх станів агента та функція оновлення внутрішнього стану, яка відповідає за оновлення внутрішнього стану у відповідності до поточного сприйняття середовища:

$$h: I \times P \rightarrow I.$$

Тоді агент описується за допомогою функції

$$g_I: I \rightarrow A,$$

тобто дія обирається на основі поточного стану агента. Для коректного опису поведінки агента із станом необхідно визначати початковий стан i_0 .

Така архітектура агента має один суттєвий недолік, а саме – агент, що задається у такий спосіб, не отримує інформацію про здійснені ним дії, що обмежує його можливості у накопиченні досвіду та аналізі потенційних наслідків його дій. Одним із можливих способів подолання цього недоліку є представлення інформації про дії агента як частину інформації про зовнішнє середовище, проте такий підхід не є наочним та інтуїтивно зрозумілим. Більш правильним вирішенням цієї проблеми є включення інформації про здійснювані дії явно у вхідні дані функції вибору дії:

$$g_A : (P \times A)^* \rightarrow A.$$

У такому вигляді агент явно отримує інформацію про вже здійснені дії та при виборі дії спирається на сприйняття станів навколишнього середовища.

Для агента із станом інформація про попередні дії враховується у функції оновлення стану:

$$h : I \times P \times A \rightarrow I.$$

Параметром функції оновлення стану є не послідовність усіх дій агенту, а тільки остання виконана дія.

У роботі знання та правила, якими володіє рефлексний агент, оснований на моделі, пропонується формалізувати за допомогою методів теорії інтелекту, зокрема методу компараторної ідентифікації [18]. Тоді функція сприйняття має вигляд

$$f_K : S \xrightarrow{K} P$$

та функція вибору дії –

$$g_M : (P \times A)^* \xrightarrow{M} A$$

для агента, оснований на моделі, що описується компаратором.

Компаратор реалізує предикат $K(y_1, y_2, \dots, y_m) = t$, що відповідає відношенню K , в якому знаходяться вхідні сигнали y_1, y_2, \dots, y_m . При цьому t – це двійкова реакція компаратора, $t \in \Sigma$, $\Sigma = \{1, 0\}$. До входів компаратора

підключені своїми виходами ідентифіковані інформаційні процеси f_1, f_2, \dots, f_m . Інформаційні процеси представляють механізми сприйняття вхідних фізичних сигналів x_1, x_2, \dots, x_m . Компаратор разом із підключеними до нього інформаційними процесами називається ідентифікованим об'єктом. Предикат об'єкта $P(x_1, x_2, \dots, x_m) = t$ виражається у вигляді $P(x_1, x_2, \dots, x_m) = K(f_1(x_1), f_2(x_2), \dots, f_m(x_m))$. Сигнали $y_1 = f_1(x_1)$, $y_2 = f_2(x_2)$, ..., $y_m = f_m(x_m)$ є внутрішніми станами об'єкта, недоступними для спостереження. Об'єкт з двома вхідними сигналами показано на рис. 3.11 [74].

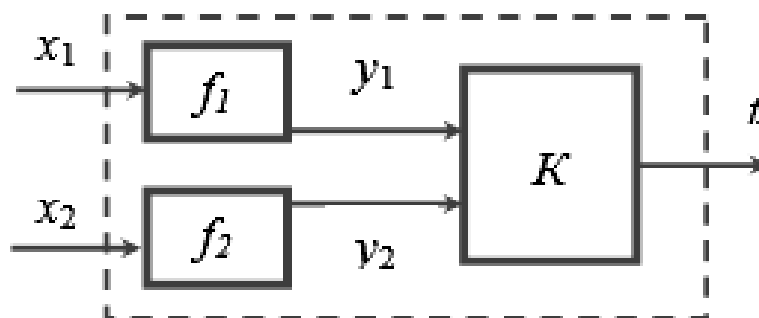


Рис. 3.11. Об'єкт з двома вхідними сигналами

Таким чином, визначивши правила взаємодії агентів із зовнішнім середовищем, цілком можливо надати детальну модель технологічного процесу. Агенти у цьому випадку моделюють окремі робочі органи сільськогосподарських машин, моделі яких розглянуто в інших розділах. Середовищем, в якому взаємодіють агенти, є агрокліматичні умови технологічних процесів. Параметри середовища, які мають вплив на результати діяльності агентів, моделюються на основі статистичних моделей з урахуванням випадковості домінуючих факторів. В результаті імітаційного експерименту з агентною моделлю отримуємо характеристики ґрунту, що є важливими для технологічних процесів його передпосівного обробітку та сівби. Отримані значення є вихідною

інформацією для одного циклу оптимізації, заснованої на алгоритмі методу конфігурацій, що деформуються, який викладений вище.

3.4.2. Планування експериментів у методі імітаційного моделювання

Реальні складні системи, як правило, досліджуються за допомогою двох видів математичних моделей: аналітичної та імітаційної, а також на основі їх спільного використання (комбіноване моделювання). В аналітичних моделях функціонування складної системи представляється системою функціональних співвідношень, які можуть доповнюватися різноманітними логічними умовами. Часто така система є системою диференціальних, скінченно-різницевих та інших видів рівнянь.

Найбільш повні дослідження за допомогою аналітичного моделювання вдається провести, коли отримують явні залежності між величинами, що характеризують досліджувану якість реальної системи, і параметрами системи. Для отримання таких залежностей доводиться спрощувати явища, які спостерігаються в реальних системах.

Коли явища в системі настільки складні, що їх спрощення стає занадто грубим наближенням до дійсності, слід відмовитися від аналітичного моделювання і використовувати для дослідження подібних систем імітаційне моделювання.

Імітаційне моделювання не передбачає тих спрощень явищ у реальній системі, які необхідні для реалізації аналітичного моделювання. В імітаційній моделі функціонування складної системи подається набором алгоритмів. Ці алгоритми на основі фактичних значень параметрів і відомостей про початковий стан системи дозволяють відтворити функціонування системи в кожній конкретній ситуації.

Найбільш повні дослідження за допомогою аналітичного моделювання вдається провести, коли отримують явні залежності між величинами, що характеризують досліджувану якість реальної системи, і

параметрами системи. Для отримання таких залежностей доводиться спрощувати явища, які спостерігаються в реальних системах.

Коли явища в системі настільки складні, що їх спрощення стає занадто грубим наближенням до дійсності, слід відмовитися від аналітичного моделювання і використовувати для дослідження подібних систем імітаційне моделювання.

У разі використання автоматизованої системи моделювання програмна модель створюється автоматично на основі заданої математичної схеми, вихідних параметрів системи, що задаються дослідником, зовнішнього середовища і особливостей функціонування системи.

Перевірку здійсненності вимог до моделі для багатьох складних систем реалізувати важко з кількох причин. На практиці перевірку здійсненності вимог до моделей реалізують за допомогою кількох перевірок, результати яких аналізуються експертами. Перевіркам піддаються моделі всіх структурних елементів і зв'язків між ними, модель зовнішнього середовища для досліджуваної системи і т. д.

Найчастіше виконуються наступні види перевірок:

- перевірка моделей елементів досліджуваної системи, результатом якої може бути подальша деталізація елементів;
- перевірка моделей зовнішніх впливів, результатом якої може бути зміна припущень, гіпотез щодо характеру впливів;
- перевірка концептуальної моделі, результати якої можуть змінити постановку задачі;
- перевірка прийнятої математичної схеми на відповідність характеру процесів у досліджуваній системі;
- перевірка способів вимірювання і обчислення параметрів, що дозволяє виявити значення відповідних похибок;
- перевірка програмної реалізації моделі.

Якщо за результатами перевірок виявляється неприпустима неузгодженість моделі та досліджуваної системи, то виникає необхідність у коригуванні чи калібруванні моделі. Виділяються три основних види змін: глобальні, локальні і параметричні.

Глобальні зміни проводяться при виявленні у концептуальній моделі методичних помилок, які усуваються шляхом побудови нової моделі.

Локальні зміни пов'язуються з розробкою нових моделей окремих елементів, зв'язків або впливів.

До параметричних змін відносять зміни значень деяких, так званих калібрувальних параметрів у заздалегідь встановлених межах.

Перевірка здійсненності вимог до моделі реалізується на основі процесів верифікації та валідації моделі. Верифікація стосується програмної реалізації імітаційної моделі. Вона включає в себе перевірку правильності функціонування моделі. Рекомендується, щоб процес верифікації був неперервним. При цьому доцільно використовувати контролери та відладчики, що надаються засобами автоматизованої розробки імітаційних моделей.

Валідація дозволяє упевнитися, що розроблена концептуальна модель дійсно є поданням реальної системи. Процес валідації націлений на перевірку того, чи можна замінити реальну систему розробленою моделлю в цілях дослідження. Якщо реальна система існує, то найкращим способом виконати валідацію буде порівняння виходів моделі з виходами реальної системи. Однак при розробленні нової системи бази для порівняння не існує, тому дослідники користуються іншими способами валідації.

Планування та проведення експериментів реалізується з метою отримання статистик моделювання, обробка яких дозволяє визначити шукані параметри. План експериментів являє собою певний порядок наборів поєднань значень варійованих параметрів (факторів). Число наборів визначає число експериментів. Основне завдання планування експериментів, що проводяться з моделлю на комп'ютері, полягає в

отриманні всієї необхідної інформації про досліджувану систему при мінімальних або обмежених витратах ресурсів комп'ютера на реалізацію процесу отримання статистик моделювання.

Аналіз результатів моделювання реалізується після обробки статистик моделювання методами кореляційного, дисперсійного та регресійного аналізу. До аналізу результатів моделювання належить завдання аналізу чутливості моделі до варіацій її параметрів. Зокрема, перевіряється стійкість вихідних параметрів до можливих змін параметрів системи і зовнішнього середовища.

На основі аналізу результатів моделювання уточнюються параметри моделі, що призводить до корекції концептуальної моделі, шукається можливість створення аналітичної моделі досліджуваної системи або визначаються вагові коефіцієнти у критерії ефективності.

Обов'язковою умовою успішного імітаційного дослідження є документування і складання звітів. Якщо імітаційна модель буде повторно використовуватися тим же або іншим аналітиком, можливо знадобиться повернутися до розуміння того, як вона побудована і функціонує. Документовані звіти підвищують впевненість при прийнятті рішень. Також документація вкрай корисна в разі, якщо модель потребує змін. Звіти про результати імітаційного дослідження необхідні для прийняття рішень, що стосуються модельованої системи.

У кінцевому підсумку результати моделювання використовуються для прийняття рішення про працездатність системи або про вибір оптимального варіанта з множини допустимих з урахуванням критерію, який виражає ефективність.

3.4.3. Обробка та аналіз результатів експериментів з моделями систем

З визначення імітаційного моделювання випливає важлива роль, яка відводиться організації та проведенню експериментів з імітатором для

отримання статистик моделювання, що характеризують поведінку компонент складної системи в різних режимах функціонування. Основне завдання планування експериментів з імітатором полягає в отриманні всієї необхідної інформації про об'єкт моделювання при мінімальних або обмежених витратах ресурсів комп'ютера на реалізацію процесу моделювання.

Це завдання розв'язується підпрограмою статистики моделювання на основі теорії планування експериментів, ключовими поняттями якої є поняття фактора і реакції [199, 227].

Якщо метою експерименту є вивчення впливу змінної x на змінну y , то x називається фактором, а y – реакцією. Кожен фактор у процесі експерименту приймає різні значення, які називаються рівнями. Кожному фіксованому набору рівнів факторів відповідає певна точка в багатовимірному просторі, який називається факторним простором.

Положення точки у факторному просторі визначається набором рівнів факторів (x_1, x_2, \dots, x_k) і значенням реакції y , яка зв'язується з набором рівнів за допомогою функції реакції Ψ – $y = \Psi(x_1, x_2, \dots, x_k)$. Геометричне місце з m точок $y_l = \Psi(x_{1l}, x_{2l}, \dots, x_{kl})$ ($l \in \overline{1, m}$) утворює геометричний образ поверхні реакції.

Вид (структура) функції Ψ та її параметри часто є математичною моделлю досліджуваної системи. Для їх визначення проводяться експерименти, які повинні бути так організовані, щоб при мінімальних витратах ресурсів (наприклад, мінімальному числі експериментів) отримати правила варіювання рівнями факторів.

Фактори можуть бути керованими і некерованими, що спостерігаються і неспостережуваними, досліджуваними і такими, що не вивчаються, кількісними та якісними, фіксованими і випадковими.

Керованим є фактор, якщо його рівні цілеспрямовано вибираються в процесі експерименту. В іншому випадку фактор є некерованим.

Фактор є спостережуваним, якщо його рівні спостерігаються і реєструються. В іншому випадку фактор є неспостережуваним.

Спостережувані, але некеровані чинники називаються супутніми. Число таких є значним, і тому серед них враховуються тільки ті, які суттєво впливають на реакцію.

Досліджуваним є фактор, якщо він включається в модель для вивчення властивостей об'єкта. В іншому випадку фактор є таким, що не вивчається.

Фактор є кількісним, якщо його рівні представляються числовими величинами. Наприклад, у неперервно-стохастичних моделях, створюваних на основі теорії систем масового обслуговування, кількісними чинниками є інтенсивність вхідних потоків заявок на обслуговування, час обслуговування заявок каналом, а якісними факторами є правила постановки заявок в чергу перед початком обслуговування, порядок призначення каналу на обслуговування і т.д.

Фактор є фіксованим, якщо розглядаються всі його рівні. Якщо ж береться деяка випадкова вибірка рівнів фактора із сукупності можливих рівнів, то фактор є випадковим.

Імітатор вважається визначеним, якщо визначена вся множина істотних факторів і вона не змінюється у процесі даного експерименту.

Планом експерименту зазвичай передбачається одночасна зміна кількох чинників. Основними вимогами до сукупності одночасно змінюваних факторів є їх сумісність і незалежність.

Сумісність означає, що всі комбінації (поєднання) факторів здійсненні, а незалежність відповідає можливості встановити фактор на будь-якому рівні з множини допустимих незалежно від рівня інших факторів із сукупності одночасно змінюваних.

У теорії планування експериментів функція $\Psi(x_1, x_2, \dots, x_k)$ часто подається у вигляді полінома ступеня d від k факторів:

$$y = \hat{b}_0 + \sum_{1 \leq i \leq k} \hat{b}_i x_i + \sum_{1 \leq i, j \leq k} \hat{b}_{ij} x_i x_j + \dots + \sum_{1 \leq i_1, i_2, \dots, i_k \leq k} b_{i_1, i_2, \dots, i_k} x_1^{i_1} x_2^{i_2} \dots x_k^{i_k}, \quad (3.13)$$

де $\sum_{1 \leq j \leq k} = d$.

Поліном (3.13) має $C_{d+k}^d = \frac{(d+k)!}{d!k!}$ коефіцієнтів, які необхідно визначити на основі результатів експериментів.

Якщо $x_0 = 1, x_{k+1} = x_1^2, x_{k+2} = x_2^2, x_{2k+1} = x_k^2, x_{2k+2} = x_1 x_2, x_{2k+3} = x_1 x_3, \dots, x_{k^1} = x_{k-(d-1)} x_{k-(d-2)} \dots x_{k-1} x_k$, де у виразі для x_k d співмножників, то вираз (3.13) подається однорідним лінійним рівнянням

$$y = \sum_{0 \leq \alpha \leq k} \hat{b}'_{\alpha} x_{\alpha} \quad (3.14)$$

де $\hat{b}'_0 = \hat{b}_0, \hat{b}'_1 = \hat{b}_1, \dots, \hat{b}'_k = \hat{b}_k, \hat{b}'_{k+1} = \hat{b}_{11}, \dots, \hat{b}'_{2k+1} = \hat{b}_{kk}, \hat{b}'_{2k+2} = \hat{b}_{12}, \dots,$

$$\hat{b}'_{k^1} = \hat{b}_{(k-(d-1)) \dots (k-1)}^k.$$

Процес перетворення виразу (3.13) у вираз (3.14) показаний на прикладі двофакторної моделі [74].

У цьому випадку вираз (3.13) має вигляд

$$y = \hat{b}_0 + \hat{b}_1 x_1 + \hat{b}_2 x_2 + \hat{b}_{11} x_1^2 + \hat{b}_{22} x_2^2 + \hat{b}_{12} x_1 x_2. \quad (3.15)$$

Якщо припустити, що $x_0 = 1$ і до наявних позначень двох факторів x_1, x_2 додати нові чинники, які позначають нелінійні елементи в розглянутій двофакторній моделі, тобто

$$x_3 = x_1^2, x_4 = x_2^2, x_5 = x_1 x_2,$$

то отримуємо наступний вираз вигляду (3.14) для моделі (3.15)

$$y = \sum_{0 \leq \alpha \leq 5} \hat{b}'_{\alpha} x_{\alpha} \quad (3.16)$$

де $\hat{b}'_0 = \hat{b}_0, \hat{b}'_1 = \hat{b}_1, \hat{b}'_2 = \hat{b}_2, \hat{b}'_3 = \hat{b}_3, \hat{b}'_4 = \hat{b}_{22}, \hat{b}'_5 = \hat{b}_{12}.$

Перевага виразу (3.16) перед (3.15) полягає в його лінійності, що спрощує отримання коефіцієнтів \hat{b}'_{α} у порівнянні з отриманням

коефіцієнтів b_i' . Однак при цьому необхідно мати на увазі, що підвищується розмірність задачі, тому що число визначених коефіцієнтів зростає ($k' > k$).

Поліном (3.13) містить C_{d+k}^d коефіцієнтів, які необхідно визначити на основі результатів експериментів. Тому план експериментів D повинен містити число точок N , в яких проводиться експеримент, що не менше числа визначених коефіцієнтів, тобто $N \geq C_{d+k}^d$.

План D представляється матрицею з рядками, що відповідають точкам факторного простору, в яких проводяться експерименти. Ця матриця має наступний вигляд:

$$D = \begin{pmatrix} x_{11} & x_{21} & \dots & x_{k1} \\ x_{12} & x_{22} & \dots & x_{k2} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{1N} & x_{2N} & \dots & x_{kN} \end{pmatrix}, \quad (3.17)$$

де x_{in} ($i \in 1, k, n \in 1, N$) – рівень i -го фактора в експерименті n .

Реалізація експериментів у N точках факторного простору, координати яких записуються в N рядках матриці D , дозволяє отримати вектор спостережень (результатів експериментів): $y = \|y_1, y_2, \dots, y_N\|^T$, де y_n ($n \in \overline{1, N}$) – реакція, що відповідає експерименту n у точці плану $\|x_{1n}, x_{2n}, \dots, x_{kn}\|$.

Якщо модель, що зв'язує реакцію і фактори, визначається виразом (3.14), то план експериментів X повинен містити N точок, число яких також має бути не менше числа певних коефіцієнтів, тобто $N \leq k' + 1$.

План X , як і план D , представляється матрицею з рядками, що відповідають точкам факторного простору, в яких проводяться експерименти. Матриця, яка визначає план X , має наступний вигляд:

$$X = \begin{pmatrix} x_{01} & x_{11} & x_{21} & \dots & x_{k1} & x_{k+11} & \dots & x_{k'1} \\ x_{02} & x_{12} & x_{22} & \dots & x_{k2} & x_{k+12} & \dots & x_{k'2} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{0N} & x_{1N} & x_{2N} & \dots & x_{kN} & x_{k+1N} & \dots & x_{k'N} \end{pmatrix}, \quad (3.18)$$

де $x_{0n} = 1, (n \in \overline{1, N}), x_{kn} (k \in \overline{1, k'}, n \in \overline{1, N})$, – рівень фактора k в експерименті n .

Експеримент n , проведений в точці факторного простору, координати якої записуються в n -му рядку матриці X – $\|x_{0n}, x_{1n}, x_{2n}, \dots, x_{kn}, \dots, x_{k'n}\|$, дозволяє визначити відповідне значення реакції

$$y_n = \hat{b}_0 x_{0n} + \hat{b}_1 x_{1n} + \hat{b}_2 x_{2n} + \dots + \hat{b}_k x_{k'n} + e_n,$$

де e_n – помилка експерименту, яка передбачається незалежною, нормально розподіленою, випадковою величиною з математичним очікуванням $M[e_n] = 0$ і постійною дисперсією – $D[e_n] = \text{const}$.

Вибір рівнів факторів у планах експериментів D і X реалізується з урахуванням наступних рекомендацій.

Спочатку вибираються границі $x_{i \min}$ і $x_{i \max}$ області визначення факторів. Обрані межі визначають деяку локальну область G факторного простору. Для кожного фактора далі встановлюється основний або нульовий рівень x_{i0} та інтервал варіювання Δx_i . Наприклад, для лінійної двофакторної моделі

$$y = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2$$

область G з нульовими рівнями факторів зображена на рис. 3.12.

На рис. 3.12 показано, що план експериментів будується шляхом варіювання кожного фактора x_i на декількох рівнях щодо вихідної точки x_{i0} , яка визначає центр експериментів.

План експериментів, в якому реалізуються всі можливі сполучення рівнів факторів, називається повним факторним експериментом (ПФЕ).

У тому випадку, коли структура моделі включає тільки лінійні члени

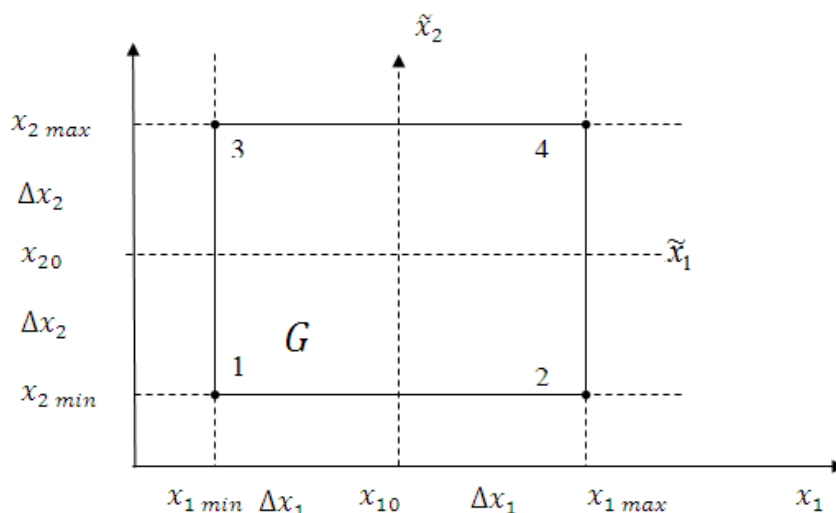


Рис. 3.12. Область G з різними поєднаннями рівнів у 1–4-му експериментах

полінома і добутки факторів, для оцінки коефіцієнтів моделі використовується план експериментів з варіюванням усіх k факторів на двох рівнях. Такі плани називаються планами 2^k , де $N = 2^k$ – число всіх можливих експериментів для оцінки коефіцієнтів моделі зазначеної структури.

Наприклад, нехай $k = 3$. Тоді трифакторна модель, структура якої включає тільки лінійні члени та добутки факторів, має наступний вигляд:

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_{12}x_1x_2 + b_{13}x_1x_3 + b_{23}x_2x_3 + b_{123}x_1x_2x_3.$$

Оцінки потрібні для восьми коефіцієнтів зазначеної моделі – $b_0, b_1, b_2, b_3, b_{12}, b_{13}, b_{23}, b_{123}$. Для їх оцінювання потрібно провести $N = 2^k = 2^3 = 8$ експериментів. Легко бачити, що число експериментів строго відповідає числу визначених коефіцієнтів. Зауважимо ще, що це число експериментів є мінімальним для визначення коефіцієнтів у розглянутій моделі.

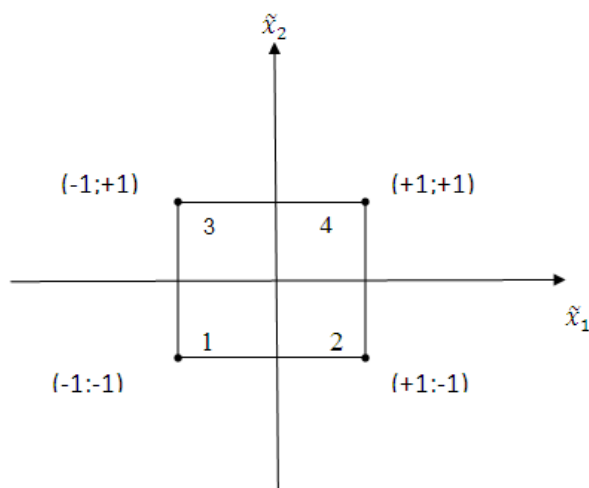
У реальних задачах фактори мають різні одиниці виміру і діапазон (інтервал) зміни. Для утворення поєднань таких факторів необхідно попередньо провести операцію масштабування, для чого часто використовується перетворення

$$\hat{x}_i = \frac{x_i - x_{i0}}{\Delta x_i} (i \in \overline{1, k}), \quad (3.19)$$

де \hat{x}_i – масштабований рівень i -го фактора;

x_i – натуральний рівень i -го фактора;

Δx_i – визначається виразом $\Delta x_i = \frac{x_{i \max} - x_{i \min}}{2}$.



У планах 2^k , як відомо, кожен фактор варіюється на двох рівнях. Зазвичай цими рівнями є $x_{i \min}$ та $x_{i \max}$ ($i \in \overline{1, k}$). На основі перетворення (3.19) легко отримати, що рівню $x_{i \min}$ відповідає масштабований рівень $\hat{x}_i = -1$, а рівню $x_{i \max}$ – $\hat{x}_i = +1$ (рис. 3.13). Показаний на рис. 3.13 план 2^2 у вигляді вершин області G , як уже зазначалося, подається матрицею планування D , яка має наступний вигляд:

$$D = \begin{vmatrix} -1 & -1 \\ +1 & -1 \\ -1 & +1 \\ +1 & +1 \end{vmatrix}.$$

Рис. 3.13. Область G плану 2^2

У матриці D номер рядка відповідає номеру експерименту плану.

Число експериментів плану 2^2 цілком достатньо для оцінки чотирьох коефіцієнтів моделі виду

$$y = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_{12} x_1 x_2.$$

Якщо для опису поверхні реакції обмежитися лінійною моделлю

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2,$$

в якій необхідно оцінити тільки три коефіцієнти b_0, b_1, b_2 , то, очевидно, план 2^2 є надлишковим, оскільки число експериментів цього плану більше числа оцінюваних коефіцієнтів на одиницю.

Легко бачити, що вказана надмірність зростає із збільшенням числа факторів k .

Дійсно, при $k=3$ число експериментів плану 2^k дорівнює $N = 2^3 = 8$, а число оцінюваних коефіцієнтів лінійної трифакторної моделі

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3$$

дорівнює 4. Тобто надмірність при $k=3$ становить чотири. Зауважимо, що при $k=2$, ця надмірність дорівнювала одиниці.

Оскільки проведення експериментів вимагає витрат ресурсів, то надмірність призводить до неефективного їх використання.

З метою мінімізації надлишковості поряд з ПФЕ виду 2^k , коли кожен фактор варіюється на двох рівнях, розглядають дробові факторні експерименти, число яких відповідає числу оцінюваних коефіцієнтів моделі, що описує поверхню реакції.

У теорії планування експериментів поряд з симетричними дворівневими планами 2^k використовуються багаторівневі плани, в яких фактори варіюються на 3, 4 і m рівнях. Ці плани позначаються відповідно $3^k, 4^k, \dots, m^k$.

Крім цього, в теорії планування експериментів використовуються також багаторівневі несиметричні плани, в яких фактори варіюються на різних рівнях. Число експериментів у таких планах визначається як

$$N = q_1q_2\dots q_k, \quad (3.20)$$

де $q_i (i \in \overline{1, k})$ – число рівнів i -го фактора.

Зменшення числа експериментів N , а значить, і витрат ресурсів на їх проведення, можливе шляхом зменшення числа співмножників у виразі (3.20), що рівнозначно зменшенню числа факторів k , а також шляхом зменшення значень співмножників $q_i (i \in \overline{1, k})$, що рівнозначно зменшенню числа рівнів i -го фактора.

Число факторів визначається метою експериментів. Як правило, розглядаються дві основні мети. Перша з них полягає в побудові залежності реакції від факторів для виявлення властивостей системи, що пов'язується з розв'язанням певної задачі аналізу. Друга мета полягає у знаходженні деякої комбінації рівнів факторів, яка надає екстремальне значення реакції, що пов'язується з розв'язанням задачі синтезу.

Для реалізації запропонованого підходу в програмі AnyLogic на нижньому рівні дворівневої моделі відповідно до виділених за результатами досліджень у попередньому розділі роботи в якості основних критеріїв оцінки визначаємо такі:

f_1 – польова схожість насіння, %;

f_2 – середня глибина обробітку, см;

f_3 – кількість грудочок діаметром до 25 мм, %.

На значення даних критеріїв впливає багато керованих та некерованих факторів. Як доведено вище (Розділ 2) найбільш важливими показниками технологічної операції висіву насіння, які визначаються вибором параметрів робочих органів сівалки, є: маса насінини, початкова швидкість падіння та кут нахилу її до горизонту, робоча швидкість сівалки. Отже, в якості змінних обраємо наступні параметри, які утворюють компоненти вектора x :

x_1 – маса насінини m ;

x_2 – початкова швидкість насінини \vec{V}_0 ;

x_3 – кут нахилу до горизонту α ;

x_4 – робоча швидкість сівалки V .

Агентне моделювання, як один із видів імітаційного, базується на понятті агент, що являє собою модель взаємного впливу досліджуваного об'єкта та середовища як послідовності дій та реакцій на зміну умов навколишнього середовища та параметрів технічного засобу.

Агенти – це об'єкти з певним набором характеристик, які здатні діяти автономно в певному середовищі і які взаємодіють з іншими агентами.

Середовище, де між собою взаємодіють агенти, є другим компонентом агентного моделювання і чинить визначальний вплив на стан і поведінку агентів.

Третім компонентом агентного моделювання є правила. Два попередні складають основний структурний вигляд моделі, а правила визначають на досягнення яких цілей орієнтуються агенти, як вони поведуться, оцінюють своє середовище і реагують на нього, на стан навколишніх агентів, тобто таким чином деталізується модель.

Розроблена модель об'єднує три типи агентів: «агрегат», «грунт» та «насінина». Агрегат реалізується як послідовно взаємодіюча низка енергетичних засобів, машин та робочих органів, кожний з яких в свою чергу реалізується окремим агентом з відповідною функцією $g : S \times I \times A \rightarrow A'$. Зовнішнє середовище визначається множиною станів $S = \{S_i\}$ і моделюється як сукупність некерованих ґрунтово-кліматичних та інших факторів, що впливають на досліджувані параметри, а ґрунт описується функцією оновлення параметрів $h : S \times A' \times K \rightarrow K$. Насінина моделюється як стохастична величина, яка за заданими параметрами функції розподілу ймовірності реалізує предикат польової схожості $G(I \rightarrow A)$ [58] (рис. 3. 14).

Агенти у створеній моделі моделюють робочі органи машин, що впливають на середовище з метою забезпечення агротехнічних вимог до виконання технологічного процесу. Середовищем, в якому взаємодіють

Агрегат – трактор + сільськогосподарське знаряддя

$I = \{i_r\}$ – множина параметрів сільськогосподарського агрегата (внутрішні стани агента)

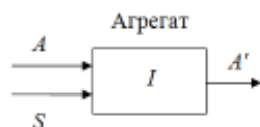
i_1 – швидкість руху агрегату

i_2 – ширина захвату

i_3 – маса агрегату

i_4 – потужність двигуна

i_5 – витрати пального



$A = \{a_k\}$ – множина дій інших агентів

a_1 – рухатися

a_2 – не рухатися

$A' = \{a'_k\}$ – множина власних дій агента

a'_1 – рухатися

a'_2 – не рухатися

Функція агента

$g: S \times I \times A \rightarrow A'$

Зовнішнє середовище

$S = \{s_i\}$ – множина станів зовнішнього середовища, а саме його некерованих параметрів

s_1 – вологість ґрунту

s_2 – температура ґрунту

s_3 – щільність ґрунту

s_4 – нерівність поверхні поля

Ґрунт і насіння

$K = \{k_n\}$ – множина керованих параметрів ґрунту (критеріїв)

k_1 – глибина обробітку

k_2 – подрібнення спущеного шару ґрунту до 25мм

k_3 – польова схожість насіння

Функція оновлення параметрів ґрунту $h: S \times A' \times K \rightarrow K$

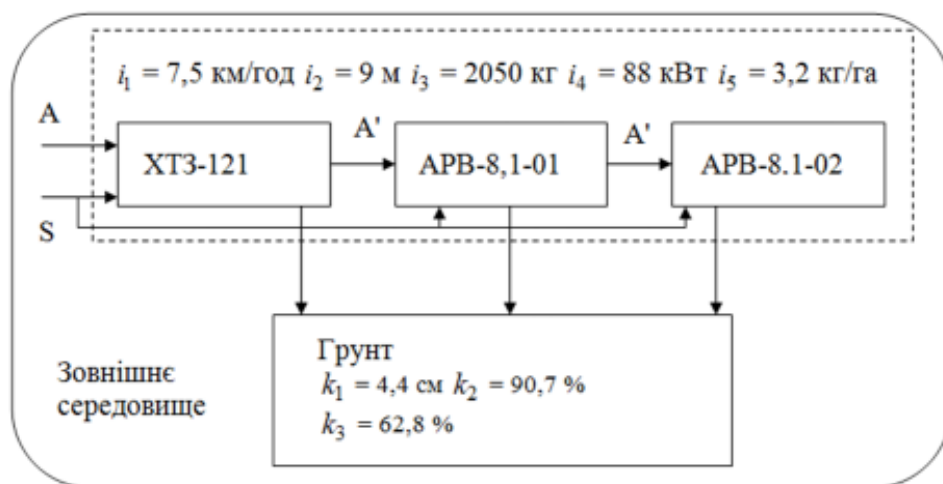


Рис. 3. 14. Структурний склад агентної моделі

агенти, є ґрунт, розмірно-масові характеристики насіння. Параметри середовища, які впливають на результати діяльності агентів, моделюються на основі статистичних моделей. Отримані значення являються вихідними даними для одного циклу оптимізації, алгоритм якого викладений вище.

Відповідно до прийнятої методології на першому етапі задавали початкові параметри агрегатів та проводили експеримент. З огляду на неможливість проведення повномасштабних реальних експериментів, оцінку параметрів технологічного процесу за визначеними критеріями проводили в модельному середовищі. З цією метою у смт Дослідницьке Васильківського району Київської області досліджувались шість типів ґрунтообробних агрегатів (ХТЗ-121+АРВ-8,1-02, МТЗ-80+УСМК-5,4Б, ХТЗ-17221+АРВ-8,1-01, ХТЗ-17221+АРВ-8,1-02, ХТЗ-17221+Компактор, ХТЗ-121+АРВ-8,1-01+АРВ-8,1-02), які виконували передпосівний обробіток ґрунту, а при сівбі у всіх варіантах використовували сівалку «Мультикорн». Висівалось насіння сорту Гала, лабораторна схожість якого становила 96 %.

На базі отриманих емпіричних даних сформовані початкові умови, приведені в табл. 3.1 [69].

Таблиця 3.1

Початкові параметри імітаційної моделі

Склад агрегата		Параметри агрегата					Параметри ґрунту і насіння		
		Робоча швидкість	Ширина захвата	Маса	Потужн. двигуна	Витрати пального	Глибина обробітку	Вміст грудочок $\varnothing < 25\text{мм}$	Польова схожість
		км/год	м	кг	кВт	кг/га	см	%	%
1	ХТЗ-121+ АРВ-8,1-02	11,6	8,6	10200	88	2,4	4,0±0,9	98,5	66,7
2	МТЗ-80+ УСМК-5,4Б	8	5,4	4150	55	3,5	4,0±1,1	96,2	57,9
3	ХТЗ-17221+ АРВ-8,1-01	11,0	8,6	10150	121	2,6	4,0±1,0	90,7	62,8
4	ХТЗ17221+ АРВ-8,1-02	8	8,6	9700	121	4,7	4,0±0,8	91,1	64,8
5	ХТЗ-17221+ Компактор	7,5	6	11520	121	4,9	4,0±0,8	96,8	62,8
6	ХТЗ-121+ АРВ-8,1-01+...02	7,5	9	12050	88	3,2	4,0±0,7	87,5	62,0

Результати моделювання двоєдиного процесу передпосівного обробітку ґрунту та сівби надають можливість отримати статистичні дані,

необхідні для оцінки параметрів при вирішенні задачі оптимізації в додатку Microsoft Solver Foundation [53, 269, 271, 272]. В табл. 3.2 наведений фрагмент розрахункових значень критеріїв.

Таблиця 3.2

Розрахункові значення критеріїв (фрагмент)

№ ряду	Контрольна точка	Координата Х	Координата У	Глибина обробітку	Глибина висіву
		<i>м</i>	<i>м</i>	<i>см</i>	<i>см</i>
1	1	1,00	0,60	4,50	3,30
1	2	1,50	0,60	4,40	3,20
1	3	3,00	0,60	4,55	3,30
1	4	15,00	0,60	4,40	3,20
1	5	28,00	0,60	4,50	3,30
1	6	46,00	0,60	4,40	3,30
1	7	134,00	0,60	4,50	3,40
1	8	268,00	0,60	4,45	3,30
1	9	351,00	0,60	4,50	3,20
1	10	467,00	0,60	4,50	3,40
2	11	1,00	1,10	4,55	3,40
2	12	1,50	1,10	4,40	3,20
2	13	3,00	1,10	4,55	3,30
2	14	15,00	1,10	4,40	3,30
2	15	28,00	1,10	4,50	3,30
2	16	46,00	1,10	4,45	3,30
2	17	134,00	1,10	4,50	3,40
2	18	268,00	1,10	4,45	3,30
2	19	351,00	1,10	4,50	3,20
2	20	467,00	1,10	4,55	3,20
5	21	2,00	2,60	4,50	3,30
5	22	5,00	2,60	4,40	3,20
5	23	11,00	2,60	4,55	3,30
5	24	54,00	2,60	4,44	3,30
5	25	128,00	2,60	4,50	3,30
5	26	165,00	2,60	4,40	3,30
5	27	235,00	2,60	4,50	3,40
5	28	307,00	2,60	4,45	3,30

Вибіркові результати моделювання за критерієм коливань глибини передпосівного обробітку ґрунту як найбільш значущого серед тих, що чинять вплив на польову схожість насіння приведені на (рис. 3.15-3.17).

