

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ  
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ**

Кваліфікаційна наукова праця  
на правах рукопису

**ДВОРНИК АНДРІЙ ВІТАЛІЙОВИЧ**

УДК 631.331

ДИСЕРТАЦІЯ

**ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ВЗАЄМНОГО РОЗМІЩЕННЯ  
РОБОЧИХ ОРґАНІВ СЕКЦІЇ АГРЕГАТУ ДЛЯ СМУГОВОГО  
ОБРОБІТКУ ҐРУНТУ**

05.05.11 – машини і засоби механізації сільськогосподарського виробництва  
(технічні науки)

Подається на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук

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

А.В. Дворник

Науковий керівник  
Голуб Геннадій Анатолійович,  
доктор технічних наук, професор

Київ – 2020



## АНОТАЦІЯ

***Дворник А.В. Обґрунтування параметрів взаємного розміщення робочих органів секції агрегату для смугового обробітку ґрунту. – Кваліфікаційна друкована праця на правах рукопису.***

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата наук зі спеціальності 05.05.11 «Машини і засоби механізації сільськогосподарського виробництва» (технічні науки). – Національний університет біоресурсів і природокористування України, Київ, 2021.

Технології, агрегати та комплекси робочих органів для обробітку ґрунту, удосконалюються у напрямку забезпечення якості обробітку із зменшенням впливу на ґрунт та енерговитрат. Однією з таких є технологія смугового обробітку ґрунту з відповідним набором робочих органів та їх взаємним розміщенням. Дослідженню конструкційно-технологічних параметрів взаємного розміщення робочих органів агрегатів для смугового обробітку ґрунту і їх впливу на якісно-енергетичні показники в умовах України не приділено достатньої уваги. Необхідно узагальнити доцільність використання технології смугового обробітку ґрунту для отримання ефективного виробничого результату, усвідомлення позитивних можливостей та негативних наслідків, саме тому темою дисертаційної роботи обрано «Обґрунтування параметрів взаємного розміщення робочих органів секції агрегату для смугового обробітку ґрунту».

Проаналізувавши тенденції розвитку агрегатів для смугового обробітку ґрунту, було розроблено узагальнену схему компоновки секції агрегату для смугового обробітку ґрунту, визначено типи і роль складових робочих органів. У роботі досліджено взаємозв'язок між параметрами взаємного розміщення робочих органів секції агрегату для смугового обробітку ґрунту та показниками ефективності їх використання. Розроблено механіко-математичну модель, яка описує параметри взаємного розміщення робочих органів секції агрегату для смугового обробітку ґрунту та показники ефективності їх використання.

Глибкорозпушувач є основним робочим органом який, рухаючись у

необробленому ґрунті на глибині  $H$  у напрямку руху агрегату із швидкістю  $V$ , руйнує цілісну структуру ґрунту, зміщує і перетворює з спокійного стану у рухомий. У процесі обробітку ґрунту формуються зони деформації, що розподіляються вперед і в сторони. Відрізні диски в залежності від відстані між ними та глибини обробітку глибокорозпушувачем, можуть рухатися в умовах блокованого, напіввільного різання та волочіння. При блокованому русі диски рухаються стернею з частково підірваною структурою, долаючи опір розрізання рослинних решток, стискаючи ґрунт, даний рух характеризується незмінністю напрямку руху від початково заданого. Рівномірний поступальний рух робочого органу в ґрунті буде у випадку, коли сила тяги прикладена до робочого органу дорівнюватиме сумарній силі опору.

Незалежно від того де проводиться обробіток ґрунту по стерні пшениці, стеблам кукурудзи чи покривній (сидеральній) культурі, завданням смугового обробітку є забезпечити чистий, рівний, ідеально підготовлений ґрунт. Удосконалено методику оцінки ефективності смугового обробітку для встановлення відповідності впливу взаємного розміщення робочих органів на стан обробленої смуги, що забезпечує оперативне налагодження техніки й усунення недоліків. Запропоновано узагальнений показник, який із урахуванням вагомості окремих показників якості, визначає відносне відхилення значень окремих якісних показників обробітку ґрунту від технологічно заданих, забезпечуючи об'єктивність оцінки. Дотримання агротехнічних вимог при смуговому обробітку ґрунту забезпечить можливість виконання глибокого рівномірного рихлення із внесенням добрив, формування якісного насінневого ложа та подальшого посіву сільськогосподарських культур.

Методика оцінки ефективності смугового обробітку встановлює відповідність впливу робочих органів на стан обробленої смуги і забезпечує оперативне налагодження техніки й усунення недоліків. Запропонований узагальнений показник, із урахуванням вагомості окремих показників якості, визначає відносне відхилення значень окремих якісних показників обробітку ґрунту від технологічно заданих, забезпечуючи об'єктивність оцінки.



Визначення поперечної нерівності методом профілювання, проводили за допомогою програмного забезпечення де розроблено алгоритм визначення загальної довжина ламаної лінії ( $l_L$ ), що описує профіль обробленого ґрунту і фактичну поперечну нерівність поверхні. Поперечна нерівність повинна становити не більше 15 %, а в окремих точках глибина борозенок і висота гребенів – не більше 5 см. Довжина рейки, що дорівнює заданій ширині обробленої смуги  $L_p = 75$  см. Для побудови алгоритму визначення поперечної нерівності, не враховували заміри, що співпадали з грудками розміром більше 5 см, кількість яких не перевищувала 10 %. Грудкуватість визначаємо накладанням на поверхню обробленої смуги прямокутної облікової рамки площею  $0,24 \text{ м}^2$  із комірками розміром  $50 \times 25$  мм. Підраховуємо кількість комірок, займаних грудками розміром 5 см і більше на поверхні ґрунту і визначаємо їх відсоткове відношення до загальної кількості комірок облікової рамки. Для передпосівного обробітку грудкуватість з розміром грудок більше 5 см повинна становити до 10 %, наявність грудок розміром більше 10 см взагалі не допустима.

Для дослідження вибираємо рівномірну, без схилів та долин ділянку поля розміром  $140 \text{ м} \times 30 \text{ м}$ . Довжина гонів розділялася на три складові: перша – відстань 30 м для розгону агрегату і утримання усталеного рівномірного режиму роботи; друга – досліджувана частина довжиною 100 м; третя – довжиною 10 м для гальмування агрегату. Перша і третя частина довжини гону у вимірюваннях не враховувалася. Для забезпечення адекватності експерименту агрегату кожного разу починав рух із однієї сторони і з дотриманням однакової усталеної середньої швидкості руху. Після проведення налаштувань агрегату згідно матриці планування експерименту агрегат починав рух зі однієї сторони досліджуваної ділянки. Під час досліджень робоча передача та швидкість руху агрегату залишалася незмінними, фіксувався час проходження досліджуваної ділянки і витрата палива.

Експериментально встановлені залежності між параметрами взаємного розміщення робочих органів секції агрегату для смугового обробітку ґрунту та показниками ефективності їх використання. При відстані між відрізними

дисками  $B$  меншій рівній зоні розпушення глибокорозпушувачем, диски рухаються у обробленому ґрунті, перемішуючи та волочаючи за собою оброблений ґрунт.

Попередні дослідження проведено скомплектованою експериментальною установкою, у складі енергетичного засобу МТЗ-892 та секції агрегату для смугового обробітку ґрунту. Для виконання другого та третього пунктів програми досліджень прийнято рішення змінити енергетичний засіб МТЗ-892 на енергетичний засіб Т-40.

Проведено попередні дослідження впливу на агротехнічні показники якості параметрів взаємного розміщення робочих органів секції агрегату для смугового обробітку ґрунту при трьох швидкостях руху машино-тракторного агрегату  $V$ , км/год ( $V_1 = 4$  км/год,  $V_2 = 7,5$  км/год,  $V_3 = 11$  км/год), відстані від глибокорозпушувача до осі переднього диска  $L = 50$  см, відстані від глибокорозпушувача до осі відрізних дисків  $C = 38$  см, які показали, що заглиблення відрізних дисків  $h = 4$  см та відстань між відрізними дисками  $B = 50$  см є параметрами недоцільними до використання в секціях агрегатів для смугового обробітку ґрунту. Значення заглиблення відрізних дисків повинно становити  $h = 16$  см.

Адекватність отриманої математичної моделі отриманого рівняння регресії та її придатність для опису досліджуваного процесу перевіряли за критерієм Фішера. Перевірка за критерієм Фішера при 0,05 рівні значущості підтвердила існування взаємозв'язків між конструкційно-технологічними параметрами та результативними ознаками. Перевірка значимості коефіцієнтів регресії при прийнятій довірчій ймовірності проводилась за критерієм Стюдента.

Проведено дослідження впливу глибини обробітку глибокорозпушувачем  $H$ , відстані між відрізними дисками  $B$  та швидкості руху  $V$  на якісно-енергетичні показники обробленої смуги які показують, що для руйнування плужної підшви сформованої при використанні плугів та дискових борін, необхідно встановлювати глибину глибокорозпушувача  $H = 20-27$  см при швидкості руху  $V = 8-9,5$  км/год. Оптимальна відстань між відрізними дисками  $B = 25-35$  см.

Досліджено вплив глибини обробітку глибокорозпушувачем ( $H$ ), відстані між відрізними дисками ( $B$ ) та відстані від глибокорозпушувача до осі відрізнних дисків ( $C$ ) на якісно-енергетичні показники обробленої смуги які показали, що секція агрегату для смугового обробітку ґрунту при глибині обробітку глибокорозпушувачем  $H$  більше 23 см повинна мати відстань між відрізними дисками  $B = 30$  см при відстані від глибокорозпушувача до осі відрізнних дисків  $C = 38-50$  см.

Дослідженнями впливу глибини обробітку глибокорозпушувачем ( $H$ ), відстані від глибокорозпушувача до осі переднього диска ( $L$ ) та відстані від глибокорозпушувача до осі відрізнних дисків ( $C$ ) на якісно-енергетичні показники обробленої смуги, встановлено, що при глибині обробітку глибокорозпушувачем  $H = 27$  см, відстань від глибокорозпушувача до осі переднього диска становить  $L = 55$  см, а відстань від глибокорозпушувача до осі відрізнних дисків  $C = 38$  см.

Отже, параметри взаємного розміщення робочих органів секції агрегату для смугового обробітку ґрунту глибина обробітку глибокорозпушувача  $H = 30$  см, відстань від осі переднього диска до глибокорозпушувача  $L = 55$  см, відстань від глибокорозпушувача до осі відрізнних дисків  $C = 38$  см, відстань між відрізнними дисками  $B = 30$  см, заглиблення відрізнних дисків  $h = 16$  см, що забезпечують поперечну нерівність до 15 % та грудкуватість до 10 %.

Для підвищення ефективності застосування агрегата для смугового обробітку ґрунту шляхом удосконалення параметрів взаємного розміщення робочих органів, встановлено взаємозв'язок між конструктивно-технологічними параметрами робочих органів агрегата та показниками ефективності смугового обробітку ґрунту.

Розроблено і отримано патент на винахід №116501 «Секція агрегату для смугового обробітку ґрунту» та на корисну модель №96064 «Агрегат для смугового передпосівного обробітку ґрунту». На основі огляду та аналізу існуючих агрегатів, розроблено та передано на виробництво 3D-проект агрегата для смугового обробітку ґрунту. У даному проекті враховані ґрунтово-кліматичні умови українських виробників та їх купівельна спроможність. Розроблено комплект

конструкторської документації на виготовлення секції агрегату для смугового обробітку ґрунту із розміщенням на рамі навісного використання, який передано в АТ "Ельворті" м. Кропивницький для використання при виготовленні під замовлення сільськогосподарських підприємств та фермерських господарств;

Економічна ефективність проведених досліджень становить 2,2 л/га або 41,8 грн/га в порівнянні з базовим варіантом – 1tRIPr OrthMan. При прогнозованому завантаженні агрегату для смугового обробітку ґрунту 1 тис. га/рік, термін окупності однієї секції буде становити 1 рік у порівнянні з базовим варіантом, за умови однакової вартості секції агрегату для смугового обробітку ґрунту 41 800 грн. Дослідженнями, проведеними в ПП «Іскра», отримано додаткову економічну ефективність 1403,86 грн/га від використання технології смугового обробітку ґрунту при вирощуванні кукурудзи на зерно у порівнянні з типовою технологією (оранкою).

Технологія смугового обробітку застосовується при вирощуванні різних с.-г. культур і з часом може стати основною технологією обробітку ґрунту для культур широкорядного та здвоєного посіву.

**Ключові слова:** смуга, грудкуватість, поперечна нерівність, витрата палива, робочий орган, швидкість руху агрегату, глибина обробітку, глибокорозпушувач, відрізний диск, передній диск.

## ANNOTATION

*Andrii. V. Dvornyk* Substantiation of parameters of working bodies of section of the unit for strip tillage.

The dissertation on competition of a scientific degree of the candidate of technical sciences on a specialty 05.05.11 – "Machines and means of mechanization of agricultural production". – National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Kyiv, 2021.

Technologies, units and complexes of working bodies for tillage are being improved in the direction of ensuring the quality of tillage, reducing the impact on the soil, reducing energy consumption. One of such technologies is strip tillage with an

appropriate set of working bodies and their mutual placement. The study of the complete set of parameters of mutual placement and their impact on energy quality in Ukraine is not given enough attention, which is why the topic of the dissertation is Substantiation of parameters of mutual placement of working bodies of the section of the unit for strip tillage.

The number of companies offering units for strip tillage with different working bodies is constantly growing on the world market, but the study of structural and technological parameters of mutual placement of working bodies and their impact on energy quality in Ukraine is not given enough attention. It is necessary to generalize the expediency of using the technology of strip tillage to obtain an effective production result, awareness of the positive opportunities and negative consequences.

After analyzing the development trends of units for strip tillage, a generalized layout diagram of the section of the unit for strip tillage was developed, the types and role of the components of the working bodies were determined. The relationship between the parameters of the mutual placement of the working bodies of the unit of the unit for strip tillage and the indicators of their efficiency is investigated. A mechanical-mathematical model has been developed, which describes the parameters of mutual placement of the working bodies of the unit section for strip tillage and indicators of their efficiency.

The cultivator is the main working body which, moving in the uncultivated soil at depth  $H$  in the direction of movement of the unit with speed  $V$ , destroys integral structure of soil, shifts and turns from a quiet condition to mobile. In the process of tillage, deformation zones are formed, which are distributed forward and to the sides. Cutting discs, depending on the distance between them and the depth of cultivation with a ripper, can move in the conditions of blocked, semi-free cutting and drawing. When the movement is blocked, the disks move with a stubble with a partially blown structure, overcoming the resistance of cutting plant remains, compressing the soil, this movement is characterized by the invariance of the direction of movement from the initially set. Uniform translational movement of the working body in the soil will be in the case when the traction force applied to the working body will be equal to the total resistance force.

Regardless of where the tillage is carried out on wheat stubble, corn stalks or cover (green) crop, the task of strip tillage is to ensure clean, level, perfectly prepared soil. The method of evaluating the efficiency of strip tillage has been improved to establish the conformity of the influence of the mutual placement of working bodies on the condition of the treated strip, which provides prompt adjustment of equipment and elimination of shortcomings. A generalized indicator is proposed, which, taking into account the importance of individual quality indicators, determines the relative deviation of the values of individual quality indicators of tillage from the technologically specified, ensuring the objectivity of the assessment. Compliance with agro-technical requirements for strip tillage will ensure the possibility of deep uniform loosening with fertilizers, the formation of quality seedbeds and subsequent sowing of crops.