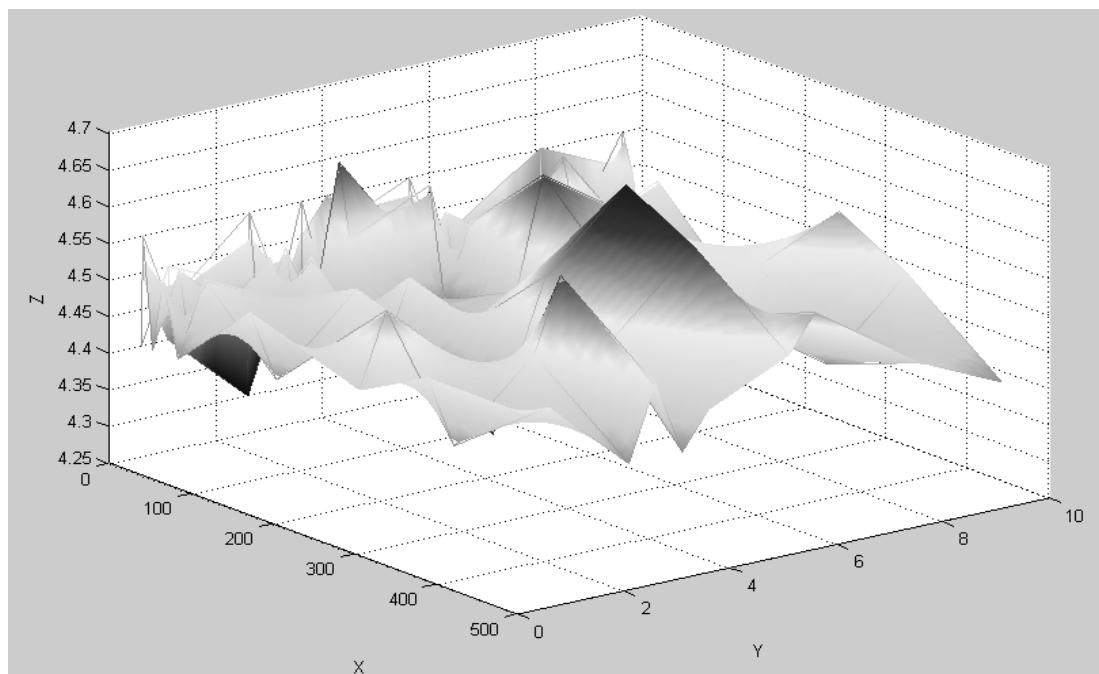
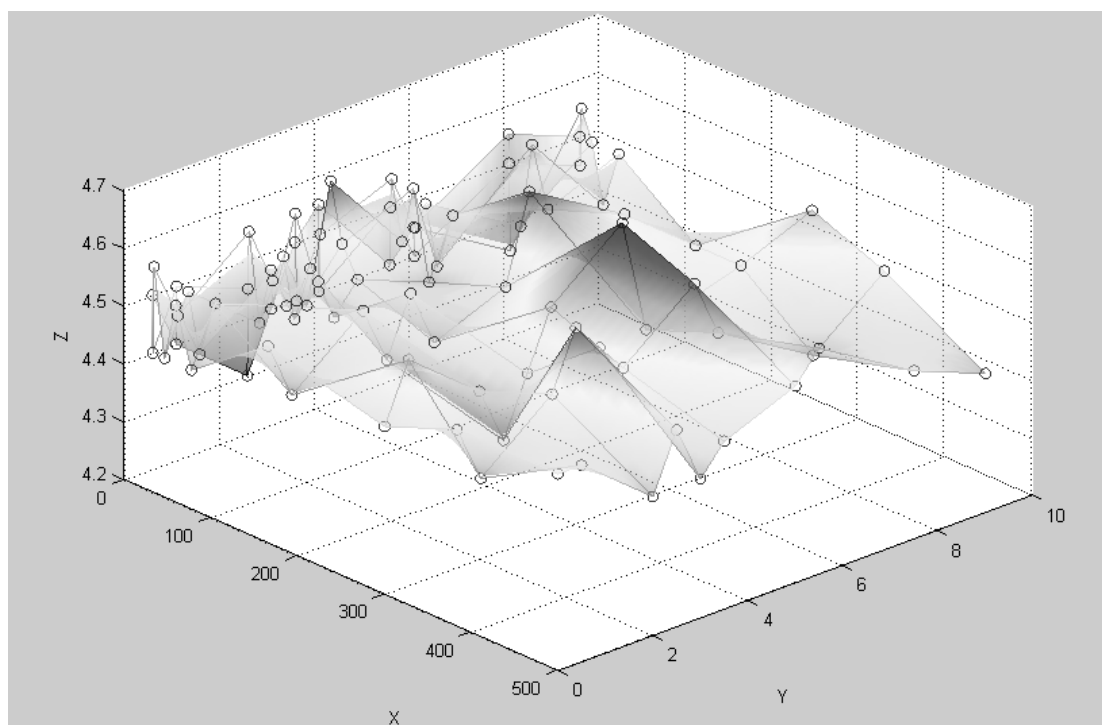
*a**б*

Рис. 3.15. *a* – результати моделювання (Z – глибина обробітку, см; X , Y – розміри контрольної ділянки, м); *б* – за вологості ґрунту $W < 28\%$

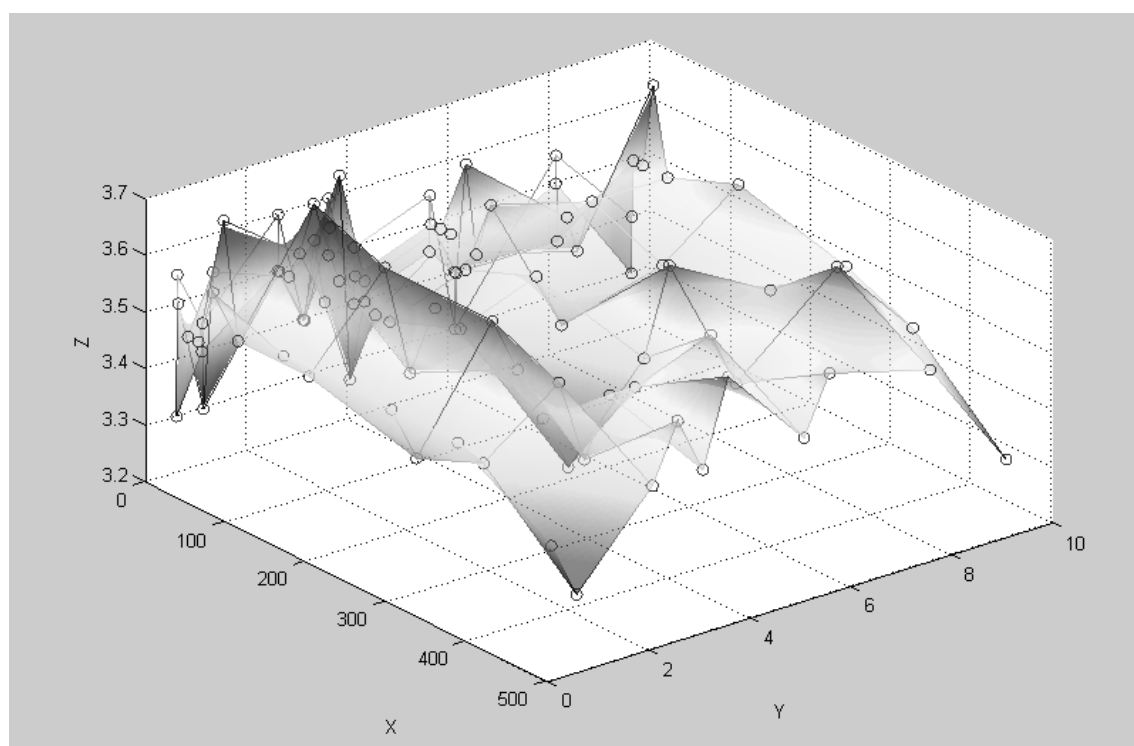
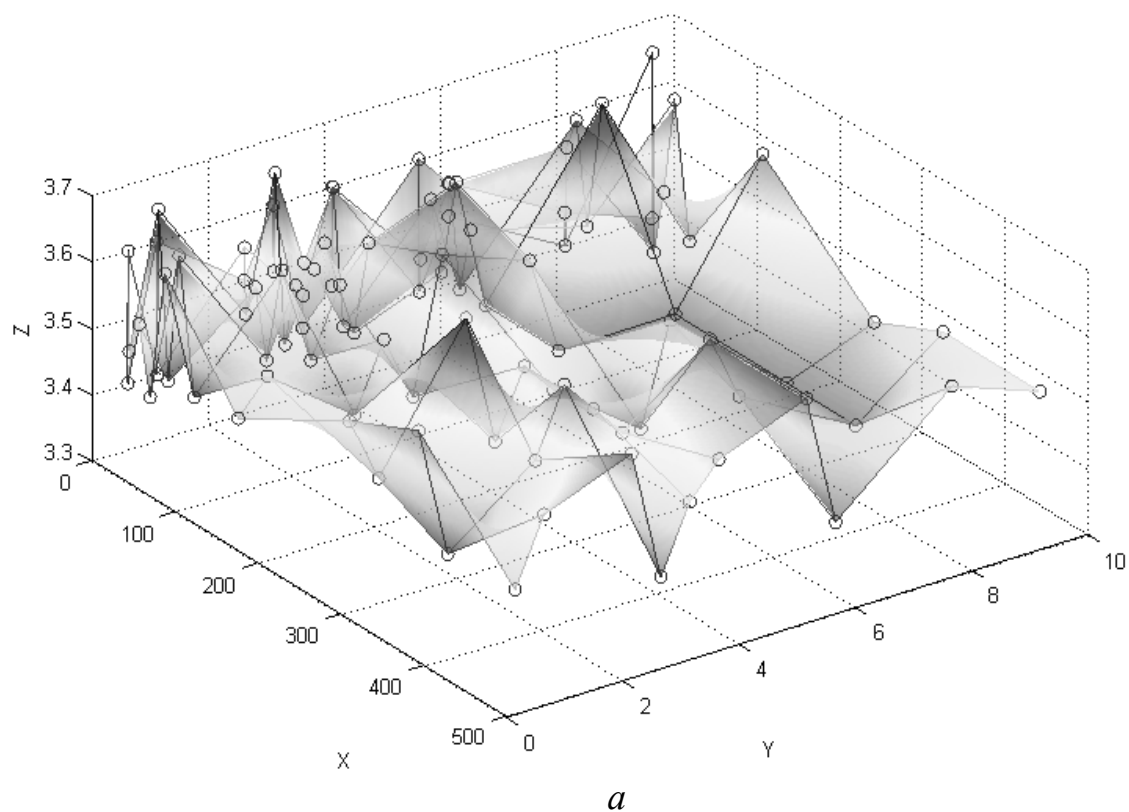


Рис. 3.16. *a* – результати моделювання (Z – глибина обробітку, см; X , Y – розміри контрольної ділянки, м) за швидкості агрегатів для передпосівного обробітку 10,5-11,5 м/с.; *б* – за використання насіння сорту «Гала»

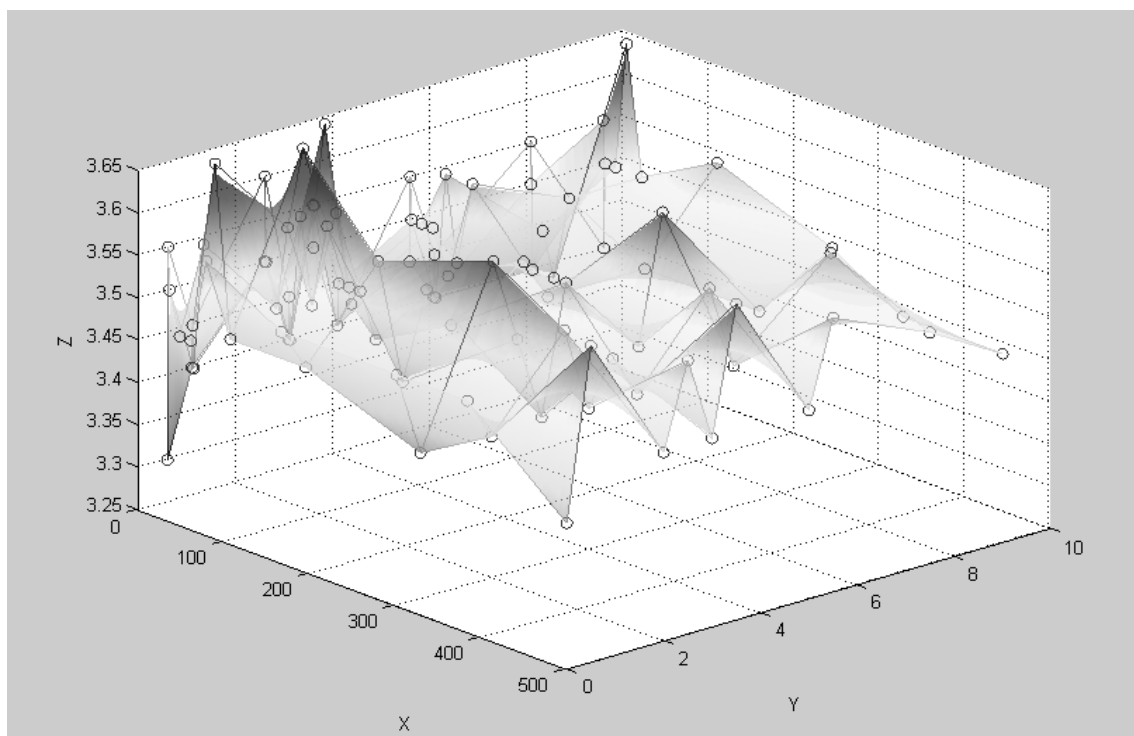


Рис. 3.17. Результати моделювання (Z – глибина обробітку, см; X , Y – розміри контрольної ділянки, м) за використання насіння гібриду «Шевченківський»

Для порівняння отриманих значень критеріїв доцільно провести їх нормалізацію за шкалою відношень. Це надає візуальне уявлення про значення критеріїв, що розглядаються, та полегшує опрацювання отриманих оцінок (рис.3.18).

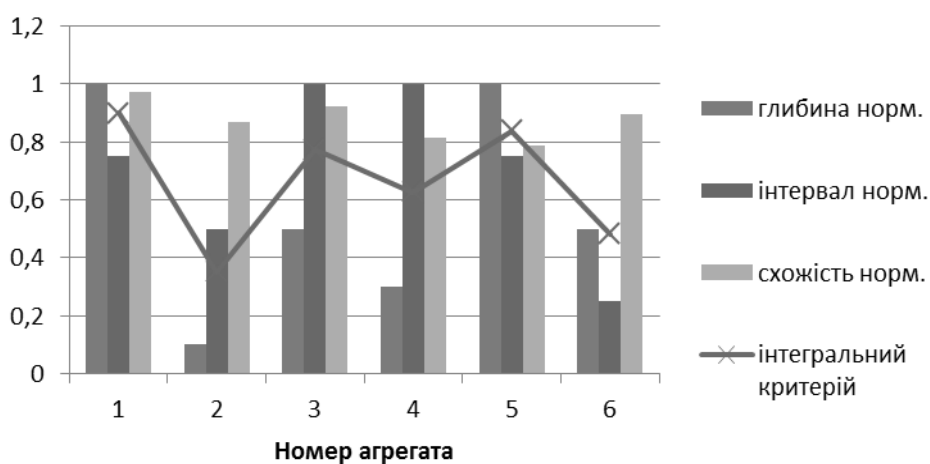


Рис. 3.18. Нормалізовані критерії двосеєного технологічного процесу передпосівного обробітку ґрунту та сівби

Порівняння варіантів за інтегральним критерієм (безрозмірна величина в діапазоні від 0 до 1 – згортка виміряних в різних одиницях показників) доводить переваги агрегату №1 – ХТЗ-121+АРВ-8,1-02 (0,9 відносних одиниць) за показником продуктивності.

Отже, розроблена імітаційна модель надає можливість оцінки обраних критеріїв за умови фіксованих параметрів ТП.

Таким чином, до переваг використання імітаційного моделювання на нижньому рівні можна віднести:

- можливість опису складних процесів на високому рівні деталізації;
- відсутність обмежень на вигляд залежностей функціональних відношень (нелінійність, нестационарність, стохастичність і т. д.);
- можливість дослідження динаміки взаємодії елементів системи у просторі параметрів і в часі.

До перешкод для побудови агентної моделі слід віднести, по-перше, відсутність адекватних даних. Як правило, зібрати експертну інформацію за характеристиками індивідуальних об'єктів складніше, ніж за агрегованими показниками. По-друге, необхідність визначення логіки поведінки окремого агента в термінах, придатних для машинної обробки. У процесі імітаційного моделювання можуть виникнути потреби у значних обчислювальних ресурсах для виконання програмної симуляції, тому для реалізації моделі є необхідність у кваліфікованому персоналі, який має спеціальну підготовку та володіє відповідними технологіями.

Отже, по-перше, необхідно обчислити значення параметрів ТП, які залежать від низки некерованих факторів; по-друге, треба вирішити багатокритеріальну задачу оптимізації ТП.

Таким чином, головною метою моделювання ТП виробництва БЦ є підвищення їх продуктивності за рахунок визначення та обґрунтування оптимальних параметрів. Дослідження ТП і ТЗ на основі імітаційного, зокрема агентного моделювання, як одного із його видів, дозволяє

визначити і оцінити техніко-економічні та агротехнічні показники, їх взаємовідносини і взаємозв'язки та вплив на врожайність БЦ.

3.5. Висновки до розділу

Агентні імітаційні моделі дозволяють зрозуміти і пояснити динаміку складних технологічних процесів різних рівнів. Така інформація може пояснювати процеси, а також бути використана для прогнозування тенденцій розгортання процесів. Очевидною перевагою агентного моделювання є можливість одночасного інкорпорування факторів різного рівня – від взаємодії на мікрорівні до впливу глобальних процесів. Разом з цим агентне моделювання дозволяє зосереджуватися не на одній задачі, а моделювати технологічні процеси всесторонньо, на різних рівнях постановки задачі, завдяки чому дослідник може реалістичніше відтворювати аспекти потрібного технологічного процесу і проводити правдоподібніші та більш обґрунтовані експерименти, перевіряючи свої гіпотези.

На основі аналізу відомих методів пошукової оптимізації визначені засадничі умови і принципи побудови статистичних агентних імітаційних моделей при моделюванні технологічних процесів і технічних засобів буряківництва.

Розроблена дворівнева концепція моделювання процесів вирощування буряків цукрових, за якою побудована агентно-імітаційна модель двоєдиного технологічного процесу передпосівного обробітку ґрунту і сівби.

Створений алгоритмічний опис розв'язання оптимізаційної багатокритеріальної задачі забезпечення максимальної польової схожості насіння, оснований на методі конфігурацій, що деформуються, реалізується через обчислення значень параметрів технологічного процесу, які залежать від некерованих факторів зовнішнього середовища, де взаємодіють агенти імітаційної моделі «ґрунт», «насінина», «агрегат» з

основними початковими параметрами, що є вихідними даними для одного циклу оптимізації.

Встановлені межі варіювання польової схожості насіння від 68 до 57 % за умов зміни глибини передпосівного обробітку ґрунту, як головного чинника одержання сходів, від мінімальної 3,3 см до максимальної 3,7 см. Порівнянням одержаних значень показників імітаційного моделювання, нормалізованих за шкалою відношень, доведено переваги агрегата ХТЗ-121+АРВ-8,1-02 – 0,9 відносних одиниць за інтегральним критерієм.

РОЗДІЛ 4

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ЗБИРАННЯ КОРЕНЕПЛОДІВ І ПЕРВИННОГО ОЧИЩЕННЯ ЇХ ВІД ҐРУНТОВИХ І РОСЛИННИХ ЗАЛИШКІВ

4.1. Класифікація робочих органів і технологічних схем процесів зрізування гички, викопування і очищення коренеплодів за ознакою можливості застосування при звужених міжряддях

У дисертації розширена класифікація РО сучасних бурякозбиральних машин за ознакою можливості застосування при звужених (комбінованих) міжряддях, що є сутністю нового способу виробництва БЦ (*див. Розділ 5*).

Найважливішими агротехнічними вимогами до процесу механізованого збирання БЦ є своєчасне проведення збиральних робіт, збереження всього вирощеного врожаю за високої якості цукросировини. Тому збиральні машини повинні забезпечувати всі нормативи технічних умов ДСТУ 4327:2004 «Коренеплоди цукрових буряків для промислового переробляння» та ДСТУ 7062:2009 «Буряки цукрові. Збирання. Показники якості та методи їх визначання» [27, 122].

Існують два основних способи збирання коренеплодів:

- підкопування і витягання коренеплодів за гичку з подальшим її обрізуванням;
- обрізування гички на корені і подальше викопування і очищення коренеплодів від ґрунту і рослинних домішок.

Перший спосіб збирання здійснюється машинами брального типу. Нормальна їх робота можлива при порівняно невеликій швидкості руху і багато в чому залежить від стану гички на момент збирання коренеплодів. Тому останнім часом такі машини майже не використовуються, хоча з них у 20–30 роки минулого століття починалась ера будівництва бурякозбиральної техніки. То були комбайни КСТ-2А, КСТ-3, КСТ-3А [205, 74].

Більш прогресивний другий спосіб збирання, який застосовується і в наш час. Першими представниками комбайнів такого типу були СКН–2А та СКД – 2 [209, 74].

4.1.1. Гичкорізи


Для зрізування гички на корені використовують чотири типи гичко-зрізувальних апаратів (табл. 4.1):

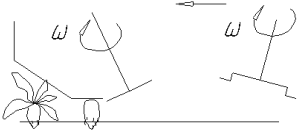
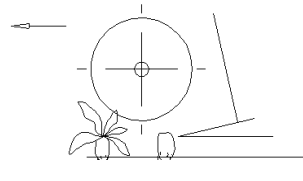
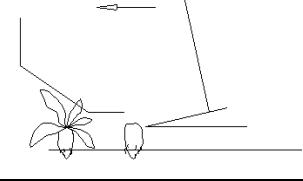
- 1) барабанні з перпендикулярною до осі рядка віссю обертання;
- 2) дискові, що включають копір і активний дисковий ніж з віссю обертання близькою до вертикалі;
- 3) гичкорізи з активним котковим копіром і пасивним ножем;
- 4) гичкорізи з пасивним полозковим копіром і пасивним ножем.

Барабанні гичкорізи [2, 3, 143, 223, 224, 263] зрізають і подрібнюють основну масу гички і бур'янів за допомогою ротора з шарнірно підвішеними сталевими ножами лопатевого типу. Висоту зрізу встановлюють на рівні найбільш виступаючих над ґрунтом коренеплодів. Збільшення частоти обертання ротора гичкоріза забезпечує зростання підсмоктування повітря, що сприяє піднесенню сухих і підв'ялених листків та їх подрібненню.

Таблиця 4.1

Типи гичкорізів і марки гичкозбиральних машин

Схема гичкоріза	Фірма-виробник, марка машини /комбайна/
	Amity WIC, Art's Way, Alloway, Parma, Holmer Terra Dos, Kleine KR-2, KR-6, K 6 II G, SF 10.2, SF 20, Ropa euro-Tiger V8-3, Stoll V300SF, V600SF, V100, V202, V300, Grimme Maxtron 620, FT270V, Herriau TH-5, Franquet Tetra, Super Saiga, IPS Construction 12R, Matrot M 41H, Magister, M 2011 plus, Kroma, Moreau EP 612, GR4005, Lectra 4005, Lectra V2, Lexxis, Voltra Cobra, Xerris, Voltra 6-24, Suptra 9.12, Agrifac 9000S, ZA 215 EH, WKM Big Six, HEXA, Riecam 400 T, Vervaet 17T, Beet Eater, Agri-Service , Dewulf Beeta 6, Orbitt, Gilles TR, C.M.G. Beet-Leaf, Barigelli B1 4×4-S, Europa 4×4, B3 4×4-S, B/6-4×4S,

	<p>B/6-S, B/6C-45/50, Bassi Mb6D, Fontani DF/6A. DF/6P, Mazzotti MB6D, MB2200, Rimeco B3 4×4, Stacmec DE6F, RTV6F, Edenhall 734, 743, 744, Thyregod T7, T9, TT 800, TIM SR 2500, MIII-SH 1204, Fuertes FPD, Guerra PDH-3, Mace, Madim 3000H, 3500, P3/6, Majevica M536, M519, M520, Гомсельмаш СКС-624, КСН-6, Moldagrotehnica MRF-6, ДКЗ РКМ 6-07, КСП-2, МБП-6, МБК-2,7, ИПП-5,4, ТеКЗ КСБ-6, КС-6Б-10, МГР-6-04, Уманьферммаш МГ-6, АОМЗ АБ-1, Кочубеєвський РЗ БС-6, Ритм РБМ-6, Рязанський КЗ УБС-6А, БДС-6, ОКБ «Союз» КВС-6</p>
<p>Дисковий</p> 	<p>Alloway, Art's Way, Parma, Grimme BM 330, Maxtron 620, Garford Victor, Standen Spectrum MK2, Edenhall 743, 744, Thyregod T7, T9, TT 800, TIM MII SA/TE 120, MIII-SH1204, KRB/S 212, Juko XJ100, Altinörs C1061, CD2000B, D2000S, D2000THO, HD1700, A3 4×4, Ayhan DüNDAR AD1500, AD2200, Barış, Bayramoğlu, DüNDAR, Ekerler E2000, EH2000, E3000, EH3000, E5000, Ertuğrullar, Harmak PHM-2, Köylü KSBH 03, Ölçer, Özen İş KPHM-4, KPHM5, Sönmezler Collina-S, PH-01, Torunoğlu H4200, S3400, L3200, ДКЗ КСП-2, ТеКЗ БМ-6Б</p>
<p>Активний копір, пасивний ніж</p> 	<p>Herriau TH-5, Barigelli B1 4×4-S, Europa 4×4, Mazzotti MB2200, Rimeco Aquila DUE – bifila, Juko XJ100, XJ200, Ayhan DüNDAR AD1500 Hidrolik, Alparslan ALP-03 HM, Altinörs A3, Ekerler E2000, E3000, Ertuğrullar, Ormak, Sonmezler Collina-S, PH-Mini, PH-01, Tarimtas, Torunoğlu L3200, Madim 3000H, 3500, Majevica M-536, M-519, Sanei BT-2Pev, BT-4Pev, BSR-475</p>
<p>Пасивний копір, пасивний ніж</p> 	<p>Amity WIC, Art's Way, Parma, Grimme FT 270 V, Maxtron 620, Holmer Terra Dos, Kleine KR-6, K 6 II G, KR 2, SF 10.2, SF 20, Ropa euro-Tiger V8-3, Stoll V100, V202, V300, V300SF, 600SF, Matrot M41H, Magister, M2011plus, Kroma, Moreau EP 612, GR4005, Lectra 4005, Lectra V2, Lexxis, Voltra Cobra, Xerris,</p>

	Voltra 6-24, Suptra 9.12, Franquet Tetra, Super Saiga, Herriau TH-5, IPS Construction 12R, Agrifac 9000S, ZA 215 EH, WKM Big Six, HEXA, Vervae 17T, Beet Eater, Agri-Service , C.M.G. Beet-Leaf, Dewulf Beeta 6, Orbitt, Gilles TR, Barigelli B3 4×4-S, B/6-4×4-S, B/6-S, B/6C, Bassi Mb6D, Fontani DF/6A. DF/6P, Mazzotti MB6D, Rimeco Aquila DUE-trifila, Stacmec DE6F, RTV6F, Edenhall 734, 743, 744, TIM MII SA/TE 120, KRB/S 212, Thyregod T7, T9, TT800, Ayhan Dündar AD1500 Hidro Elektrik, AD2200, Altinörs C1061, CD2000B, D2000S/THO, HD1700, Barış , Bayramoğlu , Dündar , Ekerler EH2000/3000, E5000, Harmak PHM-2, Köylü KSBH 03, Ölçer , Özen İş KPHM-4, KPHM-5, Torunoğlu H4200, S3400, Cadusa , Fuertes FPD, Guerra PDH-3, Mace , Madim P3/6, Majevica M520, Moldagrotehnica MRF-6, Гомсельмаш СКС-624, КСН-6, ДКЗ РКМ 6-07, КСП-2, МБП-6, ТеКЗ КСБ-6, КС-6Б-10, МГР-6-04, АОМЗ АБ-1, Рязанський КЗ УБС-6А, БДС-6, ОКБ «Союз» КВС-6
--	---

У більшості збиральних машин зрізана гичка відкидається ножами і спрямовується по твірній кожуха в поперечний транспортер (зазвичай шнековий), за допомогою якого вона транспортується з машин. Гичка може укладатися в валок або розкидатися по поверхні поля, а також завантажуватися в транспортний засіб, що рухається поруч. Барабанні гичкорізи використовуються на першій фазі для здійснення верхнього зрізу гички БЦ без копіювання головок коренеплодів. Черешки і залишки гички з коренеплодів видаляють за допомогою очищувачів головок коренеплодів і гичкорізів другого, третього і четвертого типів, що мають копії. Такий принцип видалення гички використовується в даний час у конструкціях гичкозбиральних машин і бурякокомбайнів всіх провідних фірм світу. Перевагами барабанного ріжучого апарату є простота конструкції, висока

надійність у роботі, багатофункціональність і універсальність. Одним ротором забезпечується зріз гички на всій ширині захвату машини.

В універсальних роторних косарок-подрібнювачів типу КИР-1,5, які широко використовуються у тваринництві як у нас, так і за кордоном, і обладнані саме такими гичкорізами, за рахунок великої кутової швидкості обертання ротора поєднуються операції різання, подрібнення і перекидання рослинної маси різних сільськогосподарських культур безпосередньо до причіпленого позаду візка [137, 140, 257, 263].

Дисковий різальний апарат, який розроблений в УкрНДІСГОМ (м. Харків), є унікальним, найбільш технічно довершеним серед світових аналогів, знайшов широке застосування у вітчизняних бурякокомбайнах і гичкозбиральних машинах, у т. ч. і на найбільш поширеній БМ-6 та її модифікаціях, тому заслуговує на окрему увагу [102-104, 150, 192, 197, 267] (рис. 4.1).

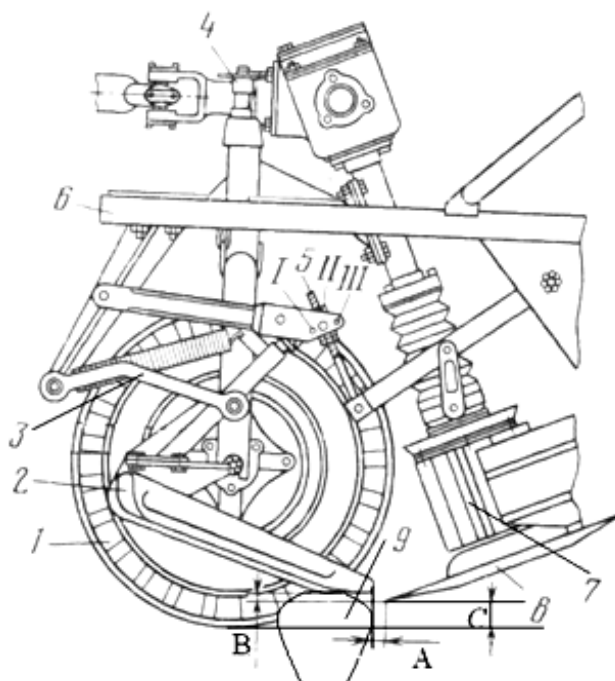


Рис. 4.1. Різальний апарат гичкозбиральної машини БМ-6Б
1 – колесо опорне; 2 – щуп-копір; 3 – механізм паралелограмний; 4 – гвинт регулювання; 5 – тяга гвинтова; 6 – рама; 7 – бітер; 8 – дисковий ніж; 9 – коренеплод; А – горизонтальний зазор між ножем і копіром; В – вертикальний зазор між лезом ножа і копіром; С – зазор між ножем та ґрунтом; І, ІІ, ІІІ – отвори вертикальної поправки

Гичкозрізувальний апарат складається з кінематично зв'язаних між собою за допомогою паралелограмного механізму 3 пасивного полозовидного гребінчастого копіра 2 і активного дискового ножа 8 з лопатевим бітером 7. Якість зрізування гички залежить від регулювання гичкозрізувального апарата. Положення дискових ножів відносно поверхні поля (зазор С) регулюється гвинтовим механізмом копіювального колеса 1 кожної секції з двох секцій за допомогою гвинта 4 у межах 15–20 мм. Тиск щупа-копіра у верхньому його положенні на головку коренеплоду становить 200 ± 50 Н, завдяки чому вивалювання коренеплодів з ґрунту копірами є мінімальними. Горизонтальний зазор А в межах 35–50 мм встановлюють переміщенням щупа 2 по овальних отворах. Вертикальний зазор В (5–25 мм) між нижньою частиною середнього пера гребінки щупа-копіра 2 і лезом ножа 8 забезпечують зміною довжини гвинтової тяги 5 паралелограма 3. Шарнір гвинтової тяги 5 вертикальної поправки (автоматичне збільшення зазору В при підніманні ножа) фіксують встановленням гвинтової тяги в отворах поздовжньої тяги (І,ІІ,ІІІ) залежно від різниці виступання головок коренеплодів над поверхнею ґрунту. При встановленні шарніра гвинтової тяги в отвір І, вертикальна поправка буде найбільшою, а в отворі ІІІ – найменша. Таке регулювання забезпечує якісніше зрізування і проводиться при роботі на ділянках з коренеплодами різного розміру і значному перепаді висоти їх виступання над ґрунтом.

Зрізувальний ніж може бути виконаний у вигляді диска з гладкими або сегментними ножами, а також у вигляді декількох пластинчастих шаблеподібних ножів. Завдяки такій перевазі останній був використаний як прототип при розробці гичкозрізувального апарата для звужених (30 см) і комбінованих міжрядь, що викладено далі (див. Розділ 5).

Активний котковий копір з пасивним ножем застосовується для точної або остаточної обрізки головок коренеплодів. Котковий копір являє собою пакет зубчастих дисків, встановлених з зазором між собою, а ніж виконаний у вигляді прямолінійного леза, розташованого під кутом до осі

рядка, що забезпечує різання з ковзанням. Рідше використовується серповидний ніж. Ще 30-35 років тому даний тип гичкоріза був досить поширеним у конструкціях гичкозбиральних машин західноєвропейського виробництва, проте в теперішній час застосовується рідко, тому що забивається рослинними рештками, особливо при роботі на забур'яненних ділянках поля.

Гичкоріз у вигляді пасивного полозкового копіра і пасивного ножа, встановленого під кутом до напрямку руху машини, зображений на рис. 4.2. Цей тип гичкозрізувального апарата має найменшу масу з усіх відомих дообрізчиків і відрізняється простотою конструкції, що, як видно з табл. 1.5 визначило його всесвітнє визнання в якості дообрізчика головок коренеплодів БЦ.



Поряд з цим, недоліком пасивного ножа є: низька якість обрізки черешків гички у коренеплодів, які «низько сидять», обмотування і забивання леза ножа кореневищами бур'янів та іншою рослинністю, вивалювання високо розташованих над ґрунтом коренеплодів [24, 191, 192].

Рис. 4.2. Дообрізчик у вигляді пасивного полозкового копіра і пасивного ножа

За висновками досліджень проф. Мартинова В.М. функція дообрізки головок коренеплодів БЦ є обмежуючим фактором підвищення продуктивності процесу збирання коренеплодів. Це обумовлено тим, що механічно зв'язана система «копір-ніж» володіє досить високою інерційністю і, здійснюючи коливання з амплітудою близько 25 мм, за поступальної швидкості руху агрегата до 6 км/год частота коливань зростає пропорційно і досягає значення 6-11 Гц залежно від густоти стояння рослин [139].

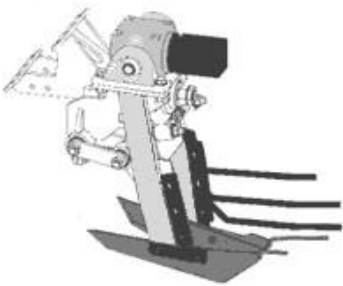
4.1.2. Викопувальні робочі органи

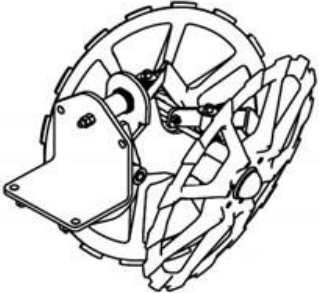
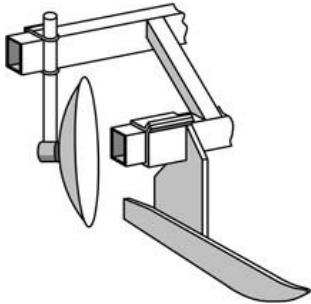
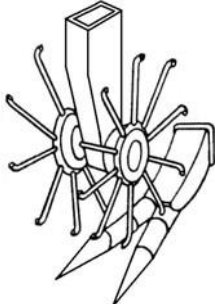
Викопувальні робочі органи руйнують зв'язок коренеплодів з ґрунтом, витягають їх з ґрунту і подають в конвеєр-очисник для подальшого очищення від ґрунтових і рослинних домішок. Тому завданням копача є отримання коренеплодів без втрат, з мінімальними пошкодженнями і з можливо меншою кількістю домішок та налиплого ґрунту. При цьому важливу роль відіграє первинна сепарація ґрунту безпосередньо в процесі викопування коренеплодів, адже підвищується збереження родючих ґрунтів.

Найбільш простим і універсальним робочим органом для викопування будь-яких коренеклубнеплодів є леміш (пасивний, комбінований, активний). Найпростішим за формою є плоский прямий леміш, який схильний до забивання рослинністю. Зазвичай леміш компонується по одному в секції на один рядок. Робоча частина кожної секції лемеша має форму трикутника, що забезпечує прохід рослинності по лезу. Використовують і частішу розбивку на секції, наприклад 3 різці на рядок. Зазори 30–50 мм між суміжними різцями лемеша забезпечують не тільки вихід рослинності, а й сепарацію ґрунту в процесі підкопування. Для запобігання розвалу підкопаної скиби ґрунту разом з частиною коренеклубнеплодів на сторони, особливо на пухких і незв'язних ґрунтах, застосовують коритоподібні лемеші, або з двох боків встановлюють боковини у вигляді дискових ножів. Для інтенсифікації процесу викопування та запобігання забиванням ґрунтом використовують комбінований і активний тип плоского лемеша з коливальним рухом.

Основні типи викопувальних робочих органів, застосовуваних у сучасних бурякозбиральних машинах, що представлені в табл. 4.2, класифіковані у роботі [74]. У світовій практиці розробки машин для збирання БЦ в основному використовуються два типи копачів: лемішний і дисковий. Інші типи викопувальних робочих органів можна розглядати як різні комбінації цих двох.