The method of assessing the effectiveness of strip tillage establishes the compliance of the influence of the working bodies on the condition of the treated strip and provides prompt adjustment of equipment and elimination of shortcomings. The proposed generalized indicator, taking into account the importance of individual quality indicators, determines the relative deviation of the values of individual quality indicators of tillage from the technologically specified, ensuring the objectivity of the assessment.

Determination of transverse roughness by profiling was performed using software where an algorithm was developed to determine the total length of the broken line ( $B$ ), which describes the profile of the treated soil and the actual transverse irregularity of the surface. The transverse unevenness should not exceed 15 %, and at some points the depth of the grooves and the height of the ridges - not more than 5 cm. The length of the rail equal to the specified width of the treated strip  $Lp = 75$  cm. coincided with lumps larger than 5 cm, the number of which did not exceed 10 %. Lumpiness is determined by superimposing on the surface of the treated strip of a rectangular accounting frame with an area of 0,24 m<sup>2</sup> with cells measuring 50 × 25 mm. Count the number of cells occupied by lumps of 5 cm or more on the soil surface and determine their percentage to the total number of cells in the accounting framework. For pre-sowing cultivation, lumps with lumps larger than 5 cm should be up to 10%, the presence of lumps larger than 10 cm is not allowed at all.

For the study we choose a uniform, without slopes and valleys section of the field with a size of  $140 \text{ m} \times 30 \text{ m}$ . The length of the chases was divided into three components: the first - a distance of 30 m to accelerate the unit and maintain a steady uniform mode; the second - the investigated part with a length of 100 m; the third - 10 m long for braking of the unit. The first and third part of the run length was not taken into account in the measurements. To ensure the adequacy of the experiment, the unit each time began to move on one side and with the same steady average speed. After adjusting the unit according to the planning matrix of the experiment, the unit began to move on one side of the study area. During the research, the working transmission and speed of the unit remained unchanged, the time of passage of the study area and fuel consumption were recorded.

The dependences between the parameters of mutual placement of the working bodies of the unit for strip tillage and the indicators of their efficiency are experimentally established. At a distance between the cutting discs in a smaller level zone of loosening with a deep ripper, the discs move in the treated soil, mixing and dragging the treated soil.

Preliminary studies were carried out with a complete experimental setup, as part of the MTZ-892 power tool and the section of the unit for strip tillage. To implement the second and third items of the research program, it was decided to change the energy means MZT-892 to energy means T-40.

Preliminary researches of influence on agrotechnical indicators of quality of parameters of mutual placement of working bodies of section of the unit for strip tillage at three speeds of movement of the machine-tractor unit  $V$ , km/h ( $V_1 = 4 \text{ km/h}$ ,  $V_2 = 7,5 \text{ km/h}$ ,  $V_3 = 11 \text{ km/h}$ ), the distance from the chisel to the axis of the front disc  $L = 50 \text{ cm}$ , the distance from the chisel to the axis of the cutting discs  $C = 38 \text{ cm}$ , which showed that the depth of the cutting discs  $h = 4 \text{ cm}$  and the distance between cutting discs  $B = 50 \text{ cm}$  are parameters that are not suitable for use in sections of units for strip tillage. The value of the depth of the cutting discs should be  $h = 16 \text{ cm}$ .

The adequacy of the obtained mathematical model of the obtained regression equation and its suitability for the description of the studied process were checked by

Fisher's test. Fisher's verification at 0.05 significance confirmed the relationship between design and process parameters and performance characteristics. The significance of regression coefficients at the accepted confidence probability was checked according to Student's criterion.

A study of the influence of the depth of cultivation with a chisel  $H$ , the distance between the cutting discs  $B$  and the speed of the unit,  $V$  on the quality and energy performance of the treated strip which show that to destroy the plow sole formed by using plows  $H = 20-27$  cm at a speed of  $V = 8-9.5$  km/h. The optimal distance between the cutting discs  $B = 25-35$  cm

The influence of the depth of cultivation with a deep chisel ( $H$ ), the distance between the cutting discs ( $B$ ) and the distance from the deep chisel to the axis of the cutting discs ( $C$ ) on the quality and energy performance of the treated strip which showed that the section of the machine when the depth of cultivation with a deep chisel  $H$  more than 23 cm should have a distance between the cutting discs  $B = 30$  cm at a distance from the deep chisel to the axis of the cutting discs  $C = 38-50$  cm

Investigations of the influence of the depth of cultivation with a chisel ( $H$ ), the distance from the chisel to the axis of the front disk ( $L$ ) and the distance from the chisel to the axis of cutting discs ( $C$ ) on the quality and energy performance when the depth of cultivation with a chisel  $H = 27$  cm, the distance from the chisel to the axis of the front disk is  $L = 55$  cm, and the distance from the chisel to the axis of the cutting discs  $C = 38$  cm.

Therefore, the parameters of mutual placement of the working bodies of the section of the unit for strip tillage depth of cultivation of the cultivator  $H = 30$  cm, the distance from the axis of the front disc to the cultivator  $L = 55$  cm, the distance from the chisel to the axis of cutting discs  $C = 38$  cm, cutting discs  $B = 30$  cm, depth of cutting discs  $h = 16$  cm, providing transverse unevenness up to 15 % and lumpiness up to 10 %.

To increase the efficiency of the unit for strip tillage by improving the parameters of mutual placement of working bodies, the relationship between the structural and technological parameters of the working bodies of the unit and the efficiency of strip tillage.



Developed and obtained a patent for the invention №116501 "Section of the unit for strip tillage" and a utility model №96064 "Unit for strip pre-sowing tillage." Based on the review and analysis of existing units, developed and submitted for production 3D-project of the unit for strip tillage. This project takes into account the soil and climatic conditions of Ukrainian producers and their purchasing power. The set of design documentation for the manufacture of a section of the unit for strip tillage with placement on the frame of hinged use, which was transferred to JSC "Elvorti" Kropyvnytskyi for use in custom manufacturing of agricultural enterprises and farms;

The economic efficiency of the conducted researches is 2.2 l/ha or 41.8 UAH/ha in comparison with the basic variant - 1tRIPr OrthMan. With the projected loading of the unit for strip tillage 1 thousand ha/year, the payback period of one section will be 1 year compared to the base version, provided the same cost of the section of the unit for strip tillage 41 800 UAH. The researches carried out in PE "Iskra", received additional economic efficiency of 1403,86 UAH / hectare in processing of a technological product at processing of grain crops.

The technology of strip cultivation is used in the cultivation of various agricultural crops. crops and over time may become the main technology of tillage for crops of wide and double sowing.

**Key words:** strip, lump, cross roughness, fuel consumption, working body, speed of movement of the unit, depth of cultivation, chisel, cutting disk, front disk.

## СПИСОК

### ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

**Статті у наукових фахових виданнях України,**

**у тому числі включених до міжнародних наукометричних баз даних**

1. Голуб Г. А., Дворник А. В. Координатно-просторова оцінка інтенсивності передпосівного обробітку ґрунту. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: Техніка та енергетика АПК. 2014. Вип. 194, Ч. 1. С. 188–194. *(Здобувачем проаналізовано технології передпосівного обробітку ґрунту, визначено переваги та недоліки).*

2. Голуб Г. А., **Дворник А. В.** Тенденції розвитку агрегатів для смугового передпосівного обробітку ґрунту. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: Техніка та енергетика АПК.. 2014. Вип. 196, Ч. 1. С. 48–55. *(Здобувачем проведено огляд існуючих агрегатів для смугового обробітку ґрунту).*

3. Голуб Г. А., **Дворник А. В.** Обґрунтування показників якості та агрономічних вимог до смугового обробітку ґрунту. Наукові горизонти. 2018. № 12 (73). С. 37–44. *(Здобувачем обґрунтовано показники якості смугового обробітку ґрунту та їх визначення).*

4. Голуб Г. А., **Дворник А. В.** Вплив конструкційно-технологічних параметрів на якість смугового обробітку ґрунту. Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства України. 2019. Вип. 24 (38). С. 28–37. *(Здобувачем приведено дослідження впливу на якісні показники взаємної зміни параметрів секції агрегату для смугового обробітку ґрунту та швидкості руху).*

5. Голуб Г. А., **Дворник А. В.** Вплив параметрів секції агрегату для смугового обробітку на поперечну нерівність ґрунту. Наукові горизонти. 2019. №5 (78). С. 40–50. *(Здобувачем приведено дослідження впливу на поперечну нерівність обробленої смуги параметрів зміни взаємного розміщення робочих органів).*

6. Голуб Г. А., **Дворник А. В.** Дослідження поперечної нерівності смугового обробітку ґрунту. Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research. 2019. Vol. 10. № 2. Р. 23–31. *(Здобувачем проведено дослідження поперечної нерівності обробленої смуги від зміни відстані від глибокорозпушувача до осі переднього диска, глибини обробітку та відстані від глибокорозпушувача до осі відрізного диска).*

7. Голуб Г. А., **Дворник А. В.** Вплив конструкційно-технологічних параметрів агрегата для смугового обробітку ґрунту на грудкуватість. Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства України. 2020. Вип. 27 (41). С. 89–98. *(Здобувачем проведено дослідження впливу конструкційно-технологічних параметрів секції*

*агрегату для смугового обробітку ґрунту на грудкуватість обробленої поверхні).*

#### **Стаття у науковому виданні іншої держави**

8. Golub G., **Dvornyk A.** Research of indicators of strip tillage. 2020. ТЕКА. Quarterly journal of agri-food industry. 2020. Vol. 20. No 2. P. 83–90. *(Здобувачем проведено дослідження руху відрізного диска, що підтверджено експериментально).*

#### **Стаття в іншому науковому виданні України**

9. Голуб Г. А., **Дворник А. В.** Узагальнення досліджень по доцільності застосування технології смугового обробітку ґрунту. Екологічні науки. 2018. №1(20). Т. 1. С. 81–85. *(Здобувачем узагальнено доцільність застосування технології смугового обробітку ґрунту).*

#### **Патент на винахід**

10. Голуб Г. А., Аніскевич Л. В., Кухарець С. М., **Дворник А. В.**, Кузнюк Д. В. Секція агрегату для смугового обробітку ґрунту. Патент України на винахід № 116501 Україна, МПК А01В 13/08; А01В 49/06; А01С 5/06; А01В 79/02. Заявник та патентовласник Національний університет біоресурсів і природокористування України. № а201612519; заявлено 09.12.2016; опубліковано 26.03.2018. Бюл. №6/2018. *(Здобувачем проведено патентний пошук і розроблено секцію агрегату для смугового обробітку ґрунту, що зменшує тяговий опір машино-тракторного агрегата).*

#### **Патент на корисну модель**

11. Голуб Г. А., **Дворник А. В.** Агрегат для смугового передпосівного обробітку ґрунту. Патент України на корисну модель № 96064 Україна, МПК А01В 13/08; А01В 49/00; А01С 5/00. Заявник та патентовласник Національний університет біоресурсів і природокористування України. № u201409262; заявлено 19.08.2014; опубліковано 12.01.2015. Бюл. №1/2015. *(Здобувачем проаналізовано агрегати для смугового обробітку ґрунту та запропоновано конструкцію, шляхом зміни якої відбувається подрібнення рослинних решток перед агрегатом).*

### Тези наукових доповідей

12. Дворник А. В. Перспективи розвитку точкового обробітку ґрунту. Технічний прогрес у сільськогосподарському виробництві: XXII Міжнародна науково-технічна конференція та IX Всеукраїнська конференція-семінар аспірантів, докторантів та здобувачів в галузі аграрної інженерії, смт. Глеваха, 21–23 травня 2014 року: тези доповіді. Глеваха. 2014. С. 56–57.

13. **Дворник А. В.**, Голуб Г. А. Агрегат для смугового передпосівного обробітку ґрунту. Актуальні проблеми про життя та природокористування: III Міжнародна науково-практична конференція молодих вчених, м. Київ, 28–31 жовтня 2015 року: тези доповіді. К., 2015. С. 302–303. *(Здобувачем описано агрегат для смугового передпосівного обробітку ґрунту).*

14. Голуб Г. А., **Дворник А. В.** Теоретичне обґрунтування заглиблення леза в ґрунт. Сучасні тенденції розвитку освіти, науки і виробництва: Міжнародна науково-практична конференція педагогічних і науково-педагогічних працівників, науковців та молодих учених, м. Ніжин, 09–10 грудня 2015 року: тези доповіді. Ніжин. 2015. С. 101–103. *(Здобувачем теоретично обґрунтовано заглиблення леза в ґрунт).*

15. Дворник А. В. Обґрунтування форми дискового робочого органу для смугового обробітку ґрунту. Сучасні тенденції розвитку освіти, науки і виробництва: Міжнародна науково-практична конференція педагогічних і науково-педагогічних працівників, науковців та молодих учених, м. Ніжин, 09–10 грудня 2015 року: тези доповіді. Ніжин. 2015. С. 108–110.

## ЗМІСТ

ВСТУП	20
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ СТАНУ ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ ТЕХНОЛОГІЇ СМУГОВОГО ОБРОБІТКУ ҐРУНТУ	25
1.1. Порівняльний аналіз існуючих систем обробітку ґрунту	25
1.2. Можливості використання технології смугового обробітку	32
1.3. Огляд конструкційно-технологічних параметрів існуючих агрегатів для смугового обробітку ґрунту	38
1.4 Постановка мети і задач досліджень	43
РОЗДІЛ 2. ТЕОРЕТИЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ВЗАЄМНОГО РОЗМІЩЕННЯ РОБОЧИХ ОРГАНІВ СЕКЦІЇ АГРЕГАТУ ДЛЯ СМУГОВОГО ОБРОБІТКУ ҐРУНТУ	45
2.1. Огляд досліджень фізико-механічних основ ґрунту як окремого середовища при смуговому обробітку ґрунту	45
2.2. Впливу на ґрунт параметрів взаємного розміщення робочих органів секції агрегату для смугового обробітку ґрунту	46
2.3. Визначення зусиль та енергетичних потреб для виконання смугового обробітку ґрунту	56
2.4. Дослідження руху ґрунту під час обробітку глибокорозпушувачем	64
Висновки за розділом 2	78
РОЗДІЛ 3. ПРОГРАМА ТА МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ ПАРАМЕТРІВ ВЗАЄМНОГО РОЗМІЩЕННЯ РОБОЧИХ ОРГАНІВ СЕКЦІЇ АГРЕГАТУ ДЛЯ СМУГОВОГО ОБРОБІТКУ ҐРУНТУ	79
3.1. Методика визначення вагомості показника якості смугового обробітку ґрунту	79
3.2. Методика дослідження кількісних значень якісних показників смугового обробітку ґрунту	85
3.3. Методика визначення експлуатаційної витрати палива	92
3.4. Опис експериментальної секції агрегату для смугового обробітку ґрунту та її регулювання	93

3.5. Методика та програма проведення попередніх експериментальних досліджень	96
3.6. Методика та програма проведення експериментальних досліджень	98
3.7. Методика обробки результатів експериментальних досліджень	100
Висновки за розділом 3	101
<b>РОЗДІЛ 4. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ВЗАЄМНОГО РОЗМІЩЕННЯ РОБОЧИХ ОРГАНІВ СЕКЦІЇ АГРЕГАТУ ДЛЯ СМУГОВОГО ОБРОБІТКУ</b>	102
4.1. Результати дослідження впливу параметрів взаємного розміщення робочих органів секції агрегату для смугового обробітку ґрунту на якість обробленої смуги при проведенні попередніх досліджень	102
4.2. Результати досліджень впливу глибини обробітку глибокорозпушувачем, відстані між відрізними дисками та швидкості руху агрегату на якісні та енергетичні показники роботи агрегату	109
4.3. Результати дослідження впливу глибини обробітку глибокорозпушувачем, відстані між відрізними дисками та відстані від глибокорозпушувача до осі відрізнних дисків на якісні та енергетичні показники роботи секції агрегату	126
4.4. Результати дослідження впливу глибини обробітку глибокорозпушувачем, відстані від глибокорозпушувача до осі переднього диска та відстані від глибокорозпушувача до осі відрізнних дисків на якісні та енергетичні показники роботи секції агрегату	142
4.5. Залежність розрахункового та експериментального тягового опору та витрат палива	157
Висновки за розділом 4	158
<b>РОЗДІЛ 5. ВПРОВАДЖЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ЗАСТОСУВАННЯ СЕКЦІЇ АГРЕГАТУ ДЛЯ СМУГОВОГО ОБРОБІТКУ ҐРУНТУ</b>	160

5.1. Впровадження результатів досліджень секції агрегату для смугового обробітку ґрунту	160
5.2. Економічна ефективність використання секції агрегату для смугового обробітку ґрунту.	162
Висновки за розділом 5	164
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	166
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	169
ДОДАТКИ	180

## ВСТУП

**Актуальність теми.** Інтенсифікація мікробіологічних процесів та відновлення родючості ґрунту є важливим завданням для аграріїв України, серед яких зростає попит на застосування технології смугового обробітку ґрунту. Відсутність досвіду та достовірної інформації ускладнює вибір агрегатів для забезпечення потреб аграрного виробництва. Різноманітність ґрунтово-кліматичних зон і різнопланова аграрна діяльність створює умови для пошуку шляхів зменшення собівартості вирощування польових культур, що значною мірою відображається на розробці та удосконаленні ґрунтообробних агрегатів. Відповідно необхідно вивчати геодезію земельних ділянок, зважати на глибину ґрунтових вод, розміщення водойм та населених пунктів, слідкувати за змінами у навколишньому середовищі, температурним режимом, кількістю опадів, силою та напрямом вітру, проводити агрохімічний аналіз ґрунтів, оперативно планувати диференційоване внесення добрив та використовувати науково-обґрунтовані сівозміни.