Сучасні викопувальні робочі органи

Тип копача	Фірма - виробник, марка машини /комбайна/
<p>Лемешний вібраційний</p> 	<p>Holmer Terra Dos, Kleine KR-2, KR-6, K 6 II G, SF 10.2, SF 20, Ropa euro-Tiger V8-3, Stoll V100, V202, V300, V300SF, 600 SF, Franquet Tetra, TE 6, TE 2/3, Herriau TH-5, SCORE II, IPS Construction 12R, Matrot M 41H, Magister, M 2011 plus, Moreau ARC 6S, GR4005, Lectra 4005, Lectra V2, Lexxis, Voltra Cobra, Xerris, Voltra 6-24, Suptra 9.12, Riecam 400 T, Vervaet 17T, Beet Eater, Agrifac 9000S, ZA 215 EH, WKM Big Six, HEXA, Dewulf Beeta 6, Orbitt, Gilles ASC 49, AS 80, Barigelli B1 4×4-S, Europa 4×4, B3 4×4-S, B/6-4×4-S, B/6-S, B/6C-45/50, Bassi Mb6S, Fontani EF/6V, Mazzotti MB6S, MB2200, Rimeco B3 4×4, Stacmec SV 6F45/50, RTV 6F45/50, Edenhall 734, 743, 744, Thyregod T7, T9, TT 800, TIM SR 2500, MII SA/TE 120, KRB/S 212, Juko XJ200, Alparslan ALP-03HM, Altinörs A3, C1061, CD2000B, D2000S, D2000THO, HD1700, Ayhan Dündar AD1500, AD2200, Barış, Bayramoğlu, Dündar B-HE, YD-HE, Ekerler E2000, EH2000, E3000, EH3000, E5000, Ertuğrullar, Harmak PHM-2, Köylü KSBH 03, Ormak, Ölçer Hidro Elektrik, Hidrolik Kumandalı Mekanik, Özen İş KPHM-4, KPHM-5, Sonmezler Collina-S, PH-Mini, PH01, Torunoğlu H4200, S3400, L3200, Cadusa, Fuertes FAR, Guerra ARH3, Mace RT 307/310/314, Madim 3000H, 3500, M6, M10, Majevica M519, Гомсельмаш СКС-624, КСН-6, Moldagrotehnica MSS-6, БОРЕКС КНБ6, КВЦБ-1,2, ДКЗ РКМ 6-05/07, TeK3 КСБ-6, КС-6Б-03, КС-6Б-10, МКП-6, МКП-4, Рязанський КЗ КПС-6, ОКБ «Союз»</p>

<p>Дисковий</p> 	<p>Alloway, Amity WIC 2300/2500/2700, Art's Way 4600, 6812A, Parma 2200/2700/2900, Wil-Rich Red River 430/622/630/822, Grimme Maxtron 620, Rootster 604, Holmer Terra Dos, Vervae 17T, Beet Eater 617, Garford Victor, Standen Spectrum MK2, Edenhall 743, 744, Thyregod T7, T9, TT 800, TIM SR 2500, MII SA/TE 120, MIII-SH1204, KRB/S 212, Juko100, XJ100, XJ200, Ölçer Hidro Elektrik Kumandalı (Diskli), ДКЗ РКМ-6, РКМ 6-02/05, РКМ 6-07, МКР-2-3, КСП-2, ТеКЗ КСБ-6, МКП-6, КС-6Б, КС6Б-01, КС-6Б-10, Ритм КПС-6</p>
<p>Лемешно-дисковий</p> 	<p>Herriau TH-5, Matrot M 41H, Magister, Moreau ARC 6D, GR4005, Lectra 4005, Lectra V2, Lexxis, Voltra Cobra, Xerris, Suptra 9.12, Gilles AD 49, AD 80, Dewulf Beeta 6, Agri-Service, CMG Beet-Lift, Beet-Lift 8, Cadusa, Majevica ADS, M-520, Moldagrotehnica MRS-6, Ніжинський МЗ СУМ6, КСН 2-050, ТеКЗ КС-6Б-07, Уманьферммаш АЗК-6.01, АОМЗ АС-1, Кочубеєвський РЗ СКП-6, Рязанський КЗ ВУН 4/6</p>
<p>Роторно-вильчастий</p> 	<p>ДКЗ РКС-6, МКК-6-02, РКМ 6, РКМ 6-01/05/07, ТеКЗ КСБ-6, КС-6Б01/02, МКП-6, МКП-4</p>

Лемешний викопувальний робочий орган являє собою два симетрично розташовані лемеші, встановлені під кутом до напрямку руху машини таким чином, що задні їх кромки утворюють зазор 25–45 мм. Пасивні лемішні і вильчасті копачі на разі не застосовуються, оскільки вони завдають значних пошкоджень коренеплодам, погано кришать ґрунт,

забиваються бур'янами та вологим ґрунтом, створюють великий тяговий опір [21, 33, 192]. Ці недоліки значно усуваються при використанні вібраційних лемешкових копачів [33, 70–72, 208]. Для цього лемешки кріпляться до стійок, яким надають коливальних рухів. Коливання лемешків можуть відбуватися в поздовжньо-вертикальній площині [23] чи в поперечному напрямку по відношенню до рядка [21, 26, 70], або можуть бути більш складними [7, 21, 25, 84, 241, 263, 274]. Усередненна частота коливань не перевищує 12 Гц, а амплітуда становить 20–30 мм в залежності від стану ґрунту [70].

У процесі роботи за рахунок конусоподібної форми русла, утвореного лемешками, коренеплід разом з деформованим шаром ґрунту зсувається в разі його відхилення від осі копача, підкопується лемешками, заклинюється між робочими поверхнями копача, і витягується з ґрунту. Збільшення продуктивності і технологічної надійності вібраційних лемешкових копачів, запобігання скупченням вороху досягається установкою над ними бітерного вала. Гумові бичі цього вала, доочищаючи коренеплоди від залишків гички, подають на конвеєр очисних робочих органів [11, 70].

Перевагами вібраційних лемешкових копачів також є: компактність, низька пошкоджуваність коренеплодів. Однак вони складні за конструкцією, недостатньо надійні, не здатні піднімати коренеплоди на значну висоту, забирають багато вільного ґрунту [21, 33, 68].

Дисковий копач являє собою два диски, встановлених під певним кутом один до одного таким чином, що кромки ободів сходяться в нижній задній частині до зазору 30–60 мм. Диски можуть бути плоскими і сферичними. Обід диска виконується гладким або з вирізами. Диски мають вікна між спицями, які служать для сепарації ґрунту. В залежності від діаметра коренеплодів змінюють розміри цих вікон, а також регулюють шайбами зазор між дисками. Використовують як пасивні копачі, які

отримують привід від зчеплення з ґрунтом (Alloway, Amity, Art's Way та ін.), так і активні – з примусовим приводом. Може здійснюватись привід як одного (КС-6Б), так і обох (Grimme, Holmer) дисків (рис. 4.3).

У верхній задній частині копача розташовується бітер. У процесі роботи диски підрізають пласт ґрунту. Під впливом сил підпору коренеплоди затискаються між дисками та за рахунок сил тертя витягуються з ґрунту, піднімаються до рівня розходження дисків і виштовхуються бітером на конвеєр-очисник. Ґрунт в розвалі між дисками стискається, кришиться, відділяється від коренеплодів і просіюється крізь вікна.

Перевагами дискового копача є здатність добре кришити сухий і не дуже перезволожений ґрунт при малій кількості його забору, надійність роботи, у тому числі і на важких ґрунтах, висока продуктивність, відносна простота конструкції, компактність, підйом коренеплодів на значну висоту [140, 172, 207].



Рис. 4.3. Дискові копачі Grimme

Проте дисковим викопувальним робочим органам властиві і недоліки: підвищена забрудненість вороху коренеплодів грудками землі та висока пошкоджувальність коренеплодів за твердості ґрунту 3,5–4,5 МПа головним чином через недосконалість робочої поверхні і ударний характер дії бітерного пристрою; обриви хвостової частини, забивання на забур'яненних і перезволожених ґрунтах у разі застосування пасивних дисків; підвищені вимоги до точності руху по рядку, різання лезами дисків і розчавлювання великих коренеплодів.

Про удосконалення дискових викопувальних робочих органів з метою усунення вказаних недоліків йдеться далі (див. Підрозділ 4.2).

Лемішно-дисковий

викопувальний робочий орган [138, 139, 192, 255] є комбінацією пасивного лемеша у вигляді лижі та зміщеного назад пасивного сферичного диска, встановленого під кутом до напрямку руху (рис. 4.4). Лижа підрізає ґрунтовий пласт з одного боку коренеплоду, а



Рис. 4.4. Лемішно-дисковий

копач Dewulf сил підпору і тертя від обертового диска ґрунт і коренеплоди піднімаються по його внутрішній поверхні, відводяться в сторону з падінням вниз. В результаті цього ґрунт інтенсивно кришиться і відділяється від коренеплодів. Із зростанням кута атаки диска кришення ґрунту збільшується. На відміну від всіх інших при роботі лемішно-дискового копача виключається сильне стиснення коренеплоду і його пошкоджувальність. Недоліками лемішно-дискового копача є великі габарити по довжині, накопичення і передача з купою коренеплодів великої кількості ґрунту, непридатність для роботи на кам'янистих ґрунтах через зношування і поломки лез дисків.

До переваг даного типу копача слід віднести простоту пристрою й обслуговування, невисоку металоємність, здатність викопувати різні за розмірами коренеплоди, надійність і якість виконання технологічного процесу, особливо при роботі на легких і середніх ґрунтах.

Разом з тим, через нездатність піднімати коренеплоди, даний тип викопувального робочого органу працює спільно тільки з турбінним конвеєром-очищувачем, здатним підбирати купу коренеплодів з поверхні землі.

Незважаючи на недоліки очевидною перевагою лемішно-дискового копача є незначні габарити по ширині, що дозволило на його базі

розробити робочий орган для викопування коренеплодів, вирощених з міжряддями 30 см, що викладено далі (див. Розділ 5).

Роторно-вильчастий копач є розробкою Дніпропетровського комбайнового заводу і являє собою активну вилку в комбінації з коренезабірником і лопатевим бітером [1, 4, 188]. Активна вилка 6 складається з двох обертових назустріч один одному конусних наконечників і при взаємодії з коренеплодом створює витягуюче зусилля (рис. 4.5). Коренезабірник 1 являє собою два активних пруткових диски, розташованих

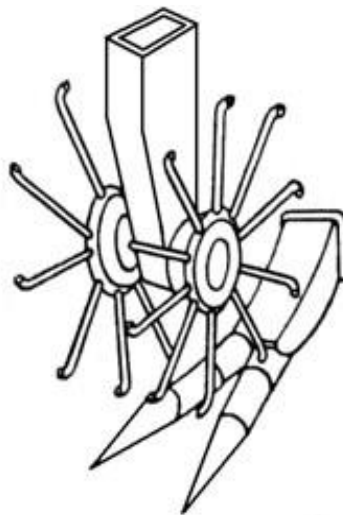


Рис. 4.5. Роторно-вильчастий викопувальний робочий орган

над вилкою під кутом один до одного. Витягнуті з ґрунту активною вилкою коренеплоди затискаються між прутковими дисками і в результаті їх обертання піднімаються вгору та лопатями бітера 3 передаються до очисних вальців. За рахунок підпружиненого кріплення прутків на фланцях коренезабірника коренеплоди при вибиванні їх бітером з розвалу між дисками пошкоджуються в меншій мірі, ніж за роботи дискових копачів.

Перевагами роторно-вильчатого викопувального робочого органу є якісне виконання технологічного процесу на легких і середніх ґрунтах з малими втратами і пошкодженнями коренеплодів та мінімальним надходженням вільного ґрунту з купою коренеплодів. До недоліків відносяться складність конструкції і малий ресурс роботи. Зважаючи на невеликі розміри вилки і коренезабірних дисків, великі коренеплоди пошкоджуються, тому неможливо використовувати даний тип викопувального робочого органу для збирання коренеплодів з діаметром більше 15 см.

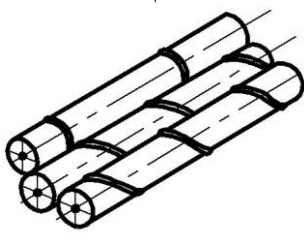
4.1.3. Очисники вороху коренеплодів

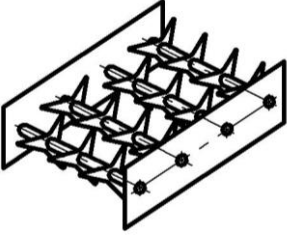
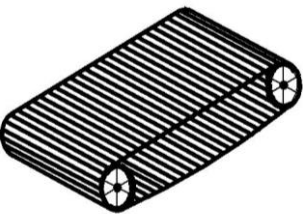
Очисники вороху призначені очищати коренеплоди від налиплого на них ґрунту, сепарувати ґрунт, камінні і рослинні домішки (вільна гичка і бур'яни). Ворох, що складається з цієї механічної суміші залежно від вологості і механічного складу ґрунту змінює свою структуру і гранулометричний склад в широкому діапазоні. Ґрунт може перебувати в трьох різних фізичних станах: твердому, пластичному і тікучому. Очисники повинні забезпечувати якісне очищення коренеплодів незалежно від фізичних властивостей ґрунту і його фракційного складу.

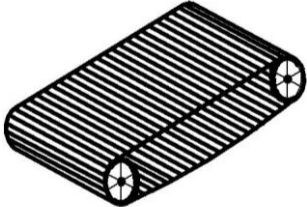
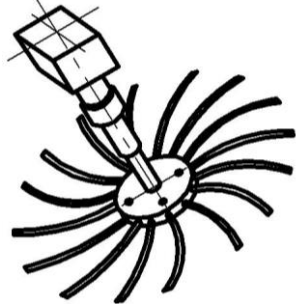
Виконаний автором у роботі [74] поділ очисників вороху коренеплодів сучасних збиральних машин на основні типи, представлений в табл. 4.3

Таблиця 4.3

Очисники вороху коренеплодів

Тип очисника	Фірма - виробник, марка машини /комбайна/
<p>Вальцьовий</p> 	<p>Alloway, Amity WIC 2300/2500/2700, Art's Way 4600, 6812A, Parma 2200/2700/2900, Wil-Rich Red River 430/622/630/822, Gebo SRL 300 WR, RL 300 WR, RRL 160 WR, RRL 180 KR, Holmer Terra Dos, Terra Felis, RRL, Grimme Maxtron 620, Rootster 604, Kleine KR-6, R 6, SF 10.2, SF 20, RL 200 SF, RL 350 V, Ropa euro-Tiger V8-3, euro-Maus 3, euro-BunkerMaus 3, Matrot M 2011 plus, Moreau Lexxis 6/8 rang, Suptra 9.12, Vervae 17T, Beet Eater, Garford Victor, CTM 500, 9000, Barigelli B/6-4×4-S, B/CS 8000, Fontani AF 140 «Galeone», Stacmec AB 16SL, AB 23S/SL, Thyregod T7, T9, TT 800, TR-7, TR-8, TIM SR 2500, Madim A6, Гомсельмаш КСН-6, Moldagrotehnica MSS-6, БОРЕКС КНБ-6, КВЦБ-1,2, ДКЗ РК-6, МКК-6, РКМ-6-01/02/05/07, СПС-4,2А, ТеКЗ КСБ-6, КС-6Б, КС-6Б-01/02/03/07/10, МКП-6, МКП-4, Осколагро СПО-4,2, Рязанський КЗ КПС-6, ОКБ «Союз» КВС-6</p>

Тип очисника	Фірма - виробник, марка машини /комбайна/
<p data-bbox="316 264 507 297">Кулачковий</p> 	<p data-bbox="595 264 1436 595">Gebo SRL 300 WR, RRL 180 KR, Holmer Terra Felis, Kleine SF 20, RL 200 SF, RL 350 V, Grimme Maxtron 620, Ropa euro-Maus 3, euro-BunkerMaus 3, Barigelli B/CS 8000, Edenhall 743, 744, Vervaet, Thyregod T7 , T9, TT 800, TR-7, TR-8, ДКЗ МКК-6-02, PKM-6-05, СПС-4,2А, КСП-2, TeK3 КС-6Б, КС-6Б-01/02/03/07</p>
<p data-bbox="323 1171 499 1205">Прутковий</p> 	<p data-bbox="595 618 1436 2016">Alloway, Amity WIC 2300/2500/2700, Art's Way 4600, 6812A, Parma 2200/2700/2900, Wil-Rich Red River 430/622/630/822, Bleinroth LB-20/25, TLB-30, Gebo SRL 300 WR, RL 300 WR, RRL 160 WR, RRL 180 KR, Holmer Terra Dos, Terra Felis, RRL, Grimme Maxtron 620, Rootster 604, Kleine KR-2, L 6, SF 10.2, SF 20, RL 200 SF, RL 350 V, Ropa euro-Tiger V8-3, euro-Maus 3, euro-BunkerMaus 3, Stoll V100, V202, V300, V300SF, 600 SF, CMC DB 4000, Franquet Tetra, TE 2/3, CDN 2000, Herriau TH-5, Super, IPS Construction Mega Master DB50, Mega Star DB75, Matrot M 41H, Magister, M 2011 plus, Moreau ARC 6S, GR4005, Lectra 4005, Lectra V2, Lexxis 6/8/9 rang, Voltra Cobra, Xerris, Voltra 6-24, Suptra 9.12, Sopema DT 40, Agrifac 9000S, ZA 215 EH, WKM Big Six, HEXA, Riecam 400 T, Vervaet 17T, Beet Eater, AgriService, C.M.G. CDR 30/40, Dewulf R 7150, 9150, Gilles R 136T/TS, RB 240T, RB 410T-THT/TS/Turboclean, CTM 500, 9000, Garford Victor, Larrington, Standen Spectrum MK2, Barigelli B1 4×4-S, Europa 4×4, B3 4×4-S, B/6-4×4-S, B/AC-120, B/CS 8000, Bassi Mb6S, Big Car, Fontani CN/90, Mazzotti MB6S, Rimeco B3 4×4, Stacmec AB 16SL, AB 23S/SL, Edenhall 734, 743, 744, Thyregod T7, T9, TT 800, TR-7, TR-8, TIM SR 2500, MII SA/TE 120, KRB/S 212, MIII-SH1204, Juko 100, XJ100, XJ200, Alparslan ALP03HM, Altinörs A3, CD2000B, D2000S, D2000THO, HD1700, Ayhan Dündar AD1500, AD2200, Barış, Bayramoğlu, Dündar B-HE</p>

Тип очисника	Фірма - виробник, марка машини /комбайна/
<p data-bbox="320 472 496 510">Прутковий</p> 	<p>YD-HE, Ekerler E2000, EH2000, E3000, EH3000, E5000, Harmak PHM-2, Köylü KSBH 03, Ölçer Hidro Elektrik, Hidrolik Kumandalı Mekanik, Özen İş KPHM-4, KPHM5, Sonmezler Collina-S, Torunoğlu H4200, S3400, L3200, Cadusa, De Puente P, Titan Fuertes F1, F2, Mace RT 307/310/314, Madim 3000H, 3500, M6, M10, Majevica M-519, M-520, CN-21, ТАКА 2900, Гомсельмаш СКС-624, Moldagrotehnica MIS-6, БОРЕКС КНБ-6, ПНБВ-1,6, ДКЗ РК-6, МКК-6, РКМ-6-01/02/05/07, СПС-4,2А, МКР-2-3, КСП-2, Ніжинський МЗ СУМ-6, ПСП-2, ТеКЗ КСБ-6, КС-6Б, КС-6Б-01/02/03/ 07/10, МКП-6, МКП-4, Уманьферммаш АЗК-6.03, АОМЗ ПС-1, ПС-2, Кочубеєвський РЗ СКП-6, Ритм КПС-6, Рязанський КЗ КПС-6</p>
<p data-bbox="320 1339 496 1377">Турбінний</p> 	<p>Bleinroth LB-20/25, TLB-30, Holmer Terra Dos, Kleine KR-2, R 6, L 6, SF 10.2, Ropa euro-Tiger V8-3, Stoll V100, V202, V300, V300SF, 600 SF, CMC DB 4000, Franquet Tetra, TE 6, TE 2/3, CDN 2000, Herriau TH-5, SCORE II, Super, IPS Construction 12R, Mega Master DB50, Mega Star DB75, Matrot M 41H, Magister, M 2011 plus, Moreau ARC 6S, GR4005, Lectra 4005, Lectra V2, Lexxis 6/8 rang, Voltra Cobra, Xerris, Voltra 6-24, Suptra 9.12, Sopema DT 40, Agrifac 9000S, ZA 215 EH, WKM Big Six, HEXA, Riecam 400 T, Vervae 17T, Beet Eater, Dewulf Beeta 6, Orbitt, R 7150, R 9150, Gilles ASC/AD 49, AS/AD 80, R 136T/TS, RB 240T, RB 410T-THT/TS/Turboclean, Agri-Service, C.M.G. Beet-Lift, CDR 30/40, Barigelli B1 4×4-S, Europa 4×4, B3 4×4-S, B/64×4-S, B/6-S, B/6C-45/50, B/AC-120, Bassi Mb6S, Big Car, Fontani AF 140 «Galeone», EF/6V, Mazzotti MB6S, MB2200, Rimeco B3 4×4, Stacmec SV 6F45/50, RTV 6F45/50, Edenhall 734, 743, 744, Thyregod T7, T9, TT 800, TIM SR 2500, MII SA/TE 120, KRB/S 212, MIII-SH1204, Alparslan ALP03HM,</p>

Тип очисника	Фірма - виробник, марка машини /комбайна/
<p>Турбінний</p> 	<p>Altinörs A3, CD2000B, D2000S, D2000THO, HD1700, Ayhan DüNDAR AD1500, AD2200, Barış, Bayramoğlu, DüNDAR B-HE, YD-HE, Ekerler E2000, EH2000, E3000, EH3000, E5000, Harmak PHM-2, Köylü KSBH 03, Ölçer Hidro Elektrik, Hidrolik Kumandalı Mekanik, Özen İş KPHM-4, KPHM5, Sonmezler Collina-S, Torunoğlu H4200, S3400, L3200, Cadusa, Mace RT 307/310/314, Madim 3000H, 3500, M6, M10, Majevica ADS, M-519, M-520, ТАКА 2900, Гомсельмаш СКС-624, КСН-6, Moldagrotehnica MRS-6, MIS6, БОРЕКС КНБ-6, ПНБВ-1,6, Ніжинський МЗ СУМ-6, КСН 2-050, Уманьферммаш АЗК-6.01, АОМЗ АС-1, ПС-1, Кочубеевський РЗ СКП-6, Ритм КПС-6, Рязанський КЗ КПС-6</p>

Вальцовий конвеєр-очисник являє собою набір паралельно встановлених вальців з обертанням в одну сторону або назустріч один одному. Вальці зазвичай забезпечуються гвинтовим навиванням, що сприяє просуванню обіремка в потрібному напрямку. Застосовується навивка, як на кожному вальці, так і через один. Зазор між вальцями служить для просіювання ґрунтових і рослинних домішок. Установка вальців на різних висотах, а також наявність гвинтової навивки забезпечує просування обіремка коренеплодів як поперек, так і вздовж вальців.

Останнім часом все більше застосування знаходять вальці, виготовлені з еластичних матеріалів або покриті еластичним шаром (гума, поліуретан). Фірма Grimme використовує поліуретанові вальці з повітряною камерою, які можуть деформуватися і пропускати через зазор каміння та інші сторонні предмети, а коренеклубнеплоди в меншій мірі травмуються.

До недоліків вальцових очищувачів відносяться: зниження працездатності і підвищення енергоємності при роботі на вологих ґрунтах,

травмування коренеплодів (облом хвостової частини, пошкодження зовнішньої кори), особливо при обертанні вальців назустріч один одному, нездатність піднімати купу коренеплодів на значну висоту.

Перевагами вальцьових очищувачів є найбільша з усіх відомих очищувачів здатність відділення рослинних домішок, компактність, відносна простота пристрою, зручність в обслуговуванні, висока стійкість до стирання, що забезпечує якісне очищення коренеплодів. Зміна кута нахилу конвеєра, висоти розташування окремих вальців, зазору між ними, частоти і напрямку обертання окремих вальців і цілих груп, а також різна комбінація як за формою, так і за матеріалом поверхні вальців дозволяє гнучко налаштовувати подібні очисники на оптимальний режим очищення.

Кулачкові конвеєри-очисники складаються з паралельних валів з закріпленими на них кулачками різноманітної форми (від простих багатогранників, дисків і лопатей до досить складних поверхонь) [232]. Особливістю кулачкових валів в порівнянні з вальцьовими є те, що вони зазвичай встановлюються з перекриттям один щодо одного, що сприяє їх самоочищенню. Кулачкові вали використовуються не тільки в конвеєрі-очиснику, але і в якості передавального пристрою від одного пруткового транспортера до іншого за наявності у них скребків у вигляді зачепів, а також в якості приймально-забірного пристрою у складі підбирача-навантажувача коренеплодів.

Кулачкових очищувачі характеризуються компактністю, високою транспортною і очисною спроможністю, особливо від ґрунтових грудок [233], хорошим компонуванням з вальцьовими і прутковими очисниками.

Недоліками кулачкових очищувачів є намотування бур'янів на вали з наступним забиванням очищувача, заклинювання при попаданні каменів і сторонніх предметів між лопатями суміжних кулачків, підвищена кількість пошкоджених коренеплодів, складність конструкції, нездатність піднімати купу на значну висоту.

Пруткові конвеєри-очисники бувають одноконтурними і двоконтурними. Одноконтурний прутковий очищувач складається з нескінченного полотна, утвореного паралельно встановленими з постійним кроком прутками. Прутки надягають на зірочки двох валів, один з яких є приводним, і з'єднуються між собою за допомогою гнучких елементів, в якості яких використовуються гачки на кінцях прутків, втулкові і втулочно-роликові ланцюги, плоскі і зубчасті прогумовані ремені [189]. Для зниження пошкоджуваності коренеплодів застосовують обгумовані прутки. Використовуються прямі і вигнуті прутки. Послідовне чергування прутків з різним вигином (всередину і назовні), включаючи і прямолінійні прутки, забезпечує надійне транспортування купи при великих кутах підйому елеватора. Установка скребків і зачепів на прутках забезпечує підйом вороху під кутом до горизонту до 90°. Очищення коренеплодів відбувається в результаті просіювання ґрунту між прутками. Для інтенсифікації процесу очищення робочому полотну пруткового елеватора надають коливальний рух за допомогою струшувачів різної конструкції [189, 229, 232].

Двоконтурний прутковий конвеєр-очисник складається з двох паралельно встановлених між собою нескінченних пруткових полотен. Ворох коренеплодів переміщається між верхнім полотном нижнього і нижнім полотном верхнього контурів. За рахунок цього можна переміщати купу коренеплодів під будь-яким кутом до горизонту, аж до вертикального напрямку. При різній лінійній швидкості полотен забезпечується провертання компонентів вороху і більш ефективне очищення коренеплодів від ґрунту.

До переваг пруткових очищувачів відносяться: простота конструкції, компактність, висока транспортуюча здатність, можливість переміщення вороху на значну відстань і висоту, висока якість очищення коренеплодів на піщаних ґрунтах, низька пошкоджуваність коренеплодів. Недоліками є: значна металоємність, нездатність руйнування та відділення від коренеплодів твердих грудок ґрунту, залипання міжпруткових зазорів

полотна при роботі на вологих ґрунтах, велика кількість рухомих елементів конструкції і в зв'язку з цим підвищене зношування в абразивному середовищі робочих поверхонь і, як наслідок, невеликий ресурс роботи.

Турбінні конвеєри-очисники являють собою сонцеподібні диски, встановлені на кінці вала, розташованого вертикально або з невеликим відхиленням від вертикалі (рис. 4.6). Диски утворені прутками, закріпленими на валу зазвичай за допомогою фланців. Зовнішні кінці прутків можуть бути вільними і зв'язаними між собою за допомогою пруткового кільця. По твірній диска встановлюється решітка, утворена або поздовжніми прутками (гладка решітка), або поперечними пружинними зубами (ребриста решітка). Для інтенсифікації процесу очищення в комбайнах Matrot M 2011 plus и Kroma в стінку решітки вмонтовані ротори з пальцями (рис. 4 б. б).



а



б

Рис. 4.6. Турбінні очисники вороху коренеплодів: а – Herriau; б – Matrot

Ворох коренеплодів, що надійшов на обертовий диск, відкидається відцентровими силами інерції до периферії, де піддаючись тертю і ударним впливам прутків диска і решітки, звільняється від домішок ґрунту і рослинності. Можлива послідовна передача оберемка коренеплодів від однієї або двох турбін до подальшої третьої турбіни. При відхиленні валів

турбін на невеликий кут від вертикалі забезпечується поступовий підйом оберемка коренеплодів по довжині очисного тракту.

До недоліків турбінних очищувачів слід віднести підвищену кількість пошкоджень коренеплодів, незадовільне відділення з купи коренеплодів твердих грудок ґрунту, нездатність піднімати купу коренеплодів на значну висоту, досить великі габарити, особливо по довжині, що призводить до «видовження» машини.

Поряд з такими перевагами турбінних очищувачів як простота конструкції, висока інтенсивність відділення ґрунтових домішок, головною є можливість використання в поєднанні з лемішно-дисковими копачами при розробці коренезбиральної машини КС-6Б-05(В) для комбінованих міжрядь (див. Розділ 5).

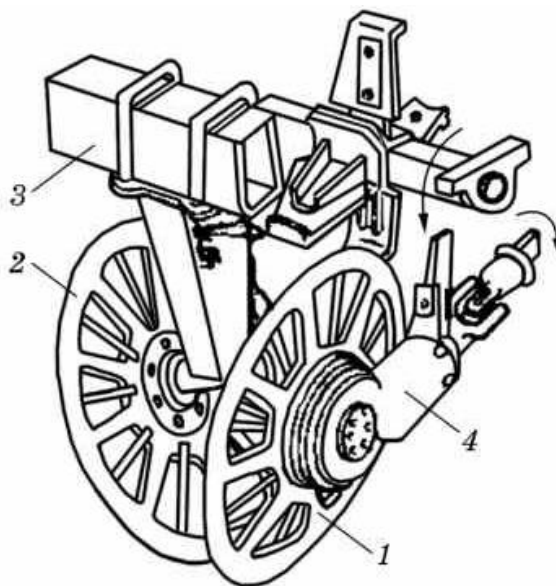
4.2. Геометричне моделювання очисних поверхонь викопувальних робочих органів коренезбиральних машин

Серед самохідних бурякокомбайнів і причіпних коренезбиральних машин, як вітчизняного, так і зарубіжного виробництва, найбільш поширеними є ті, що оснащені дисковими викопувальними робочими органами (ВРО) різних конструкцій: КС-6 та її модифікації (ТеКЗ), РКМ-6-01 (ООО «Днепромаш – Інвест»), Holmer, Vervact, Parma, Grimme, Amity та ін. [74-76, 204] (рис. 4.7 а).

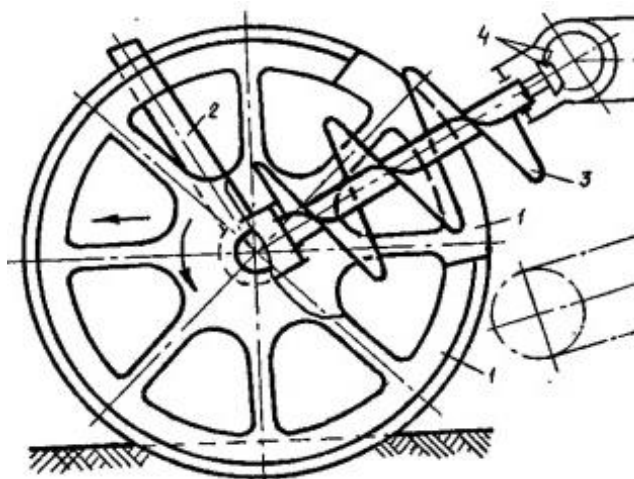
Перевагами копачів дискового типу, які доведені результатами досліджень автора, що викладені у кандидатській дисертації [70, 207] та у публікаціях [46, 59, 63], є спроможність добре кришити ґрунт при малій кількості його забору, надійність і висока продуктивність роботи, у тому числі на важких ґрунтах та значно забур'янених ділянках поля, підйом коренеплодів на значну висоту.

Нами також встановлено [59] і підтверджується іншими дослідниками [21, 22, 24, 103], що експлуатація таких викопувальних робочих органів можлива на вищих швидкостях у порівнянні з

кулачковими, лемешковими чи вильчастими копачами при забезпеченні кращих показників технологічної



a – бітерний очисник (загальний вигляд)



б – шнековий очисник (вигляд справа)

Рис. 4.7. Геометричні моделі дискових копачів з бітерним (*a*) і шнековим (*б*) очисником

надійності виконання процесу викопування коренеплодів і якості первинного очищення викопаних коренеплодів від залишків ґрунту, гички та кореневищ бур'янів.

У верхній задній частині копача розташовується бітер (рис. 4.7 *a*) чи гвинтовий шнек-транспортёр 3 (рис. 4.7 *б*), який установлений слідом за дисками 1, 2 вздовж повздовжньої осі симетрії робочого органу,

обертається посередництвом редуктора 4 і подає ворох коренеплодів у купі із залишками підрізаної дисками скиби ґрунту, гички і бур'янів до сепаруючих органів машини. Навивка шнека – транспортера 3 виконана по гвинтовій лінії і являє собою поверхню прямого гелікоїда.

Польовими експериментами доведено, що очищувальна здатність бітерного пристрою, який виключно за рахунок ударної дії перекидає ворох коренеплодів, є низькою, а при роботі шнека з гвинтовою навивкою, коренеплоди разом з грудками землі, рослинними та ґрунтовими рештками скупчуються у задній зоні шнека, особливо на забур'яненних, твердих чи перезволожених ґрунтах, що призводить до зниження продуктивності виконання ТП викопування та погіршення очищення коренеплодів.

4.2.1. Дисковий копач з гелікоїдальним шнеком змінного кроку

З метою підвищення швидкості транспортування і якості очищення щойно викопаних коренеплодів від ґрунтових і рослинних залишків, розроблений копач [185] (Додаток Д), в основу якого поставлено вдосконалення транспортуючого шнека-очисника.

Конструктивною особливістю шнека 2 (рис. 4.8), є зменшення кроку навивки P в напрямку від центра дисків до їх периферії:

$$P_1 > P_2 > P_3 \quad (4.1)$$

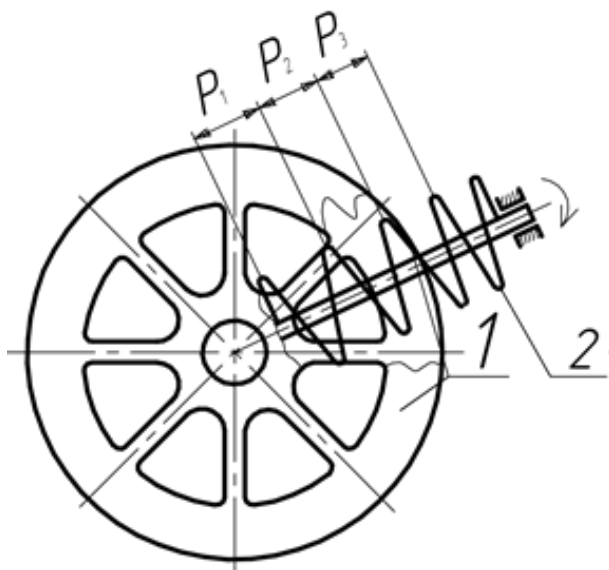


Рис. 4.8. Схема дискового ВРО зі шнеком-гелікоїдом змінного кроку

При обертанні шнека будь-яка уявна точка A його гвинтової поверхні, перемістившись із одного положення в інше у перпендикулярній до осі шнека площині опише деяку дугу повного оберту $A_1 \wedge A'_1$, а у площині рисунка переміститься вздовж цієї ж осі на відстань (долю кроку P) $A_2A'_2$, що можна подати у вигляді формули:

$$A_1 \wedge A'_1 / 360^\circ = A_2A'_2 / P, \quad (4.2)$$

звідки

$$A_1 \wedge A'_1 = A_2A'_2 360^\circ / P \quad (4.3)$$

Врахувавши (4.1), отримаємо обернену залежність: із зменшенням кроку шнека збільшується швидкість обертання його робочої поверхні в результаті чого покращується якість очищення коренеплодів.

4.2.2. Дисковий копач зі шнеком у формі похилого гелікоїда змінного кроку

Подальші польові експериментальні дослідження показали, що при роботі на вологих і перезволожених ґрунтах, що є досить характерними ґрунтово-кліматичними умовами для осінньої пори року, шнек копача, виконаний у формі прямого гелікоїда з твірною, перпендикулярною до його осі, не досить ефективно здійснює технологічний процес транспортування щойно викопаних коренеплодів з одночасним їх очищенням від ґрунту та залишків бур'янів й гички, оскільки за таких умов сила тертя ковзання маси оберемка вороху коренеплодів по робочій поверхні шнека суттєво зменшується і оберемок вороху коренеплодів, що включає також гичку та інші рослинні залишки, скупчується у задній частині шнека, що призводить до частих забивань копача і зупинок у роботі.

Поверхня шнека копача на рис. 4.9 – похилий гелікоїд 2, твірна якого утворює гострий кут з віссю. Форма робочої поверхні шнека є такою, що крок його гвинтової навівки і нахил твірної у напрямку виконання

технологічного процесу плавно зменшуються в наслідок чого підвищується кутова швидкість транспортування коренеплодів. При переміщенні оберемка вороху коренеплодів шнеком створюється поступове збільшення сили тертя завдяки чому зменшуються забивання та скупчення на його поверхні і покращується якість очищення коренеплодів [186] (Додаток Є).