Технології, агрегати та комплекси для обробітку ґрунту удосконалюються у напрямку забезпечення якості обробітку і зменшення енерговитрат. Однією з таких технологій є смуговий обробіток ґрунту, що в Україні набуває серйозних темпів впровадження за прикладом закордонного досвіду. Але часто невідповідність погодним умовам та помилкові економічні розрахунки при застосуванні цієї технології розчаровують виробників отриманням небажаного результату за урожайністю та іншими негативними втратами.

Дослідженню комплектації агрегатів для смугового обробітку ґрунту, їх конструкційно-технологічних параметрів і впливу на якісно-енергетичні показники в умовах України не приділено достатньої уваги, саме тому необхідно узагальнити дослідження щодо доцільності використання технології смугового обробітку ґрунту для отримання ефективного виробничого результату, усвідомлення його позитивних можливостей та негативних наслідків.



### **Зв'язок роботи з науковими програмами, планами і темами.**

Дослідження за обраним напрямком дисертації виконувалися у відповідності з планами науково-дослідних робіт Національного університету біоресурсів і природокористування України за темами: «Обґрунтувати інтегровані технологічні процеси та технічні засоби для органічного виробництва сільськогосподарської продукції в агроєкосистемах» (номер державної реєстрації 0112U001678) та «Розробити механіко-технологічні основи ресурсозберігаючого органічного виробництва сільськогосподарської продукції та біопалив в агроєкосистемах з підвищеним рівнем енергетичної автономності» (номер державної реєстрації 0114U000660).

**Мета і завдання дослідження.** Мета дисертації – підвищення ефективності застосування агрегатів для смугового обробітку ґрунту шляхом обґрунтування конструкційно-технологічних параметрів взаємного розміщення робочих органів на секції.

Для досягнення мети необхідно було вирішити такі завдання:

- провести аналіз існуючих технічних засобів, що використовуються для смугового обробітку ґрунту;
- теоретично обґрунтувати параметри взаємного розміщення робочих органів секції агрегата для смугового обробітку ґрунту;
- із використанням теоретично обґрунтованих конструкційно-технологічних параметрів взаємного розміщення робочих органів секції для смугового обробітку створити дослідну установку та провести експериментальні дослідження в лабораторно-польових умовах;
- експериментально визначити вплив взаємного розміщення робочих органів секції агрегату для смугового обробітку ґрунту на показники ефективності смугового обробітку ґрунту;
- виконати техніко-економічну оцінку ефективності використання удосконаленої секції агрегата для смугового обробітку ґрунту;
- упровадити розробку у виробництво.

*Об'єкт дослідження* – секція агрегату для смугового обробітку ґрунту.

*Предмет дослідження:* взаємозв'язок між конструкційно-технологічними параметрами взаємного розміщення робочих органів секції агрегату для смугового обробітку ґрунту та показниками ефективності використання смугового обробітку ґрунту.

**Методи дослідження.** Для вирішення поставлених у дисертації завдань використано загальнонаукові та спеціальні методи, серед яких: аналітичний – для збирання, обробки й систематизації наукової інформації щодо агрегатів для смугового обробітку ґрунту; аналізу й синтезу; статистичні, зокрема кореляційно-регресійного аналізу – для встановлення зв'язків між параметрами взаємного розміщення робочих органів та якісно-енергетичними показниками; абстрактно-логічний – для формування висновків проведених досліджень; соціологічний – для проведення експертної оцінки визначення вагомості показників якості обробітку.

**Наукова новизна одержаних результатів.** Вперше, із прив'язкою до умов роботи секції агрегату для смугового обробітку та використанням раціональної формули В. П. Горячкіна із уточненим значенням сили тертя, отримано залежність для визначення тягового опору агрегату для смугового обробітку ґрунту та витрат палива в залежності від глибини обробітку ґрунту глибокорозпушувачем, а також заглиблення переднього та відрізних дисків.

Вперше експериментально встановлено залежності, які пов'язують глибину обробітку ґрунту глибокорозпушувачем, відстань від глибоко-розпушувача до осі переднього диска, відстань між відрізними дисками, відстань від глибокорозпушувача до осі відрізних дисків та заглиблення відрізних дисків агрегату для смугового обробітку ґрунту з показниками поперечної нерівності й грудкуватості обробленої смужки ґрунту, а також витратами палива агрегатом для смугового обробітку ґрунту.

Удосконалено узагальнений показник, який дозволяє визначити якість смугового обробітку ґрунту із урахуванням вагомості та відносних відхилень значень поперечної нерівності й грудкуватості поверхні обробленої смуги від технологічно заданих значень.

**Практичне значення одержаних результатів.** Розроблено комплект конструкторської документації на виготовлення секції агрегату для смугового обробітку ґрунту, який передано в АТ "Ельворті" для використання при виготовленні під замовлення аграрних підприємств та фермерських господарств. Під час виробничої перевірки отримано економічний ефект від використання секції агрегату для смугового обробітку ґрунту у розмірі 41,8 грн/га (2,2 л/га) в порівнянні з базовим варіантом – 1tRIPr OrthMan та отримано додаткову економічну ефективність 1403,86 грн/га від використання технології смугового обробітку ґрунту при вирощуванні кукурудзи на зерно у порівнянні з типовою технологією (оранкою). Результати досліджень впроваджено в навчальний процес Національного університету біоресурсів і природокористування України та Відокремленого структурного підрозділу «Ніжинський фаховий коледж Національного університету біоресурсів і природокористування України».

**Особистий внесок здобувача.** Основні результати теоретичних досліджень дисертації отримано здобувачем самостійно, а саме: проаналізовано сучасний стан систем передпосівного обробітку ґрунту; узагальнено відомі агрегати для смугового обробітку ґрунту та взаємного розміщення робочих органів, на основі яких розроблено математичну модель взаємного розміщення робочих органів секції агрегату для смугового обробітку; удосконалено методику визначення якісних та енергетичних показників при проведенні досліджень взаємного розміщення робочих органів секції агрегату для смугового обробітку ґрунту; визначено економічну ефективність досліджуваних параметрів. Дисертація є самостійно виконаною науковою працею. Наукові положення, висновки й рекомендації, що викладені в дисертації і виносяться на захист, одержано автором особисто.

**Апробація результатів дисертації** Основні положення дисертаційної роботи, висновки та пропозиції доповідалися й обговорювалися на: міжнародній науковій конференції, присвяченій 115-річчю НУБіП України та 15-річчю GCHERA, «Біоресурси планети та біобезпека навколишнього середовища:

проблеми та перспективи» (м. Київ, 2013 р.); Міжнародна науково-практична конференція педагогічних і науково-педагогічних працівників, науковців та молодих учених «Сучасні тенденції розвитку освіти, науки і виробництва» (м. Ніжин, 2015, 2017, 2018 рр.); III Міжнародна науково-практична конференція молодих учених «Актуальні проблеми наук про життя та природокористування» (м. Київ, НУБіП України, 2015 р.) XXII Міжнародній науково-технічній конференції ННЦ «ІМЕСГ» «Технічний прогрес у сільськогосподарському виробництві» (сmt. Глеваха, 2014 р.); XXVI Міжнародній виставці-ярмарку «Агро-2014, 2016» (м. Київ, 2014, 2016 рр.); Національна агропромислова виставка «Агроекспо-2014, 2015) (м. Кіровоград, 2014, 2015 рр.), Міжнародна спеціалізована виставка-форум «Олійно-жирова індустрія» (м. Київ, 2014 р.); V міжнародна виставка інноваційних рішень у зерновому господарстві «Зернові технології» (м. Київ, 2015 р.); XVIII сільськогосподарській виставці «Фермер України-2015» (м. Київ, 2015 р.); XII Міжнародна агропромислова виставка «Агрофорум-2015», (м. Київ, 2015 р.); Міжнародний семінар «Системотехніка та моніторинг стану сільськогосподарських угідь» (Київ, НУБіП, 2015 р.), Всеукраїнська науково-практична конференція «Сучасні проблеми та технології аграрного виробництва» (Ніжин, 2019).

**Публікації.** За темою дисертації опубліковано 9 наукових праць загальним обсягом 14,69 друк. арк., з яких особисто автору належить 7,85 друк. арк. З них 6 статті у наукових фахових виданнях України обсягом 0,81 друк. арк., 2 статей у наукових фахових виданнях України, включених до міжнародних наукометричних баз даних, обсягом 2,62 друк. арк. та 3 тези наукових доповідей обсягом 1,0 друк. арк.

**Структура та обсяг дисертації.** Дисертація складається з анотацій, вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Повний обсяг роботи складає 179 сторінок. Список використаних джерел налічує 109 найменувань. Дисертація містить 105 рисунків та 14 таблиць.

## РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ СТАНУ ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ ТЕХНОЛОГІЇ СМУГОВОГО ОБРОБІТКУ ҐРУНТУ

### 1.1. Порівняльний аналіз існуючих систем обробітку ґрунту

Використання різноманітних систем обробітку ґрунту обумовлюється технологією вирощування сільськогосподарських культур [22, 86]. Для виконання технологічних операцій обробітку ґрунту необхідно обирати раціональний склад агрегату, який матиме високу продуктивність, низьку вартість та експлуатаційні затрати, забезпечуватиме оптимальні умови необхідні для росту рослин [66]. У сучасному сільськогосподарському виробництві обробіток ґрунту виконується різними системами й технологіями [4, 6, 11, 22, 35, 40, 52, 60-62, 67, 68, 71, 76, 86], які можна умовно класифікувати наступним чином:

- *традиційна або класична технологія обробітку ґрунту (Full till)* – заснована на суцільній оранці різними плугами глибиною до 30 см, після чого на поверхні ґрунту залишається менше 15 % рослинних решток [86];
- *технологія мінімального обробітку ґрунту (Mini till)* – виконується лущильниками, дисковими знаряддями на глибину до 15 см, після чого на поверхні ґрунту залишається від 15 до 30 % рослинних решток [19, 67];
- *технологія нульового обробітку ґрунту (No-till)* – характеризується відсутністю обробітку, висівання проводиться сівалками прямого висіву, у яких перед висівним дисковим сошником установлюється спеціальний варіодиск, що прорізує в ґрунті щілину, у яку потім потрапляє насіння. Технології прямого посіву можна застосовувати для вирощування різних польових культур, за винятком овочевих та картоплі [67, 94];
- *технологія смугового обробітку ґрунту (Strip Till)* – поєднує переваги традиційної та нульової технології, в більшості використовується для широкорядних культур [93].

Проаналізувавши переваги і недоліки існуючих технологій передпосівного обробітку ґрунту [4, 6, 11, 22, 35, 40, 52, 60-62, 67, 68, 71, 76, 86], сформовано порівняльну схему (рис. 1.1) систем передпосівного обробітку ґрунту [40, 56].

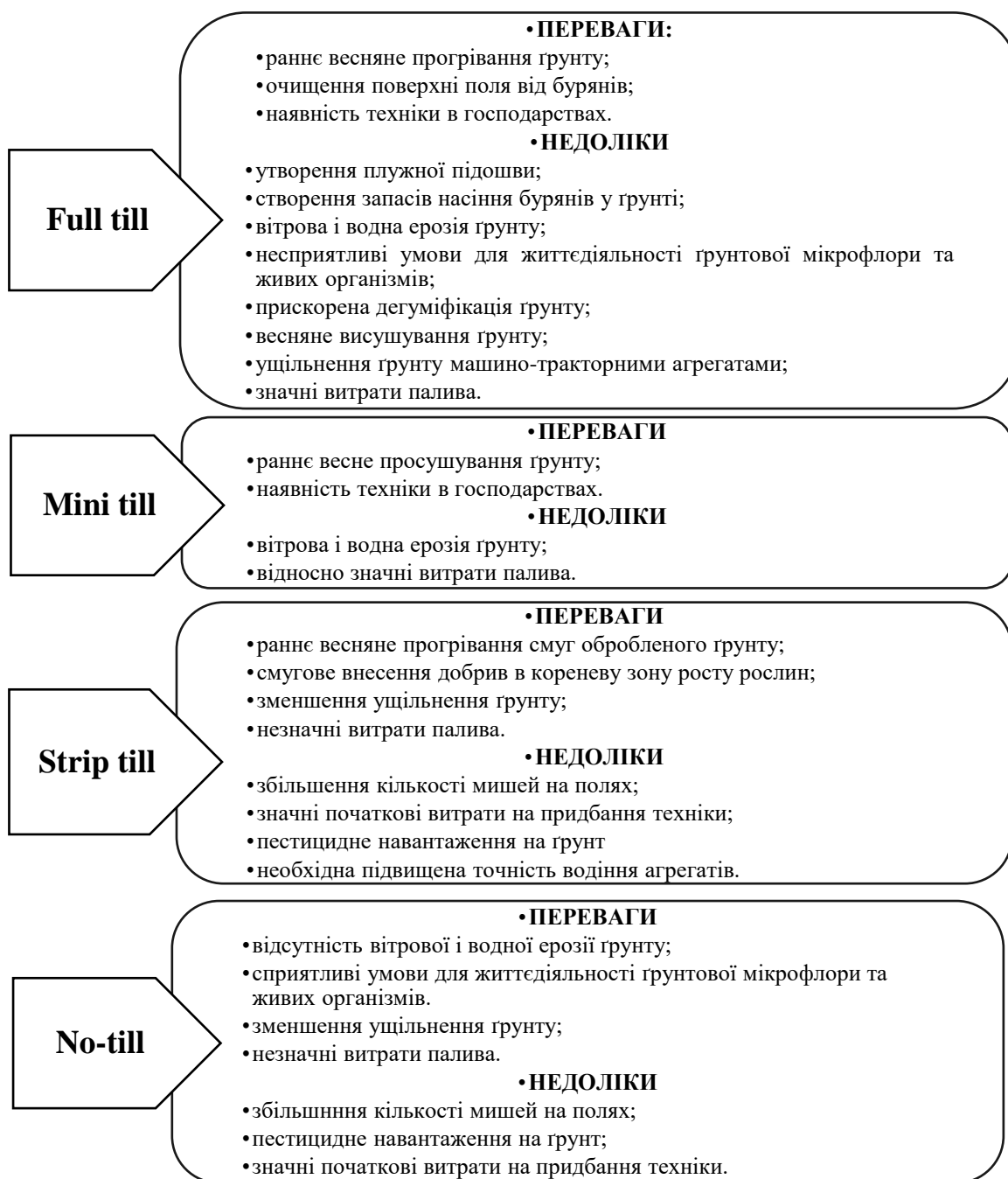


Рис. 1.1. Порівняльна схем системи передпосівного обробітку ґрунту

Основний обробіток передбачає перевертання та розкришення скиби з перемішуванням стерні, органічних та мінеральних добрив внесених розкидним

способом на поверхні, із формуванням щільної плужної підшви на глибині обробітку, що призводить до деградації ґрунту та погіршення природного його функціонування. Плужну підшву ще можна назвати бар'єром, який повільно пропускає воду і після інтенсивних опадів або таїння снігу накопичує надлишкову вологу в площині обробітку і спрямовує її до низин (долинок), провокуючи вимокання посівів, а на великих схилах відбувається негативне сходження разом із водою обробленого шару ґрунту [34, 53].

Водний баланс ґрунту є важливою умовою для розвитку культур у період інтенсивного росту. Наприклад, одна доросла рослина кукурудзи випаровує за добу 2-4 літри води, але погано реагує на перезволоження ґрунту, різко знижуючи врожай.

Розглядаючи особливість польових культур до підвищеної чутливості до наявного у ґрунті кисню, зазначимо, що внаслідок його нестачі уповільнюється поглинання добрив, порушуються енергетичні процеси і білковий обмін. Одразу після основного обробітку пористість ґрунту характеризується відмінними показниками, але під час опадів каплі, рухаючись з великою швидкістю, ударяються об поверхню поля, подрібнюють ґрунтові агрегати і, стаючи однорідною масою, закривають повітряні пори. Після закінчення опадів починається швидке випаровування вологи і висихання верхнього шару ґрунту та утворення ґрунтової кірки, яка зменшує повітрообмін ґрунтового середовища. У результаті рослини не отримують необхідну кількість кисню і необхідно проводити додаткове рихлення, що зумовлює збільшення виробничих витрат. На рівнинних степових піщаних територіях суцільно оброблений ґрунт піддається іншій ерозії – пилові бурі, коли сильний вітер видуває дрібні пилові частинки ґрунту і зносить родючий шар, часто разом із посівами.

При нульовому обробітку обертання ґрунту суцільного руйнування не відбувається, не має плужної підшви і природна пористість ґрунту значно краща, у порівнянні з оранкою. У природних умовах спостерігається підвищення, а не зниження родючості ґрунту, оскільки, як влучно зауважив М.Н. Шикіула, "природа ніколи не орала"[107]. При цьому відбувається природне розпушення ґрунту.

Внутрішньо капілярне підведення вологи з нижніх прошарків сприяє забезпеченню необхідної для розвитку рослин вологи у період засухи. Неоране поле на глибину до 2 метрів пронизане мільярдами капілярів від коренів однолітніх рослин або життєдіяльності дощових черв'яків та інших організмів. Цими тонкими, але глибокими ходами землю насичує волога, яка взимку замерзає й розриває їх. Дослідження, проведені в штаті Іллінойс (США), показали, що корені сої проникають у канали, утворені дощовими черв'яками на глибину 30-45 см і продовжують рости, інколи навіть на глибину 127 см [10, 62].

На жаль, наявний негативний фактор – ущільнення верхнього шару колесами сільськогосподарських машин та агрегатів. Рослинні рештки, приймаючи на себе перший удар дощової краплі, вбирають її енергію й таким чином зменшують руйнацію ґрунту, але ущільнення верхнього шару зменшує швидкість та якість поглинання води у глибші прошарки і вона спрямовується до низин. так само як і при оранці сповільнюється процес випаровування, місцями у долинах провокує перезволоження і розвиток кореневої гнилі. Звертаючи увагу на досвід фермерів, що працюють на схилах, можна відзначити збереженість цілісності ґрунту саме при застосуванні нульового обробітку, тому що залишені рослинні рештки сповільнюють швидкість руху води і зменшують вимивання ґрунту та пошкодження посівів, видування і переміщення ґрунту на інші території, зменшуються непередбачувані витрати на відновлення пошкоджень [52, 61].

У порівнянні з основним (Full Till) та нульовим обробітком ґрунту (No Till) технологія смугового обробітку, поєднуючи переваги двох систем, сприяє відновленню природного балансу ґрунту, дозволяє, руйнуючи плужну підшову та ущільнення верхніх шарів, забезпечити якісну аерацію та прогрівання ґрунту для активації корисної біологічної діяльності у необроблених смугах з формуванням капілярної сітки для кращої інфільтрації води та підведення вологи у період засухи.

Спочатку оброблена смуга ґрунту має розрихлений стан, швидше прогрівається, частково випаровується не поглинута волога, руйнування плужної підшови дозволяє накопичувати вологу у глибоких шарах. Під час опадів у обробленій смужці, так як і при оранці, руйнуються ґрунтові агрегати,



закриваються пори і утворюється ґрунтова кірка. У не обробленій частині, подібно No-till, формується капілярна сітка, якою накопичена волога рухається до коріння, і рослина забезпечується повітрям, зменшується сила руйнування і вода рухається довше у напрямку до оброблених смужок упродовж вегетації [4, 20].

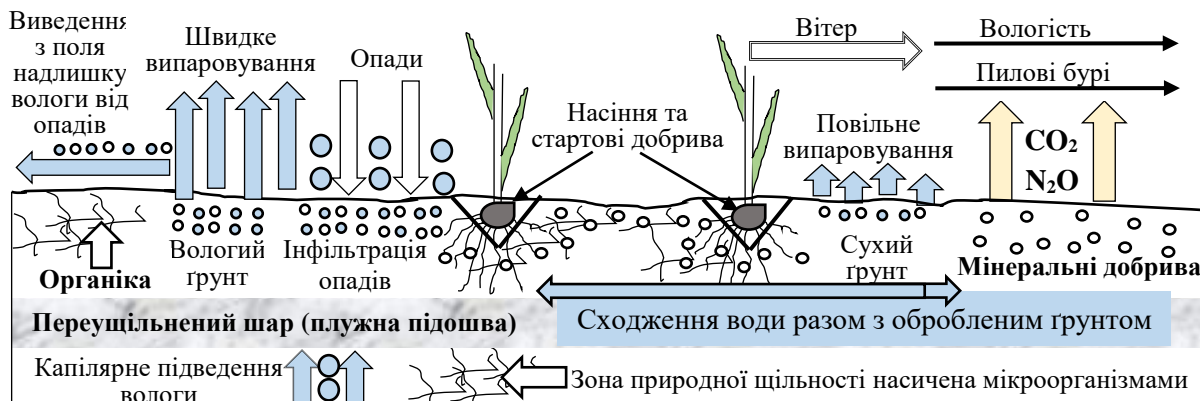
При перезволоженні у фермерів є можливість провести відкриття вологи у оброблених смугах боронуванням або культивуванням із одночасним підживленням. У період засухи навпаки: сформована ґрунтова кірка зменшить активність випаровування вологи, а повітрообмін кисню та вуглекислого газу буде відбуватися через капілярність у необроблених смугах.

Для розвитку рослин необхідні поживні речовини, розміщені у ґрунті, утворені у процесі кругообігу або штучно внесені, які мають різні властивості вивітрювання, рухомості та розчинності. Азот має високу рухомість і може зміщуватись у просторі до поверхні, місце його розташування суттєво не впливає на доступність рослинам, але часто, не потрапляючи до їх, просто вивітрюється у повітря, особливо при оранці [26]. Фосфор і калій, навпаки, є мало рухомими, у порівнянні із азотом, їх розміщення повинно бути локальним рівномірним у зоні розвитку коріння [80]. Тому вносити добрива розкидним способом на поверхні ґрунту є неефективним, оскільки при цьому відбуваються втрати поживних речовин через вивітрювання та вимивання, а також через недоступність рослинам, коли мінеральні та органічні добрива перемішуються з ґрунтом і хаотично розміщуються у площині обробітку [5, 6, 83].

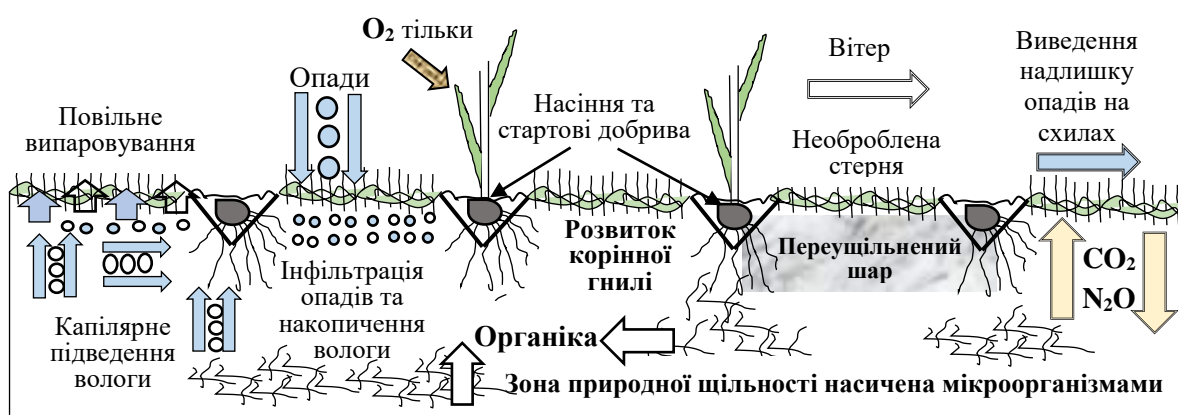
Після оранки кореню необхідно віднайти потрібні добрива, що були внесені в розкид, при нульовій обробці добрива додаються лише поверхнево у сухому або розчиненому вигляді. Розміщення добрив безпосередньо біля кореневого стовбура може пошкодити його і затримати ріст та розвиток кореневої системи [83].

Для порівняння систем обробітку ґрунту із узагальненням питання формування природних балансів у ґрунті, що впливають на розвиток рослин, пропонуємо розроблені схеми (рис. 1.2) процесів ґрунтоутворення з урахуванням ущільнення різних прошарків та повітрообміну й водообміну, відновленням поживного мінералізованого органічного шару.

## 1. Основний обробіток ґрунту (Full Till)



## 2. Нульовий обробіток ґрунту (No-Till)



## 3. Смуговий обробіток ґрунту (Strip Till)

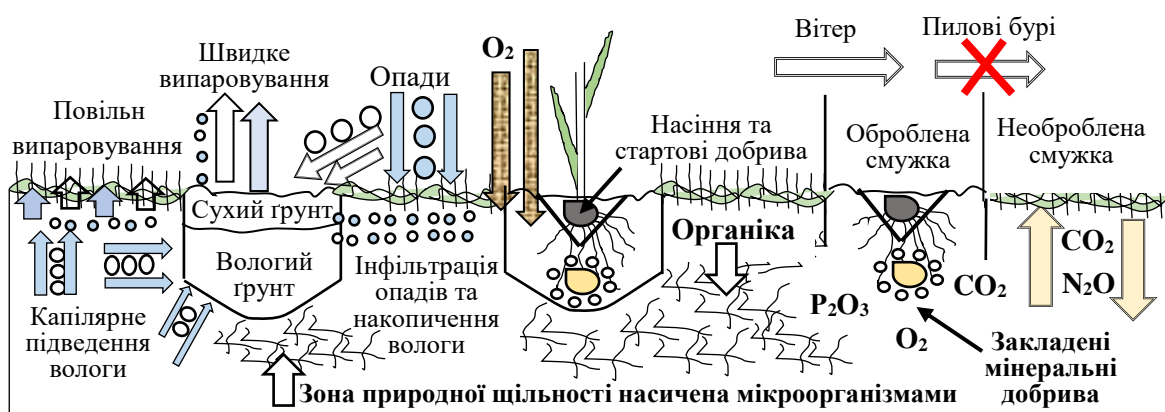


Рис. 1.2. Схеми формування необхідних балансів для розвитку рослин у системах обробітку ґрунту

Джерело: сформовано автором на основі [8, 12, 14, 15, 21, 34, 43, 95 100].

Найімовірніше, жодна з існуючих технологій в багатогалузевому сільськогосподарському підприємстві не застосовуватиметься як одна-єдина.

Доцільно використовувати диференційований обробіток, де під кожен культуру, залежно від конкретних умов, використовуватиметься та чи інша технологія обробітку ґрунту. Починати сівбу краще на полях із більш легкими ґрунтами й найменшою кількістю рослинних решток; на полях із великою кількістю рослинних решток необхідно обробляти лише смугу, де розміститься насіння.

Обробіток смугами дозволяє прогріти ґрунт, стимулює аеробні процеси. У насичених киснем смугах відбувається прискорене розкладання органічних речовин, що сприяє природному підживленню рослини на початковій стадії. На необроблених міжряддях даний процес відбувається повільніше, що дає можливість рослині використовувати необхідні поживні речовини (азот, фосфор) упродовж періоду вегетації, таким чином збережеться волога і затримається поява сходів бур'янів [54].

При застосуванні технології смугового обробітку ґрунту оброблюється лише така частина поверхні, де буде закладатися насіння. Рослинні рештки зміщуються із зони обробленого рядка для створення швидкого прогрівання насіннєвого ложе, проростання посіву та затримання сходу бур'янів. Встановлено також, що залишення решток у міжрядді сприяє кращому їх споживанню черв'яками [68], які, рухаючись зверху донизу, розпушують необроблені смуги, затягують рослинні рештки вглиб ґрунту та виділяють органічні речовини для формування гумусу [16, 68].

Розглядаючи кореневу систему, наприклад, кукурудзи (рис. 1.3) як споживача поживних речовин, потрібно враховувати її розгалуженість та направленість розвитку відповідно площини обробітку. Необхідно одночасно вносити декілька елементів живлення з розділенням їх на різній глибині. На початковому етапі розвитку рослина використовує власну початкову енергію, підтриману стартовими добривами, закладеними сівалкою на глибину 3-5 см глибше насіння. Потім їй необхідні поживні речовини на більшій глибині [35].