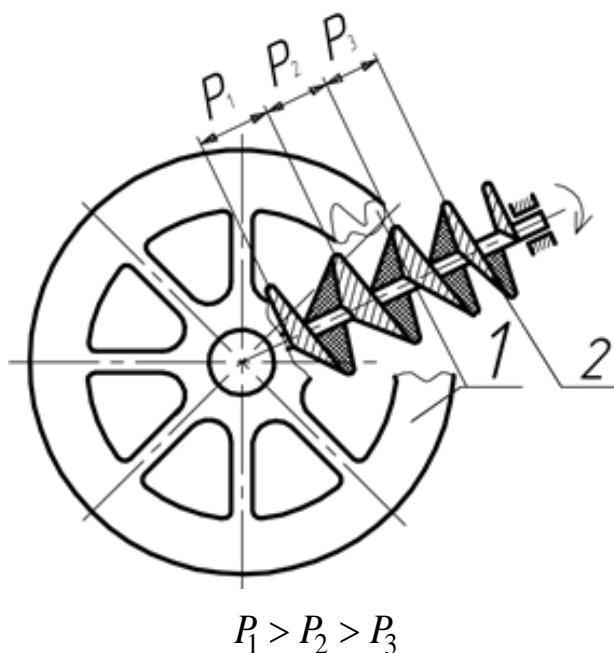


Рис. 4.9. Схема дискового ВРО із шнеком у формі похилого гелікоїда

В процесі роботи диски 1, установлені під кутом один до одного, перекочуючись у ґрунті на глибині 8–12 см, викопують коренеплоди і передають їх у зону шнека 2, який, обертаючись, очищає коренеплоди від ґрунту, бур'янів і залишків ґрунту та подає їх для подальшої обробки машиною. Завдяки запропонованій формі робочої поверхні шнека, крок його гвинтової навивки і нахил твірної зменшуються у напрямку виконання технологічного процесу. Якість очищення коренеплодів підвищується за рахунок плавного зменшення кута нахилу твірної шнека до його осі, коли створюється поступове підвищення кутової швидкості транспортування вороху коренеплодів та збільшення відцентрової сили тертя в результаті дії робочої поверхні шнека на оберемок вороху коренеплодів.

4.2.3. Експериментальні польові дослідження копачів

Експериментальні дослідження на однорядній установці, навішеній на трактор ЮМЗ-7071, проводились у Державному підприємстві «Дослідне господарство Шевченківське» [59].

Копачі приводились в обертальний рух від ВВП трактора через ланцюговий редуктор. Заглиблення копачів регулювалось опорними колесами.

Проби вороху коренеплодів відбирались у 4-разовій повторності. Викопана проба після очисника потрапляла на поліетиленову плівку, що мимовільно розгорталась слідом за копачем, і відповідно до методики ІБКіЦБ розділялась на фракції: 1) коренеплоди (непошкоджені, тобто обрив хвостової частини на діаметрі не більше 1 см за відсутності бокових розривів; пошкоджені слабо – діаметр хвостової частини до 3 см і дуже – діаметр більше 3 см, бокові розриви глибиною більше 1 см); 2) грудки землі (діаметром до 50 мм, більше 50 мм); 3) рослинні залишки (гичка, бур'яни). Дані експериментів піддавались дисперсійному аналізу [146, 148, 216].

Як видно з рис. 4.10, за твердості ґрунту вище за 3,5 МПа маса грудок землі діаметром понад 50 мм у разі використання експериментальних гелікоїдальних шнеків суттєво зменшувалась як у варіантах між собою (для прямого і похилого гелікоїдів), так і відносно контрольного варіанта (12,3 %, 16,9 % проти 19,8% за $НР_{05} = 2,5$ %).

За твердості ґрунту 4,0–4,5 МПа забрудненість грудками зменшувалась майже вдвічі (17,9 %, 18,5 % проти 35,7 %).

Вміст домішок у вигляді зеленої маси (гички і залишків бур'янів) (рис. 4.11) та кількість пошкоджених коренеплодів (рис. 4.12) були найнижчими (1,7 % та 4,3 % відповідно) у разі використання похилого гелікоїдального шнека, що виявилось суттєво нижчим показником проти бітерного пристрою за показником зеленої маси (6,9%, $НР_{05} = 3,4\%$) і

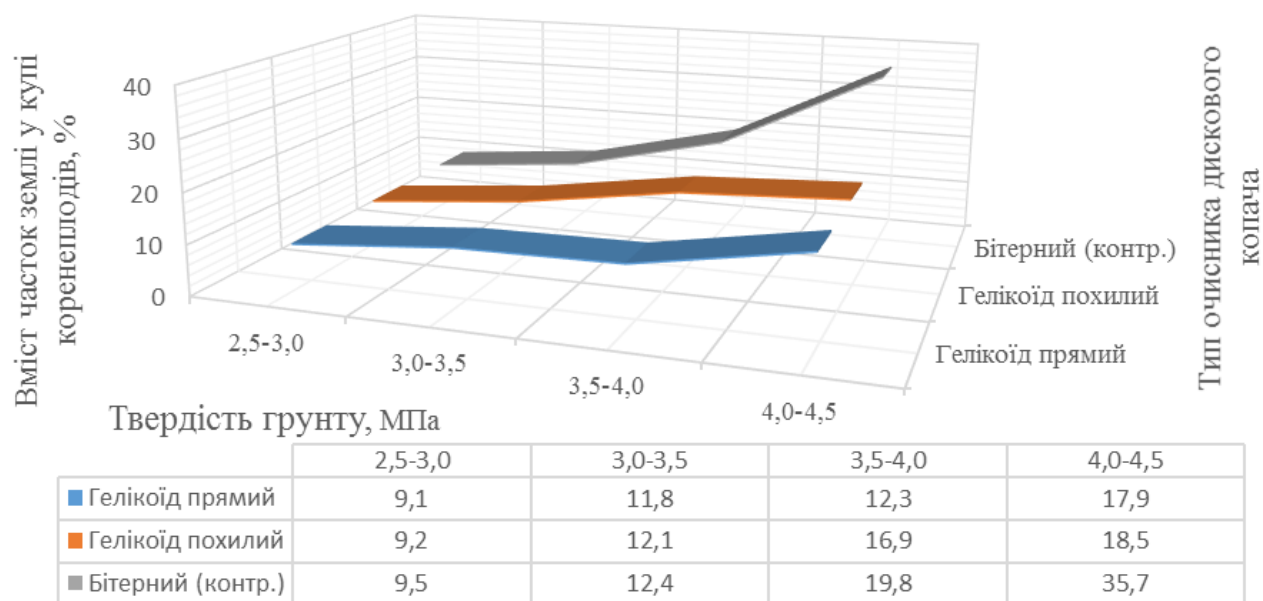


Рис. 4.10. Вплив твердості ґрунту і типу очисника копача на утворення часток землі діаметром > 50 мм (глибина підкопування 8-10 см)

нижчим (на 0,2 %) – за рівнем пошкоджених коренеплодів.

При роботі всіх типів копачів на ґрунтах підвищеної твердості (понад 3,5 МПа) кількість дуже пошкоджених коренеплодів різко збільшується, хоча гелікоїдальні очисники отримують суттєву перевагу над бітерними. Так, зокрема, за твердості 4,0–4,5 МПа кількість пошкоджених коренеплодів похилим гелікоїдальним шнеком досягла 21,1 %, прямим – 23,6 %, бітерним очисником – 29,6 % за $HP_{05} = 2,7$ % (рис. 4.13).

Експериментальні зразки копачів з гелікоїдальними шнеками апробовані (2013–2015 рр.) у Державному підприємстві «Дослідне господарство Шевченківське» Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків на площі 480 га (Додаток Л) і прийняті до впровадження на ПАТ «БОРЕКС» (Додаток І).

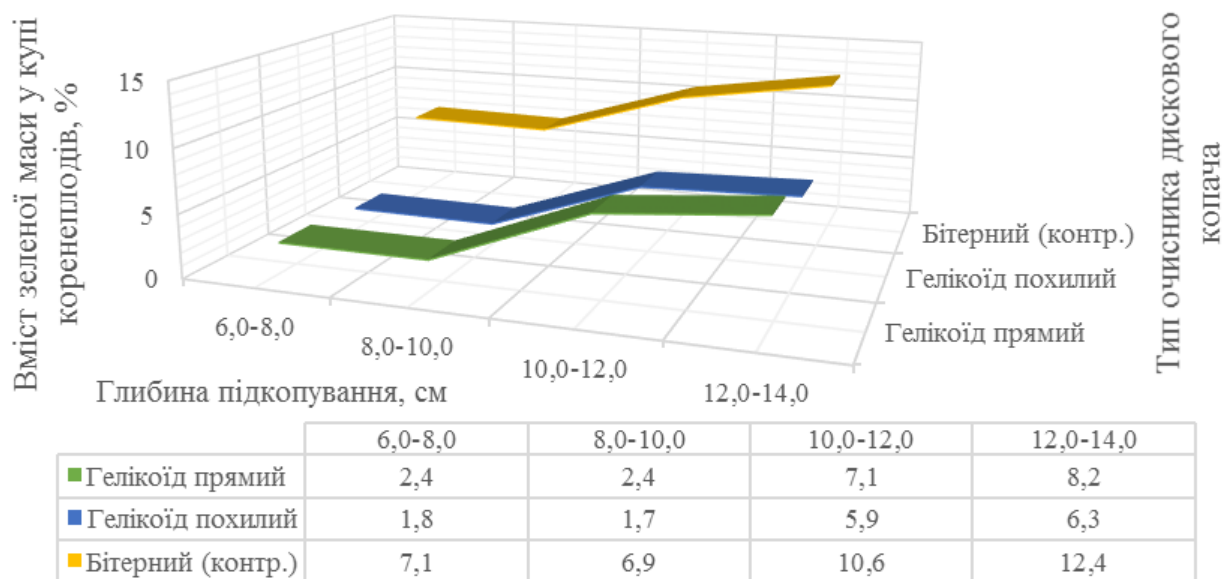


Рис. 4.11. Вплив глибини підкопування і типу очисника копача на кількість гички і зеленої маси у купі коренеплодів (твердість ґрунту 2,5-3,0 МПа)

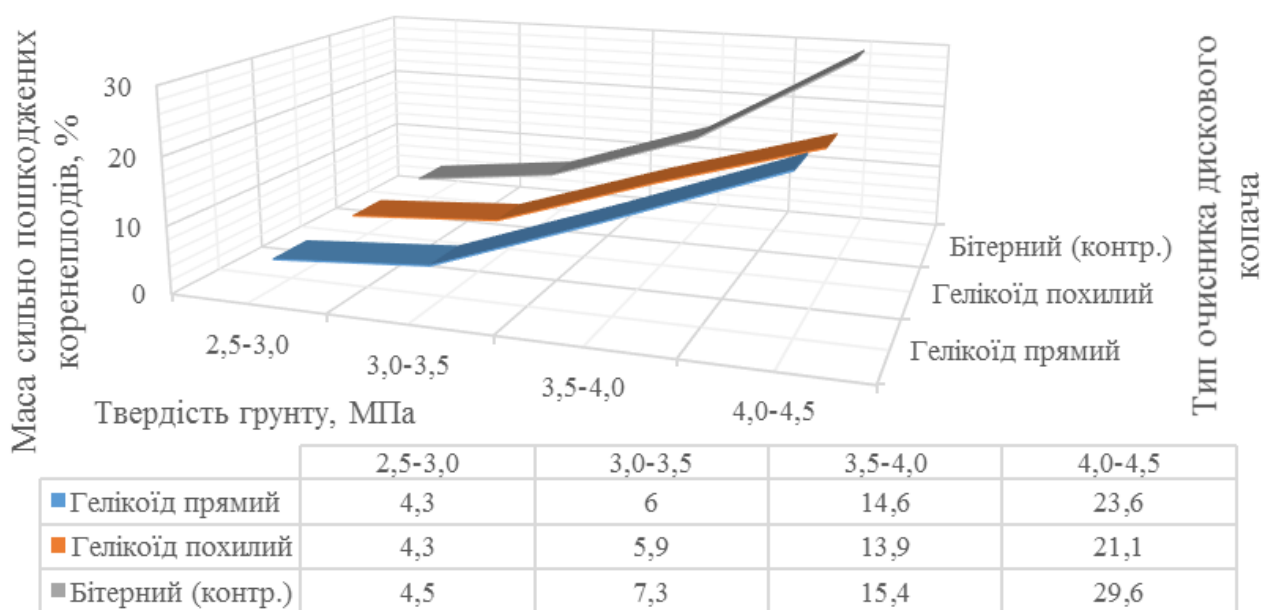


Рис. 4.11. Вплив твердості ґрунту і типу очисника копача на ступінь пошкодження коренеплодів під час викопування (глибина підкопування 8-10 см)

4.3. Висновки до розділу

Розробка нових робочих поверхонь очисників дискових копачів коренезбиральних машин, здатних у складних умовах збирання буряків цукрових виконувати інтенсивне первинне очищення від землі і гички викопаних коренеплодів, і, як наслідок, забезпечувати збереження родючості ґрунтів при збиранні урожаю, є доцільною.

Експериментами встановлено, що використання гелікоїдальних робочих поверхонь шнеків навіть за твердості ґрунту 4,0–4,5 МПа забезпечує суттєве зменшення забрудненості коренеплодів грудками землі як у варіантах між собою (прямий, похилий гелікоїди), так і відносно контролю (бітерний очисник) (12,3 %, 16,9 % проти 19,8 % за $HP_{05} = 2,5$ %).

Показники вмісту домішок у вигляді зеленої маси (гички та залишків бур'янів) і кількості пошкоджених коренеплодів є найнижчі (1,7 % та 4,3% відповідно) у разі використання похилого гелікоїдального шнека, що суттєво нижче проти бітерного пристрою за показником зеленої маси (6,9%, $HP_{05} = 3,4$ %) і несуттєво (0,2 %) – за показником пошкоджень коренеплодів.

За твердості 4,0–4,5 МПа маса пошкоджених коренеплодів похилим гелікоїдальним шнеком досягла 21,1 %, прямим – 23,6 %, бітерним очисником – 29,6% за $HP_{05} = 2,7$ %.

РОЗДІЛ 5

РОЗРОБКА І ВПРОВАДЖЕННЯ У ВИРОБНИЦТВО КОМПЛЕКСУ МАШИН ДЛЯ ТЕХНОЛОГІЇ З КОМБІНОВАНОЮ ШИРИНОЮ МІЖРЯДЬ

За існуючої технології виробництва буряків цукрових з шириною міжрядь 45 см перехід на малі норми висіву насіння одонасінних сортів і гібридів та отримання достатньої густоти стояння з рівномірним розміщенням рослин пов'язаний з ризиком, адже за таких умов продуктивність буряків практично визначається рівнем польової схожості, яка залежно від ґрунтово-кліматичних умов варіює у великих межах, що позначається, насамперед, на рівномірності розміщення рослин по площі поля і є важливим чинником отримання високої врожайності.

Аналіз теоретичних та експериментальних вітчизняних і зарубіжних досліджень показує, що знизити зрідженість сходів при малих нормах висіву можливо застосувавши більш вузькі міжряддя. Гіпотетично вони володіють рядом очевидних переваг: а) подовження рядків на гектарі дозволить отримати необхідну кількість рослин при сівбі на кінцеву густоту стояння; б) раннє змикання листків буряків у міжряддях та рядках буде сприяти їх росту і зниженню розвитку бур'янів та їх пригніченню; в) створення можливості рівномірніше розмістити рослини на площі за рахунок компенсації пропусків у сусідніх рядках при більшій їх загальній кількості.

5.1. Ширина міжрядь і продуктивність механізованого виробництва буряків цукрових

На протязі свого існування ключовими проблемами буряківництва залишається підвищення продуктивності, поліпшення технологічних якостей врожаю, зниження витрат праці і коштів на виробництво. Серед багатьох факторів, спрямованих на вирішення даної проблеми, одним з найбільш знакових є отримання науково обґрунтованої густоти стояння

рослин шляхом оптимізації площі їх живлення з вибором раціональної схеми сівби, здатної забезпечити збільшення врожаю до 35–40 % за умови механізації технологічних процесів, що доводив ще на початку ХІХ ст. академік В. І. Едельштейн (1881-1965).

Питання ширини міжрядь для буряків цукрових у різних бурякосійних країнах світу вирішують залежно від ґрунтово-кліматичних умов, наявності відповідної техніки і сформованих традицій. В даний час у світовій практиці застосовуються посіви БЦ з шириною міжрядь від 35 до 90 см і більше.

У Німеччині, Голландії, Бельгії ширина міжрядь становить 40; 41; 45 і 51 см; у Франції – 38; 42 і 45 см; у Польщі, Румунії, Чехії – 45 см; в Англії – 50 і 53 см; в Італії – 40 і 50 см [125, 166].

У США, завдяки застосуванню комплексу досконалих машин ВІК фірми «Аміті Технолоджі», найбільше поширення (90 % від загального обсягу площ) отримали міжряддя 56 см, хоча їх ширина при вирощуванні БЦ на поливних землях коливається в межах 45–90 см.

Розсадний спосіб вирощування БЦ з міжряддями 50–60 см застосовується в Японії.

У нашій країні БЦ здавна вирощували з міжряддями 30–35 см. Дослідами, проведеними мережею дослідних полів існуючого в той час цукротресту (1925–1927 рр.) і ВНИС (1937–1940 рр.) в різних ґрунтово-кліматичних умовах основної зони бурякосіяння, була визнана можливість розширення міжрядь до 45 см. Урожай при цьому зменшувався несуттєво в порівнянні з міжряддями 30–35 см, а вміст цукру в коренеплодах знижувався на 0,4 %. Але можливість застосування механізмів при збиранні урожаю та при міжрядній обробці посівів з одночасним скороченням затрат ручної праці на проведення боротьби з бур'янами і створенням сприятливих умов росту і розвитку буряків, були головними причинами переходу до міжрядь шириною 45 см.

У шістдесятих роках вивчали також можливість збільшення ширини міжрядь БЦ до 60 і 70 см з метою уніфікації тракторів і сільськогосподарських машин, що застосовуються при вирощуванні просапних культур в зоні достатнього зволоження. У Прибалтиці та Білорусії в період з 1948 по 1966 р. досліджували продуктивність БЦ при міжряддях 45 і 60 см. Узагальнені результати польових дослідів з шести дослідних установ в цій зоні наведені в табл. 5.1.

Таблиця 5.1

**Продуктивність буряків цукрових у зоні достатнього зволоження
залежно від ширини міжрядь**

Ширина міжрядь, см	Врожай, ц/га	Вміст цукру, %	Збір цукру, ц/га
45	294	17,5	51,6
60	290	17,2	50,0

У цих дослідях за умов механізації процесів догляду та збирання буряків не було суттєвих відмінностей в затратах ручної праці і урожайності, а цукристість буряків при міжряддях 45 см була вищою в середньому на 0,3 % і збір цукру на 1,6 ц/га більше, ніж при міжряддях 60 см.

Таким чином, проведені досліді показали, що на незрошуваних землях міжряддя 45 см переважають 60-ти сантиметрові. Тому на даний час в Україні цукровий буряк повсюди висівають з міжряддями 45 см, за винятком районів зрошуваного землеробства (південь країни), де донедавна застосовували борозенний полив і міжряддя 60 см.

Поряд з цим широко проводилось вивчення квадратно-гніздового розміщення рослин. Механізоване проріджування сходів (букетування) проводилось просапними культиваторами переважно за схемами: виріз 30 – букет 15 см; виріз 27 – букет 18 см. Букети мали квадратну форму 45×45 см. Розрахункова кількість букетів становила 49 тис на гектар. При залишенні в букеті двох рослин (площа живлення $\approx 1000 \text{ см}^2$) густота

стояння досягала рівня 90–95 тис шт./га. Аналіз результатів даних дослідно-селекційних станцій, а також виробничі досліді, проведені в колгоспах і радгоспах у 60–70-ті роки, показали, що при квадратно-гніздовому розміщенні рослин продуктивність БЦ не нижча, а в багатьох випадках вища, ніж при звичайному букетуванні, адже передбачає поодинокі розміщення рослин у рядках на відстані 18–20 см. Головним виявилось те, що подальша, так звана, перехресна обробка сходів зменшила витрати ручної праці на догляд за посівами в півтора-два рази.

В той час поширилось вздовжрядне проріджування сходів як механічними культиваторами УСМП-5,4, так і автоматичними проріджувачами ПСА-2,7 з тим, щоби отримати поодинокі розміщення рослин в рядку на відстані 18–20 см (площа живлення 900–1000 см²). Однак у тих бурякосійних господарствах, де на посівах необхідно було проводити інтенсивну боротьбу з бур'янами і підживлення рослин, продовжували застосовувати також і квадратно-гніздове розміщення рослин [74].

З підвищенням культури землеробства і внесенням великих доз органічних і мінеральних добрив у другій половині 60-х років важливе значення набуває подальша розробка заходів, спрямованих на підвищення врожаїв БЦ і вмісту цукру в коренеплодах, за рахунок більш інтенсивного використання родючості ґрунтів та можливостей технічних засобів.

З цією метою мережею дослідних станцій ВНИС проведені дослідження по вивченню можливості зменшення ширини міжрядь до 30 і навіть до 22,5 см (пошукові дослідження автора [20, 56, 70, 73]) при збільшенні відстані між рослинами в рядку. Це дозволяє наблизити форму площі живлення до квадрата, яка є для ЦБ оптимальною, адже, як показано вище, таке розміщення рослин створює сприятливіші умови росту і розвитку рослин та накопиченню цукру в коренеплодах. Результати польових дослідів з вивчення ефективності вирощування буряків цукрових з шириною міжрядь 30 см показують, що звуження міжрядь є гарантією

отримання підвищеної густоти стояння рослин з рівномірнішим розміщенням їх по площі поля і, як наслідок, збільшення збору цукру від 7,8 до 15,1 % (табл. 5.2).

Таблиця 5.2

Ефективність виробництва буряків цукрових за ширини міжрядь 30 і 45 см (1966–1969 рр.)

Показник	Дослідно-виробниче господарство ВНІС «Черниші»		Білоцерківська дослідно-селекційна станція		Середнє за дослідними господарствами (ДВГ «Черниші», Білоцерківська ДСС, Верхняцька ДСС, ВНІОС)	
	Ширина міжрядь, см					
	45	30	45	30	45	30
Густота насаджень, тис/га	94	112	86	102	87	107
Врожай, ц/га	381	426	372	403	339	378
Вміст цукру, %	17,2	17,7	18,9	18,8	18,3	18,7
Збирання цукру, ц/га	65,5	75,4	70,3	75,9	62,2	70,5
Прибавка цукру, ц/га	—	9,9	—	5,5	—	8,3
Відсоток, %	—	15,1	—	7,8	—	13,3

5.1.1. Залежність урожайності буряків від конфігурації і розмірів площі живлення рослин

У дореволюційний період та у 20–30-ті роки ХХ ст., коли норма висіву насіння вимірювалась кілограмами і перевищувала 30 кг на 1 гектар (для порівняння: у наш час – до 4,0 кг), буряки сіяли, доглядали і збирали вручну, рослини в рядку залишали на відстані 18–20 см і площа живлення становила близько 700 см² (35×20 см) при міжряддях 30–35 см. На підставі дослідів, проведених в різних ґрунтово-кліматичних зонах, було визнано, що оптимальною площею живлення є 900–1100 см², яка за формою наближається до квадрата. При такому розміщенні створюються найбільш

сприятливі умови освітленості кожної рослини, що сприяє підвищенню інтенсивності фотосинтезу, а також забезпечується повніше засвоєння поживних речовин [167, 226].

З літературних джерел останніх років, зокрема російських видань, відомо, що найкращою для БЦ є форма площі живлення, близька до квадрата [125, 166].

В останні десятки років завдяки створенню високопродуктивних однонасінних сортів і гібридів БЦ та застосуванню пневмосівалок точного висіву на тлі підвищення культури землеробства з'явилась можливість зменшення норми висіву насіння при розсосередженому розміщенні рослин в рядку і відсутності сходів – «двійників» за оптимальної площі живлення – 900–1000 см².

5.1.2. Вплив ширини міжрядь на фотосинтетичну продуктивність буряків цукрових

Підвищення продуктивності та поліпшення технологічних якостей сировини буряків цукрових залежно від ширини міжрядь і рівномірності розміщення рослин на площі пояснюється зміною морфології листа і внутрішньої структури коренеплоду, що позначається на поліпшенні фотосинтезу рослин. За квадратної форми площі живлення рослин буряків або такої, що наближається до нього, вочевидь зменшується взаємне затінення листків, а відтак, рослиною краще засвоюється сонячна енергія, вода і поживні речовини.

Відомо, що до 95 % сухої маси урожаю зелених рослин створюється в процесі фотосинтезу, здійснюваного листям внаслідок поглинання його хлорофілом енергії сонячної радіації, тобто фотосинтез (фотос – по-грецьки «світло») є синтез органічних речовин із вуглекислого газу та води за допомогою енергії сонячного світла.

Процес фотосинтезу полягає у відриві водню від води і у перенесенні його на вуглекислоту. За А. О. Ничипоровичем «процесс фотосинтеза представляет собой процесс окислительно-восстановительный, где вода, отдавая водород и служа восстановителем, сама окисляется, а углекислота, принимая водород и служа окислителем, восстанавливается» [167].

В кінцевому рахунку розміри урожаїв знаходяться у тісній залежності від інтенсивності розвитку листків і розмірів їх площі, тобто від продуктивності їх роботи.

Відповідно до теорії фотосинтезу А. О. Ничипоровича один із чинників низьких показників корисного використання енергії сонячної радіації на фотосинтез обумовлюється тим, що площа листків не досягає оптимальних величин (40–50 тис м² на 1 га), їх змикання відбувається із запізненням, особливо при зріджених посівах і нерівномірно розміщених рослинах, в результаті чого значна частина падаючої на посів енергії проходить повз листя прямо на ґрунт [226, 231, 244].

Отже, важливим є висновок, що при міжряддях 30 см гичка вочевидь змикається раніше, ніж при 45 см, в результаті чого відбувається біологічне пригнічення бур'янів і забезпечується збереження вологи в ґрунті, що, в свою чергу, дозволяє скоротити кількість міжрядних обробітків до одного чи зовсім їх не проводити без збитків для врожаю буряків.

Виробничими дослідями, проведеними на полях бурякосіючих господарств у різних зонах зволоження також доведена агротехнічна ефективність вирощування БЦ з шириною міжрядь 30 см. Результати виробничих дослідів, проведених у 1974–1975 рр. в колгоспах ім. Чапаєва Семенівського району Полтавської області (зона недостатнього зволоження), ім. Пархоменко Жашківського району Черкаської області (зона нестійкого зволоження) та ім. Шевченко Дубновського району Рівненської області (зона достатнього зволоження), також підтвердили дані, отримані на дослідних станціях (табл. 5.3).

Таблиця 5.3

**Ефективність виробництва буряків цукрових за ширини міжрядь
30 см у виробничих дослідах (1974–1975 рр., залікова маса)**

	Ширина міжрядь, см							
	45	30	45	30	45	30	45	30
	Густота насад- жень, тис/га		Врожай, ц/га		Вміст цукру, %		Збирання цукру, ц/га	
Ім. Чапаєва	92	112	243	303	17,3	17,75	41,8	53,4
Ім. Пархоменко	101	120	284	334	19,1	19,3	54,3	64,5
Ім. Шевченко	91	109	336	418	16,4	16,8	54,4	69,1
Середнє за трьо- ма колгоспами	94	113	288	352	17,62	17,93	50,1	62,3

В цьому сенсі звужені міжряддя (шириною менше 45 см) на посівах буряків цукрових апріорі позитивно впливатимуть на процес фотосинтезу, що і явилось метою нашого дослідження, адже дотепер відомі дослідження фотосинтетичної продуктивності буряків цукрових залежно лише від густоти стояння рослин вздовж рядка при міжряддях 45 см [79, 111, 267].

Для визначення впливу ширини міжрядь (45 см (звичайні, контроль); 3×30 см+1×45 см (комбіновані); 30 см (вузькорядні)) на фотосинтетичну продуктивність БЦ проводили модельні досліди в умовах ДГ «Шевченківське» ІБКіЦБ, яке знаходиться в зоні нестійкого зволоження Правобережного Лісостепу України [40].

Площа посівної ділянки – 64,8 м², облікової – 54,0 м², повторність – чотириразова. Для дослідження питання підвищення продуктивності фотосинтезу буряків цукрових були проведені досліди, в яких вивчали фотосинтетичну продуктивність залежно від ширини міжрядь посівів: 45 см (звичайні, контроль); 3×30 см + 1×45 см (комбіновані); 30 см (вузькорядні). Насіння гібриду Шевченківський висівали переобладнаною за відповідною схемою сівалкою ССТ-12Б, яка налагоджувалась на постійну кінцеву густоту стояння рослин 100–110 тис./га незалежно від ширини міжряддя.

Продуктивність фотосинтезу визначалась за методикою ІБКіЦБ [29, 146, 148], коли поверхня незрізаних листків визначалась планіметричним методом, тобто їх площа вираховувалась через подібні геометричні фігури (еліпс, трапеція, трикутник і т. п.).

Об'єм роботи асиміляційного апарату виражається чистою продуктивністю фотосинтезу (ЧПФ) і відповідно до методики [226] розраховується за формулою:

$$\text{ЧПФ} = \frac{B_2 - B_1}{(L_1 + L_2) \cdot 1/2 \cdot n}$$

де: B_1 і B_2 – суха вага проби урожаю на початку і в кінці залікового періоду;

$(B_1 - B_2)$ – приріст сухої маси за заліковий період n днів;

L_1 і L_2 – площа листя проби на початку і в кінці періоду;

$(L_1 + L_2)/2$ – середня площа листя, яка працювала на цьому проміжку часу;

n – кількість днів залікового проміжку часу.

Проте, приведена залежність для визначення ЧПФ може давати точні результати у випадку, якщо ріст площі листя за весь досліджуваний період відбувається рівномірно і графічно апроксимується прямою, тобто середню робочу площу за звітний проміжок часу дійсно можна виразити півсумою початкового і кінцевого показників. Але такий випадок є винятковим, тому що в період найбільш швидкого росту посівів ріст площі листя відбувається по кривій спочатку швидко, потім із затуханням. Так, наприклад, площа листків може наростати дуже швидко за перші 3–5 днів, а потім збільшуватися повільно [226]. Тоді середня листкова поверхня буде більшою, ніж півсума двох крайніх показників і визначення середньої робочої площі за досліджуваний проміжок як півсуми двох крайніх вимірювань не дає досить точних даних.

У зв'язку з цим для визначення ЧПФ нами розроблена і використовувалась уточнена формула [40]:

$$\text{ЧПФ} = \frac{(B_2 - B_1)(\log_e L_2 - \log_e L_1)}{n(L_2 - L_1)},$$

де $\log_e L_2$ і $\log_e L_1$ – натуральні логарифми показників площі листя на початку (L_1) і в кінці (L_2) залікового періоду, а решта показників лишаються такими ж.

Фенологічними спостереженнями за ростом і розвитком буряків цукрових встановлено, що поява сходів в значній мірі залежить від вологості ґрунту та температури ґрунту і повітря. У роки проведення досліджень в період «сівба – сходи» були відзначені коливання вологості ґрунту і температури, що впливало на отримання розрахункової густоти сходів. Сходи з'являлися через 8–11 днів залежно від року дослідження.

Встановлено також, що за всі роки проведення досліджень протягом другої половини вегетації (після 10 липня) за короткий проміжок часу (до 1 серпня) наростало до половини сухої речовини від загальної маси на кінець вегетації, особливо при звужених (30 см) і комбінованих (3×30 см + 1×45 см) міжряддях, що пояснюється більш раннім (на 5–7 днів) строком змикання листя у міжряддях, значним ростом площі листкової поверхні, а відтак, чистої продуктивності фотосинтезу.

На стадії інтенсивного розвитку рослин (1 серпня) встановлений суттєвий приріст листкової поверхні рослин при міжряддях 30 см (59,7 м²/га) і 3×30 см + 1×45 см (58,2 м²/га) проти контролю 45 см (52,7 м²/га) (НІР₀₅ = 4,5 м²/га) (рис. 5.1) та ріст ЧПФ: 8,1 г сухої речовини на 1 м² листкової поверхні за добу і 8,0 г проти 6,9 г відповідно (НІР₀₅ = 1,0 г) (рис. 5.2).

Станом на 1 вересня площа листкової поверхні зростала не так стрімко і суттєвої різниці між варіантами досліду за цим показником не було виявлено. Показник ЧПФ дещо знизився на вузькорядних і комбінованих посівах, а на контролі (міжряддя 45 см) спостерігалось суттєве зниження проти названих варіантів (6,4 г сухої речовини на 1 м² листкової поверхні за добу проти 7,8 г і 8,0 г відповідно за НІР₀₅ = 1,2 г).

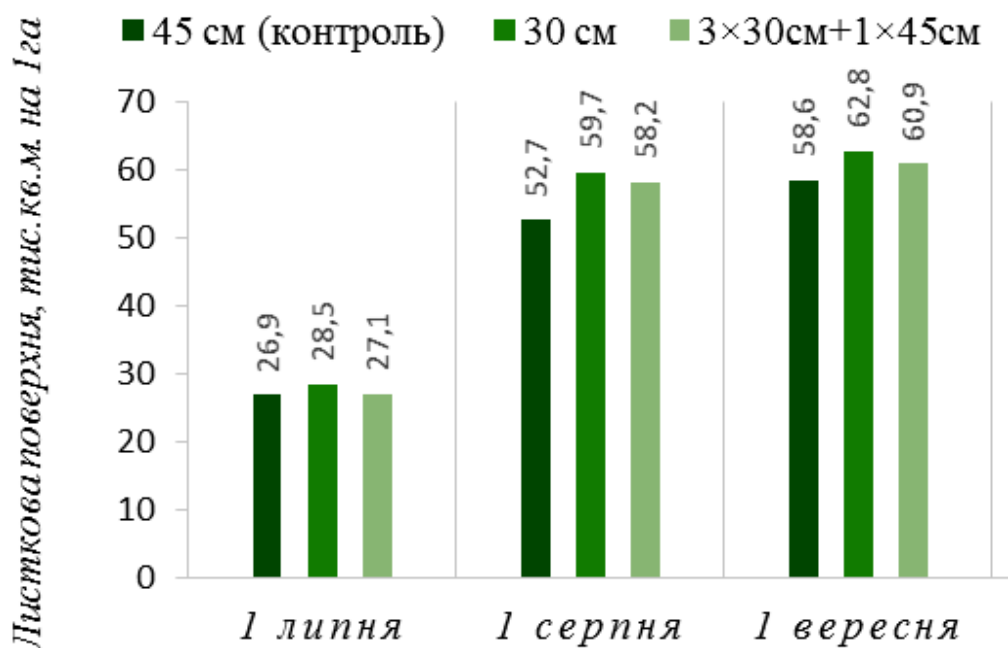


Рис. 5.1. Площа листкової поверхні (середнє за 2012–2014 рр.) залежно від ширини міжрядь і дати визначення

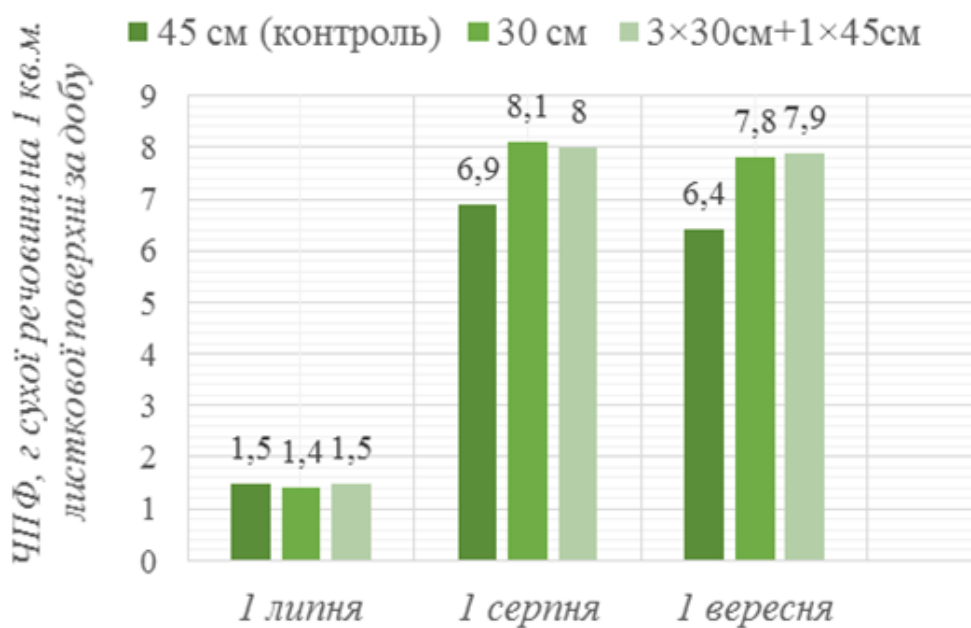


Рис. 5.2. Чиста продуктивність фотосинтезу (середнє за 2012–2014 рр.) залежно від ширини міжрядь і дати визначення

Таким чином, при комбінованих і, головним чином, при звужених міжряддях посівів буряків цукрових значно інтенсивніше розвивається робоча листкова поверхня, особливо на початку другої половини вегетації внаслідок більш раннього змикання листків у зоні міжрядь. Установлено,

що в цей же період та після нього відбувається найбільш суттєве в порівнянні із звичайними міжряддями наростання маси сухої речовини.

Отже, біологічна урожайність буряків цукрових у разі застосування комбінованих (3×30 см + 1×45 см) і, особливо, звужених (30 см) міжрядь суттєво збільшується на 6,0-6,4 т/га [19].

5.1.3. Звуження міжрядь – обмежувальний фактор механізації технологічних процесів

У зв'язку з постійним вдосконаленням технології виробництва буряків цукрових, коли головний акцент ставиться на зменшенні чи виключенні ручної праці при формуванні густоти рослин і догляду за ними та збиранні урожаю, питання форми площі живлення і взаєморозміщення рослин необхідно розглядати нерозривно з проблемою механізації процесів догляду та зрізування гички і викопування коренеплодів.

Зокрема, проблемою застосування вузьких (30–35 см) міжрядь явилось обмежене застосування машин для догляду за посівами і, особливо, збирання урожаю, що вимагало великих затрат ручної праці. Тому в повоєнні роки цукрові буряки на богарних землях почали сіяти в основному з міжряддями 45 см. При такій ширині міжрядь зросли можливості механізації робіт по догляду за посівами і збиранню буряків. Площа живлення придбала прямокутну форму, так як для забезпечення необхідної густоти стояння рослини в рядку розміщувалися на відстані 17–18 см. Величина площі живлення залишалася майже на тому ж рівні, що і при ширині міжрядь 30–35 см – $750\text{--}800\text{ см}^2$, а густота стояння становила 130 тис шт./га і більше. Проведені в 40-і роки мережею ВНИС (Білоцерківська і Верхняцька дослідно-селекційні станції, дослідно-виробниче господарство «Черниші» та ін.) дослідження впливу площі живлення та густоти стояння на урожай і цукристість буряків показали, що така густота не має переваги перед густотою 90–100 тис шт./га. Саме тому у багатьох бурякосіючих господарствах країни з тих пір і донині рослини в

рядку розміщують з інтервалом 18–20 см, що забезпечує площу живлення 900–1000 см².

В даний час у світовій практиці застосовуються посіви БЦ з шириною міжрядь від 35 до 90 см і більше, що залежить від природно-кліматичних умов і виробничих факторів, а головним чином – від застосовуваного комплексу машин.