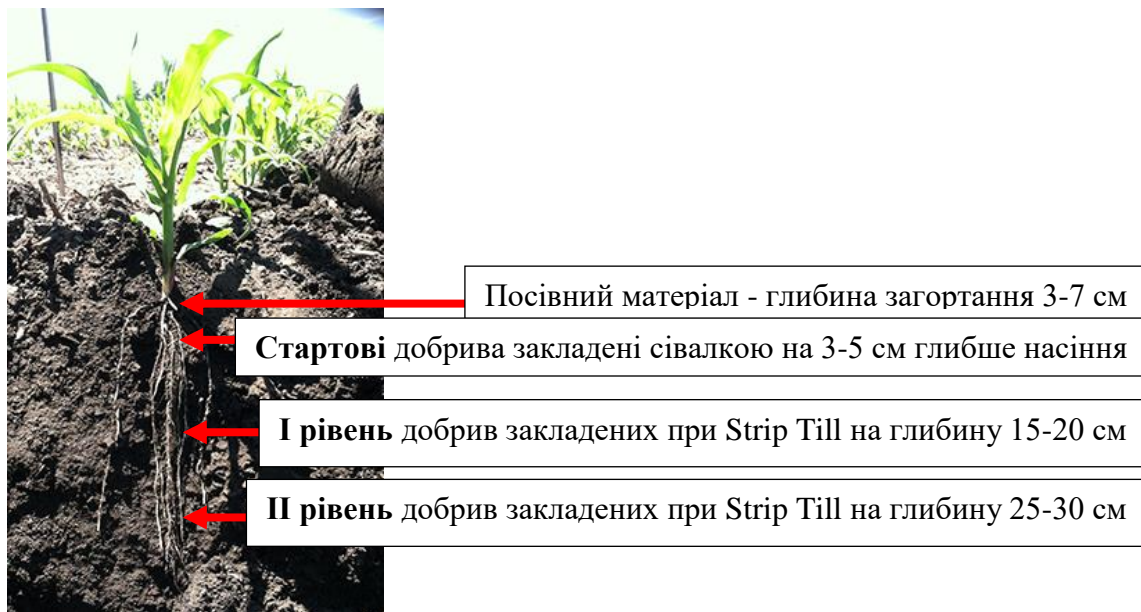


Рис. 1.3. Рівні внесення добрив при смуговому обробітку ґрунту

Джерело: сформовано автором на основі [2].

Застосування технології смугового обробітку ґрунту дозволяє виконувати точне розміщення у зоні розвитку кореневого розгалуження і сприяти розвитку на різних глибинах концентрованих норм калійних і фосфорних мінеральних добрив, знижувати швидкість їх реакцій у ґрунтовому водяному розчині, що сприятиме їх тривалішому доступу для рослин відповідно до потреб певного вегетаційного періоду. Також перевагою смугового обробітку над нульовим та основним є можливість прикореневого підживлення рослин азотними добривами безпосередньо в ґрунті, зменшуючи його вивітрювання.

## 1.2. Можливості використання технології смугового обробітку

Технологія смугового обробітку ґрунту (Strip Till) у результаті змін зовнішнього середовища поширилася із Сполучених Штатів, де утворилася поєднанням технології основного обробітку (Full Till) та нульового (No Till). Її особливість полягає в тому, що поле обробляють і розпушують тільки смугами в рядках майбутнього посіву, а інша частина залишається не обробленою. Технологія застосовується для широкорядних культур, таких як: кукурудза, соняшник, соя та

ін. (рис. 1.4), але практикують і посіви зернових у здвоєних рядках (Twin Till), тобто висівання двох рядків в одну оброблену смугу.

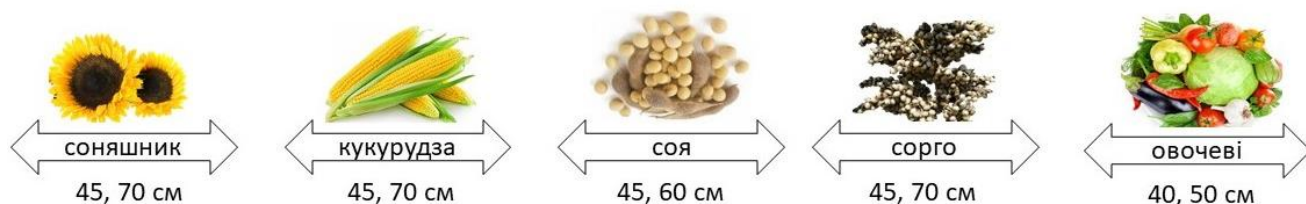


Рис. 1.4. Можливості використання технології смугового обробітку для вирощування агрокультур з урахуванням ширини міжряддя

Технологію смугового обробітку можна використовувати при посіві просапних культур, поєднуючи класичний широкорядний спосіб (70 см) із вузькорядним 12,5 см, як вже експериментують деякі передові господарства (рис. 1.5). Наприклад, компанія Pettinger пропонує висівати соняшник із вузьким міжряддям, аргументуючи, що зменшення прогрівання ґрунту в міжрядді зменшує процес випаровування ґрунтової вологи і перегріву листя соняшника у нижній частині, що напряму впливає на формування врожаю, оскільки рослина може краще переносити спеку, бо менше випаровує вологи для підтримки власного теплового балансу. Враховуючи ширину вузького міжряддя (12,5 см) та розмір захисної зони (10 см), для міжрядного обробітку ґрунту просапними культиваторами ширина обробленої смуги повинна становити 30-35 см.

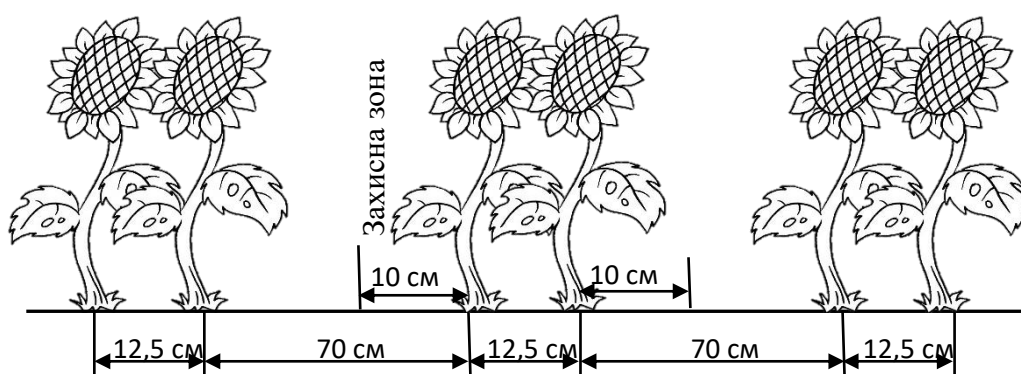


Рис. 1.5. Схема здвоєного міжряддя вирощування соняшника

Джерело: сформовано автором.

Отже, основними цілями технології смугового обробітку ґрунту є [3, 108]:

- створення оптимально сформованого простору для проростання кореня за рахунок прибирання з місця майбутнього рядка пожнивних залишків і розпушення ґрунту;
- ефективне підкореневе підживлення рослин на різних рівнях глибини за рахунок роздільного внесення мінеральних та органічних добрив;
- забезпечення доступу рослин до ґрунтових вод за рахунок збереження капілярності ґрунту, особливо в міжряддях, де не порушується природна структура;
- захист від водної та вітрової ерозії за допомогою утримуючої дії пожнивних решток у міжряддях.

Використання технології смугового обробітку ґрунту може здійснюватися як роздільно, так і одночасно з посівом. Такі відмінності пов'язані з різною структурою ґрунтів і, відповідно, різним очікуваним ефектом від проведення обробітку. При розпушуванні з одночасним внесенням добрив склад ґрунту також є вирішальним фактором, бо можливий перерозподіл добрив у легких ґрунтах і фіксація поживних речовин на глинистих елементах і гумусі. У першому випадку обробіток ґрунту і посів проводиться окремо, а в другому – за один прохід. На місцевості із високим вмістом вологи кращого ефекту отримують, коли розпушування рядків проводять восени, а посів – весною наступного року. На піщаних ґрунтах добре застосовувати технологію смугового обробітку з одночасним розпушуванням і посівом навесні.

Практикують також комбінацію технології смугового обробітку з технологією мінімального обробітку ґрунту: спочатку використовують лушпильники або дискові борони, а потім проводять смуговий обробіток. Вибрати кращий з варіантів для роботи у відповідній ґрунтово-кліматичній зоні дозволить аналіз складу ґрунту та ряд інших супутніх факторів. Для ефективного використання технології смугового обробітку потрібно враховувати складові (рис 1.6), які безпосередньо впливають на неї.



Рис. 1.6. Складові для оцінки ефективного застосування смугового обробітку ґрунту

Джерело: сформовано автором на основі [11, 51].

На сьогодні не конкретизовані агротехнічні вимоги до показників якості обробітку ґрунту при використанні агрегатів смугового обробітку ґрунту. Відсутні допустимі межі їх зміни залежно від природно-кліматичних зон, метеорологічних чинників та культур попередників. Обґрунтування допустимих меж зміни якісних показників обробітку ґрунту на основі економічних критеріїв також часто узагальнені [2, 6]. У деяких випадках показники якості обробітку ґрунту навпаки характеризуються надмірно жорсткими нормативами, що приводить до збільшення витрат і суттєвих труднощів при проектуванні машин, і тому виникає необхідність введення узагальненого показника якості смугового обробітку ґрунту на основі використання оцінки окремих конкретизованих показників якості із врахуванням їх вагомості.

Відповідно до вищесказаного, на основі існуючих вимог до передпосівного обробітку ґрунту [60, 106], пропонуються агротехнічні вимоги до роботи агрегатів для смугового обробітку ґрунту (табл. 1.1).

Таблиця 1.1

**Агротехнічні вимоги до смугового обробітку ґрунту**

<i>Показники</i>	<i>Вимоги та допуски</i>
Швидкість руху агрегату	від 4 до 10 км/год.
Глибина обробітку	від 20 до 40 см
Глибина внесення добрив	від 10 до 30 см
Відхилення від заданої глибини обробітку	$\pm 2$ см
Ширина обробленої смуги	від 20 до 40 см
Поперечна нерівність обробленої смуги	не більше 15 %
Висота гребнів або глибина борозенок	до 5 см
Грудкуватість обробленого ґрунту (діаметр грудок більше 50 мм)	до 10%
Наявність рослинних решток в обробленій смужці	від 20 до 50 г/м <sup>2</sup>

Джерело: узагальнено автором на основі даних [60, 106].

Робочі органи агрегатів для смугового обробітку повинні рівномірно обробляти ґрунт на глибину насіннєвого ложе, не забиватися ґрунтом та рослинними рештками. Залежно від комплектації робочих органів смуга може мати різні форми поперечного перерізу (рис. 1.7). У цілому поверхня обробленої смуги повинна бути рівномірною (рис. 1.7, б), тобто значення ступеня нерівності обробленої поверхні повинно бути не більше 15 %.

Під час осіннього обробітку ґрунту необхідно, щоб смуга мала випуклість від країв до середини (рис. 1.7, в), тобто при профілюванні поверхні не бажано заглиблення лійки більше 5 см від мірної рейки без урахування висоти підставок (15 см), щоб передбачити просідання ґрунту впродовж зими. Весною допускається увігнутість смуги посередині оброблених смужок (рис. 1.7, а), тобто заглиблення лійки до 5 см від мірної рейки без урахування висоти підставок. Розкидання грудок за межі ширини обробленої смуги (рис. 1.7, д, е) не бажане тому, що це



погіршує загальний стан вирівнювання поверхні поля й негативно впливає на виконання технологічних операцій таких, як догляд за посівами.

Якщо смуговий обробіток використовується лише для закладання добрив і після нього передбачено додатковий обробіток ґрунту (лушення, дискування або оранка), то вимірювання якості не обов'язкове, смуга може бути з борозною (рис. 1.7, г) та нерівномірною (рис. 1.7, д).

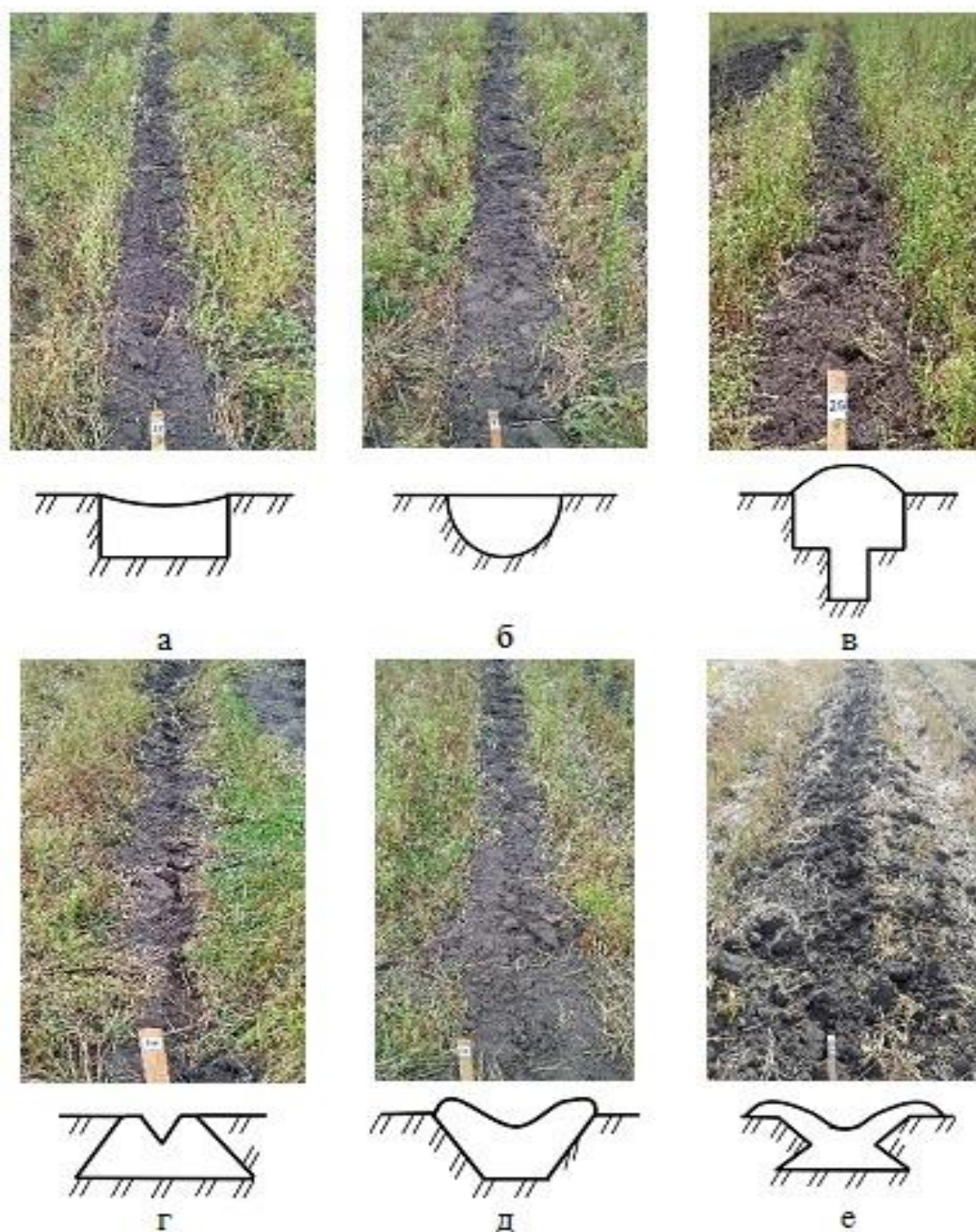


Рис. 1.7. Форми поперечного перерізу смуги після обробітку

Джерело: розроблено автором.

### 1.3. Огляд конструкційно-технологічних параметрів існуючих агрегатів для смугового обробітку ґрунту

Нині на світовому ринку постійно зростає кількість компаній, що пропонують агрегати для смугового обробітку ґрунту із різними робочими органами (рис. 1.8), які за один прохід розрізають ґрунт, очищують смуги від рослинних решток, проводять глибоке розпушування і кришіння ґрунту, вирівнюють і прикотковують поверхню. Серед таких можна відмітити: агрегат Gladiator, Kuhn (Striger), Horsch (Tiger AS), Horsch (Focus TD), John Deere (2510), OrthMan (1TRIPr), DAWN (Pluribus), SLY (Stripcat), Bigham Brothers (Super Duty Strip Till), Carter (Strip Till), Agro-Lend (Mzuri Protill), Sunflower (7600), Wil-Rich (357), Yetter (Maverik), Remlinger (PST), Till-n-Plant (Schlagel), Strip Ripper (Alpha II), Unverferth (Ripper–Stripper), Kverneland (LAMMA) (Велес-Агро (Krios), АГРИВАТОР II (Агрохиммаш) [1, 7, 41].