В Україні, як відомо, відповідно до уніфікації комплексу машин для буряківництва у країнах Ради економічної взаємодопомоги (РЕВ), ширина міжрядь складає 45 см. Поряд з цим, теоретично і польовими агротехнічними дослідженнями вчених – фізіологів ВНИС (Г. І. Гнатюк, К. А. Маковецький, В. О. Бюрисюк, В. В. Захарова та ін.) та недавніми дослідженнями А. Ф. Нікітіна, А. В. Куриндіна, П. Н. Ренгача та ін. (Всеросійський НДІ цукрових буряків і цукру) було доведено [125, 163], що раціональною конфігурацією площі живлення буряка є її наближення до квадрата 30×30 см (в ідеалі – коло), що відповідає біологічно обґрунтованій площі живлення рослини (≈ 900 см²) і тому міжряддя посівів БЦ, що до 30-х років минулого століття вирощувались та збирались вручну, мали ширину 30 і 36 см, Такі міжряддя виконували роль як основних, так і технологічних. У середині ХХ-го століття в зв'язку з впровадженням механізації у виробництво БЦ з очевидних причин з'явилися технологічні міжряддя шириною 45 см, які стали також і основними. Наслідком такого «розширення» міжрядь з 30 до 45 см явилось «загущення» рослин вздовж рядків з тим, щоби загалом отримати оптимальну густоту стояння їх (110 тис шт./га, або 5 шт. на 1 м довжини рядка) на площі поля, що є базовим чинником отримання стабільно високої врожайності буряків цукрових. Це, в свою чергу, призвело до відхилення від квадратної форми площі живлення рослини і видовження її перпендикулярно по відношенню до осі рядка і, як наслідок, до зниження урожайності культури.

Як у минулому, так і у теперішній час зворотній перехід до міжрядь шириною всуціль 30 см унеможлиблюється в зв'язку з не технологічністю

проведення основних операцій по догляду за посівами і збирання урожаю та проблемою проходження у міжряддях рушіїв енергетичних засобів і робочих органів просапних та збиральних агрегатів. Але альтернативою є технологія з комбінованими міжряддями і розробка способу виробництва цукрових буряків за такої схеми сівби, що раціонально поєднує /комбінує/ основні (30 см) і технологічні (45 см) міжряддя з урахуванням оптимальної площі живлення кожної рослини та комплексу машин для висіву насіння, догляду за рослинами, збирання гички і коренеплодів при комбінованій ширині міжрядь.

На підставі зазначених теоретико-експериментальних досліджень і приведених висновків, що раціональною формою площі живлення окремої рослини є наближення її до квадрата (30×30 см), і вивчення гіпотетичних можливостей та передумов здійснення ТП догляду за посівами і збирання буряків удосконаленими ТЗ розроблена у співавторстві наступна методика досліджень з вибору раціональної схеми розміщення рослин на площі при комбінованій ширині міжрядь, як альтернативи міжряддям всуціль 30 см [19].

5.1.4. Обґрунтування схеми сівби шляхом поєднання модульних блоків з різною шириною міжрядь

По суті при міжряддях 45 см форма площі живлення рослини у вигляді квадрата забезпечується при співвідношенні сторін рівному 1,0 ($K = 45 \text{ см} / 45 \text{ см} = 1,0$, де: M – міжряддя, l_p – сторона квадрата вздовж рядка, K – співвідношення сторін).

Наближення площі живлення до квадрата, тобто розміщення рослин в рядках з інтервалами 45 см ($K = 1$) значно знижує густоту стояння (до 49,4 тис шт./га), що негативно впливає на продуктивність буряків.

При необхідній густоті стояння рослин БЦ до збирання близькій до 110 тис/га, або 5 шт. на метрі рядка з розміщенням, наприклад, на інтервалах $l_p = 20 \text{ см}$ (для 45 см міжрядь число лінійних метрів на гектарі дорівнює 22222), норма висіву, наприклад, за умови 50 % польової схожості повинна

складати 10–12 шт. Це означає, що в такому випадку конфігурація площі живлення набуває вигляду прямокутника, видовженого в сторону міжрядь з співвідношенням сторін $K = 20 \text{ см} / 45 \text{ см} = 0,44$, що свідчить про значне її відхилення від раціональної площі живлення – квадрата.

При відомому у практиці бурякосіяння способі вирощування БЦ з міжряддями 30–35 см нижча вірогідність зрідження сходів і за малих норм висіву можливе раціональніше розміщення рослин на полі із забезпеченням оптимальної площі їх живлення. В такому випадку для отримання заданої густоти стояння 110 тис шт./га при міжряддях 30 см і раціональній площі живлення рослин, наближеної до квадрата ($K = 30 \text{ см} / 30 \text{ см} = 1,0$) з розміщенням на інтервалах у рядках 30 см, норму висіву насіння за умови невисокої польової схожості можна суттєво знизити до 7–8 шт. на 1 метр рядка.

Таким чином, звужуючи міжряддя апріорі отримуємо наступні істотні перевагами:

- більша довжина рядків дозволяє отримати необхідне число рослин при сівбі на кінцеву густоту з рівномірнішим їх розміщенням на одиниці площі за рахунок компенсації пропусків у суміжних рядках;
- більш раннє змикання листків рослин у міжряддях сприяє зниженню розвитку бур'янів та їх пригніченню і покращенню умов живлення буряків, зокрема забезпеченню вологою;
- збільшення виходу ділових коренеплодів з гектара, придатних до механізованого садіння при висадковому насінництві БЦ.

Однак, при сучасному рівні розвитку технічних засобів і стані комплексної механізації технологічних процесів виробництва буряків цукрових при всуціль звужених основних міжряддях (30 см) складно вирішується проблема механізованого догляду за рослинами і, особливо, збирання врожаю.

Сутність розробленої альтернативної технології виробництва буряків цукрових [19, 20, 56, 74, 183] полягає у чергуванні основних і

технологічних міжрядь у робочому захваті посівного агрегата за схемою (Додатки Ж, 3):

$$B = (nm + M)i, \quad (5.1)$$

де: B – ширина робочого захвату посівного агрегата, м;

n – кількість основних міжрядь у модульному блоці;

m – ширина основних міжрядь = 0,3 м;

M – ширина технологічних міжрядь = 0,45 м;

i – кількість блоків $(nm + M)$, поєднаних у робочому захваті сівалки.

Сівба буряків на задану густину стояння рослин виконується у відповідності до встановленої схеми, при якій площа живлення кожної рослини приймається рівною прямокутнику із співвідношенням сторін $k = 0,9 - 1,2$, що визначається за формулою:

$$k = \frac{l_p}{m} = \frac{10000(n+1)^2}{c(nm+M)^2} \quad (5.2)$$

де: k – співвідношення сторін прямокутника;

l_p – сторона прямокутника, що рівняється сумі двох пів інтервалів відносно сусідніх рослин у рядку або інтервалу між рослинами, см (рис. 5.3);

c – густина стояння рослин, тис шт./га.

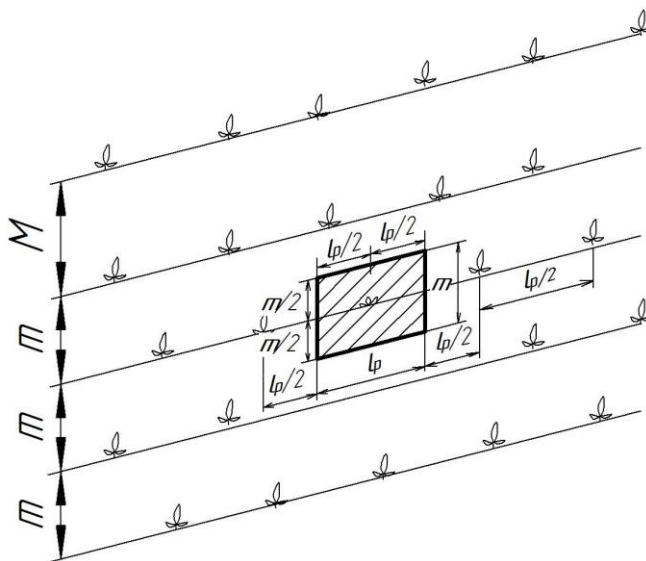


Рис. 5.3. До визначення площі живлення рослини

Наприклад, при $c = 100\,000$ шт/га, $n = 3$, $m = 0,3$ і $M = 0,45$ відповідно до формули (5.2) $k = 0,9$, тобто співвідношення сторін прямокутника площі живлення рослини близьке до квадрата (рис. 5.4).

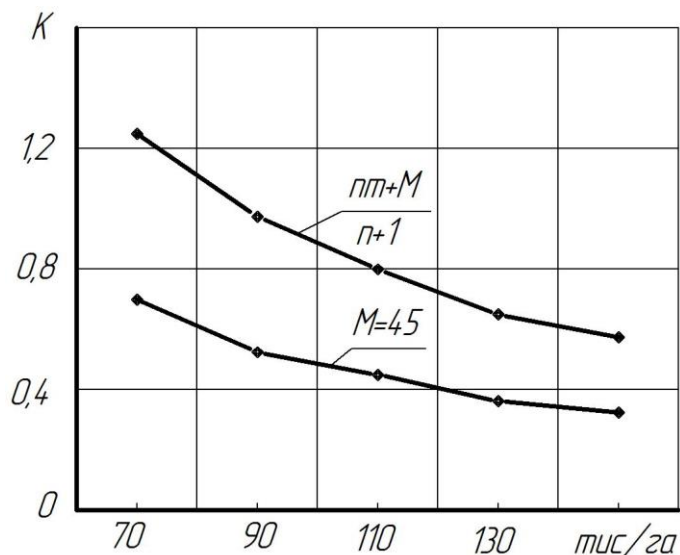


Рис. 5.4. Вплив ширини міжрядь і густоти стояння на співвідношення сторін "К" площі живлення рослин: $K = \frac{l_p}{m} = \frac{l_p(n+1)}{nm+M}$,

де: l_p – сторона прямокутника, яка дорівнює сумі двох півінтервалів відносно рослини в рядку, m ; $m = \frac{nm+M}{n+1}$ – середня ширина міжрядь при комбінованому поєднанні основних $m = 0,3$ м з технологічними $M = 0,45$ м; $n = 3$ – число основних міжрядь у блоці

При такому розміщенні рослин, коли площа живлення кожної з них за формою наближається до квадрата, забезпечується підвищення продуктивності БЦ при гарантованій густоті стояння 100–110 тис. шт./га за рахунок збільшення на площі одного гектара числа лінійних метрів рядка в 1,33 рази або на 33–34 % у порівнянні з 45-сантиметровими міжряддями.

Головною ж перевагою такого поєднання основних міжрядь m з необхідною кількістю технологічних міжрядь M , які в 1,5 рази ширші від основних, є забезпечення механізованого догляду за посівами і збирання урожаю.

За формулою (5.2), яка враховує конфігурацію площі живлення рослини, проведені розрахунки з вибору схеми розміщення рослин при

комбінованій ширині міжрядь за умови різних варіантів поєднання основних m і технологічних M міжрядь. Результати зведені у табл. 5.4.

Таблиця 5.4

Вибір схеми комбінованого поєднання ширини міжрядь в залежності від співвідношення « k » сторін прямокутника площі живлення рослин (густота стояння 100 тис/га)

Параметри формули	Чисельник формули $(n + 1)^2$	Знаменник формули $10(nm + M)^2$	$\frac{(n + 1)^2}{10(nm + M)^2}$	Число лінійних метрів на 1 га
$n = 3$ $m = 0,3$ м $M = 0,45$ м	16	18,225	0,9	29630
$n = 5$ $m = 0,3$ м $M = 0,45$ м	36	38,025	0,95	30770
$n = 5$ $m = 0,3$ м $M = 0,6$ м	36	44,1	0,82	28571
$n = 3$ $m = 0,3$ м $M = 0,6$ м	16	22,5	0,77	26667
$n = 3$ $m = 0,3$ м $M = 0,7$ м	16	25,6	0,63	25000
$n = 3$ $m = 0,3$ м $M = 0,8$ м	16	28,9	0,55	23530

Дані таблиці показують, що у варіантах I і II при поєднанні 3–5 основних міжрядь $m = 0,3$ м в комбінації з технологічним міжряддям $M = 0,45$ м на 7,4–8,5 тис. метрів в порівнянні з 45 см міжряддями збільшується довжина рядків на кожному гектарі при оптимальній густині стояння і площі живлення кожної рослини, близькій за формою до квадрата ($k = 0,9–0,95$), що в цілому забезпечує суттєве підвищення продуктивності цукрових буряків.

5.2. Розробка комплексу машин для реалізації альтернативної технології з міжряддями $3 \times 30 \text{ см} + 1 \times 45 \text{ см}$

5.2.1. Сівалка ССТ-16Б

Сівбу насіння БЦ проводили спеціально переобладнаною на базі серійної вітчизняної сівалки ССТ-12Б по заданій схемі (рис. 5.5) 16-ти рядною сівалкою в агрегаті з трактором Т-70С за швидкості руху 3,5–5,0 км/год.

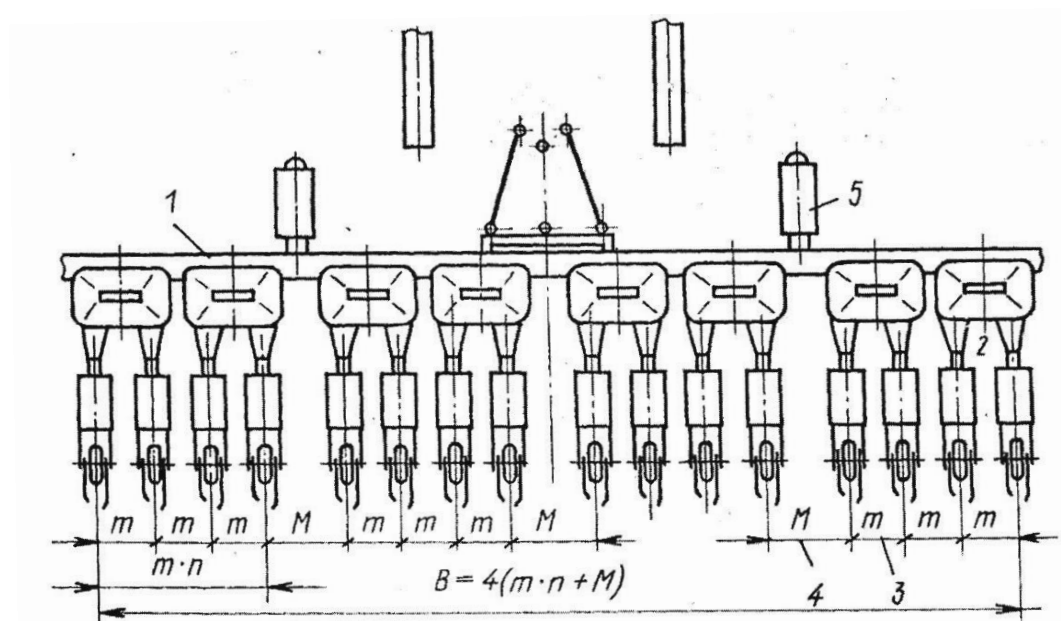


Рис. 5.5. Схема розміщення посівних секцій на рамі сівалки:
1 – основна рама сівалки; 2 – посівна секція; 3 – основне міжряддя ($m = 30 \text{ см}$); 4 – технологічне міжряддя ($M = 45 \text{ см}$); 5 – опорно-привідне колесо

Переобладнання сівалки проводилось наступним чином. По ширині робочого захвату сівалки (5,4 м) розташували шістнадцять посівних секцій при поєднанні чотирьох блоків з трьох міжрядь по 30 см та одним міжряддям 45 см. Для цього на рамі сівалки переставили опорно-привідні колеса на колію 2,7 м, а посівні секції розмістили за відповідною схемою (рис. 5.5), скоротивши довжину приводних вальців (рис. 5.6).

Співвідношення міжрядь 30 і 45 см складає 3:1 при середній їх ширині 33,75 см. Довжина рядків становить 29630 м на одному гектарі, що на 7410 м більше, ніж при міжряддях 45 см.



Рис. 5.6. 16-тирядна сівалка ССТ-16Б в агрегаті з трактором Т-70С

5.2.2. Культиватор УСМК-5,4Б (В)

Рихлення міжрядь при догляді за посівами проводили переобладнаним 16-рядним культиватором УСМК-5,4Б в агрегаті з Т-70С. (рис. 5.7).

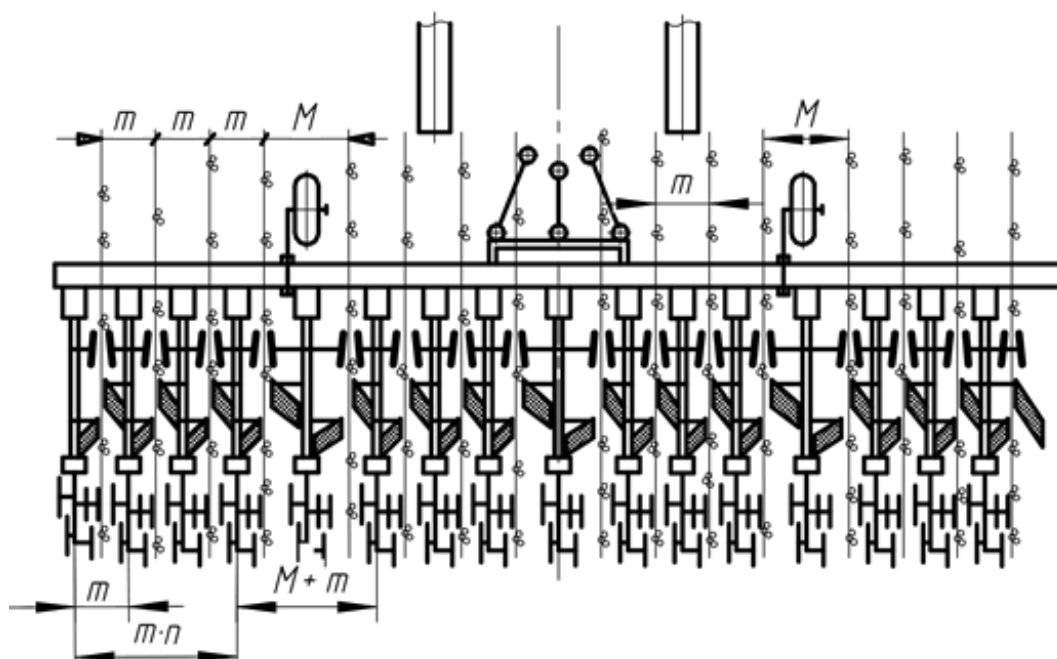


Рис. 5.7. Схема розміщення робочих органів на рамі культиватора для проведення рихлень міжрядь

На грядилях культиватора кріпились спеціально виготовлені оригінальні односторонні плоскорізальні лапи і захисні диски з метою запобігання присипання рослин у зоні рядків.

5.2.3. Гичкозбиральна машина БМ-6А (В)

У ДКБ Інституту цукрових буряків та СКБ ВО «Тернопільський комбайновий завод» за розробленими автором технологічними схемами модернізували комплекс серійних збиральних машин: коренезбиральну – КС-6Б-05; гичкозбиральну – БМ-6А і двохвальний очищувач головок коренеплодів ОГД-6 [52, 56] (рис. 5.8).



Рис. 5.8. Експериментальний комплекс восьмирядних збиральних машин: самохідна коренезбиральна; причіпна гичкозбиральна; причіпний доочищувач головок коренеплодів

На основі попередніх результатів досліджень (Розділ 4) кожна із двох секцій гичкозбиральної машини складена із чотирьох різальних апаратів для безкопірного зрізування гички, виконаних у вигляді трьох прямокутних шаблеподібних ножів, змонтованих під кутом 120° один до одного.

Агрегатується машина з трактором Т-70С при боковому зміщенні вліво відносно центральної осі машини на 675 мм (половина ширини колії трактора), що дозволяє лівій гусені трактора рухатись по зібраному полю, а правій – по технологічному міжряддю 45 см (рис. 5.9).

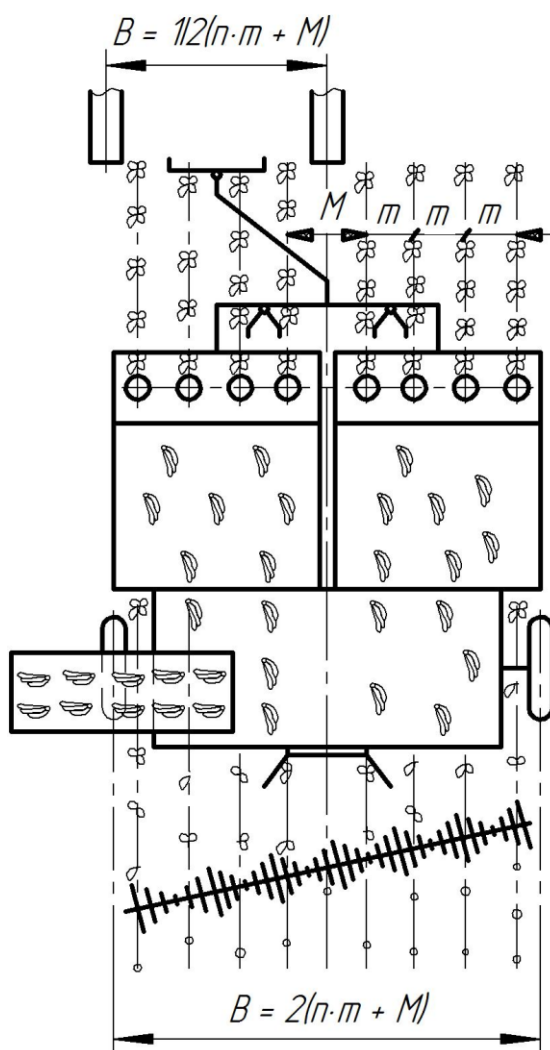


Рис. 5.9. Технологічна схема гичкозбирального агрегата

Висота ножів відносно поверхні поля регулювалась опорно-копіювальними колесами з таким розрахунком, щоб відходи маси голівок коренеплодів при зрізуванні не перевищували 0,5–1,0 % (норматив АТВ). Швидкість руху агрегата – до 5,3 км/год.

5.2.4. Очищувач головок коренеплодів ОГД–6 (В)

Очищувач головок коренеплодів двохвальний, переобладнаний із навісного ОГД–6 у причіпний 8-ми рядний з опорно-копіювальними колесами, що мимовільно спрямовуються вздовж міжрядь коренеплодів. Агрегатується очищувач з трактором Т–70С при боковому зміщенні, аналогічному до гичкозбиральної машини (рис. 5.10).

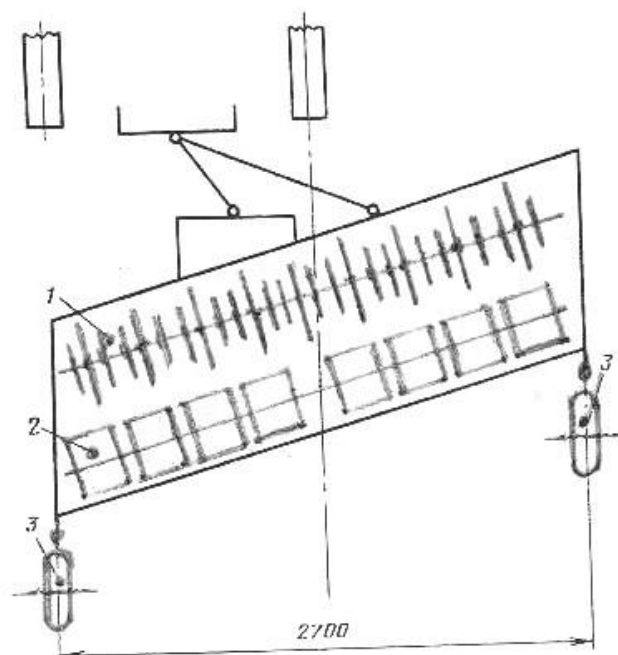


Рис. 5.10. Схема переобладнаного причіпного двохвального очищувача в агрегаті з трактором Т-70С: 1 – передній вал з суцільним набором очисних елементів; 2 – задній вал з посекційним набором очисних елементів; 3 – опорно-копіювальні колеса

5.2.5. Коренезбиральна машина КС-6Б-05 (В)

Для переобладнання коренезбиральної машини КС-6Б-05 у восьмирядну виготовили балку переднього моста на ширину колії 2,7 м (рис. 5.11).



Рис. 5.11. Переобладнана коренезбиральна машина КС-6Б-05 (В) в роботі

Викопувальні робочі органи машини виконані у вигляді сферичних дисків у поєднанні зі стрільчастими підкопувальними лапами (рис. 5.12) (див. Розділ 4) і розташовані на рамі за схемою, приведеною на рис. 5.13.



Рис. 5.12. Викопувально-очисні робочі органи типу «підкопувальна лапа – сферичний диск – турбіна /очищувач/»

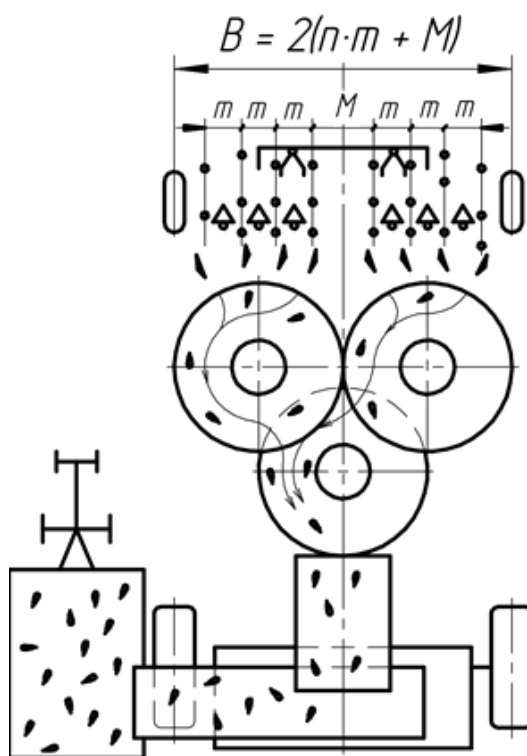


Рис. 5.13. Технологічна схема коренезбиральної машини

Від землі і рослинних решток щойно викопані коренеплоди очищаються за допомогою трьох пруткових турбін з вертикальною віссю обертання (рис. 5.12, 5.13). Для забезпечення поперечної стійкості ходу рама копачів фіксується боковими розтяжками.

Результати досліджень з визначення технологічних показників якості роботи експериментального комплексу машин наведені у наступному підрозділі.

5.3. Дослідження виробничих посівів з комбінованими міжряддями і їх оцінка за співвідношенням «*K*» сторін прямокутника площі живлення

Для експериментальної перевірки ефективності пропонованої альтернативної технології проводились демонстраційні виробничі дослідження у господарствах різних зон буракосіяння України: «Перемога» Дубнівського району Рівненської області (достатнє зволоження) – на площі 50 га; Білоцерківська ДСС Київської області (нестійке зволоження) – 30 га (Додаток К); ім. Іваненка Миргородського району Полтавської області (недостатнє зволоження) – 50 га.

Дослідження проводились з використанням машин, описаних у попередньому підрозділі 5.3 і насіння сорту Уладівський однонасінний 35 (фракція 3,5–4,5 мм, лабораторна схожість 86 %), обробленого фураданом.

Сівбу проводили за семою варіанта I (табл. 5.4), коли середня ширина міжряддя дорівнює:

$$m = \frac{nm + M}{n + 1} = \frac{3 \times 30 + 45}{3 + 1} = 33,75 \text{ см}, \quad (5.3)$$

де: $n = 3$ – число основних міжрядь у модульному блоці; m – ширина основних міжрядь, 30 см; M – ширина технологічного міжряддя, 45 см.

За такої схеми розміщення рослин число погонних метрів рядка складає 29630 на одному гектарі, що на 7410 більше, ніж за звичайної технології з міжряддями 45 см.

Варіантами дослідів передбачалась сівба на кінцеву густоту стояння

рослин при нормі висіву 8–10 і 10–12 насінин на один метр рядка, щоб отримати до збирання 100–130 тис рослин на гектарі. На контролі (ширина міжрядь 45 см) норма висіву встановлювалася так, щоби до збирання густота стояння рослин була теж такою.

Перед збиранням визначали біологічну врожайність методом облікових майданчиків з розмірами по ширині 2,7 м і довжині 5,0 м, розташованих по діагоналі поля у 8-кратній повторності, а також закономірності зміни параметрів розміщення коренеплодів в рядках (відстань між коренеплодами, положення їх головок відносно поверхні ґрунту і відхилення від умовної осьової лінії рядків.

Оцінку різниці біологічної врожайності цукрових буряків залежно від густоти стояння рослин на полі при ширині міжрядь пропонуваній, наприклад, за схемою по формулі (5.3) в порівнянні зі звичайною шириною міжрядь ($M = 45$ см) і по співвідношенню сторін площі живлення рослин з урахуванням її конфігурації за коефіцієнтом проводили дисперсійним і різницеvim аналізами.

$$K = \frac{S(n+1)}{c(nm+M)} = 0,9 - 1,2. \quad (5.4)$$

Результати обробки показали, що прибавка врожайності буряків є істотною і складає 55,3 ц/га на користь комбінованих міжрядь. Вочевидь на прибавку врожайності при запропонованій технології вирощування БЦ з комбінованою шириною міжрядь позитивно впливає оптимізація площі живлення рослин з близькою до квадрата її конфігурацією.

При оцінці середніх значень конфігурації площі живлення за коефіцієнтом « K » при комбінованій і звичайній ширині міжрядь значення критерія істотності « t » було більше трьох і становило $t = 4,6$ (табл. 5.5). Це свідчить про те, що наближення площі живлення кожної рослини до квадрата за умов пропонуваної технології вирощування БЦ, є істотним на рівні ймовірності 0,99.

Експериментальні дослідження параметрів розміщення коренеплодів в рядках (рис. 5.14–5.16) показали, що відстань між рослинами в рядках

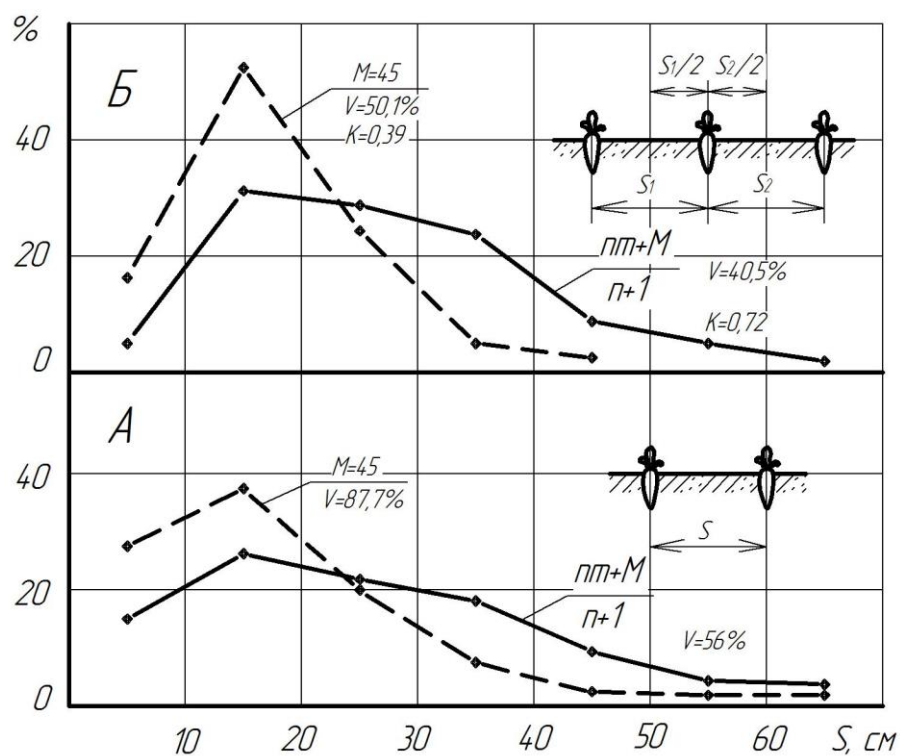


Рис. 5.14. Розподіл інтервалів "S" між осями коренеплодів (А) і суми двохсторонніх напівінтервалів $\frac{S_1}{2} + \frac{S_2}{2}$ відносно коренеплода в рядку (Б):

«K» – співвідношення сторін прямокутника площі живлення рослин;

V – значення коефіцієнтів варіації; M – звичайна (45 см) ширина міжрядь;

$\frac{nm+M}{n+1}$ – комбінована ширина міжрядь

Таблиця 5.5

Оцінка конфігурації площі живлення буряка цукрового за коефіцієнтом «K»

Технології виробництва	Середнє значення коефіцієнта «K»	Різниця середніх, $d = k_1 - k_2$	Середнє квадратич. відхилення σ	Помилки середніх вибірових $\varepsilon_1 - \varepsilon_2$	$t = \frac{K_1 - K_2}{\sqrt{\varepsilon_1^2 + \varepsilon_2^2}}$
З комбінованою шириною міжрядь	0,93	0,41	0,23	0,08	4,6
Зі звичайною шириною міжрядь	0,52		0,13	0,045	

значно впливає на форму площі живлення, розташування головок коренеплодів відносно поверхні ґрунту та їх відхилення від умовної осової лінії рядка.

Слід зазначити, що при комбінованій ширині міжрядь за рахунок збільшення числа погонних метрів рядків на гектарі до 30 % можливий допуск відстаней між коренеплодами $S = 30$ см, що дозволяє навіть у цьому випадку отримати на одному метрі більше трьох рослин і в цілому до збирання густоту стояння 100 тис/га.

Однак метод оцінки стану посівів за густотою стояння дуже приблизний. Так, при одній і тій же густоті стояння врожайність коренеплодів між варіантами нерідко істотно відрізняється. Вона в значній мірі залежить як від рівномірності розміщення рослин у рядках, так і їх розташування щодо центру площі живлення. Наприклад, при 45 см ширині міжрядь густота стояння у варіантах дослідів була практично рівною – 127,0 і 128,5 тис/га з площею живлення рослин в середньому 801 і 778,5 см², а врожайність коренеплодів при цьому склала 455 і 502 ц/га. Різницю врожайності між варіантами без врахування побічних чинників можна пояснити збільшенням нерівномірності розміщення рослин у рядках в середньому на 10 % за коефіцієнтом варіації (з $V = 56,1$ % до 67,7 % – по інтервалах між коренеплодами і з $V = 40,5$ % до 50,1 % – по площі живлення) (рис. 5.14).

При однаковій густоті стояння сторона прямокутника площі живлення рослин уздовж рядка за комбінованих міжрядь дорівнює в середньому 24,4 см, а при звичайних 45 см міжряддях – 17,6 см із співвідношенням сторін відповідно $K_1 = 0,72$ і $K_2 = 0,39$, тобто за комбінованої ширини міжрядь співвідношення сторін прямокутника площі живлення рослин « K » в 1,8 рази перевищує значення для звичайної ширини міжрядь. Зазначене свідчить про рівномірніше розміщення рослин з наближеною до квадрата площею живлення (рис. 5.14), що сприяло підвищенню продуктивності буряків (табл. 5.6).

Рівномірніше розміщення рослин у рядках з близькими до ширини міжряддя інтервалами вплинуло також на зменшення відхилень коренеплодів від умовної осрової лінії рядка.

Таблиця 5.6

**Оцінка за різницею біологічної урожайності буряків цукрових
залежно від густоти стояння і ширини міжрядь**

Густота стояння рослин, тис/га	Урожайність (ц/га) при міжряддях		Різниця урожай- ності «d», ц/га	Квадрат різниці «d ² »	Співвідношення сторін площі жив- лення за коефіці- єнтом «K»	
	Комбіно- ваних 3×30+45 см	Звичай- них 45 см			Комбі- новані міжряддя	Звичайні міжряддя
60-70	526	468	+58	3364	1,35	0,75
70-80	541	490	+51	2601	1,17	0,66
80-90	550	496	+54	2916	1,03	0,58
90-100	561	482	+79	6241	0,92	0,52
100-110	541	474	+67	4489	0,84	0,47
110-120	501	470	+31	961	0,76	0,43
120-130	494	448	+46	2116	0,70	0,4
130-140	435	378	+57	3249	0,65	0,36
НСР ₀₁			17,5			

Так, якщо при звичайній ширині міжрядь на величину $\pm 40\text{--}50$ мм відхилялось 6,5 % коренеплодів, то при комбінованій – 1,5 % або у 4,3 рази менше, що є дуже важливим чинником для якісного проведення технологічних процесів зрізування гички і викопування коренеплодів (рис. 5.15).

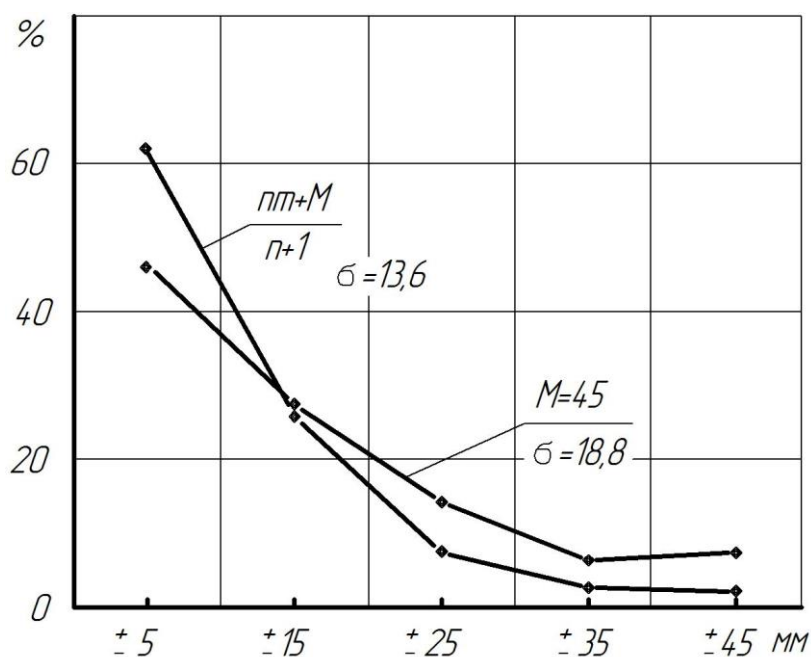


Рис. 5.15. Розподіл відхилень коренеплодів від умовної осьової лінії рядків при комбінованій $\left(\frac{nm+M}{n+1}\right)$ і звичайній ($M = 45$ см) ширині міжрядь

Аналогічна закономірність спостерігається і по ступеню варіювання відхилень висоти виступання головок коренеплодів відносно поверхні ґрунту (рис. 5.16)

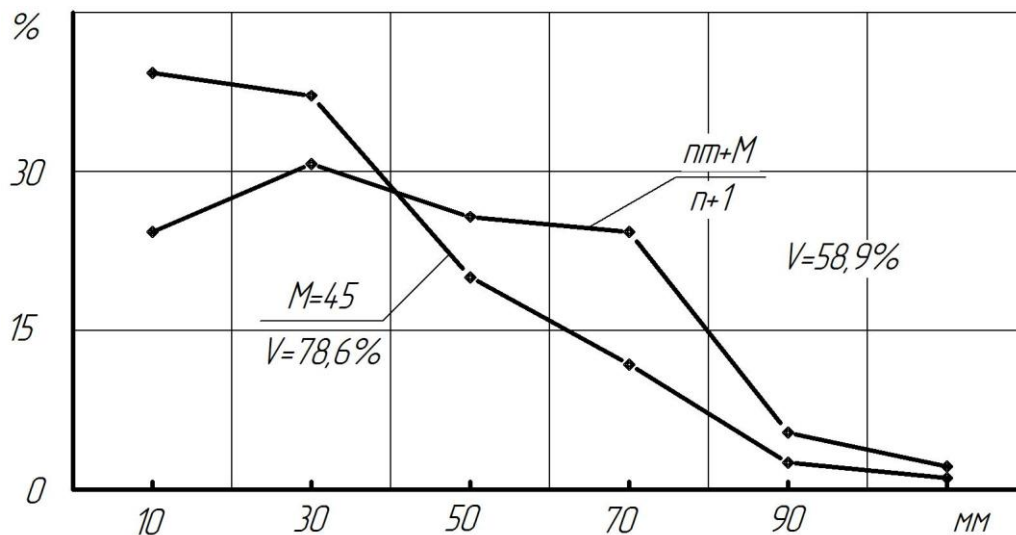


Рис. 5.16. Розподіл коренеплодів за висотою розташування головок відносно поверхні ґрунту і ступінь їх варіювання (V , %) при комбінованій $\left(\frac{nm+M}{n+1}\right)$ і звичайній ($M = 45$ см) ширині міжрядь

Найбільшою проблемою, яка довгий час вважалась невирішеною при переході на комбіновані (звужені) міжряддя, є розробка збиральних машин, особливо їх робочих органів для зрізування гички і викопування коренеплодів, які за своїми габаритами “не вписуються” в такі міжряддя, а корегування призводить до відхилення від оптимальних параметрів.

Проведеними дослідженнями комплексу модернізованих серійних машин доведена можливість збирання вирощених з комбінованою шириною міжрядь буряків цукрових при прийнятній якості збирання гички, доочищення коренеплодів і їх викопування (табл. 5.7) [19, 20].

Проте, для широкого впровадження такої технології необхідна розробка нового, досконалого, менш металомісткого вітчизняного комплексу збиральних машин, особливо коренезбиральних, які дотепер є, в основному, самохідними і мають масу понад 10 т, бо розроблені за аналогами надто складних і потужних бункерних комбайнів провідних

західноєвропейських фірм, що на протязі останніх 10–15 років безроздільно панують на бурякових полях України.

Таблиця 5.7.

Якість роботи модернізованих збиральних машин

Показники	БМ-6А(В) з очищувачем + КС-6Б-05(В)	БМ-6А(В) з очищувачем + ОГД-6(В) + КС-6Б-05(В)
Склад зібраного вороху, %:		
– коренеплоди	80,9	89,2
– частини коренеплодів	1,8	2,6
– земля	9,2	6,2
– гичка і рослинні залишки	8,1	2,0
Кількість коренеплодів зі зрізом, %:		
– нормальним	20,3	76,1
– низьким	3,4	8,5
– високим	76,3	15,4
Відходи маси головок		
– у гичку при зрізуванні, %	0,2	0,4
Втрати коренеплодів, %:		
– після БМ-6А(В) і очищувачів	1,4	5,2
– після КС-6Б-05(В)	5,2	5,6

При видаленні гички машиною БМ-6А(В) на підвищеному бескопірному зрізі без подальшого проходу двохвального очищувача і збирання коренеплодів машиною КС-6Б-05(В) загальна забрудненість бурякової сировини склала 17,3 %, в тому числі зеленою масою 8,1 % (табл. 5.7). З включенням в роботу двохвального очищувача забрудненість вороху зеленою масою знизилася до 2 %, що в 1,5 рази менше допустимої межі. Зменшилась також кількість коренеплодів з високим зрізом і забрудненість вороху грудками землі. Однак при цьому число вибитих з ґрунту та зметених на прибране поле коренеплодів стало на 3,8 % більше.

5.4. Висновки до розділу

Розроблений комплекс машин і впроваджена у виробництво нова (патент України на винахід № 5132) альтернативна технологія виробництва буряків цукрових з комбінуванням /поєднанням/ міжрядь основних (30 см) і технологічних (45 см) за схемою 3×30см+1×45см в

одному захваті 16-рядного посівного агрегату і культиватора для міжрядного обробітку та 8-рядних машин для роздільного збирання гички і коренеплодів (Додатки І, К).

Встановлено, що при комбінованих міжряддях посівів буряків цукрових значно інтенсивніше розвивається робоча листкова поверхня, особливо на початку другої половини вегетації внаслідок ранішого змикання листків у міжряддях. В цей період та після нього відбувається найбільш суттєве в порівнянні із звичайними міжряддями наростання маси сухої речовини. За таких умов цілком виправдана мала норма висіву насіння (8–10 шт/м), яка навіть при деякому ризику отримання зріджених сходів дозволяє сформувати оптимальну густоту стояння рослин (100–110 тис/га), завдяки висіву насіння з обґрунтованою, близькою до квадрата площею живлення рослин, і додатково отримати з кожного гектара 5,0–6,0 т коренеплодів з більш вирівняними розмірами і підвищеною на 0,4–0,6 пункти цукристістю.

Важливо відмітити, що вирощування маточних цукрових буряків за такою ж схемою сівби, але за умови отримання до збирання 5–6 рослин на метрі забезпечує збільшення на 40–50 % вихід ділових коренеплодів, придатних до машинного садіння при висадковому насінництві, що дозволяє вдвічі скоротити площі посівів маточних буряків.

РОЗДІЛ 6

ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ СУЧАСНИХ МЕХАНІЗОВАНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ВИРОЩУВАННЯ ТА ЗБИРАННЯ БУРЯКІВ ЦУКРОВИХ

Відомо, що розширене виробництво бурякоцукрової галузі можливе лише за рівня рентабельності не нижчому 20–30 %. Щоб забезпечити таку рентабельність, слід отримувати коренеплодів понад 35 т/га. З іншого боку, підвищення врожайності тісно пов'язане з додатковими витратами на придбання технічно досконаліших технічних засобів (ТЗ) та впровадження нових технологічних прийомів та сучасних високоякісних матеріалів.

Виходячи із зазначеного, запропоновані наступні підходи до вирішення проблеми оптимізації технологій:

- ✓ забезпечити достатній рівень урожайності, застосовуючи в межах існуючих технологій технологічні прийоми та технічні засоби, які не потребують значних витрат коштів, коли основним критерієм оптимізації є мінімум додаткових капіталовкладень;
- ✓ зменшити собівартість продукції, підвищуючи рівень виконання технологічних операцій, впроваджуючи більш ефективні технологічні прийоми та технічні засоби. Такий шлях не можна реалізувати за допомогою застарілої та фізично зношеної техніки, адже він потребує додаткових разових витрат на придбання нової техніки. Тобто повинен бути вибраний такий мінімум, який гарантував би підвищення врожайності та швидку окупність додаткових витрат. Критерієм оптимізації при цьому є забезпечення мінімуму собівартості продукції при одночасному підвищенні врожайності;
- ✓ забезпечити максимально можливу врожайність, використовуючи всі основні чинники і зводячи до мінімуму можливі втрати біокліматичного потенціалу культури. Впровадженням таких технологій передбачає застосування на всіх ключових операціях

нових машин, що відповідають світовому рівню виробництва. Критерієм вибору такої технології є максимальна врожайність.

6.1. Класифікація моделей найтипівіших технологій за рівнем матеріально-технічного забезпечення

Запропоновані підходи до вирішення важливої проблеми оптимізації технологій виробництва цукрових буряків відображають реальну картину в сільськогосподарському виробництві, де спостерігається значне розшарування підприємств за рівнем доходів, відповідно, і за рівнем забезпеченості матеріально-технічними ресурсами [190, 192, 193].

Розглянувши за такими критеріями оптимізації весь спектр технологічних операцій із урахуванням раніше отриманих результатів досліджень впливу окремих факторів на величину прямих експлуатаційних витрат і витрат на впровадження, варто виділити три найтипівіші варіанти технологій вирощування та збирання цукрових буряків – на базі серійних, нових вітчизняних й зарубіжних машин (табл. 6.1) [199].

Таблиця 6.1

Моделі гнучких технологій вирощування та збирання буряків цукрових

Основні технологічні операції	Варіанти технологій та технічні засоби для їх виконання		
	<i>Технологія на базі серійних машин</i>	<i>Технологія на базі нових вітчизняних машин</i>	<i>Технологія на базі зарубіжних машин</i>
	Склад агрегатів		
Лущення стерні	T-150K+БДТ-7	ХТЗ-121+БДВ-6	ХТЗ-17221+БДВ-6
Внесення мінеральних добрив	МТЗ-80+ПФ-0.75; МТЗ-80+АИР-20; T-150K+РУМ-8	МТЗ-1025+ПФ-0,75; МТЗ-1025+АИР-20; ХТЗ-121+РУМ-8	МТЗ-1025+ПФ-0.75; МТЗ-1025+АИР-20; ХТЗ-17221+РУМ-8
Внесення органічних добрив	ДТ-75М+ПБ-35; T-150K+ПРТ-10-1	ХТЗ-121+ПБ-35; ХТЗ-17221+ПРТ-10-1	ХТЗ-17221+ПБ-35; ХТЗ-17221+ПРТ-10-1
Оранка, вирівн. борозен та гребенів	T-150K+ПЛН-5-35; T-150K+ВПН-5.6	ХТЗ-17221+ПРПВ-4-50; ХТЗ-17221+ВПН-5.6	ХТЗ-17221+ В-019+В-465
Культивація зябу	T-150+СП-11+ +ЗКПС-4+БЗСС-1.0	ХТЗ-17221+КШП-8.1	ХТЗ-17221+КШП-8.1
Ранньовесняний обробіток ґрунту	T-150+СГ-21+ +БЗСС-1,0	ХТЗ-17221+АРВ-8.1-01	—

I. Технологія на базі серійних машин потребує мінімуму капіталовкладень і базується на застосуванні традиційних технологічних прийомів та технічних засобів, зниження норм висіву насіння до 10–12 шт. на 1 м рядка, що дає змогу зменшити витрати на формування густоти стояння та виключити з технологічної карти операцію досходових боронувань. Бур'яни знищують, застосовуючи міжрядні обробітки та ручне прополювання. Збирають буряки цукрові вітчизняними машинами роздільним способом (зрізування гички, викопування коренеплодів з їх навантаженням).

II. Технологія на базі нових вітчизняних машин забезпечує найменшу собівартість. Така технологія прийнятна для підприємств середнього достатку (з рівнем рентабельності 10–15 %). Вона базується на застосуванні для ранньовесняного та передпосівного обробітків ґрунту агрегатів АРВ-8,1-01 і АРВ-8,1-02, використанні для сівби пневматичних сівалок, дражованого насіння, комбінованого способу боротьби з бур'янами (смугове внесення гербіцидів одночасно з міжрядними обробітками, ручне прополювання). Збирають буряки цукрові вітчизняними машинами для валкової технології (зрізування гички, викопування коренеплодів з їх валкуванням, підбирання валків), які дешевші порівняно з іншими бурякозбиральними машинами.

III. Технологія на базі зарубіжних машин забезпечує максимальну урожайність і стійкість проти негативних факторів. Така технологія базується на використанні гербіцидів, насіння високопродуктивних сортів, зарубіжної високоефективної техніки (оборотних плугів, комбінованих агрегатів для передпосівного обробітку ґрунту, пневматичних сівалок точного висіву, обприскувачів, бурякозбиральних машин), що гарантує високу якість виконання технологічних операцій, технологічну й технічну надійність. Впровадження такої технології потребує значних витрат на придбання нових машин, забезпечуючи значне підвищення урожайності коренеплодів (до 60–70 т/га).

6.2. Аналіз ефективності сучасних технологій виробництва буряків цукрових за показниками експлуатаційних витрат

Оцінювали ефективність варіантів технологій за рівнем прямих експлуатаційних витрат на одиницю площі та на одиницю продукції за різних рівнів урожайності й застосування різних типів технічних засобів.

Встановлено, що всі без винятку технічні засоби придатні для застосування в будь-якому з вищеназваних типів технологій. Практичне здійснення такого маневрування технічними засобами в різних варіантах технологій обмежується лише економічною доцільністю.

Наприклад, за умов застосування на збиранні цукрових буряків порівняно дешевого комплексу машин для валкової технології на базі машин АЗК-6-01 та АЗК-6-03 вітчизняного виробництва зменшуються експлуатаційні витрати на виконання цієї операції на 28–41 % з розрахунку на одиницю площі порівняно з іншими бурякозбиральними комплексами. Використання дорогого енергонасиченого бункерного комбайна SF-10 є доцільнішим при збиранні буряків цукрових на високоврожайних площах, що доведено вище (Розділи 1, 4).

Таким чином, результати порівняння досліджуваних моделей технологій засвідчили (табл. 6.1), що за умови впровадження технологій на базі нових вітчизняних і зарубіжних машин через додаткові витрати на придбання техніки й технологічних матеріалів прямі експлуатаційні витрати на одиницю площі зростали порівняно з традиційною технологією на базі серійних машин (21503 грн.) і становили 22749 і 38016 грн. відповідно (Додаток Б).

Проте, завдяки підвищенню врожайності прямі експлуатаційні витрати з розрахунку на одиницю продукції знижувалися, передусім за рахунок значного зниження затрат праці при догляді за посівами буряків (рис. 6.1).

Одним із резервів підвищення показників економічної ефективності вітчизняних бурякозбиральних машин є відмова від використання гички як

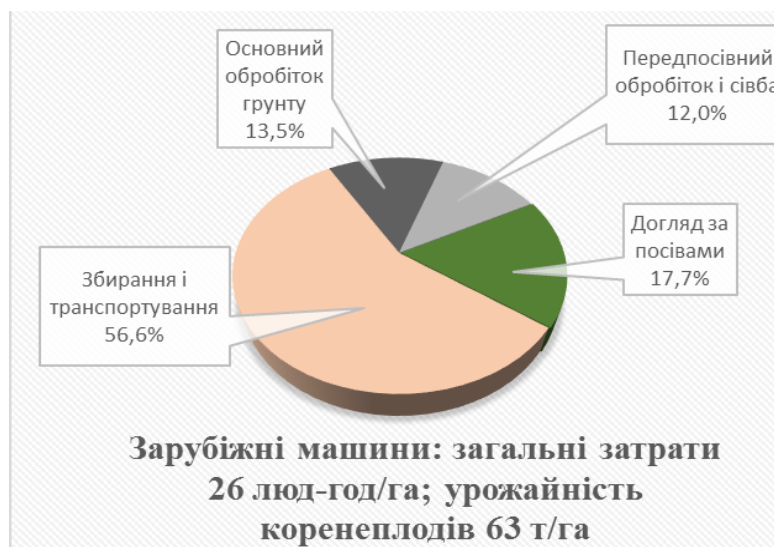
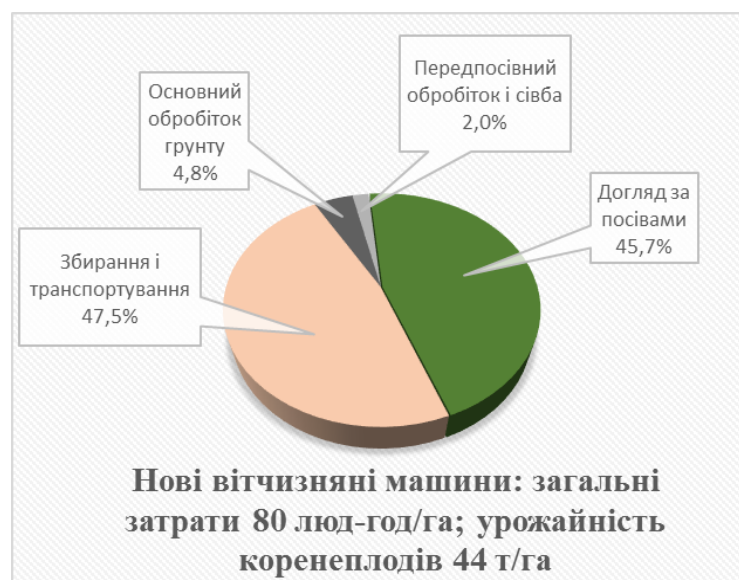


Рис. 6.1. Структура затрат праці за видами технологій залежно від задіяного комплексу машин

корму для тваринництва. В результаті досліджень встановлено, що за використання коренезбиральної машини РКМ-6-01 у комплексі з простою та надійною гичкозбиральною машиною МБП-6 для розкидання гички по полю завдяки підвищенню продуктивності комплексу машин та виключенню технологічних операцій із заготівлі й силосування гички можна забезпечити на збиранні буряків цукрових зниження витрат пального на 32 %, затрат праці – на 43 %, прямих експлуатаційних витрат – на 38 % [39, 42].

Аналіз показників питомої витрати палива показує переваги технологій, при яких не застосовується технологічний транспорт. Найбільш економічно вигідним є однофазний спосіб збирання із застосуванням самохідного бункерного комбайна КБС-6. Слід зазначити що впровадження нового комплексу машин для двофазного збирання (КБ-6+МГР-6-04) дозволяє зменшити витрати палива на 26,34 кг/га порівняно з серійним (КС-6Б+БМ-6Б+ОГД-6А+ПТС-6А – 4 шт.).

Суттєвим недоліком двофазної технологи збирання буряків цукрових є необхідність залучення значної кількості одиниць техніки і, як результат, збільшення затрат праці.

Затрати праці при комбайновому способі збирання становлять від 1,25 до 3,57 люд-год/га, а при двофазному – від 3,75 до 5,25 люд-год/га.

При застосуванні комбайна КБС-6 затрати праці є в 4,2 рази меншими порівняно із застосуванням серійного комплексу машин для роздільного збирання гички і коренеплодів.

6.3. Впровадження нової бурякозбиральної техніки – шлях підвищення рентабельності виробництва буряків цукрових

На Львівській МВС (2005-2006 рр.) у виробничих умовах досліджували бурякозбиральну техніку різного агрегування виробництва ВАТ «ТеКЗ». Технічні і технологічно-експлуатаційні показники машин наведені в табл. 6.2. [37, 38].

Таблиця 6.2

Показники призначення бурякозбиральних машин

Показники	Значення показників							
	<i>Бурякозбиральні комбайни</i>			<i>Коренезбиральні машини</i>		<i>Гичкозбиральні машини</i>		<i>Очисник головок коренеплодів</i>
	КБ С-6	КС-6Б-10	КБ-2	КС-6Б	КБ-6	БМ-6Б	МГР-6-04	ОГД-6А
Тип машини	самохідні		причіпний	самохідні		причіпна	напівнавісна	навісний
Джерело енергії	ЯМЗ-238	ЯМЗ-236 НБ	МТЗ-82	ЯМЗ-236 НБ		МТЗ-82	МТЗ-82	МТЗ-82
Ширина захвату, м	2,7		0,9	2,7		2,7		2,7
Конструкційна маса, т	14	11,5	5,4	9,1	11,9	3,1	1,3	0,8
Продуктивність, га: – за годину основного часу – за годину змінного часу	1,62	1,51	0,54	1,81	1,62	1,81	1,67	1,81
	0,80	1,04	0,28	1,34	0,80	1,34	1,39	1,34
Питома витрата палива за змінним часом, кг/га	21,76	18,3	25,71	12,21	16,2	7,07	6,74	5,98

Дослідження проводили в діапазоні вологості фунту від 20,0 до 25,6 % і твердості поверхневого шару ґрунту від 0,9 до 2,3 МПа. Швидкість руху збиральних машин становила від 5 до 11 км/год. але в конкретних умовах збирання БЦ використовували швидкості, при яких одержували найкращі показники якості виконання технологічного процесу: 6,7 км/год - машини КС-6Б, БМ-6Б5, ОГД-6А; 6,0 км/год –КБС-6, КБ-6, КБ-2; 5,6 км/год - КС-6Б-10; Забрудненість вороху коренеплодів для бурякозбиральних комбайнів становила від 6,9 до 84 %, для комплексу машин при двофазному збиранні – від 5,3 до 9,8 %. Втрати маси

коренеплодів машинами для однофазного збирання знаходились в межах від 1,3 до 3,6 %, а для двофазного – від 1,3 до 2,4 %. Пошкодження коренеплодів за всіма системами машин для однофазного збирання становили від 3,9 до 5,5 %, для двофазного збирання – від 2,2 до 4,8 %.

Найвища продуктивність за годину змінного часу (1,34 га/год) одержана при застосуванні серійного комплексу машин КС-6Б+БМ-6Б для двофазного збирання БЦ. Однак, дана технологія вимагає застосування значної кількості збиральних машин і транспортних агрегатів. Це призводить до перевитрат палива та матеріально-технічних і людських ресурсів, адже комплекс бурякозбиральних машин КС-6Б+БМ-6Б+ОГД-6А потребує застосування, як мінімум, чотирьох транспортних агрегатів МТЗ-80+ПТС-6А для відвезення гички до місць силосування і коренеплодів у польові кагати. Питома витрата палива за змінним часом транспортних агрегатів становить 0,66 кг/т (для вивезення гички) і 0,42 кг/т (для відвезення коренеплодів). При урожайності 20 т/га гички і 40 т/га коренеплодів для їх транспортування необхідно витратити відповідно 13,2 і 16,8 кг/га палива. Отже, при збиранні БЦ із застосуванням серійного комплексу машин тільки на транспортні перевезення витрачається 30 кг/га палива, чим підтверджується викладене у попередньому Підрозділі 6.2, в той час як збирання бункерним комбайном КС-6Б-10 потребує застосування всього двох транспортних агрегатів, питома витрата палива яких складає 19,2 кг/га.

Аналіз показників питомої витрати палива (табл. 6.2) показує переваги технологій, при яких не застосовується технологічний транспорт. Найбільш економним є однофазний спосіб збирання із застосуванням самохідного комбайна КБС-6. Слід зазначити що впровадження нового комплексу машин для двофазного збирання (КБ-6+МГР-6-04) дозволяє зменшити витрати палива на 26,34 кг/га порівняно з серійним (КС-6Б+БМ-6Б+ОГД-6А+ПТС-6А – 4 шт.).

Суттєвим недоліком двофазної технології збирання цукрових буряків є необхідність залучення значної кількості одиниць техніки і, як результат, збільшення затрат праці. Діаграма затрат праці при різних технологіях збирання наведена на рис. 6.2. Так, затрати праці при комбайновому способі збирання становлять від 1,25 до 3,57 люд-год/га, а при двофазному – від 3,75 до 5,25 люд-год/га. Затрати праці при застосуванні комбайна КБС-6 в 4,2 рази менші порівняно із застосуванням серійного комплексу машин.

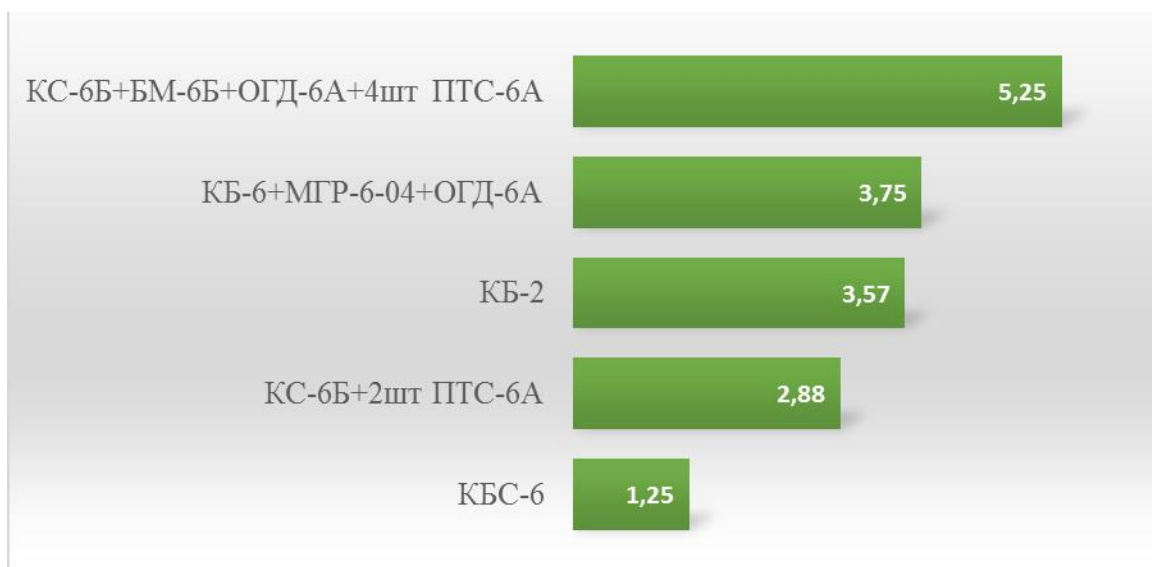


Рис. 6.2. Затрати праці на збиранні залежно від застосовуваних вітчизняних машин, люд-год/га

Таким чином, впровадження енергоресурсозберігаючих технологій збирання врожаю БЦ із застосуванням нової вітчизняної техніки сприятиме зменшенню затрат при їх виробництві і, як наслідок, підвищенню рентабельності галузі буряківництва в цілому.

6.4. Висновки до розділу

Порівняльними дослідженнями моделей технологій з різним рівнем матеріально-технічного забезпечення встановлено, що за умов впровадження технологій на базі нових вітчизняних і зарубіжних машин через додаткові витрати на придбання техніки та технологічних матеріалів прямі експлуатаційні витрати на одиницю площі зростають порівняно з традиційною технологією на базі серійних машин. Проте завдяки

підвищенню врожайності (з 37 до 63 т/га) витрати в розрахунку на одиницю продукції знижуються, передусім за рахунок значного зниження затрат праці на вирощування та збирання БЦ (з 131 до 26 люд.-год/га).

За умови застосування однофазного способу збирання врожаю серед нових вітчизняних комбайнів найбільш економним є самохідний комбайн КБС-6, коли затрати праці зменшуються в 4 рази, а витрати палива – на 26 кг/га порівняно із застосуванням серійного комплексу машин (КС-6Б+БМ-6Б+ОГД-6А+4шт ПТС-6А) для роздільного (двофазного) збирання.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Виробництво цукру в Україні є одним з провідних стратегічних напрямів розвитку економіки країни і тому цукрова промисловість потребує збільшення власної сировини шляхом підвищення врожайності буряків цукрових, що є надважливим завданням буряківників, особливо за умов такого значного скорочення площ посівів.

2. Визначальний вплив на рівень польової схожості насіння та рівномірність розміщення сходів, а відтак, на врожайність буряків цукрових, з поміж інших агротехнічних показників складних технологічних процесів чинять наступні: рівномірність глибини заробляння насіння у ґрунт; фракційний склад грудочок розпушеного поверхневого шару ґрунту; рівномірність інтервалів між насінинами вздовж рядка.

Показники якості первинного очищення вороху коренеплодів від ґрунтових і рослинних залишків суттєво залежать від типу очисника копачів, особливо при роботі збиральних машин на ґрунтах підвищеної твердості, коли на заводські бурякоприймальні пункти разом з коренеплодами потрапляє значна кількість родючих ґрунтів і зеленої маси.

3. Серед сучасних машин для проведення передпосівного обробітку ґрунту найвища польова схожість насіння (64,8 %) забезпечується в разі використання комбінованого агрегата Компактор «К-600А» (Німеччина) у складі з трактором ХТЗ-17221. Проте за продуктивністю роботи цей агрегат більше ніж вдвічі поступається вітчизняним одноопераційним АРВ-8,1-02 чи АРВ-8,1-01, агрегатованим з орно-просапним трактором ХТЗ-121, при вдвічі більших витратах пального. Найвищі техніко-економічні показники забезпечує агрегат ХТЗ-121+АРВ-8,1-02, коли при найменших витратах пального продуктивність підвищується до 10 га/год, завдяки чому посівні роботи проводяться у значно стисліші строки, підвищується рівень польової схожості насіння і, як наслідок, урожайність культури.

Комбінований агрегат, що складається з навішених на передню і задню навісні системи трактора ХТЗ-121 знарядь АРВ-8,1-01 і АРВ-8,1-02, в порівнянні з агрегатом Компактор у складі з ХТЗ-17221, у разі однакової робочої швидкості (7,5 км/год) показує продуктивність роботи більшу на 2,2 га/год, а витрати пального менші на 1,7 кг/га.

Експериментально доведено, що розроблена геометрична модель гранної робочої поверхні у складі борончастого котка не поступається серійному культиватору УСМК-5,4Б за показниками агротехнічних вимог, а за щільності ґрунту $1,2\text{--}1,3 \text{ г/см}^3$ та вологості $16\text{--}18,5 \%$ суттєво його переважає ($4\text{--}6 \%$ за $\text{НІР}_{05} = 3,6 \%$) за кількістю грудочок діаметром до 25 мм у розпушеному шарі ґрунту, що забезпечило суттєве підвищення польової схожості насіння на $2,6 \%$ ($\text{НІР}_{05} = 0,96 \%$) при зменшенні витрат пального на $0,2 \text{ кг/га}$.

4. Теоретико-експериментальними дослідженнями та виробничими польовими випробуваннями встановлено, що за показниками коефіцієнта варіації розміщення сходів $V_{\text{сх}}$ вздовж рядка суттєву перевагу перед механічними сівалками типу ССТ-12В мають пневматичні сівалки вітчизняного (УПС-12, СУ-12) і, особливо, німецького («Мультикорн») виробництва (у середньому $49,1 \%$ проти $69,2 \%$).

В результаті аналізу регресійних моделей за критеріями спільного впливу взаємодії основних експлуатаційно-технологічних факторів на показники точності розміщення насіння при його висіві доведено, що область екстремуму коефіцієнта варіації V_n знаходиться в межах робочої швидкості сівалки $Y = 1,2\text{--}1,4 \text{ м/с}$ і норми висіву насіння $N = 7\text{--}8 \text{ шт/м}$. Екстремального значення цей показник набуває за $Y = 1,35 \text{ м/с}$ та $N = 7,4 \text{ шт/м}$.

5. Встановлено, що дальність польоту насінини, яка падає відділившись від комірки висіваючого диска висівного апарата сівалки пневматичного типу, прямо залежить від її маси і початкової швидкості \vec{V}_0

і обернено – від кута α нахилу її вектора до горизонту. При підвищенні \vec{V}_0 з 3 до 5 м/с зростає і дальність її падіння з висоти, наприклад, 9 см на дно борозни з 3,8 до 6,9 см відповідно; при збільшенні кута падіння з 6 до 7° дальність падіння з такої ж висоти зменшується з 8,8 до 5,1 см.

Виявлене при дослідженні варіювання маси насінини до 20-25% залежно від сорту, спонукало до розробки пристрою для додаткової передпосівної підготовки насіння шляхом розділення (сортуння) його за масою в межах однієї фракції.

6. На основі аналізу відомих методів пошукової оптимізації визначені засадничі умови і принципи побудови статистичних агентних імітаційних моделей при моделюванні технологічних процесів і технічних засобів буряківництва, розроблена структура дворівневого моделювання двоєдиного технологічного процесу передпосівного обробітку ґрунту і сівби.

7. Створений алгоритмічний опис розв'язання оптимізаційної багатокритеріальної задачі забезпечення максимальної польової схожості насіння, оснований на методі конфігурацій, що деформуються, реалізується через обчислення значень параметрів технологічного процесу, які залежать від некерованих факторів зовнішнього середовища, де взаємодіють агенти імітаційної моделі «ґрунт», «насінина», «агрегат» з основними початковими параметрами, що є вихідними даними для одного циклу оптимізації.

8. Встановлені межі варіювання польової схожості насіння від 68 до 57 % за умов зміни глибини передпосівного обробітку ґрунту, як головного чинника одержання сходів, від мінімальної 3,3 см до максимальної 3,7 см. Порівнянням одержаних значень показників імітаційного моделювання, нормалізованих за шкалою відношень, доведено переваги агрегата ХТЗ-121+АРВ-8,1-02 – 0,9 відносних одиниць за інтегральним критерієм.

9. Розроблені моделі шнеків-транспортів дискового копача, польовими експериментальними дослідженнями яких встановлено, що при роботі очисних поверхонь з навивкою у формі прямого і похилого гелікоїдів змінного кроку за твердості ґрунту вище 3,5 МПа кількість грудок діаметром більше 50 мм у разі використання експериментальних гелікоїдальних шнеків істотно зменшувалась як у варіантах між собою (прямий, похилий), так і відносно контролю (12,3 %, 16,9 % проти 19,8 % за $НІР_{05} = 2,5\%$). За твердості ґрунту 4,0–4,5 МПа забрудненість грудками зменшувалась майже вдвічі (17,9 %, 18,5 % проти 35,7 %). Показники вмісту домішок у вигляді зеленої маси та кількості пошкоджених коренеплодів за середньої твердості ґрунту (2,5–3,0 МПа) є найнижчі (1,7 % та 4,3 % відповідно) у разі використання похилого гелікоїдального шнека, що суттєво нижче проти контролю за показником зеленої маси (6,9 %, $НІР_{05} = 3,4\%$). За підвищеної твердості ґрунту (4,0–4,5 МПа) маса пошкоджених коренеплодів бітерним очисником досягла 29,6 %, в той час коли похилий гелікоїдальний шнек забезпечив зниження до 21,1 %, а прямий до 23,6 %, ($НІР_{05} = 2,7\%$).

10. Розроблено технологічний комплекс машин для реалізації нового способу вирощування і збирання буряків цукрових з комбінуванням (поєднанням) основних (30 см) і технологічних (45 см) міжрядь за схемою (3×30 см+1×45 см) в одному захваті 16-рядного посівного агрегату і культиватора для міжрядного обробітку та 8 – рядних машин для роздільного збирання гички і коренеплодів. Польовими виробничими дослідженнями машин у різних ґрунтово-кліматичних зонах бурякосіяння встановлено відповідність показників якості їх роботи нормативам агротехнічних вимог.

Спосіб дає можливість отримати додатково з кожного гектара 5,6–6,0 т коренеплодів з рівномірнішою масою і підвищеною на 0,4–0,6 пункти цукристістю.

11. Впровадження технологій на базі нових вітчизняних і зарубіжних машин через додаткові витрати на придбання техніки та технологічних матеріалів прямі експлуатаційні витрати на одиницю площі зростають відповідно до 22749 і 38016 грн. порівняно з традиційною технологією на базі серійних машин. (21503 грн). Проте завдяки підвищенню врожайності (з 37 до 63 т/га) витрати в розрахунку на одиницю продукції значно знижуються (з 131 до 26 люд.-год/га) передусім за рахунок суттєвого скорочення затрат праці на вирощування і, особливо, при догляді за посівами.

За умови застосування однофазного способу збирання врожаю серед нових вітчизняних комбайнів найбільш економним є самохідний бункерний комбайн КБС-6, коли затрати праці зменшуються в 4 рази, а витрати палива – на 26 кг/га порівняно із застосуванням серійного комплексу машин (КС-6Б+БМ-6Б+ОГД-6А+4шт ПТС-6А) для роздільного (двофазного) збирання.

РЕКОМЕНДАЦІЇ ВИРОБНИЦТВУ

З метою підвищення врожайності буряків цукрових і покращення показників ресурсовитрат рекомендується:

а) ранньовесняний і передпосівний обробіток ґрунту проводити вітчизняним комбінованим знаряддям АРВ-8,1-01+АРВ-8,1-02 в агрегаті з орно-просапним інтегральним трактором ХТЗ-121 (ХТЗ-16131) з передньою та задньою навісними системами;

б) сівбу виконувати пневматичними сівалками вітчизняними (УПС-12 чи СУ-12) або закордонними (типу «Мультикорн») в межах робочої швидкості 1,2...1,4 м/с і норми висіву насіння 7...8 шт/м, коли показники точності розміщення насіння, особливо дражованого, є найвищими.

Для покращення якості очищення вороху коренеплодів від грудок землі і зеленої маси та збереження родючості ґрунтів за умов проведення збиральних робіт на ґрунтах підвищеної твердості рекомендується

проводити первинне очищення коренеплодів при їх викопуванні дисковими копачами, оснащеними шнеками-очисниками гелікоїдального типу.

Застосовувати спосіб виробництва з комбінованими міжряддями за схемою сівби $4(3 \times 30 \text{ см} + 1 \times 45 \text{ см})$, коли за оптимальної густоти стояння рослин (100–110 тис. шт/га) і раціональному розміщенні їх на ділянці поля біологічна врожайність коренеплодів збільшується на 5,6–6,0 т/га.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Аванесов Ю. Б. Корнеуборочная машина РКМ-6. Сельский механизатор. 2005. № 1. С. 26–27; № 2. С. 38–39; № 3. С. 22–24; № 10. С. 24–25.
2. Аванесов Ю. Б. Свеклоуборочная техника Франции. Механизация и электрификация сельского хозяйства. 1983. № 11. С. 62–64.
3. Аванесов Ю. Б. Современные методы и средства механизации уборки сахарной свеклы. Москва. ВНИИТЭИ агропром. 1987. 51 с.
4. Аванесов Ю. Б., Бессарабов В. И., Русанов. Свеклоуборочные машины. Москва. Колос. 1979. 352 с.
5. Аванесов Ю. Б., Бессарабов В. И., Зуев. Н. М. Уборка сахарной свеклы в сложных условиях. Москва. Колос. 1983. 156 с.
6. Агрофізичні властивості цукрових буряків і показники якості роботи бурякозбиральних машин. За ред. М. В. Роїка. Київ. ПоліграфКонсалтинг. 2003. 64 с.
7. Адамчук В. В., Булгаков В. М., Головач І. В. Теорія ударної взаємодії вібраційного викопувального робочого органу з коренеплодом цукрового буряка, закріпленим у ґрунті. Механізація та електрифікація сільського господарства. Глеваха. ННЦ «ІМЕСГ» УААН. 2008. Вип. № 92. С. 26–42.
8. Адлер Ю. П., Маркова Е. В., Грановский Ю. В. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. Москва. Наука. 1976. 280с.
9. Акофф Р. Системы, организации и междисциплинарные исследования. Исследования по общей теории систем. Москва. Прогресс. 1969. 286 с.
10. Аладьев В.З. Бойко В. К., Ровба Е. А. Программирование и разработка приложений в Maple. Гродно: ГрГУ; Таллинн: Межд. Акад. Ноосферы, Балт. отд. 2007. 458 с.