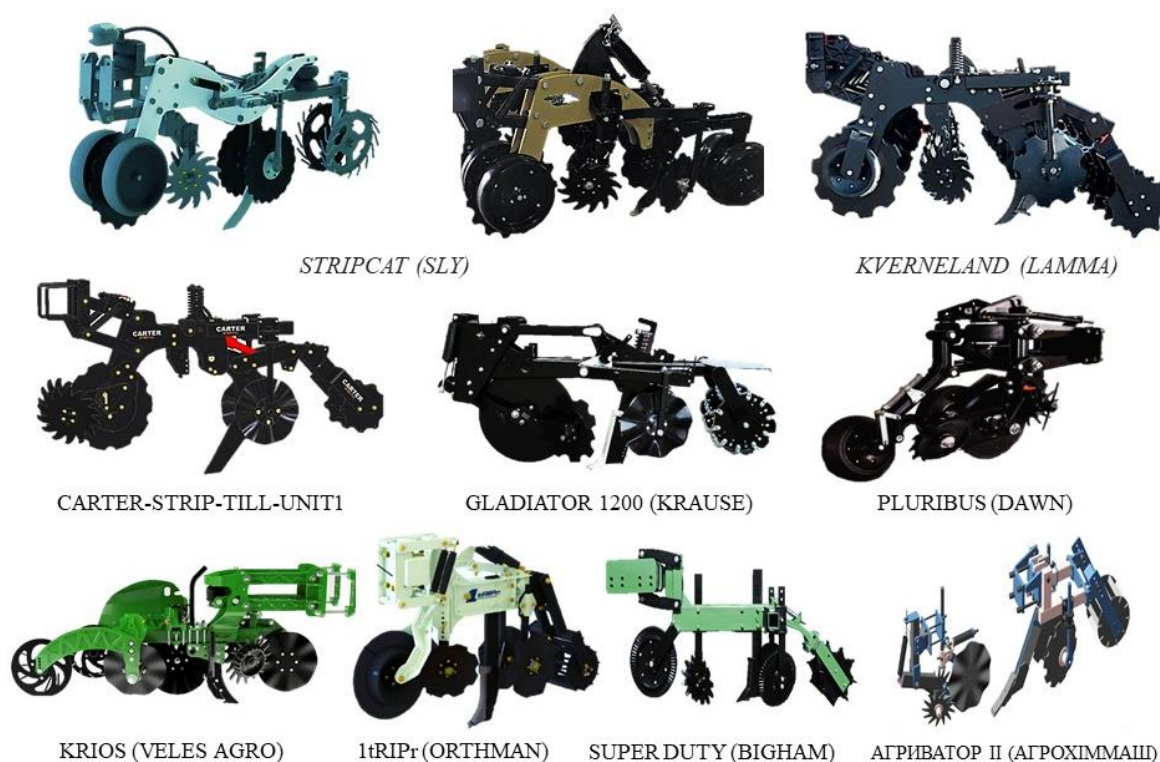


Рис. 1.8. Секції відомих агрегатів для смугового обробітку

Джерело: сформовано автором.

Дослідженню питань смугового обробітку ґрунту значну увагу приділяють в УкрНДПВТ ім. Л. Погорілого [108, 109], опубліковано ряд наукових праць, що

розкривають суттєві моменти використання даних агрегатів. Розроблено вітчизняні зразки агрегатів для смугового обробітку ґрунту типу АСОГ-8 виробництва ТОВ Краснянське СП "АГРОМАШ" [108].

Агрегати смугового обробітку ґрунту можна розділити на весняні (легкі) та осінні (середні і важкі). На перезволожених ґрунтах, де необхідно глибокий осінній обробіток (40-50 см), використовуються важкі агрегати на базі глибокорозпушувачів, на які встановлено додаткові робочі органи для очищення смуги і формування борозни. Таким прикладом є Ripper-Stripper (UM) і лінійний розпушувач 357 (Wil-Rich).

Для осіннього смугового обробітку у складі секції смугового обробітку ґрунту обов'язково повинен бути глибокорозпушувач для інтенсивного глибокого розпушування на глибину 20-30 см. У борозну, яку утворює стійка, також подаються рідкі та (або) сипучі добрива. Секція встановлюється на паралелограмній навісці, що забезпечує рівномірність заглиблення. Прикладом агрегату для осіннього смугового обробітку можна назвати 1tRiPr (OrthMan), Gladiator (Krause), Till-n-Plant (Schlagel), 7600 (Sunflower).

У посушливих зонах використання глибокорозпушувачів посилює вітрову та водну ерозію, виносячи на поверхню вологий ґрунт. У таких випадках доречно використовувати весняний обробіток з легкими агрегатами для очищення рядка від рослинних залишків та поверхневого розпушування ґрунту. Прикладом агрегату для весняного обробітку є Pluribus (DAWN). Однак вибору раціональних параметрів та їх оптимізації взаємного розміщення робочих органів агрегатів для смугового обробітку ґрунту не приділено достатньої уваги. Незалежно від того де проводиться обробіток ґрунту: по стерні пшениці, стеблам кукурудзи чи покривній (сидеральній) культурі – завданням смугового передпосівного обробітку є забезпечити чистий, рівний, ідеально підготовлений ґрунт. Проаналізувавши тенденції розвитку агрегатів для смугового обробітку ґрунту, було розроблено узагальнену схему компоновки агрегату для смугового обробітку ґрунту (рис. 1.9), визначено типи і роль складових робочих органів таких агрегатів.

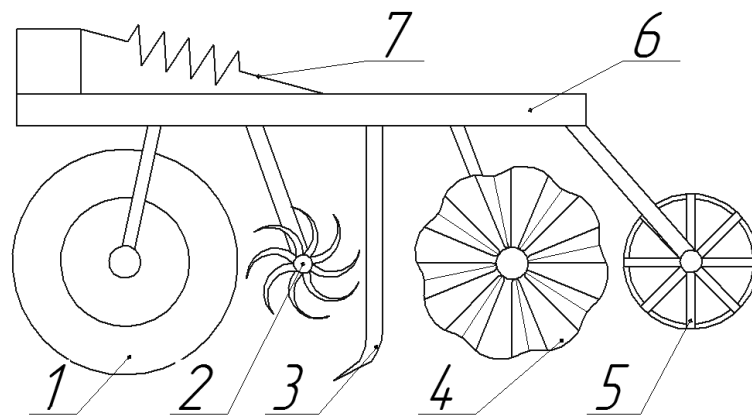


Рис. 1.9. Узагальнена схема секції агрегату для смугового обробітку ґрунту:  
1 – передній диск; 2 – очисники рядка; 3 – глибокорозпушувач; 4 – відрізний диск;  
5 – прикочуючий коток; 6 – рама секції; 7 – пружини рівномірності ходу

Передній диск призначений для розрізування поверхні ґрунту з метою зменшення опору руху стійки глибокорозпушувача і забезпечення постійної глибини обробітку. Зазвичай для переднього диска використовують диски різних варіантів (рис. 1.10) на пружних і жорстких кріпленнях (рис. 1.11).

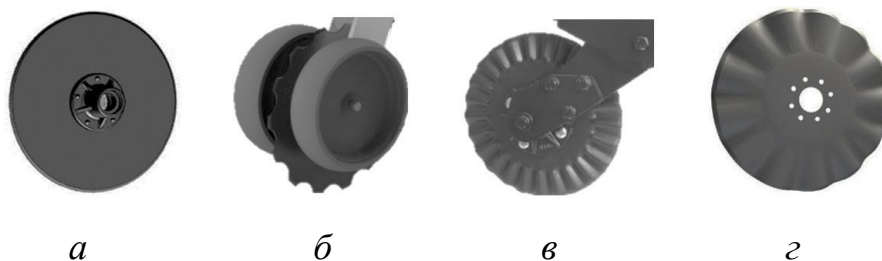


Рис. 1.10. Форми для переднього та відрізних дисків: *а* – рівний; *б* – рівний з вирізами; *в* – рифлений; *г* – хвилястий



Рис. 1.11. Види кріплення переднього диску



Ефективне прибирання рослинних залишків із рядків і не допущення їх прямого контакту з насінням після посіву є однією з основних умов технології смугового обробітку. Для очищення рядка від рослинних залишків після або перед переднім диском використовують очисники. Це один або два ротаційних диски (рис. 1.12), які переміщують рослинні рештки за межі смуги, на необроблену частину. Враховуючи практичний досвід господарств, які використовують агрегати для смугового обробітку ґрунту, бачимо, що використання очисників є незавжди виправданим, оскільки при великій кількості рослинних решток вони забиваються і не виконують поставленої задачі.

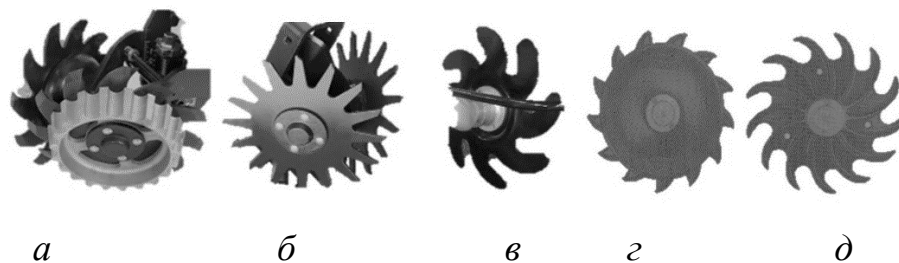


Рис. 1.12. Форми очисників рядка: *а* – з ребрами; *б* – сонячний; *в* – пелюстковий; *г* – зубчатий; *д* – голчатий

Глибокорозпушувач (рис. 1.13) руйнує ущільнення нижнього шару (плужну підшву) для збільшення пористості ґрунту і використання кореневою системою рослини вологи і поживних речовин з глибоких (25-45 см) шарів ґрунту. Стійка глибокорозпушувача комплектується тукопроводами для одночасного внесення рідких або сипучих добрив. На глибокорозпушувачах встановлюються долотоподібні наконечники різної форми (рис. 1.14).



Рис. 1.13. Стійки глибокорозпушувача



Рис. 1.14. Наконечники (долота) для глибокопоглиблювача

Для вирівнювання поверхні обробленої смуги та підготовки насіннєвого ложе використовують прикочуючі котки (рис. 1.15).

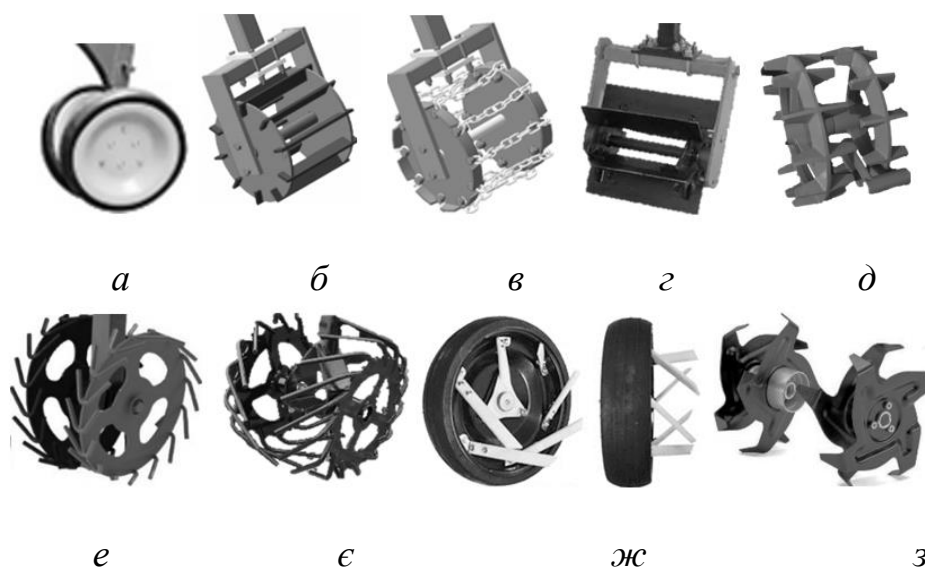


Рис. 1.15. Види прикочуючого котка: *а* – гладенький; *б* – прутковий; *в* – ланцюговий; *г* – планковий; *д* – ребристий; *е, є, ж* – пальцевий; *з* – фрезовий

Після глибокорозпушувача на агрегати встановлюють відрізні диски, які забезпечують формування чіткої межі обробленої смуги та кришення верхнього шару ґрунту, зменшуючи його поверхневу неоднорідність. Для відрізних дисків використовують рівні, рифлені, хвилясті (шести, восьми, багато-хвильові) (рис. 1.10) та сферичні диски різного виконання.

На сучасних агрегатах загалом використовують паралелограмові системи кріплення, які забезпечують, незалежно від варіацій площини, однорідність обробітку ґрунту. Система паралельного кріплення забезпечує безперебійну роботу і точне рівномірне розміщення робочих органів і внесення добрив відповідно. Для рівномірності руху робочих секцій використовують стабілізуючі блоки пружин та

пневматичні довантажувачі. Елементи врівноваження забезпечують рівномірність руху робочих органів у ґрунті [92].

Враховуючи світові напрацювання з виробництва агрегатів для смугового обробітку ґрунту [17, 18, 61, 92, 97, 99, 109], можна узагальнити конструкційні параметри відповідних елементів (табл. 1.2).

*Таблиця 1.2*

**Узагальнення конструкційно-технологічних параметрів секцій  
агрегатів для смугового обробітку ґрунту**

<b>Конструкційно-технологічний параметр</b>	<b>Значення</b>
Діаметр переднього диска, мм	500
Товщина переднього диска, мм	5
Діаметр опорної реборди, мм	300
Ширина опорної реборди, мм	160
Глибина обробітку глибокорозпушувачем, $H$ , см	20-30
Ширина стійки та долота глибокорозпушувача, мм	30
Діаметр відрізного диска, мм	450
Товщина відрізного диска, мм	3
Діаметр прикочуючого котка, мм	400
Ширина прикочуючого котка, мм	350

#### **1.4. Постановка мети і задач досліджень**

Мета дослідження – підвищення ефективності застосування агрегатів для смугового обробітку ґрунту шляхом обґрунтування конструкційно-технологічних параметрів взаємного розміщення робочих органів.

Для досягнення мети необхідно вирішити такі задачі:

- теоретично обґрунтувати параметри взаємного розміщення робочих органів секції агрегата для смугового обробітку ґрунту;
- із використанням теоретично обґрунтованих конструкційно-технологічних параметрів взаємного розміщення робочих органів секції для смугового обробітку створити дослідну установку та провести експериментальні дослідження в лабораторно-польових умовах;

- експериментально визначити вплив взаємного розміщення робочих органів секції агрегату для смугового обробітку ґрунту на показники ефективності смугового обробітку ґрунту;
- виконати техніко-економічну оцінку ефективності використання удосконаленої секції агрегата для смугового обробітку ґрунту.