11. Барановський В. М. Механіко-технологічні основи розробки адаптованих коренезбиральних машин. автореф. дис. на здобуття наук. ступеня докт. техн. наук. Тернопіль. 2013. 44 с.
12. Басин В. С. Об оценке точности распределения семян и растений по длине рядка. Исследование и изыскание новых рабочих органов сельскохозяйственных машин. Москва. ВИСХОМ и УкрНИИСХОМ. 1973. Вып. 10. С. 18–23.
13. Басин В. С., Кришталь Т. Е., Ковтун Ю. И. Особенности высева дражированных семян. Сахарная свекла. 1972. № 3. С. 22–23.
14. Басин В. С. О значении точности высева. Исследование и изыскание новых рабочих органов сельскохозяйственных машин. Москва. ВИСХОМ и УкрНИИСХОМ. 1973. Вып. 10. С. 15–18.
15. Бать М. И., Джанелидзе Г. Ю., Кельзон А. С. Теоретическая механика в примерах и задачах. Москва. Наука, 1975. Т. 2. 606 с.
16. Бахтин П. У. Исследование физико-механических и технологических свойств основных типов почв СССР. Москва. Колос. 1969. С. 111–150.
17. Башкирев А. П., Семькин В. А. Совершенствование процесса выкапывания корнеплодов сахарной свеклы вильчатым копачом. Повышение эффективности использования и ремонта сельскохозяйственной техники. Курск. КГСХА. 1999. С. 53–54.
18. Бондаренко М. Ф., Шабанов-Кушнарченко Ю. П. Мозгоподобные структуры. Справочное пособие. Київ. Наукова думка. 2011. 460 с.
19. Борисюк В. А., Зуев Н. М., Паламарчук В. И., Н. П. Волоха. Возделывание сахарной свеклы при комбинированной ширине междурядий. Механизация технологических процессов в свекловодстве. Киев. ИСС УААН. 1994. С. 3–16.
20. Борисюк В. А., Зуев Н. М., Паламарчук В. И., Волоха Н. П. Возделывание сахарной свеклы с узкими междурядьями. Сахарная свекла. 1990. № 2. С. 27–31.

21. Брей В. В. Исследование и разработка процесса извлечения из почвы корней сахарной свеклы. автореф. дис. на соискание науч. степени канд. техн. наук. Киев. 1972. 31 с.
22. Бублик Н. И., Зуев Н. М. Качество уборки в зависимости от условий и типа свеклоуборочных машин. Сахарная свекла. 1985. № 9. С. 5–7.
23. Булгаков В. М., Головач І. В. Про вимушені поперечні коливання тіла коренеплоду при вібраційному викопуванні. Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. Харків. ХНТУСГ. 2005. Вип. 39. С. 23–39.
24. Булгаков В. М., Головач І. В., Ігнат'єв Є. І. Теорія взаємодії плоского копіра із залишками гички цукрового буряка. Механізація та електрифікація сільського господарства. Глеваха. ННЦ «ІМЕСГ». 2017. Випуск №5 (104). 2017. С. 35-54.
25. Булгаков В. М., Головач і. В. Теорія вібраційного викопування коренеплодів. Механізація сільськогосподарського виробництва. Київ. НАУ. 2003. Т. XIV. С. 34–86.
26. Булгаков В. М., Головач І. В. Теорія поперечних коливань коренеплоду при вібраційному викопуванні. Праці Таврійської державної агротехнічної академії. Мелітополь. 2004. Вип. 18. С. 8–24.
27. Буряки цукрові. Збирання. Показники якості та методи їх визначання. ДСТУ 7062:2009. [Чинний від 2009-01-01]. Київ. Держспоживстандарт України. 2008. 9 с. (Національний стандарт України).
28. Буряки цукрові. Сівба. Показники якості та методи їх контролювання: ДСТУ 6054:2008. [Чинний від 2008-01-01]. Київ. Держспоживстандарт України. 2007. 12 с. (Національний стандарт України).
29. Буряки цукрові. Методи визначення густоти стояння рослин та врожайності. ДСТУ 4982:2008. [Чинний від 2008-01-01]. Київ. Держспоживстандарт України. 2007. 12 с. (Національний стандарт України).
30. Буряківництво. Проблеми інтенсифікації та ресурсозбереження. За ред. В. Ф. Зубенка. Київ. НВП ТОВ «Альфа-стевія ЛТД». 2007. 486 с.

31. Бусленко В. Н. Автоматизация имитационного моделирования сложных систем. Москва. Наука. 1977. 240 с.
32. Бусленко Н. П., Калашников В. В., Коваленко И. Н. Лекции по теории сложных систем. Москва. Советское радио. 1973. 440 с.
33. Василенко П. М., Погорелый Л. В., Брей В. В. Вибрационный способ уборки корнеплодов. Механизация и электрификация социалистического сельского хозяйства. 1970. № 2. С. 9–13.
34. Величко В. В., Аничкин В. В. Соотношение различных технологий возделывания. Сахарная свекла. 1996. № 7. С. 2–3.
35. Вентцель Е. С. Теория вероятностей. Москва. Наука. 1969. 580 с.
36. Ветохін В. І. Системні та фізико-механічні основи проектування розпушувачів ґрунту. автореф. дис. на здобуття наук. ступеня докт. техн. наук. Глеваха. 2010. 40 с.
37. Вовк Я. Ю., Сало Я. М., Думич В. В., Курило В. Л., Волоха М. П. Впровадження нової бурякозбиральної техніки – шлях підвищення рентабельності виробництва. Цукрові буряки. 2005. № 6 (48). С. 17–19.
38. Вовк Я. Ю., Сало Я. М., Думич В. В., Курило В. Л., Волоха М. П. Впровадження нової бурякозбиральної техніки – шлях підвищення рентабельності виробництва. Цукрові буряки. 2006. № 1 (49). С. 16–18.
39. Войтюк П., Гречка В., Волоха М. Класифікація техніки для однофазного способу збирання цукрових буряків. Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства України. 2000. Вип. 3 (17). С. 79–90.
40. Волоха М. П. Вплив ширини міжрядь на фотосинтетичну продуктивність буряків цукрових. Цукрові буряки. 2016. № 1 (109). С. 13–15.
41. Волоха М., Дмитриченко В. Західноєвропейські машини на бурякових полях України. Пропозиція. 1996. № 4. С. 55–56.
42. Волоха М., Войтюк П., Гречка В. Машинне забезпечення валкової технології збирання цукрових буряків. Техніко-технологічні аспекти

розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства України. 2001. Вип. 4 (18). С. 59–67.

43. Волоха М. П., Войтюк П. О., Іванчук М. І. Вчасно визначитись з технікою для збирання. Цукрові буряки. 2001. № 4. С. 16–17.

44. Волоха Н. П., Клауснітцер Томас. Производственное испытание сеялки «Мультикорн». Сахарная свекла. 1993. № 3. С. 29–30.

45. Волоха Н. П., Складенко А. Т. Проверка технологии. Сахарная свекла. 1993. № 3. С. 28–29.

46. Волоха Н. П., Погребняк С. П. От чего зависит качество уборки. Сахарная свекла. 1995. № 8. С. 14–17.

47. Волоха Н. П., Погребняк С. П. Опыт применения комбайна М-41 фирмы «Матро». Сахарная свекла. 1998. № 9. С. 20–21.

48. Волоха Н. П., Войтюк П. А. Оценка работы немецких уборочных машин. Сахарная свекла. 1998. № 9. С. 18–19.

49. Волоха М. П. Моделювання технологічних процесів підготовки ґрунту і насіння до сівби цукрових буряків. Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. Кіровоград. КНТУ. 2013. Вип. 43. Ч. 1. С. 246–252.

50. Волоха М. П., Болдирєва Л. В. Моделювання процесу розпушування ґрунту ребром дискового робочого органу. Геометричне моделювання, комп'ютерні технології та дизайн: теорія, практика, освіта VII Міжнародна науково-практична конференція. 3–6 травня 2011 р. Ужгород - Київ. КНУБА. 2011. Вип. 87. С. 94–98.

51. Волоха М. П., Приходько К. В., Семенюк С. І. Моделювання поверхні наральника сошника. Графика XXI века. XIV Всеукраинская научно-техническая конференция. 3–7 октября 2011 г. Севастополь. СевНТУ. 2011. С. 131–132.

52. Волоха М. П. Дорошенко Ю. О. Оптимізація схеми сівби цукрових буряків відповідно до задіяного технологічного комплексу машин. Сучасні проблеми геометричного моделювання. XV Міжнародна

науково-практична конференція. 4–7 червня 2013 р. Мелітополь. ТДАТУ. 2013. Вип. 4. т. 57. С. 35–44.

53. Волоха М. Агентне імітаційне моделювання механізованих технологічних процесів вирощування буряків цукрових. Наукові доповіді НУБіП України. [S.l.], n. 3(73), вер. 2018. ISSN 2223-1609.

Доступно

за

адресою:

<http://journals.nubip.edu.ua/index.php/Dopovidi/article/view/10949/9581>

54. Волоха М., Войтюк П. Дослідження показників точності розміщення сходів буряків цукрових. Техніка і технології АПК. 2016. № 8. С. 5–7.

55. Волоха М. П. Принципи моделювання технологічних процесів виробництва цукрових буряків. Проблеми екологічної біотехнології. Електронний науковий журнал Національного авіаційного університету. 2013. № 2. Режим доступу:

<http://ecobio.nau.edu.ua/index.php/ecobiotech/article/view/5503/6215>.

56. Волоха М. П. Модернізація комплексу серійних машин для виробництва буряків цукрових з комбінованою шириною міжрядь. Вісник Інженерної академії України. 2016. № 2. С. 33–36.

57. Волоха М. П., Войтюк П. О. Швидкість руху сівалки, норма висіву і точність розміщення насіння. Цукрові буряки. 1999. № 3. С. 12–13.

58. Волоха М. П. Подолання багатокритеріальності при моделюванні технологічних процесів вирощування цукрових буряків. Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства. 2014. Вип. 18 (32), кн. 2. С. 237–243.

59. Волоха М. П., Осійчук В. С. Експериментальні дослідження якості роботи нової поверхні шнека копача коренеплодів цукрових буряків. Вісник Інженерної академії України. 2014. № 2. С. 149–152.

60. Волоха М. П. Імітаційне моделювання технологічних процесів виробництва буряків цукрових. Науковий вісник Національного

університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК. 2016. Вип. 251. С. 192–201.

61. Волоха М. П., Дорошенко Ю. О. Моделювання двоєдиного технологічного процесу передпосівного обробітку ґрунту і сівби буряків цукрових. АВІА–2015. XII Міжнародна науково-технічна конференція. 28–29 квітня 2015 р. Київ. НАУ. 2015. С. 4.22–4.27.

62. Волоха М. П., Дорошенко Ю. О. Дослідження процесу висіву насіння буряка цукрового сівалками пневматичного типу. Наукові доповіді НУБІП України. 2016. № 6 (63). Режимдоступу:

<http://journals.nubip.edu.ua/index.php/Dopovidi/article/view/6847>.

63. Волоха М. П., Юрчук В. П., Болдирєва Л. В. Геометричне моделювання поверхонь гичкорізів і копачів коренезбиральних машин. Прикладна геометрія та інженерна графіка. Мелітополь. ТДАТУ. 2012. Вип. 4. т. 54. С. 32–37.

64. Волоха М. П. Вплив експлуатаційно-технологічних факторів на точність сівби буряків цукрових. Наукові доповіді НУБІП України. 2016. №3 (60). Режимдоступу:

<http://journals.nubip.edu.ua/index.php/Dopovidi/article/view/6847>.

65. Волоха М. П. Болдирєва Л. В. Вплив ступеня кришіння ґрунту на енерговитрати знаряддя зубчастого типу. Моделювання об'єктів, процесів та систем Міжнародна науково-практична конференція. 24–25 травня 2011 р. Київ. КДАВТ. 2011. С. 44–46.

66. Волоха М. Алгоритмічний опис двоєдиного технологічного процесу підготовки ґрунту і сівби буряків цукрових. Техніка і технології АПК. 2018. № 8. С. 17–21.

67. Волоха М. П., Войтюк П. О., Погребняк С. П. Агрегат для предпосевной обработки почвы. Сахарная свекла. 2000. № 4–5. С. 26–27.

68. Волоха Н.П., Войтюк П. А. Оценка работы немецких уборочных машин. Сахарная свекла. – 1998. – № 9. – С. 18–19.

69. Волоха М. П. Дослідження технологічного процесу підготовки ґрунту до сівби буряків цукрових сучасними агрегатами. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК. 2015. Вип. 226. С. 349–355.

70. Волоха Н. П. Разработка и обоснование параметров вибрационных выкапывающих рабочих органов свеклоуборочных машин. автореф. дис. на соискание научн. степени канд. техн. наук. Киев. 1987. 21 с.

71. Волоха Н. П. Разрушение связей корнеплодов с почвой при вибрационном их подкапывании. Техника в сельском хозяйстве. 1990. № 5. С. 33–35.

72. Волоха Н. П. Условия проявления резонанса при вибрационном подкапывании корнеплодов сахарной свеклы. Механизация технологических процессов в семеноводстве сахарной свеклы. Киев. 1988. С. 13–28.

73. Волоха М. Тенденції розвитку і можливості застосування сучасних гичкорізів і копачів для збирання буряків цукрових при звужених міжряддях. Вісник Інженерної академії України. 2018. Вип. 1. С. 208-212.

74. Волоха М. П. Технологічний комплекс машин для виробництва буряків цукрових: ширина міжрядь. Теорія, моделювання, результати випробувань. Київ. ТОВ «Центр учбової літератури». 2015. 220 с.

75. Вовк Я. Ю., Сало Я. М., Волоха М. П. та ін. Впровадження нової бурякозбиральної техніки – шлях підвищення рентабельності виробництва. Цукрові буряки. 2005. № 6 (48). С. 17–19.

76. Вовк Я. Ю., Сало Я. М., Волоха М. П. та ін. Впровадження нової бурякозбиральної техніки – шлях підвищення рентабельності виробництва. Цукрові буряки. 2006. № 1 (49). С. 16–18.

77. Вучков И., Бояджиева Л., Солаков Е. Прикладной регрессионный анализ. Москва. Финансы и статистика. 1987. 239 с.

78. Гайдышев И. Анализ и обработка данных: специальный справочник. Санкт-Петербург. Питер. 2001. 752 с.

79. Гераськин А. И. Влияние агротехнических приемов на урожайность сахарной свеклы в условиях Тамбовской области. автореф. дис. на соискание научн. степени канд. с.-х. наук. Мичуринск. 2011. 19 с.

80. Глеваский И. В. Основы оптимизации агротехнических условий формирования урожая корнеплодов сахарной свеклы. автореф. дис. на соискание научн. степени докт. с.-х. наук. Киев. 1991. 50 с.

81. Глеваский И. В., Кравченко А. А., Поехало Б. И., Бондарчук А. А. Основы свекловодства. Киев. Урожай, 1993. 229 с.

82. Глуховский В. С. Разработка научных основ технологии выращивания сахарной свеклы без затрат ручного труда. автореф. дис. на соискание научн. степени докт. с.-х. наук. Киев. 1982. 42 с.

83. Глуховський В. С. Буряківництво – на промислову основу. Механізація сільського господарства. 1980. № 2. С. 13–15.

84. Головач І. В. Теорія безпосереднього вилучення коренеплоду з ґрунту при вібраційному викопуванні. Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. Петра Василенка. Харків. ХНТУСГ. Вип. 44. Т. 2. 2006. С. 77–100.

85. Горобець А. В. Вплив агротехнічних факторів на польову схожість насіння. Цукрові буряки. 1999. № 2. С. 10–12.

86. Груббер В. Самоходки наступают. Новое сельское хозяйство. 2006. № 3. С. 98–100.

87. Дворецкий С. И., Егоров А. Ф., Дворецкий Д. С. Компьютерное моделирование и оптимизация технологических процессов и оборудования. Тамбов. Тамбовский ГТУ. 2003. 224 с.

88. Дерев'янка Д. А., Сукманюк О. М., Дерев'янка О. Д. Вплив механічних навантажень на травмування насіння. Сучасні проблеми землеробської механіки. 18-та Міжнародна наукова конференція. Тернопіль. Крок. 2017. С.77-79.

89. Дерев'янка Д. А. Високопродуктивні агрегати для обробітку ґрунту перед сівбою цукрових буряків та інших технічних культур. Техніка

та енергетика / Machinery & Energetics, [S.l.], n. 11(2), p. 131-136, лип. 2020. ISSN 2663-1342.

90. Доронин В. А., Карпук Л. М. Продуктивность сахарной свеклы в зависимости от качества семян. Сахар. 2012. № 5. С. 59–62.

91. Доронін В. А., Карпук Л. М., Черната Д. М. Продуктивність цукрових буряків залежно від способів підготовки насіння. Цукрові буряки. 2008. № 1. С. 8–10.

92. Дорошенко Ю. О., Волоха М. П. Моделивання траєкторії польоту насінини при сівбі висівним апаратом пневматичного типу. Прикладна геометрія та інженерна графіка. Мелітополь. ТДАТУ. 2012. Вип. 4. т. 55. С. 81–86.

93. Дорошенко Ю. О. Політканинні перетворення у деформативному конструюванні геометричних об'єктів. Київ. Педагогічна думка. 2001. 390 с.

94. Дубров А. М., Мхитарян В. С., Трошин Л. И. Многомерные статистические методы. Москва. Финансы и статистика, 2003. 352 с.

95. Дюран Б., Одел П. Кластерный анализ. Москва. Статистика. 1977. 128 с.

96. Завгородний А. Ф., Кравчук В. И., Юрчук В. П. Геометрическое конструирование рабочих органов корнеуборочных машин. Под ред. Л. В. Погорелого. Киев. Аграрна наука. 2004. 240 с.

97. Завьялов Ю. С., Квасов Б. И., Мирошниченко В. Л. Методы сплайн-функций. – Москва. Наука. 1980. 352 с.

98. Збиранню цукрових буряків – високу якість. В. Л. Курило, В. М. Сінченко, В. І. Пиркін та ін. Цукрові буряки. 2012. № 4. С. 6–8.

99. Зеленин А. Н. Основы разрушения грунтов механическими способами. Москва. Машиностроение. 1968. 287 с.

100. Зенин Л. С. Точный высеv сахарной свеклы. Сахарная свекла. 2007. № 4. С. 14–18.

101. Зенин Л. С. Основная обработка почвы при возделывании сахарной свеклы. Сахарная свекла. 2007. № 6. С. 23–26.

102. Зуев Н. М. Особенности уборки свеклы. Сахарная свекла. 1991. № 4. С. 5–6.
103. Зуев Н. М. Снизить потери и повысить качество сырья. Сахарная свекла. 1987. № 7. С. 3–5.
104. Зуев Н. М. Размещение корнеплодов в рядах и качество уборки. Сахарная свекла. 1980. № 10. С. 24–29.
105. Іоніцой Ю.С. Технологічні показники якості коренеплодів різного походження за зберігання в кагатах. Цукрові буряки. 2013. № 6 (96). С. 14–16.
106. Иберла К. Факторный анализ. Москва. Статистика. 1980. 398 с.
107. Ивахненко А. Г., Юрачковский Ю. П. Моделирование сложных систем по экспериментальным данным. Москва. Радио и связь. 1987. – 198 с.
108. Карпук Л. М. Рівномірність розміщення та ріст і розвиток рослин цукрового буряку залежно від якості насіння. Теорія і практика технологій вирощування та оздоровлення насіння і садивного матеріалу в конкурентоздатних умовах європейського ринку. III Міжнародна науково-практична конференція. 2-4 червня 2012 року. К. 2012. С. 140–142.
109. Карпук Л. М. Продуктивность сахарной свеклы в зависимости от агротехнических приемов выращивания. Земледелие и защита растений. 2013. № 6. С. 62–63.
110. Карпук Л. М. Урожайность свекловичных плантаций в зависимости от густоты насаждения растений. Сахарная свекла. 2013. № 6. С. 13–15.
111. Карпук Л. М. Фотосинтетична продуктивність цукрових буряків залежно від агротехнічних прийомів вирощування. Київ. ІБКіЦБ НААН. 2014. Вип. 21. С. 84–92.
112. Карпук Л. М. Поліщук В. В. Особливості росту і розвитку рослин цукрових буряків залежно від якості насіння. ІБКіЦБ НААН. Київ. 2014. Вип. 22. С. 67–71.

113. Кендалл М., Стюарт М. Многомерный статистический анализ и временные ряды. Москва. Наука, 1973. 900 с.
114. Ким Дж.-О., Мьюллер Ч. У., Клекка У. Р. Факторный, дискриминантный и кластерный анализ. Москва. Финансы и статистика. 1989. 216 с.
115. Кленин Н. И., Сакун В. А. Сельскохозяйственные и мелиоративные машины. Москва. Колос. 1994. 751 с.
116. Ковтун Ю. І., Пастухов В. І., Качанов В. В. Використання у буряківництві комп'ютерної програми. Цукрові буряки. 2006. № 4. С. 6–7.
117. Ковтун Ю. И. Рациональный комплекс машин в свекловодстве. Земледелие. 1983. № 4. С. 52–53.
118. Ковтун Ю. И. Структура, влажность почвы и всхожесть семян. Сахарная свекла. 1970. № 5. С. 21–23.
119. Ковтун Ю. И. Агротехнические основы повышения качества машинных полевых работ в технологии выращивания и уборки сахарной свеклы. автореф. дис. на соискание научн. степени докт. с.-х. наук. Киев. 1987. 41 с.
120. Комп'ютерне моделювання систем та процесів. Методи обчислень. За заг. ред. Р. Н. Квітного. Вінниця. ВНТУ, 2012. Ч. 1. 193 с.
121. Копаниця В. А., Мороз І. Х. Вплив передпосівного обробітку ґрунту на розподіл насіння цукрових буряків по глибині його загортання. Вісник сільськогосподарської науки. 1981. № 10. С. 7–9.
122. Коренеплоди цукрового буряка для промислового перероблення. Технічні умови: ДСТУ 4327:2013. [Чинний від 2014-01-01]. Київ. Держспоживстандарт України. 2013. 9 с. (Національний стандарт України).
123. Курило В. Л., Войтюк П. О., Пачевський І. А. Якісна сівба – запорука високого врожаю цукрових буряків. Цукрові буряки. 2008. № 1. С. 18–20.
124. Курило В. Л., Волоха М. П., Войтюк П. О. Удосконалення технологій вирощування і збирання цукрових буряків. Цукрові буряки. 2005. № 5 (47). С. 20–21.

125. Курындин А. В., Ренгач П. Н., Климова А. В. Ширина междурядий и урожай корнеплодов. Сахарная свекла. 2012. № 3. С. 32–36.
126. Кушнарев А. С. Механико-технологические основы процесса воздействия рабочих органов почвообрабатывающих машин и орудий на почву. автореф. дис. на соискание научн. степени докт. техн. наук. Челябинск. 1981. 41 с.
127. Кушнарев А., Сербий С., Кушнарев Е., Шейченко В. Использование методов математического (имитационного) моделирования при разработке конструктивных и технологических параметров высевающего аппарата. Техніка і технології АПК. 2008. № 3–4. С. 11–15.
128. Ларичев О. И., Мовшович Е. М. Качественные методы принятия решений. Москва. Наука. 1996. 268 с.
129. Лурье А. Б. Статистическая динамика сельскохозяйственных агрегатов. Москва. Колос. 1981. 380 с.
130. Ма С. А. Расчет оптимальной густоты и равномерности размещения растений сахарной свеклы. Механизация и электрификация сельского хозяйства. 1983. № 6. С. 53–54.
131. Макаров И. М., Соколов В. Б., Абрамов А. А. Целевые комплексные программы. Москва. Знание. 1980. 135 с.
132. Маковецкий О. А. Преобразование параметров распределения семян сахарной свеклы при стохастическом характере полевой всхожести. Системные методы испытаний техники для животноводства и кормопроизводства. пгт. Дослідницьке. 1989. С. 115–123.
133. Маковецкий О. А. Характер и степень влияния различной величины интервалов между растениями в рядке на урожай сахарной свеклы. Совершенствование технологии выращивания сахарной свеклы и системы земледелия в районах свеклосеяния. Киев. ВНИС. 1978. С. 46–50.
134. Маковецкий О. А. Оптимизация густоты насаждения сахарной свеклы. дис. докт. с.-х. наук в форме научного доклада. 06.01.09. Киев. 1989. 68 с.

135. Маковецкий О. А. Густота и равномерность размещения растений. Сахарная свекла. 1983. № 6. С. 13–14.
136. Мандель И. Д. Кластерный анализ. Финансы и статистика. Москва. 1988. 176 с.
137. Мартынов В. М. Мировые тенденции и перспективы в производстве технических средств для уборки корнеклубнеплодов. Научное обеспечение устойчивого функционирования АПК. Всероссийская научно-практическая конференция. 3–5 марта 2009 г. Уфа. ФГОУ ВПО «Башкирский ГАУ». 2009. Ч. I. С. 276–280.
138. Мартынов В. М. Современные технологии и технические средства для уборки корнеплодов. Механизация и электрификация сельского хозяйства. 2010. № 3. С. 27–29.
139. Мартынов В. М. Проектирование рабочих органов и машин для уборки корнеплодов. Уфа. Башкирский ГАУ. 2011. 250 с.
140. Марченко В. В., Несвидомин В. М., Опалко В. Г. Современные свеклоуборочные комбайны. Агровісник. 2008. № 8. С. 72–77.
141. Математичні методи ідентифікації динамічних систем. За ред. Б. І. Мокіна. Вінниця. ВНТУ. 2010. 260 с.
142. Машини бурякозбиральні. Загальні технічні умови: ДСТУ 2285-93 (ГОСТ 7496-93). [Чинний від 1995. 01. 01]. Київ. Держспоживстандарт України. 1995. 28 с. (Національний стандарт України).
143. Машины для свекловодства. Под ред. А. Г. Цымбала и Ю. И. Ковтуна. Москва. Машиностроение. 1976. 368 с.
144. Мельников С. В., Алешкин В. Р., Роцин П. М. Планирование эксперимента в исследованиях сельскохозяйственных процессов. Ленинград. Колос. 1980. 168 с.
145. Месарович М. Общая теория систем и ее математические основы. Исследования по общей теории систем / И. М. Месарович. – М. : «Прогресс», 1969. – 321 с.

146. Методика исследований по сахарной свекле. Под ред. В. Ф. Зубенка. К. ВНИС. 1986. 292 с.
147. Методичні рекомендації з технології вирощування енергетичних цукрових буряків. [В. Л. Курило, О. М. Ганженко, О. Б. Хіврич та ін.]. Вінниця. ТОВ «Нілан-ЛТД». 2014. 32 с.
148. Методики проведення досліджень у буряківництві. Під заг. ред. академіка НААН М. В. Роїка та член-кореспондента НААН Н. Г. Гізбулліна. Київ. ФОП Корзун Д. Ю. 2014. 374 с.
149. Михалевич В. С., Волкович В. Л. Вычислительные методы исследования и проектирования сложных систем. Москва. Наука. 1982. 286 с.
150. Мишин М. А. Конструкции ботвосрезающих устройств современных свеклоуборочных машин. Тракторы и сельхозмашины. 1974. № 4. С. 29–30.
151. Мороз И. Х. Разработка агротехнических приемов повышения полевой схожести семян сахарной свеклы в лесостепной зоне правобережья Украины. автореф. дис. на соискание научн. степени канд. с.-х. наук. Киев. 1985. 22 с.
152. Мороз И. Х. О глубине предпосевной обработки почвы. Сахарная свекла. 1979. № 3. С. 17-18.
153. Мороз О. В., Горобець А. М., Смірних В. М. Оптимальні строки збирання і вивезення цукрових буряків – резерв високого врожаю. Цукрові буряки. 2012. № 5 (89). С. 4–5.
154. Морозов И. В., Морозов И. В. Эффективность процесса сева. Харьков. КП «Городская типография». 2019. 328 с.
155. Морозов И. В. и др. Агротехнологическая эффективность сеялок разных типов. Вісник ХНТУСГ ім. П. Василенка. Харків. ФОП Заночкин Д. Л. 2018. Вип. 190. С. 86–90.
156. Морозов І. В. та ін. Тенденції розвитку сівалок. Агробізнес сьогодні. 2018. № 10. С. 100–102.

157. Нагорный Н. Н., Белоткач М. П. Энергетическая оценка почвообрабатывающих орудий. Тракторы и сельхозмашины. 1980. № 7. С. 15–17.
158. Наливайко С. Е. Высокая производительность и минимальные потери – отличительные особенности свеклоуборочного комплекса «Артс-Вай». Сахарная свекла. 2007. № 5. С. 38–39.
159. Нанаенко А. К. Приемы математического описания технологий в растениеводстве. Техника в сельском хозяйстве. 2002. № 1. С. 11–14.
160. Нанаенко А. К. Моделирование индустриальных технологий в полеводстве. Вестник сельскохозяйственной науки. 1984. № 1. С. 142–149.
161. Нанаенко А. К. Обоснование методов инженерного проектирования прогрессивных технологий в растениеводстве. дис. докт. с.-х. наук в форме научного доклада. 05.20.01. Рамонь. 1998. 75 с.
162. Нанаенко А. К. Основные направления развития техники для свекловодства. Техника в сельском хозяйстве. 2000. № 6. С. 16–19.
163. Нанаенко А. К. Приемы математического описания технологий в растениеводстве. Техника в сельском хозяйстве. 2002. № 1. С. 11–14.
164. Насіння цукрових буряків. Вимоги щодо заготовляння: ДСТУ 4231:2003. [Чинний від 2003-01-01]. Київ. Держспоживстандарт України. 2002. 8 с.
165. Науково-методичні рекомендації щодо збирання цукрових буряків. [Роїк М. В., Зуєв М. М., Курило В. Л., Гументик М. Я.]. Київ. Аграрна наука. 2002. 42 с.
166. Никитин А. Ф., Парфенов А. М. Ширина междурядий и продуктивность корнеплодов. Сахарная свекла. 2008. № 10. С. 30–32.
167. Ничипорович А. А. О фотосинтезе растений. Стенограмма публичной лекции. Москва. Правда. 1948. 32 с.
168. Новик Ф. С., Арсов Я. Б. Оптимизация процессов технологии металлов методами планирования экспериментов. Москва. Машиностроение. София. Техника. 1980. 304 с.

169. Новицкий П. В., Зограф И. А. Оценка погрешностей результатов измерений. Ленинград. Энергоатомиздат. 1985. 114 с.

170. Норенков И. П. Системы автоматизированного проектирования: учебн. Пособие для вузов в 9 кн. Принципы построения и структура. Минск. Высшая школа. 1987. Кн. 1. 123 с.

171. Обробіток ґрунту під цукрові буряки передпосівний. Вимоги та методи контролювання. ДСТУ 4819:2007. [Чинний від 2007-01-01]. Київ. Держспоживстандарт України. 2006. 9 с. (Національний стандарт України).

172. Овсянников А. А., Масловский В. И., Цыцорин С. Н. Выбор свеклоуборочных машин для условий Кубани. Сахарная свекла. 2004. № 6. С. 37–40.

173. Операционная технология производства сахарной свеклы на индустриальной основе. Под ред. В. С. Глуховского. Москва. Россельхозиздат. 1984. 287 с.

174. Осуховський В., Волоха М. Розширення функціональних можливостей коренезбиральної машини КС-6Б. Пропозиція. 2002. № 8–9. С. 86–88.

175. Павленко В., Полушкін О. Сучасні технології вирощування цукрових буряків на базі удосконаленої системи машин. Цукрові буряки. 2003. № 4. С. 5–6.

176. Паламарчук В. И. Сев на конечную густоту насаждения. Когда он возможен? Сахарная свекла. 1987. № 3. С. 19–21.

177. Пам'ятка буряководи. [В. М. Балан, М. І. Сілаков, І. П. Садовий, М. М. Бевз]. Погребище. Асоціація «Вінниця цукор». 2000. 72 с.

178. Панов И. М., Ветохин В. И. Физические основы механики почв. Киев. Феникс. 2008. 266 с.

179. Панченко А. Н. Аналитический метод определения тяговых сопротивлений почвообрабатывающих и землеройных машин и оценка их эффективности для энергосберегающих технологий. Днепропетровск. ДГАУ. 1995. 96 с.

180. Панченко А. Н. Теория измельчения почв почвообрабатывающими орудиями. Днепропетровск. ДГАУ. 1999. 140 с.

181. Патент на корисну модель № 47743 Україна, МПК(2009), B08B 9/00. Робочий орган ґрунтообробного знаряддя (диск). В. П. Юрчук, М. П. Волоха, Л. В. Болдирєва. заявник і власник Національний авіаційний університет. № у 2009 08002; заяв. 29.07.2009; опуб. 25.02.2010. Бюл. № 4.

182. Патент № 50034 Україна, МПК(2009), A01B 79/00. Спосіб екологозберігаючої технології вирощування цукрових буряків. О. О. Іващенко, В. І. Пиркін, В. Л. Курило, О. В. Ступенко та ін.. заявник і власник Інститут цукрових буряків УААН. № у 2009 11446; заяв. 25.05.2010; опуб. 25.02.2010. Бюл. № 10.

183. Патент № 5132 Україна, МПК A01 B79/02, A01 C7/00. Спосіб вирощування цукрових буряків. В. О. Борисюк, М. М. Зуєв, В. І. Паламарчук, М. П. Волоха, О. А. Маковецький; заявник і власник Інститут цукрових буряків УААН. № 4720953/811; заяв. 19.07.1989; опуб. 28.12.1994. Бюл. № 7.

184. Патент деклараційний № 55133A Україна, МПК 7A01C1/00. Пристрій для підготовки насіння до сівби. М. В. Роїк, П. О. Войтюк, М. П. Волоха; заявник і власник Інститут цукрових буряків УААН. № 2002 075487; заяв. 04.07.2002; опубл. 17.03.2003. Бюл. № 3.

185. Патент на корисну модель № 59726 Україна, МПК A01D 25/04(2006.1). Робочий орган для викопування коренеплодів. В. П. Юрчук, М. П. Волоха, О. Т. Башта, В. М. Волоха, Л. В. Болдирєва; заявник і власник Національний авіаційний університет. № у 2010 13625; заяв. 16.11.2010; опуб. 25.05.2011. Бюл. № 10.

186. Патент на корисну модель № 78042 Україна, МПК(2013.01) A01D 25/00. Копач для коренеплодів. Ю. О. Дорошенко, М. П. Волоха, В. М. Волоха, Л. В. Болдирєва; заявник і власник Національний авіаційний університет. № у 2012 08785; заяв. 17.07.2012; опуб. 11.03.2013. Бюл. № 5.

187. Переваги використання енергонасичених тракторів. [М. В. Роїк, А. М. Мазуренко, С. П. Гудзь та ін.]. Цукрові буряки. 1998. № 5. С. 12–13.
188. Перспективи механізації збирання цукрових буряків. [М. В. Роїк, А. М. Мазуренко, О. С. Каладжан та ін.]. Цукрові буряки. 1998. № 4. С. 7–9.
189. Петров Г. Д. Картофелеуборочные машины. Москва. Машиностроение. 1984. 320 с.
190. Петров Г. Д., Корниенко А. В., Нанаенко А. К. Перспективы механизации уборки сахарной свеклы. Сахарная свекла. 1994. № 9. С. 5–9.
191. Петров Г. Д., Хвостов В. А., Левчук Л. И. Французские машины для обрезки ботвы сахарной свеклы. Механизация и электрификация социалистического сельского хозяйства. 1973. № 2. С. 54–55.
192. Погорелый Л. В., Татьянко Н. В. Свеклоуборочные машины (история, конструкция, теория, прогноз). К. Феникс. 2004. 232 с.
193. Погребняк С. П., Волоха М. П., Войтюк П. О. Можливості освоєння перспективних напрямків в технологіях буряковиробництва України. Фондовый рынок. 1998. № 44 (102). С. 28–29.
194. Погребняк С. П., Волоха М. П. Передпосівний обробіток з найменшими енерговитратами. Цукрові буряки. 1998. № 3. С. 21–22.
195. Погребняк С. П., Захарова В. В., Волоха М. П. Энергосберегающая интенсивная технология. Сахарная свекла. 2000. № 2. С. 14–16.
196. Погребняк С. П., Волоха М. П., Маковецький О. А., Полушкін О. В. Енергозощаджуюча технологія виробництва цукрового буряку. Науково-інформаційний бюлетень завершених наукових розробок УААН «Аграрна наука – виробництву». Київ. Аграрна наука. 1999. № 2 (8). С. 8.
197. Погребняк С. П., Волоха Н. П. От чего зависит качество уборки. Сахарная свекла. 1995. № 8. С. 14–17.
198. Поспелов Г. С., Ириков В. А. Программно-целевое планирование и управление. Москва. Советское радио. 1976. 440 с.

199. Пустыльник Е. И. Статистические методы анализа и обработки наблюдений. Москва. Наука. 1968. 288 с.
200. Растрингин Л. А. Современные принципы управления сложными объектами. Москва. Советское радио. 1980. 232 с.
201. Рекомендації з технології весняного обробітку ґрунту, сівби та догляду за посівами цукрових буряків в умовах 2012 року. Київ. ІБКіЦБ. 2012. 40 с.
202. Роїк М. В., Волоха М. П., Войтюк П. О., Фурса А. В. Ефективність механізованих технологій вирощування та збирання цукрових буряків. Вісник аграрної науки. 2000. № 4. С. 43–46.
203. Роїк М. В., Іващенко О. О., Пиркін В. І. та ін. Високоєфективна технологія виробництва цукрових буряків. Київ. ІЦБ НААН України. Глобус Прес. 2010. 166 с.
204. Роик Н. В., Курило В. Л., Синченко В. Н. и др. Высококачественный сев – залог высокой продуктивности и качества сахарной свеклы. Сахарная свекла. 2012. № 2 С. 28–32.
205. Рузин И. М. Свеклоуборочный комбайн КСТ-ЗА. Руководство по сборке, уходу и эксплуатации свеклокомбайна с каталогом запасных частей. Днепропетровск. ДКЗ. 1974. 87 с.
206. Рыков А. С. Системный анализ: модели и методы принятия решений и поисковой оптимизации. Москва. Издательский Дом МИСиС, 2009. 608 с.
207. Сарапулов А. К., Волоха Н. П. Технологический процесс выкапывания корнеплодов сахарной свеклы дисковыми копачами. Тракторы и сельхозмашины. 1984. № 2. С. 19–21.
208. Свеклоуборочные машины (конструирование и расчет). Под ред. Л. В. Погорелого. К. Техніка. 1983. 168 с.
209. Семенов Д. А. Новые свеклоуборочные комбайны. Комплексная механизация возделывания сельскохозяйственных культур. Москва. Колос. 1968. С. 81–84.