Основні результати першого розділу дисертаційної роботи були опубліковані в таких наукових працях здобувача зі списку [1, 2, 9, 12]



## **РОЗДІЛ 2. ТЕОРЕТИЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ВЗАЄМНОГО РОЗМІЩЕННЯ РОБОЧИХ ОРГАНІВ СЕКЦІЇ АГРЕГАТУ ДЛЯ СМУГОВОГО ОБРОБІТКУ ҐРУНТУ**

### **2.1. Огляд досліджень фізико-механічних основ ґрунту як окремого середовища при смуговому обробітку ґрунту**

Питанню взаємодії робочих органів із ґрунтом присвячено значну кількість наукових робіт із землеробської механіки відомих вітчизняних і зарубіжних учених: П. У. Бахтін, В. В. Блєдих, П. Н. Бурченко, А. Т. Вагін, П. М. Василенко, В. С. Василін, В. І. Вєтохін, Д. Г. Войтюк, В. П. Горячкін, Ю. О. Гуменюк, В. О. Дубровін, В. А. Желіговський, О. Г. Караєв, В. П. Ковбаса, О. В. Козаченко, В. І. Кравчук, Р. Б. Кудринєцький, В. П. Курка, А. С. Кушнарєв, А. І. Мороз, М. Л. Новохацький, А. М. Панченко, Л. В. Погорілий, В. М. Сало, П. В. Сисолін, Г. Н. Сінеєков, О. Н. Соколовський, А. П. Спирін, В. В. Тєслєук, І. А. Шевченко, К. Г. Шіндлер, Л. П. Шустік та ін.

Ґрунт характеризують низкою механічних, фізичних і геометричних величин (об'ємна маса, напруження в середині шару, розміри шару та ін.). Деякі дослідники характеризують ґрунт тільки щільністю або об'ємною масою, інші вводять у розрахункову схему поряд з об'ємною масою ще такі характеристики ґрунту: коефіцієнт внутрішнього тертя, зчеплення, прилипання ґрунту до металу або узагальнений параметр, що характеризує ці властивості. Будь-яка взаємодія робочого органу завжди викликає об'ємні деформації ґрунту і деформації зсуву.

Для побудови механічних моделей використовують прості елементи, які характеризують окремі складові загальної деформації ґрунту:

- пружні деформації, які описуються законом Гука;
- пластичні деформації, які відбуваються при сталих напруженнях, що перевищують опір зсуву (пластичне тіло Сен-Венана), моделюють зі сталих за величиною тертя, яке не залежить від нормальної сили;

– пластичні деформації, що відповідають у граничному стані, який описується законом Кулона, тобто моделюють ділянки, до яких прикладені сили.

Розглядаючи умови деформування обмеженого об'єму ґрунту, в межах якого напруження залишаються сталими, можна скористатися узагальненою характеристикою деформації ґрунту, що відображає відношення стискувального напруження до відповідної йому відносної деформації, яку називають модулем деформації, аналогічній модулю Юнга. Основна частина енергії обробітку ґрунту витрачається на деформацію зсуву (зрізу). У ґрунтах опір зсуву зумовлений внутрішнім тертям ґрунту, тобто опором руху часточок одна відносно одної в площині поділу зчеплення часточок та опором зрізу коренів рослин.

При смуговому обробітку ґрунту відбувається подрібнення ґрунту різними способами (гравітаційне падіння, сколювання, ударне, різання та інші) [75, 78, 81, 96, 98]. Для визначення теоретичних передумов розміщення робочих органів секції агрегата для смугового обробітку і пояснення фізичного процесу руху ґрунту розкладемо секцію на окремі складові, що формують відповідні зони: перед глибокорозпушувачем, після глибокорозпушувача, після відрізних дисків [87].

## **2.2. Вплив на ґрунт параметрів взаємного розміщення робочих органів секції агрегату для смугового обробітку ґрунту**

Аналіз наукових досліджень агрегатів для смугового обробітку ґрунту дозволив зробити висновок, що для забезпечення якісно обробленої смуги необхідно здійснювати зміну параметрів взаємного розміщення робочих органів на секції агрегату. Для проведення досліджень використаємо схему (рис. 2.1) розміщення робочих органів на секції агрегату для смугового обробітку ґрунту.

Глибокорозпушувач є основним робочим органом, який, рухаючись у необробленому ґрунті на глибині  $H$  у напрямку руху агрегату із швидкістю  $V$ , руйнує цілісну структуру ґрунту, зміщує і перетворює його з спокійного стану у рухомий [69, 70, 79].

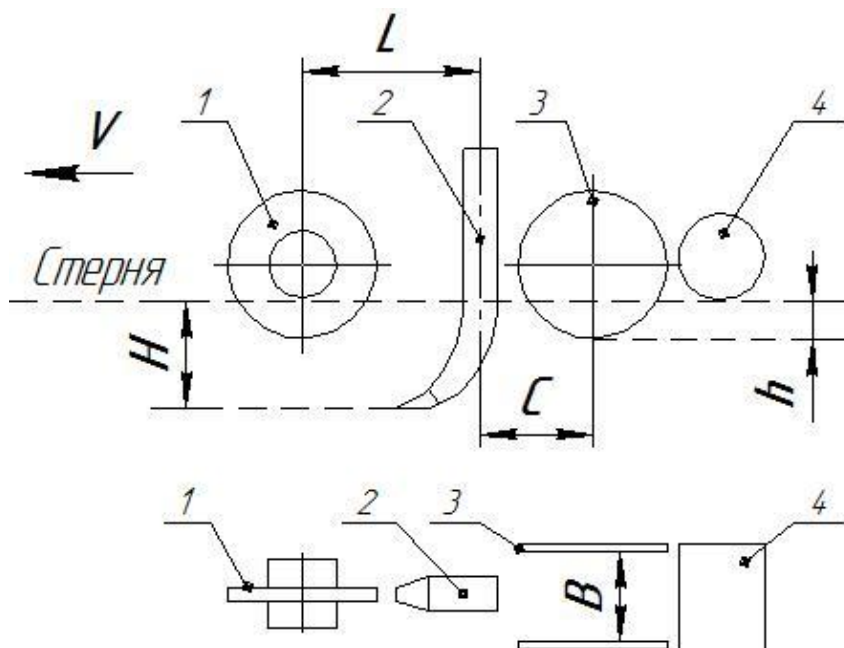


Рис. 2.1. Схема розміщення робочих органів на секції агрегату для смугового обробітку ґрунту: 1 – передній диск; 2 – глибокорозпушувач; 3 – відрізні диски; 4 – прикочуючий коток.  $V$  – швидкість руху машино-тракторного агрегату, км/год;  $H$  – глибина обробітку глибокорозпушувачем, см;  $L$  – відстань від глибокорозпушувача до осі переднього диска, см;  $B$  – відстань між відрізними дисками (формування ширини смуги), см;  $C$  – відстань від глибокорозпушувача до осі відрізних дисків, см;  $h$  – заглиблення відрізних дисків, см

У процесі обробітку ґрунту формуються зони деформації, що розподіляються вперед і в сторони (рис. 2.2). В умовах блокувального обробітку процес пояснюється так, що долото, рухаючись в ґрунті на глибині  $H$ , деформує його, при цьому за рахунок пористості ґрунту і дисперсного складу в ньому під дією навантаження відбувається руйнування структурних зв'язків, переміщення частинок одних відносно інших, заповнення пористості між ними, витискування води і повітря із навантаженого простору, перед долотом утворюється ущільнена зона. Після проходження долотом певної відстані навантаження, виникаюче в ущільненій зоні, досягає максимуму, при якому частина ґрунту втрачає стійкість і відділяється пластом від основної структури, і спрямовується до горизонту. Середнє значення кута, обумовленого деформацією ґрунту з бокових сторін глибокорозпушувача в поперечному перерізі борозни, приймають рівним  $90^\circ$ .

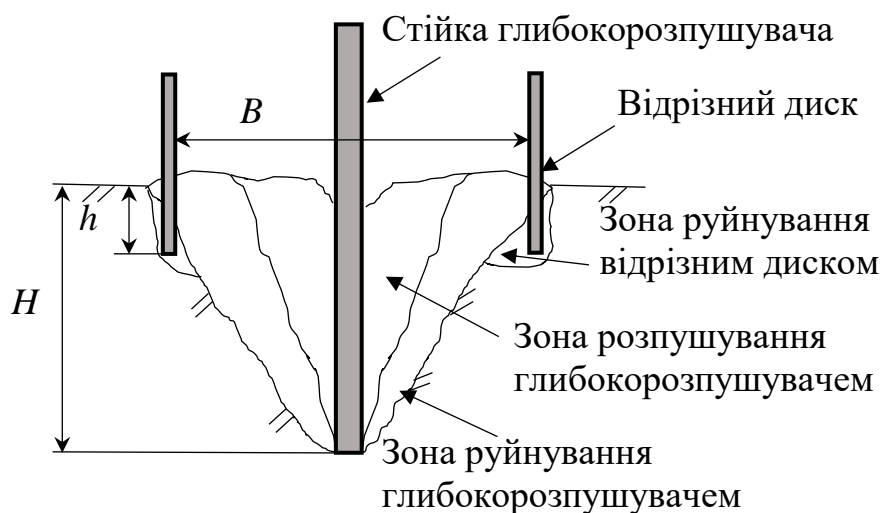


Рис. 2.2. Схема поперечного перерізу руйнування ґрунту секцією агрегату для смугового обробітку ґрунту

Робочим органом глибокорозпушувача є пряма або криволінійна стійка із змінним долотом. Якість і енергомісткість обробітку ґрунту глибокорозпушувачем залежать в цілому від параметрів долота та стійки. Долото діє на шар ґрунту аналогічно двогранному клину в умовах блокованого (без наявних відкритих стінок) різання або сколювання. Якісне рихлення з найменшими енергетичними затратами відбувається при умові, коли задана глибина обробітку не перевищує так звану критичну глибину обробітку, інакше зона деформування ґрунту зменшується, а енергетичні затрати збільшуються. Конструкційні параметри глибокорозпушувача мають забезпечувати необхідні показники якості смугового обробітку ґрунту, що залежать від розподілу траєкторій руху грудок ґрунту вздовж плоскої робочої поверхні долота та частини стійки, з якою стикаються грудки.

Відповідно до методики Л.В. Погорілого та П.В. Сисоліна критична глибина обробітку прямо пропорційна ширині долота і відношенню  $T/\sigma$ , яке характеризує механічні властивості ґрунту (де  $T$  – питомий опір стискання ґрунту,  $\sigma$  – тимчасовий опір розтягування ґрунту). Для обґрунтування конструкційних параметрів глибокорозпушувача під час виконання смугового обробітку ґрунту з метою підвищення якості обробітку і зменшення тягового зусилля нами проведено огляд теоретичних досліджень руху ґрунту  $M$  вздовж поверхні

глибокорозпушувача змінної кривини з метою підвищення якості обробітку і зменшення тягового опору секції агрегату для смугового обробітку ґрунту на гаку енергетичного засобу.

Аналізуючи існуючі ґрунтообробні агрегати, зрозуміло, що широке долото призводить до утворення борозни великого поперечного перерізу, збільшення нерівності поверхні обробленої смуги та збільшення тягового опору агрегату. Вузьке долото призводить до того, що руйнування ґрунту в значній мірі здійснюється різанням. Товщина стійки повинна бути в співвідношенні до глибини обробітку 10:1. Ширина долота 30-35 мм (а в нашому випадку і стійки) при глибині обробітку 25-30 см, при глибині обробітку 40 см і більше – ширина долота повинна становити 40-60 мм, а ширина руйнування ґрунту один до одного у відношенні до глибини обробітку, тобто якщо ми плануємо обробляти ґрунт на глибину  $H = 30$  см з товщиною стійки 30 мм, то відстань між дисками повинна становити  $B = 30$  см. Товщина глибокорозпушувача (стійки та долота) 30 мм забезпечує руйнування ґрунту в перехідному режимі різання та розколювання.

У результаті протидії опору [90] (рис. 2.3) від необробленого ґрунту, розташованого попереду в напрямку руху, формується рух частини зруйнованого ґрунту  $M$  по робочій поверхні глибокорозпушувача до поверхні поля. Рух ґрунту робочою поверхнею глибокорозпушувача відбувається до точки  $MO$ , де частина ґрунту  $M$  вивільняється і переходить у стадію вільного польоту зі зміною фізико-механічних та геометричних параметрів. Точка  $MO$  є початком вільного польоту, який залежить від маси, початкової швидкості  $V_0$  та сил, що діють на частину ґрунту  $M$ , яка рухається різними траєкторіями ( $M1, M2, M3...Mi$ ). Конструкційні параметри глибокорозпушувача мають забезпечувати необхідні показники якості технологічного процесу, що залежать від розподілу траєкторій руху грудок  $Mi$  вздовж робочої поверхні частини стійки, з якою стикається ґрунт. Розглянувши зверху рух вільного польоту частини ґрунту  $M$  (рис. 2.3), можна зробити висновок, що кількість напрямів руху ґрунту  $Mi$  буде безкінечною. Глибокорозпушувач рухаючись зруйнованим ґрунтом розділяє його на три потоки, два із яких під кутом до

вертикалі спрямовуються в бокові сторони необробленої частини, в яких ґрунт зминається, ущільнюється.

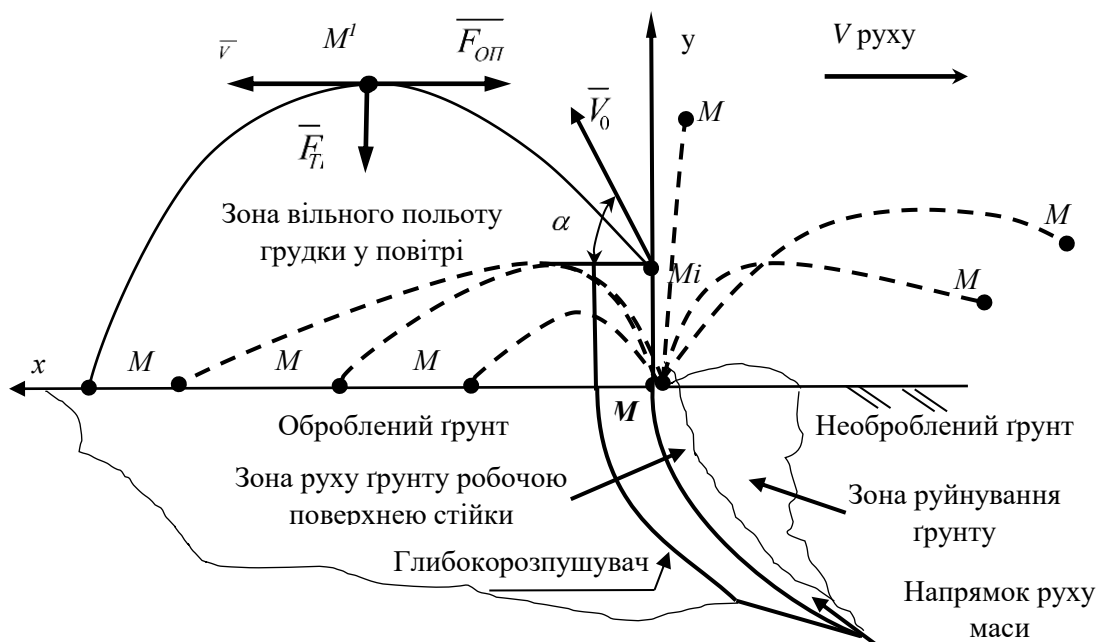


Рис. 2.3. Схема руху ґрунту робочою поверхнею глибокорозпушувача:  $V$  – швидкість руху машинно-тракторного агрегата в заданому напрямі м/с;  $x, y$  – осі координат;  $M_i$  –  $n$ -на частинка ґрунту;  $MO$  – поверхня поля і точка початку вільного польоту;  $M_1, M_2, M_3, M_4, M_5, M_6$  – напрямки руху  $n$ -ої частинки ґрунту;  $M'$  –  $n$ -на частинка ґрунту в польоті;  $\overline{V}_0$  – початкова швидкість руху  $n$ -ої частинки ґрунту, м/с;  $\overline{G}$  – сила тяжіння, що діє на  $n$ -у частинку ґрунту, Н;  $\overline{F}_{оп}$  – сила опору повітря, що діє на  $n$ -у частинку ґрунту, Н;  $\overline{V}$  – швидкість руху  $n$ -ої частинки ґрунту у відповідній площині координат, м/с

Зона руйнування або формування тріщини перед глибокорозпушувачем відбувається від носка долота у напрямку руху агрегату до поверхні поля. Відповідно для формування правильного спрямування тріщини необхідно створити напрямок за допомогою переднього ножа, яким розрізається верхній рослинний шар при блокувальному обробітку.