210. Семькин В. А. Совершенствование технологии и средств механизации производства сахарной свеклы в ЦЧР на агроэкологической основе. дис. докт. с.-х. наук. 05.20.01. Курск. 2003. 42 с.

211. Сергиенко И. В. Математические модели и методы решения задач дискретной оптимизации. Київ. Наукова думка. 1988. 472 с.

212. Синеоков Г. Н., Панов И. М. Теория и расчет почвообрабатывающих машин. Москва. Машиностроение, 1977. 328 с.

213. Сільськогосподарські машини. Луцьк. ЛНТУ. 2009. Вип. 18. 546 с.

214. Сінченко В. М., Пиркін В. І. Управління процесами біоадаптивної технології виробництва цукрових буряків. Цукрові буряки. 2013. № 3. С. 6–13.

215. Сінченко В. М. Управління формуванням продуктивності цукрових буряків. Київ. ТОВ «Нілан-ЛТД». 2012. 582 с.

216. Статистичний аналіз агрономічних дослідних даних в пакеті Statistica-6. [Е. Р. Ермантраут, О. І. Присяжнюк, І. Л. Шевченко]. Київ. 2007. 55 с.

217. Степаненко С. П., Швидя В. О. Імітаційне моделювання технологічних систем післязбиральної обробки зерна. Механізація та електрифікація сільського господарства. Глеваха. ННЦ «ІМЕСГ» НААН України. 2013. Вип. 97. Т. 2. С. 357–363.

218. Сучасна вітчизняна альтернативна технологія збирання цукрових буряків. [М. Роїк, Я. Гуков, А. Мазуренко та ін.]. Пропозиція. 2006. № 9. С. 79–81.

219. Сысолин П. В., Погорельый Л. В. Почвообрабатывающие и посевные машины: история, машиностроение, конструирование. Киев. Феникс. 2005. 264 с.

220. Теслюк Г. В., Сокол С. П., Волик Б. А., Пономаренко Н.О. Розробка робочих органів ґрунтообробних знарядь з використанням

методів біоніки. Східно-Європейський журнал передових технологій. 2019. № 3/1 (99).

Режим доступу: <http://dspace.dsau.dp.ua/jspui/handle/123456789/1807>.

221. Томашевский В. Н., Жданова Е. Г. Имитационное моделирование в среде GPSS. М. Бестселлер. 2003. 416 с.

222. Томиленко Е. Г. Исследование технологических качеств и их изменений при хранении свеклы, убранной комплексами машин. автореф. дис. на соискание научн. степени канд. техн. наук. Киев. 1981. 23 с.

223. Топоровский С. А. Обоснование технологического процесса и основных параметров рабочего органа для уборки ботвы сахарной свеклы без копирования головок корнеплодов. автореф. дис. на соискание научн. степени канд. техн. наук. Киев. 1988. 19 с.

224. Тракторное и сельскохозяйственное машиностроение. Сер. 2. Сельскохозяйственные машины и орудия. Развитие конструкций машин для уборки сахарной свеклы. Москва. ЦНИИТЭИ тракторосельхозмаш. 1986. № 8. 34 с.

225. Фізико-математичне моделювання складних систем. [Я. Буряк, Є. Чапля, Т. Нагірний, В. Чекурін та ін.]. Львів. СПОЛОМ. 2004. 264 с.

226. Фотосинтетическая деятельность растений в посевах / А. А. Ничипорович, Л. Е. Строгонова, С. Н. Чмора и др. // В кн.: Методы и задачи учета в связи с формированием урожаев. – М. : Изд-во АН СССР, 1961. – 135 с.

227. Хамханова Д. Н. Общая теория измерений: Учебное пособие. Улан-Удэ. ВСГТУ. 2006. 168 с.

228. Цукрові буряки (вирощування, збирання, зберігання). За ред. Д. Шпаара. Київ. ННЦ ІАЕ. 2005. 340 с.

229. Цукрові буряки: біологія, насінництво, агротехніка, технологія. [В. М. Балан, Л. М. Карпук, О. В. Балагура, С. П. Вахній]. Біла Церква. 2013. 336 с.

230. Чернявская Л. И., Хелемский М. З. К вопросу о потерях сахара при хранении свеклы. Сахарная промышленность. 1996. № 1. С. 1–8.
231. Чиков В. И. Связь фотосинтеза с продуктивностью растений. Соросовский образовательный журнал. 1997. № 12. С. 282–294.
232. Шабельник Б. П. Конвейеры-очистители корнеуборочных машин: теория и расчет. Київ. Міносвіта. 1998. 243 с.
233. Шабельник Б. П., Мартынов В. М., Серебряков И. Н. Методика расчета производительности кулачковых очистителей. Техника в сельском хозяйстве. 1991. № 2. С. 56–57.
234. Шаповал Н. П. Равномерность размещения растений и продуктивность свеклы. Сахарная свекла. 1985. № 3. С. 24–25.
235. Шишкин И. Ф. Теоретическая метрология. Ч. 1. Общая теория измерений. Санкт-Петербург. Питер. 2010. 192 с.
236. Шмиттманн О. Долгая осень и высокие урожаи: особенности производства сахарной свеклы в Великобритании. Новое сельское хозяйство. 2006. № 3. С. 102–103.
237. Юрчук В. П., Волоха М. П. Моделювання робочих поверхонь копачів коренезбиральних машин. Прикладна геометрія та інженерна графіка. Мелітополь. ТДАТА. 2005. Вип. 4. Т. 30. С. 41–46.
238. Юрчук В. П. Геометрическое конструирование поверхностей выкапывающих рабочих органов корнеуборочных машин. автореф. дис. на соискание научн. степени канд. техн. наук. Киев. 1987. 26 с.
239. Яблонський П. М. Геометричне моделювання поверхонь ґрунтообробних знарядь дискового типу з урахуванням явища інтерференції. автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук. Мелітополь. 2011. 23 с.
240. Bulich C. Biotechnische Einflussfaktoren auf die Köpfgualität von Zuckerrüben. inang. diss. Bonn. 1990. 153 s.
241. Bulgakov, V., Holovach, I., Beloev, H., Nozdrovicky, I., Findura. The most complex theory of the symmetric impact of the vibrating digging

working tool on the sugar beet root. *Journal of Agricultural Engineering*. 2018. 49 (4). 795. pp. 207-219 (Skopus).

242. Calagan K. Anforderungen an neuen Pflanzenschutzmaschinen. *Landwirtschaftsblatt Wesser. Ems*. 1987. N 7. P. 16–17.

243. Davson J. H. Competition between irrigated sugar beets and annual weeds. 1985. Vol. 13. P. 245–249.

244. Edwards G. Leaf phosphate status, photosynthesis and carbon partitioning in sugar beet. *Plant Physiol*. 1989. Vol. 90 (3). P. 814–819.

245. *Encyclopedia of measurement and statistics*. Edited by N. J. Salkind. SAGE Publications. 2007. 1219 p.

246. Ganzelmecer H. Was bringen die neuen Spritzverfahren?. *DLZ. Witt*. 1985. Y"g. 100. H. 17. P. 1–8.

247. Graf F. Mullr H/I. Mehrjährige Zusammenfassung der Zuckerrüben-sortenversuche 1931–1970. *Versuchsberichte des Zucker. Forschungsinstitutes*. 1970.

248. Gruber W. Trends bei der Technik für die Zuckerrübenernte. *Landtechnik*. 2001. Jg. 56. № 6. P. 380-381. Gutefachliche Praxis zur Vorsorge gegen Bodenschadverdichtungen und Bodenerosion. Referat 516. Bonn. Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung.

249. Hoffman B., Pallutt B. Neue Ergebnisse des Einsatzes von Betanal in Zuckerruben. *Feldwirtschaft*. 1985. P. 123–125.

250. Hutl Z. Geänderte Anforderungen an Pflanzenschutzmitteln. *Prakt. Landtechnik*. 1983. 38. – 4. 6–10.

251. Knott L. Bessere Düsen technik für pflanzen schutzgeräte. *Lohn-ernehmen in Lond. Orstwirtschaft*. 1988. 40. P. 148–156.

252. Koller R. Konstruktionsmethode für den Maschinen-, Geräte- und Apparatebau. Berlin. Springer-Verlag. 1976. 191 p.

253. Kurth H. *Chemische Unkrautbekämpfung*. V.E.B. Gustav Fisher Verlag Yena. 1968. 339 p.

254. Márquez L. Maquinaria para la recolección de la remolacha. Agrotécnica. 2007. Abril. P. 42–46. Julio. P. 32–39. Agosto. P. 24–31. Septiembre. P. 2–11.

255. Modeling and Simulation Body of Knowledge (M&SBoK) [електронний ресурс] <http://www.site.uottawa.ca/~oren/MSBOK/MSBOK-index.pdf>

256. Mykola Volokha. Larisa Boldyrieva Modeling of the working surface form of the topsoil loosener. 16-я Межд. конф. молодых ученых «Наука-будущее Литвы». 8 мая 2013. Вильнюс. Технический университет им. Гедиминаса. 2013. Вып. 16. С. 208–214.

257. Moitzi G., Boxberger J. Vermeidung von Bodenschadverdichtungen beim Einsatz von schweren Maschinen – eine aktuelle Herausforderung. Ländlicher Raum. 2007. P. 1–27.

258. Mindin R. D. Calculation of mass descriptions of root crops. Proc. First. at. Cong. Appl. Mech. Chicago. 2003. p. 2530.

259. Morozov I. et al. Improving the efficiency of sowing technology by improving the design parameters of coulters. Східно-Європейський журнал передових технологій, [S.l.], v. 4, n. 1 (100), p. 33-45, jul. 2019. ISSN 1729-4061. Доступно за адресою: <http://journals.uran.ua/eejet/article/view/174445>.

260. Neururer H. Neuentwicklungen in der Anwendungstechnik von Pflanzenschutzmitteln. Forderungsdienst. 1985. 33. – 1. P. 3–7.

261. Neuster Stand der Anwendungstechnik im Pflanzenschutz. Prakt. Landtechnock. 1981. 34. – 4. P. 110–112.

262. 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. 1933. Vol. 25. P. 379–410.

263. Pirkelmann H. Futterrübenerte. Technik in Feld und Stall. Bonn. Bad Godesberg. 1980. 32 p.

264. Ross S.M. Introduction to Probability and Statistics for Engineers and Scientists. London. Elsevier Academic Press. 2004. 624 p.

265. Fechler P. Hinweise und Erfahrungen zur Senkung der Ernte-verluste beim Kopfen von Zuckerruben mit dem Kopflader. Landtechnik Information. 1977. Vol. 16. № 10. P. 170-172.

266. Sugar Beet. Edited by A. P. Draycott. Blackwell Publishing Ltd. 2006. 370 p.

267. V. Bulgakov, V. Adamchuk, I. Holovach, L. Nozdrovicky. Theory Of The Interaktion Of Flat Sensing Organ With The Head Of The Sugar Beet Root. Journal of Agricultural Engineering. Volume 48, Issue 4. 2017. Article number 676. Pages 235-244. Italy (Skopus).

268. Volokha M., Boldyrieva L. Simulation technology of sugar beet. Вісник Національного авіаційного університету. 2014. Т. 61. № 4. С 133–139.

269. Volokha M. P. Аналіз технологічної ефективності процесу обробітку цукрових буряків на основі методу моделювання. Науковий журнал «Техніка та енергетика». [S.l.]. v. 9. n. 2. p. 89-94. січ. 2019. ISSN 2663-1342. Доступно за адресою: <http://journals.nubip.edu.ua/index.php/Tekhnica/article/view/12247>.

270. Volokha M. P. Дослідження показників розміщення сходів цукрових буряків за висіву насіння механічними і пневматичними сівалками. Науковий журнал «Техніка та енергетика». [S.l.]. v. 9. n. 3. p. 153-158. січ. 2019. ISSN 2663-1342. Доступно за адресою: <http://journals.nubip.edu.ua/index.php/Tekhnica/article/view/12237>.

271. Volokha Mykola Tillage Tool Modeling for Soil Loosening Before Sugar Beet Seeding. TEKA. An International Quarterly Journal on Motorization, Vehicle Operation, Energy Efficiency and Mechanical Engineering. Lublin-Rzeszow. 2018. Vol. 18. No 2. P. 43-49.

272. Volokha Mykola Model of Trajectory of Falling Seed When Sowing Sugar Beet by Pneumatic Seeder. TEKA. An International Quarterly Journal on

Motorization. Vehicle Operation, Energy Efficiency and Mechanical Engineering. Lublin-Rzeszow. 2018. Vol. 18. No 3. P. 73-79.

273. Wooldridge M. J. An introduction to multiagent systems. JOHN WILEY & SONS. LTD. 2002. 348 p.

274. ZuckerrübenErntesystem sechsreihig: Köpfroder KR 6-II. Franz Kleine. Maschinenfabrik GmbH Co. 1987. 4 s.

ДОДАТКИ

**Дані польових досліджень агрегатів для передпосівного
обробітку ґрунту**

Показники	Склад агрегата						
	одноопераційного					комбінованого	
	ХТЗ-121+ АРВ-8,1-01	ХТЗ-121+ АРВ-8,1-02	Т-150К+ АРВ-8,1-02	МТЗ-80+ УСМК-5,4Б	МТЗ-80+ Експерим.	Т-150+ Компактор	ХТЗ-121+ АРВ-8,1-01+...02
Оцінка за агротехнічними показниками							
Середня глибина обробітку h, см	4,0						
Відхилення середньої глибини обробітку σ , \pm см	1,0	0,7	0,8	1,1	1,0	0,8	0,7
Подрібнення спущеного шару ґрунту до \varnothing 25мм, %	97,7	98,5	91,1	87,5	95,6	96,2	96,8
Гребнистість поверхні поля Г, см	4,0	3,2	4,4	6,3	5,1	3,3	3,0
Польова схожість насіння Р, % (сорт Гала, сівалка Мультикорн),	62,8	63,9	60,4	57,9	59,3	64,8	62,0
Оцінка за показниками ресурсовитрат							
Маса агрегату (машини), кг	10150 (1850)	10200 (1900)	9700 (1900)	4150 (990)	4150 (990)	11520 (3720)	12050 (3750)
Потужність двигуна, квт	88	88	121	55	55	121	88
Витрати пального, кг/га	2,6	2,4	4,7	3,5	3,3	4,9	3,2
Ширина захвату, м	9,0	8,6	8,6	5,4	5,4	6,0	9,0
Робоча швидкість, км/год	11,0	11,6	8,0	8,0	7,5	7,5	7,5
Продуктивність за 1 год змінного часу, га	9,9	10,0	6,9	4,3	4,3	4,5	6,7
Питома матеріалоємкість, кг-год/га	1025 (187)	1020 (190)	1405 (275)	965 (230)	965 (230)	2560 (825)	1798 (560)
Питома енергонасиченість, квт-год /га	8,9	8,8	17,5	12,8	12,8	26,9	13,1

**Структура затрат праці за видами технологій залежно
від задіяного комплексу машин**

Показники	Технологія на базі машин		
	серійних	нових вітчизнян их	зарубіжних
Прямі експлуатаційні витрати, грн./га	1303,18	1378,7	2304,05
у тому числі:			
заробітна плата	279,30	162,33	36,65
реновація	254,10	210,00	413,95
капітальний та поточний ремонт й періодичне технічне обслуговування	199,15	165,30	293,68
пальне	102,88	106,96	103,76
технологічні матеріали	374,00	635,10	1335,26
транспортування коренеплодів			
на цукровий завод	93,75	99,00	120,75
Затрати праці, люд.- год/га	131,31	80,20	26,38
у тому числі:			
основний обробіток ґрунту	3,82	3,90	3,58
ранньовесняний обробіток ґрунту та сівба	1,84	1,63	3,17
догляд за посівами	114,40	60,15	4,68
збирання і транспортування	11,25	14,52	14,95
Урожайність коренеплодів, т/га	37	44	63
Прямі експлуатаційні витрати на 1 т, грн.	35,2	31,3	36,6
Затрати праці на 1 т, люд.-год	3,55	1,82	0,42



Продовження додатка В

(11) **47743**(19) **UA**(51) МПК (2009)
B08B 9/00(21) Номер заявки: **u 2009 08002**(22) Дата подання заявки: **29.07.2009**(24) Дата, з якої є чинними
права на корисну модель: **25.02.2010**(46) Дата публікації відомостей
про видачу патенту та
номер бюлетеня: **25.02.2010,
Бюл. № 4**(72) Винахідники:
**Юрчук Володимир
Петрович, UA,
Волоха Микола Петрович,
UA,
Волоха Владислав
Миколайович, UA,
Болдирева Лариса
Владиславовна, UA**(73) Власник:
**НАЦІОНАЛЬНИЙ
АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ,
пр.Комарова,1, м.Київ, 03680,
Україна, UA**

(54) Назва корисної моделі:

РОБОЧИЙ ОРГАН ҐРУНТОБРОБНОГО ЗНАРЯДДА (ДИСК)

(57) Формула корисної моделі:

Робочий орган ґрунтообробного знаряддя (диск), що містить маточину та розміщені на ній радіальні ребра, який відрізняється тим, що поперечний переріз кожного з ребер виконаний у вигляді рівнобічної трапеції, а радіальний - прямокутного трикутника, більший катет якого розташований перпендикулярно до осі маточини і перетинається під прямим кутом з більшою основою трапеції.



УКРАЇНА

(19) (UA)

(11) **55133 A**

(51) 7 A01C1/00

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І
НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ

Деклараційний патент на винахід

видано відповідно до Закону України
"Про охорону прав на винаходи і корисні моделі"

Голова Державного Департаменту
інтелектуальної власності



М. Паладій

(21) 2002075487

(22) 04.07.2002

(24) 17.03.2003

(46) 17.03.2003. Бюл. № 3

(72) Роїк Микола Володимирович, Войтюк Петро Олексійович, Волоха Микола Петрович

(73) Інститут цукрових буряків Української академії аграрних наук

(54) ПРИСТРІЙ ДЛЯ ПІДГОТОВКИ НАСІННЯ ДО СІВБИ



УКРАЇНА

(19) UA (11) 55133 (13) A
(51) 7 A01C1/00МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІОПИС
ДО ДЕКЛАРАЦІЙНОГО ПАТЕНТУ
НА ВИНАХІДвидається під
відповідальність
власника
патенту

(54) ПРИСТРІЙ ДЛЯ ПІДГОТОВКИ НАСІННЯ ДО СІВБИ

1

2

(21) 2002075487

(22) 04.07.2002

(24) 17.03.2003

(46) 17.03.2003, Бюл. №3, 2003 р.

(72) Роїк Микола Володимирович, Войтюк Петро
Олексійович, Волоха Микола Петрович

(73) ІНСТИТУТ ЦУКРОВИХ БУРЯКІВ УК-

РАЇНСЬКОЇ АКАДЕМІЇ АГРАРНИХ НАУК

(57) Пристрій для підготовки насіння до сівби, що
містить розташовані один за одним диск і сошник,
який відрізняється тим, що додатково містить
транспортер з вмонтованими ємностями, які
фіксують насіння визначеної ваги.

Винахід відноситься до галузі сільськогосподарського машинобудування і може бути використаний в насінництві та селекції.

Так, відомо, наприклад, маса однієї звичайної насінини фракції 3,5 - 4,5мм сорту ЛВМС-21 знаходиться в межах 7,60 - 28,25мг, середня маса складає 13,96мг, а коефіцієнт варіації мас - 23%. Маса однієї дражованої насінини фракції 3,25 - 4,25мм сорту Матадор знаходиться в межах 19,05 - 43,30мг, середня маса однієї насінини складає 27,34мг, коефіцієнт варіації мас - 22%.

Великий діапазон розбіжності ваг насінин призводить до відхилення фактичних інтервалів при висіві від заданих. Після сходження насінин з висівного диску в залежності від своєї ваги, насінини опускаються в земляне ложе на змінних між собою відстанях. Коефіцієнт варіації інтервалів між рослинами при посіві цукрових буряків сучасними сівалками складає 36,6 - 77,6% (Войтюк П., М. Волоха Якість сівби цукрового буряку новими сівалками //Пропозиція - 2000 - №4 стор.84). Відомо, що покращення рівномірності розміщення рослин по довжці рядка (по коефіцієнту варіації інтервалів) на 1% збільшує врожайність коренеплодів, як мінімум, на 0,12т/га. При цьому збільшується також і їх цукристість (Паламарчук В.И. Сев на конечную густоту насаждения. Когда он возможен? //Сахарная свекла - 1987 - №3).

Відомий за конструктивним виконанням пристрій сівалки для сівби насіння цукрових буряків, соняшнику, кукурудзи, сої та бобових за допомогою висівної системи яка являє собою комбінацію дисків з отворами і камерою колеса та сошником (Микола Роїк, кн. Буряки, Українська академія аграрних наук Інституту цукрових буряків, м. Київ 2001. стор.117). Відомий пристрій має спільні з

винаходом ознаки - розташовані один за одним диск з отворами та сошник, однак відомий пристрій не вирішує задачі розподілу насіння на фракції за своєю вагою.

В основу винаходу поставлено задачу вдосконалити пристрій для підготовки насіння до посіву шляхом конструктивних змін і доповнень його новими вузлами, що забезпечить розподіл насіння на фракції за своєю вагою, що дасть змогу при посіві рівномірніше розмістити (висіяти) насіння, а при проростанні його - і рослин впродовж рядка.

Поставлена задача вирішується тим, що у відомому пристрої для підготовки насіння до посіву, який включає розташовані один за одним диск і сошник, згідно з винаходом пристрій додатково має транспортер з вмонтованими ємностями, які фіксують насіння визначеної ваги.

При здійсненні винаходу з новими конструктивними вузлами, а саме транспортера з вмонтованими ємностями, які фіксують насіння визначеної ваги, тобто насіння розподіляється на фракції за своєю вагою дозволяє покращити точність розміщення насіння по довжині рядка при посіві на 10 - 15% за коефіцієнтом варіації інтервалів, а це в свою чергу дає можливість підвищити врожайність сільськогосподарських культур.

Загальний вигляд запропонованого пристрою зображений на фігурі.

Пристрій являє собою головну частину посівної секції сівалки (фіг.) з висівним диском 1, сошником 2 та транспортером 3 з вмонтованими ємностями для фіксації падаючого насіння.

Запропонований пристрій працює таким чином. При обертанні диска 1 насіння по одному в кожному отворі переміщується в зону сошника 2, після чого воно в залежності від своєї ваги потра-

(19) UA (11) 55133 (13) A

Підписано до друку 03.04.2003 р.

Тираж 39 прим.

ТОВ "Міжнародний науковий комітет"

вул. Артема, 77, м. Київ, 04050, Україна

(044) 236 - 47 - 24



Продовження додатка Д

(11) **59726**(19) **UA**(51) МПК
A01D 25/04 (2006.01)

(21) Номер заявки:	u 2010 13625	(72) Винахідники:
(22) Дата подання заявки:	16.11.2010	Юрчук Володимир
(24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель:	25.05.2011	Петрович, UA,
(46) Дата публікації відомостей про видачу патенту та номер бюлетеня:	25.05.2011, Бюл. № 10	Волоха Микола Петрович, UA,
		Башта Олена Трифонівна, UA,
		Волоха Владислав Миколайович, UA,
		Болдирєва Лариса Владиславівна, UA
		(73) Власник:
		НАЦІОНАЛЬНИЙ
		АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ,
		пр. Комарова, 1, м. Київ,
		03680, UA

(54) Назва корисної моделі:

РОБОЧИЙ ОРГАН ДЛЯ ВИКОПУВАННЯ КОРЕНЕПЛОДІВ

(57) Формула корисної моделі:

Робочий орган для викопування коренеплодів, що містить два спарені диски, розташовані під кутом один до одного, та розміщений вздовж повздовжньої осі симетрії робочого органу транспортуючий пристрій, виконаний у вигляді шнека з навивкою, який відрізняється тим, що крок навивки транспортуючого шнека зменшується в напрямку від центра дисків до їх периферії.



UA 78042 U

Корисна модель належить до сільськогосподарського машинобудування, призначена для робочих органів викопування коренеплодів і може знайти застосування в коренезбиральних машинах та бурякокомбайнах.

Відомий копач для коренеплодів, у якому коренеплоди викопуються двома спареними дисками і транспортуються гвинтовим шнеком до сепарувальних робочих органів машин (А.С. СРСР № 460029, кл. А 01 D 25/4, 1975).

Найближчим до пристрою, який заявляється і який вибрано як аналог, є копач для коренеплодів, що містить два спарених диски, розташованих під кутом один до одного, та розміщений вздовж повздовжньої осі симетрії копача гвинтовий шнек-транспортёр з кроком, який зменшується в напрямі транспортування коренеплодів (патент України на корисну модель № 59726, МПК А 01 D 25/4, 2011).

Під час роботи на вологих і перезволожених ґрунтах шнек відомого копача, виконаного у формі прямого гелікоїда з твірною, перпендикулярною до його осі, не досить ефективно здійснює технологічний процес транспортування щойно викопаних коренеплодів з одночасним їх очищенням від ґрунту та решток бур'яну й гички, оскільки за таких умов сила тертя ковзання маси оберемка коренеплодів по робочій поверхні шнека суттєво зменшується.

Основою корисної моделі стала задача вдосконалення конструкції шнека копача з метою підвищення ефективності роботи останнього.

Поставлена задача розв'язується у такий спосіб. Копач для коренеплодів, має два спарених диски, розташованих під кутом один до одного, і розміщений вздовж його повздовжньої осі симетрії шнек-транспортёр з кроком, який зменшується в напрямі транспортування коренеплодів. Відповідно до корисної моделі шнек виконано у формі косоного гелікоїда, твірна якого утворює гострий кут з віссю.

Запропонованою конструкцією копача за рахунок плавного зменшення кута нахилу твірної шнека до його осі створюється поступове збільшення сили тертя і відцентрової сили інерції при прискореному обертанні оберемка коренеплодів по робочій поверхні шнека. При цьому якість очищення коренеплодів від ґрунтових і рослинних решток підвищується, що є особливо важливим у перезволожених умовах збирання урожаю.

Суть запропонованої корисної моделі пояснюється кресленням, на якому зображено копач для коренеплодів.

Диски 1, які встановлені під кутом один до одного, перекочуючись у ґрунті на певній глибині, викопують коренеплоди і передають їх у зону шнека 2, який, обертаючись, очищує коренеплоди від ґрунту, бур'яну і залишків гички та подає їх для подальшої обробки машиною. Оскільки крок нахилу і нахил твірної шнека 2, виконаного у формі гелікоїда, у напрямі виконання технологічного процесу зменшується, то в результаті підвищується кутова швидкість транспортування коренеплодів і якість їх очищення.


ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

Копач для коренеплодів, який містить два спарених диски, розташованих під кутом один до одного, та який має розміщений вздовж його повздовжньої осі симетрії гвинтовий шнек-транспортёр з кроком, що зменшується в напрямі транспортування коренеплодів, який відрізняється тим, що шнек виконано у формі косоного гелікоїда.

Комп'ютерна верстка Л.Литвиненко

Державна служба інтелектуальної власності України, вул. Урицького, 45, м. Київ, МСП, 03680, Україна

ДП "Український інститут промислової власності", вул. Глазунова, 1, м. Київ – 42, 01601



ДЕРЖАВНЕ ПАТЕНТНЕ ВІДОМСТВО УКРАЇНИ
ВИДАЛО

ПАТЕНТ


№ 5132

НА ВИНАХІД


ВИНАХІД ЗАНЕСЕНИЙ ДО ДЕРЖАВНОГО РЕЄСТРУ
ВИНАХОДІВ УКРАЇНИ

« 28 » грудня 199 4 року

ДІЯ ПАТЕНТУ ПОШИРЮЄТЬСЯ НА ТЕРИТОРІЮ УКРАЇНИ



Голова Держпатенту
України



В. Петров



УКРАЇНА

ДЕРЖАВНЕ
ПАТЕНТНЕ
ВІДОМСТВО

(19) UA (11) 5132

(10) SU 1635297 A1

(51)5 A 01 B 79/02, A 01 C 7/00

ОПИС ДО ПАТЕНТУ
НА ВИНАХІД

(54) СПОСІБ ВИРОЩУВАННЯ ЦУКРОВИХ БУРЯКІВ

(21) 4720953/SU

(22) 19.07.89

(24) 28.12.94

(46) 28.12.94. Бюл. № 7-І

(72) Борисюк Володимир Олексійович, Зуєв Микола Михайлович, Паламарчук Володимир Іларіонович, Волоха Микола Петрович, Маковецький Олег Андрійович

(73) Інститут цукрових буряків Української академії аграрних наук

(57) 1. Способ возделывания сахарной свеклы, включающий механизированный точный высеv на конечную густоту, уход за посевами и уборку ботвы и корнеплодов, о т л и ч а ю щ и й с я тем, что, с целью повышения продуктивности свеклы путем рационального размещения растений с учетом оптимальной площади питания для каждого растения, устанавливают схему чередования основных и технологических междурядий в соответствии с шириной захвата посевного агрегата по соотношению

$$B = (n \cdot m + M)i,$$

где В – ширина рабочего захвата посевного агрегата, м;

п – число основных междурядий между технологическими;

т – ширина основных междурядий, м;

М – ширина технологических междурядий, м;

і – число повторяющихся сочетаний (п · т + М), при этом М = 1,5т,

а точный высеv на конечную густоту осуществляют в соответствии с установленной схемой и принимают площадь питания каждого растения равной прямоугольнику с соотношением сторон 0,9–1,2, при этом при уходе ходовую часть энергетического средства обрабатывающего агрегата направляют по основным междурядьям, а колеса обрабатывающей машины – по технологическим междурядьям, а при уборке ботвы и корнеплодов число рядков в рабочем захвате агрегата, убираемых за каждый его проход, принимают кратным двойному сочетанию числа основных междурядий с технологическим и направляют энергетическое средство по середине технологического междурядья.

2. Способ по п. 1, о т л и ч а ю щ и й с я тем, что соотношение сторон прямоугольника, определяющего площадь питания каждого растения, устанавливают по формуле

$$K = \frac{l_p}{m} = \frac{10000 (n + 1)^2}{C \cdot (n \cdot m + M)^2},$$

где К – соотношение сторон прямоугольника;

l_p – сторона прямоугольника, равная шагу посадки растений, м;

т – ширина основного междурядия, м;

С – густота посадки растений, тыс.шт/га;

п – число основных междурядий;

М – ширина технологических междурядий, м.



СОЮЗ СОВЕТСКИХ СОЦИАЛИСТИЧЕСКИХ РЕСПУБЛИК
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ ПО ИЗОБРЕТЕНИЯМ И ОТКРЫТИЯМ
ПРИ ГОСУДАРСТВЕННОМ КОМИТЕТЕ СССР ПО НАУКЕ И ТЕХНИКЕ
(ГОСКОМИЗОБРЕТЕНИЙ)

СВИДЕТЕЛЬСТВО

№ 1635297

На основании полномочий, предоставленных Правительством СССР, Госкомизобретений выдал настоящее свидетельство на изобретение:

"Способ возделывания сахарной свеклы"

Заявитель: **ВСЕСОЮЗНЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
САХАРНОЙ СВЕКЛЫ**

Автор (авторы): **Борисюк Владимир Алексеевич, Зуев Николай
Михайлович, Паламарчук Владимир Иларионович, Волоха
Николай Петрович и Маковецкий Олег Андреевич**

Заявка № **4720953** Приоритет изобретения **19 июля 1989г.**

Зарегистрировано в Государственном реестре
изобретений Союза ССР

15 ноября 1990г.

Председатель Комитета

Начальник отдела




Додаток І

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Головний інженер ПАТ «БОРЕКС»

_____ М. М. Харченко

“ ____ ” _____ 2015 р.

АКТ**впровадження результатів науково-дослідницької роботи**

Ми, що підписалися нижче, представники Національного авіаційного університету (м. Київ) та ПАТ «БОРЕКС» (сmt. Бородянка, Київська обл.), склали цей акт про те, що результати наукових досліджень, виконаних за темою дисертаційної роботи **«Підвищення продуктивності виробництва буряків цукрових на основі моделювання технологічних процесів і технічних засобів»** докторантом НАУ Волохою М.П. (науковий консультант докт. техн. наук, проф. Дорошенко Ю.О.) використовуються в ПАТ «БОРЕКС» при розробці нових і модернізації серійних машин (агрегат ґрунтообробний АГ-6, копач-навантажувач КНБ-6, копач-валкоутворювач КВЦБ-1,2, підбирач-навантажувач ПНБВ-1.6) у тому числі для впровадження у виробництво перспективної технології вирощування і збирання буряків цукрових з комбінованою шириною міжрядь.

Здобувач

Волоха М. П.

Начальник технічного відділу
ПАТ «БОРЕКС»

Твардовський М. А.

А К Т**впровадження науково-технічного досягнення (НТД)
як результат закінченої науково-дослідницької чи дослідно-
конструкторської роботи (НДР чи ДКР)**

1. Назва НДТ, що впроваджується: **Технологія і комплекс модернізованих машин (сівалка, культиватор, збиральні агрегати) для виробництва цукрових буряків з комбінованими (3×30см+1×45см) міжряддями.**
2. Якою науково-дослідною установою (вищим навчальним закладом) одержано НТД що впроваджується і його автори: **Інститут цукрових буряків УААН, Волоха М.П.**
3. Коли і ким прийнято рішення про впровадження НТД: **Вченою радою ІЦБ, протокол № 2, 2002 р.**
4. Де проводилося впровадження (назва і адреса господарства, дослідного, науково-дослідного господарства): **Білоцерківська дослідно-селекційна станція Київської області**
5. Рік і обсяг впровадження (план, фактично): **у 2003 році за планом - 30га, фактично - 30га**
6. Отримано фактичний економічний ефект від впровадження (на одиницю/га, голову, машину і т.п.) і на весь обсяг впровадження: **у 2003 році на 1га – 1150 грн., на 30 га -34500 грн.**
7. Відповідальні за впровадження (ППП, посада)
 - а) від наукової установи: **здобувач** **Волоха М. П.**
 - б) від науково-дослідного господарства: **к.с.-г.н., зав. лабораторією технологій вирощування біоенергетичних культур** **Дубовий Ю. П.**

Акт складено 16 листопада 2014 року

Представники: науково-дослідного господарства:

наукової установи:

Директор Білоцерківської ДСС:

Здобувач:

Бузинний М. В.

Волоха М. П.

“ ____ ” _____ 2015 р. _____

Д О В І Д К А

про впровадження закінченої науково-дослідницької роботи

Дослідне господарство ІБКіЦБ «Шевченківське» (с. Денихівка Тетіївський р-н Київська обл.) підтверджує наступні основні результати лабораторно-польових експериментальних досліджень, виконаних за темою дисертаційної роботи **«Підвищення продуктивності виробництва буряків цукрових на основі моделювання технологічних процесів і технічних засобів»** докторантом НАУ Волохою М. П.

1. Модель гранної робочої поверхні ґрунтообробного знаряддя для передпосівного обробітку ґрунту, випробована у складі зубового борончастого котка, не поступається серійному культиватору УСМК-5,4Б за показниками агротехнічних вимог, а за підвищеної щільності ґрунту ($1,25-1,3 \text{ г/см}^3$) та низької вологості (16–18,5 %) суттєво його переважає (у середньому на 4–6 % за кількістю грудочок діаметром до 25 мм у розпушеному шарі ґрунту), що забезпечило підвищення польової схожості насіння.

2. Розроблені здобувачем гелікоїдальні шнеки-транспортери дискового копача за твердості ґрунту вище 3,5 МПа забезпечують істотне зменшення кількості грудок діаметром більше 50 мм у купі коренеплодів як у варіантах між собою (прямий, похилий гелікоїд), так і відносно контролю (бітерний очисник) (12, 3%, 16,9 % проти 19,8 % за $\text{НІР}_{05} = 2,5\%$). За твердості ґрунту 4,0-4,5 МПа забрудненість грудками зменшувалась майже вдвічі (17,9%, 18,5% проти 35,7%). Показники вмісту домішок у вигляді зеленої маси та кількості пошкоджених коренеплодів за середньої твердості ґрунту (2,5–3,0 МПа) є найнижчі (1,7 % та 4,3 % відповідно) у разі використання похилого гелікоїдального шнека, що суттєво нижче проти контролю за показником зеленої маси (6,9 %, $\text{НІР}_{05} = 3,4\%$). За підвищеної твердості ґрунту (4,0–4,5 МПа) маса пошкоджених коренеплодів бітерним очисником досягла 29,6 %, в той час коли похилий гелікоїдальний шнек забезпечив зниження до 21,1 %, а прямий до 23,6 %, ($\text{НІР}_{05} = 2,7\%$).

3. Результати дисертаційного дослідження здобувача Волохи М.П. впроваджені у технології виробництва фабричних цукрових буряків у 2012-2015 рр. на площі 480 га.

Здобувач

М. П. Волоха

Головний агроном ДПДГ «Шевченківське»

В. Г. Лаштаба

Директор ДПДГ «Шевченківське» ІБКіЦБ,
кандидат сільськогосподарських наук

О. В. Балагура

А К Т
впровадження науково-технічного досягнення (НТД)
як результат закінченої науково-дослідницької чи дослідно-
конструкторської роботи (НДР чи ДКР)

1. Назва НДР, що впроваджується: **«Розробка знаряддя для передпосівного обробітку ґрунту під польові технічні культури»**
2. Якою науково-дослідною установою (вищим навчальним закладом) одержано НТД що впроваджується і його автори: **Інститут біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН України, Волоха М.П.**
3. Коли і ким прийнято рішення про впровадження НТД: **Вченою радою ІБКіЦБ, протокол № 7, 2014 р.**
4. Де проводилося впровадження (назва і адреса господарства, дослідного, науково-дослідного господарства): **ПП ім. Зубковського Миргородського району Полтавської області**
5. Рік і обсяг впровадження (план, фактично): **2015 р. (план - 2400 га, фактично - 2500 га); 2016 р. (план - 2550 га, фактично - 2550га)**
6. Отримано фактичний економічний ефект від впровадження (на одиницю/га, голову, машину і т.п.) і на весь обсяг впровадження: **(5 грн /га), 24750 грн.**
7. Відповідальні за впровадження (ППП, посада)
 - а) від наукової установи: **здобувач** **Волоха М.П.**
 - в) від господарства: **головний агроном** **Кривчун Г.Б.**

Акт складено 10.05.2016 р.

Представники: сільськогосподарської установи:

наукової установи:

Керівник господарства

Здобувач

Таран В.К.

Волоха М.П.