Передній диск (рис. 2.4) з опорною ребордою, розділяє на дві рівномірні частини верхній шар необробленого та зруйнованого ґрунту, формує направляючу

зону для руху ґрунту робочою поверхнею глибокорозпушувача до поверхні поля, виконує розрізання стерні (ґрунту та рослинних решток) в умовах блокованого (без наявності відкритих стінок) різання, що при рівномірному обертанні збільшує опір і погіршує якість різання. Для надання динамічності різання переднім диском використовуємо диск з вирізами, який інтенсивніше розрихлює ґрунт, руйнує структуру ударною дією хордоподібною частиною леза, зацимлює та подрібнює рослинні рештки. Товщину дисків приймають із співвідношення  $\delta = 0,008D$  – діаметра диска.

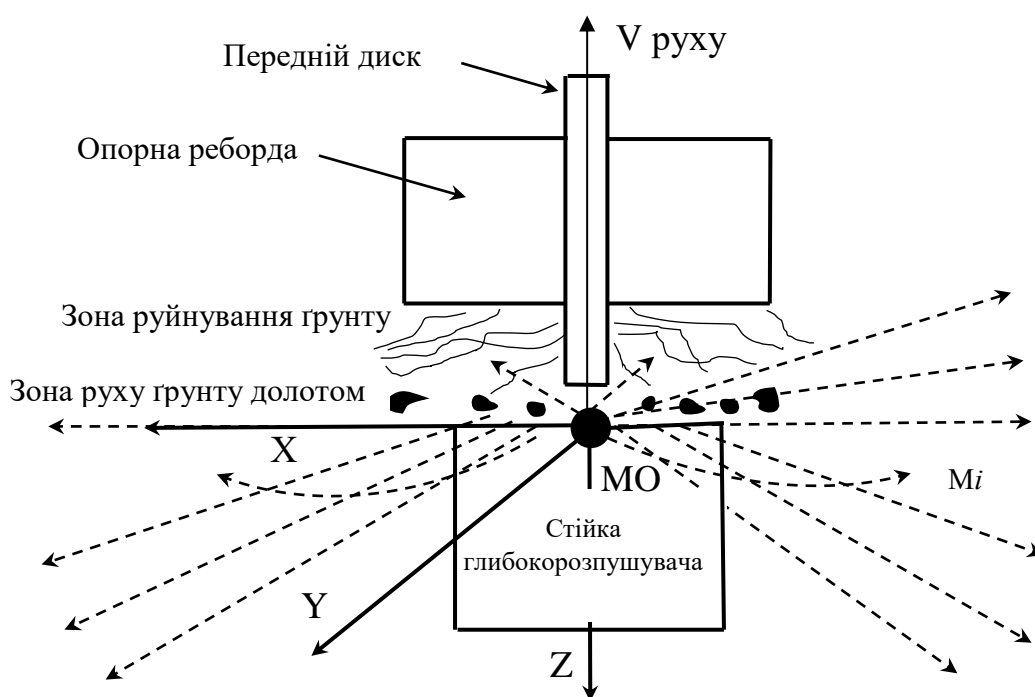


Рис. 2.4. Напрями руху частини ґрунту  $Mi$  (вигляд зверху):  $V$  – швидкість руху машинно-тракторного агрегата в заданому напрямі м/с;  $x, y, z$  – осі координат;  $Mi$  –  $n$ -на частина ґрунту, що рухається заданим напрямком;  $МО$  – поверхня поля і точка початку вільного польоту

Опорна реборда, виконуючи функцію опорного колеса, компенсує зусилля заглиблення глибокорозпушувача, тим самим притискає та спрямовує зруйнований ґрунт до робочої поверхні глибокорозпушувача (рис. 2.5), змінює напрям тієї частини вивільненого ґрунту, що спрямована до переднього диска, наприклад  $M1$  та  $M2$ . При зміні відстані між глибокорозпушувачем і переднім диском та

відстанню від долота до осі відрізних дисків змінюється і положення глибокорозпушувача, тобто зміною моменту і перенесенням ваги на передній диск. Збільшивши вагу на передньому диску, ми змушуємо опорну реборду вдавлюватися в стерню, долаючи опір зминанню і збільшуючи опір глибокорозпушувача.

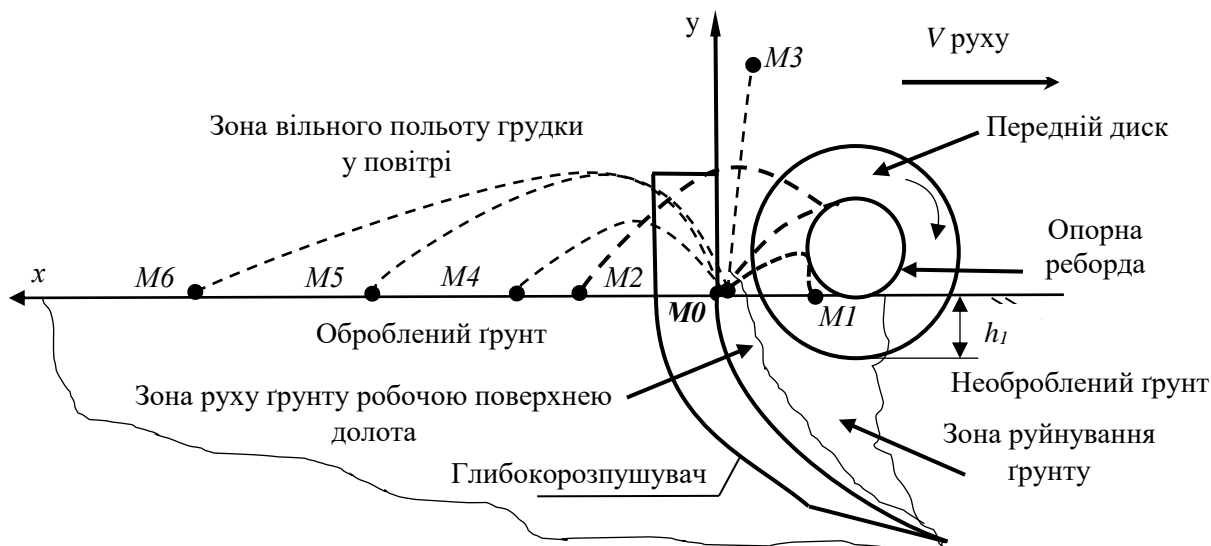


Рис. 2.5. Схема руху ґрунту із врахуванням дії переднього диска з опорною ребордою:  $V$  — швидкість руху машино-тракторного агрегата в заданому напрямі м/с;  $x, y$  — осі координат;  $M0$  — поверхня поля і точка початку вільного польоту;  $M1, M2, M3, M4, M5, M6$  — напрямки руху  $n$ -ої частинки ґрунту;  $h$  — глибина обробки переднім диском, см;  $\omega$  — кутова швидкість руху переднього диска, рад/с

Сумарна ширина опорної реборди залежить від навантаження на опорне колесо і умови перекочування  $b_0 = \frac{R_z}{K_d}$  із радіальним навантаженням на колесо  $R_z$ ,  $H$ ; допустимим навантаженням на ґрунт, яке приходить на 1 см ширини реборди  $K_d$ , Н/см.  $K_d$  для стерні становить 450 Н/см. Діаметр опорної реборди визначається в залежності від навантаження.  $D \geq \sqrt{\frac{R_z}{q b_0 \mu^3}}$  з коефіцієнтом об'ємного опору ґрунту  $q = 10-25$  Н/см<sup>3</sup> та коефіцієнтом перекочування колеса по стерні  $\mu = 0,2$ .

Поверхня поля покрита рослинними рештками і корінням, що перешкоджає вільному руху зруйнованого глибокорозпушувачем ґрунту, формуючи суцільні



пласти, які відриваються від основного ґрунту, перевертаються або ні погіршуючи якість обробітку. Рівнодіюча  $R_{zx}$  сил опору на диску ножа (за даними Г.Н. Синєокова) проходить через вісь диска під кутом  $\alpha$  до горизонту, при чому чим більший кут  $\alpha$ , тим більший діаметр диска. Діаметри сучасних дискових робочих органів становлять 450-660 мм, в залежності від глибини обробітку, оскільки дисковий робочий орган максимально заглиблюється на  $1/3$  свого діаметру.

Відрізання від необробленої смуги зруйнованого глибокорозпушувачем ґрунт у межах ширини обробленої смуги забезпечують відрізні диски. Відповідно до схеми (рис.2.2) можна зробити висновок, що відрізні диски в залежності від відстані між дисками та глибини обробітку глибокорозпушувачем можуть рухатися в умовах блокованого, напіввільного різання та волочіння. При блокованому різанні диски рухаються стернею з частково підірваною структурою, долаючи опір розрізання рослинних решток, стискаючи ґрунт. Даний рух характеризується незмінністю напрямку руху від початково заданого.

При напіввільному (рис. 2.6) різанні (при наявності зруйнованої, обробленої зони) початково задані параметри встановлення відрізних дисків є: паралельність один одному і боковій поверхні глибокорозпушувача, як змінюються у процесі роботи, оскільки диск рухається зруйнованою, але не розпушеною стернею.



Рис. 2.6. Схема напіввільного руху відрізних дисків

Фронтальна частина диска сприймає опір різанню рослинних решток, відрізає частину скиби, яка, з одного боку, вивільнена розпушеним шаром глибокорозпушувача і спрямовує її до розпушеної борозни, а тильна сторона диска за рахунок переміщення маси ґрунту і стерні зміщується до вивільненого ґрунту. Таким чином, балансуючи між опором різанню і перемішуванню ґрунту. При напіввільному різанні для опору руху відрізного диска необхідно врахувати: питомий боковий тиск ґрунту на диск [55], питомий опір на деформацію та переміщення ґрунту, площу поперечного перерізу відрізаної скиби, кутову швидкість руху диска, коефіцієнт тертя ґрунтової маси по диску, заглиблення відрізного диска.

Задача відрізних дисків не тільки обрізати від необробленої смуги зруйнований глибокорозпушувачем ґрунт в межах ширини обробленої смуги, а і вловити вивільнений ґрунт вільного польоту в зоні після глибокорозпушувача, і направити його в борозну за глибокорозпушувачем (рис. 2.7), сформувавши правильну форму смуги із допустимою рівномірністю обробленої поверхні [9].

Грудка  $M_i$  під час вільного польоту у повітрі відповідно має  $n$  – кількість напрямів, для обмеження яких встановлюються відрізні диски. При польоті грудки  $M_i$  у нерухомій площині дія відбивання від диска описується як зміна кінетичної енергії та напрямку руху. При смуговому обробітку рух ґрунту відбувається при динамічних параметрах, де напрямок руху грудки  $M_i$  змінюється під впливом обертального руху відрізного диска. Змодельовавши рух грудки  $M_i$  (ліва частина рис. 2.7) із  $n$  – кількістю напрямів, можемо об'єднати подібні напрями руху в п'ять різних варіантів по відношенню до площини відрізного диска, умовно розділених осьовими лініями на чотири рівномірні сектори.

Варіант 1 (B1) – рухаючись із певною швидкістю грудка  $M_i$  по дотичній потрапляє в один із секторів диска, вдаряється об диск, змінюючи напрямок руху по параболі падає в борозну за глибокорозпушувачем. Даний варіант особливо з концентрацією загальної кількості напрямів у сектор II найбільш доцільний для смугового обробітку ґрунту.

При варіанті 2 (B2) представимо рух грудки  $Mi$ , яка долітає до диска з мінімальною швидкістю, після удару втрачає кінетичну енергію і падає майже вертикально донизу в межах диску.

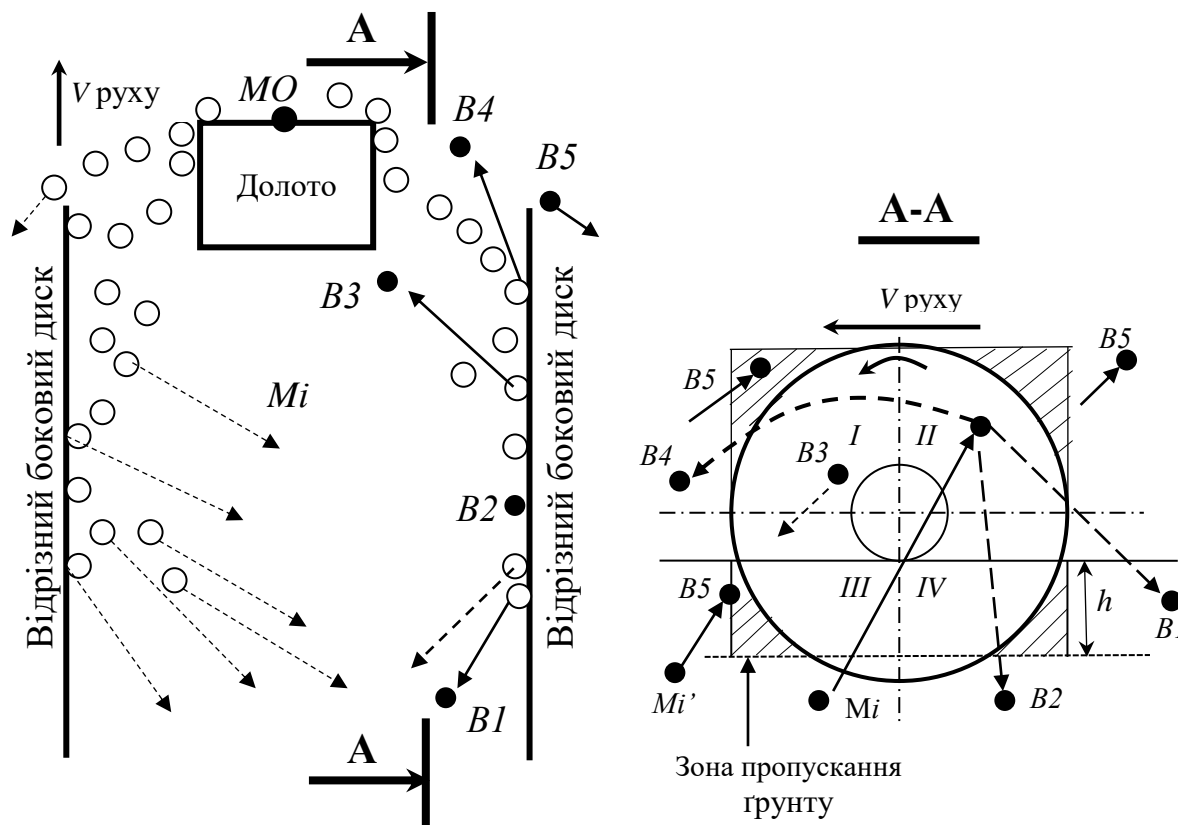


Рис. 2.7. Схема руху ґрунту в зоні після глибокорозпушувача під впливом відрізних дисків:  $V$  – швидкість руху машинно-тракторного агрегата в заданому напрямі м/с;  $MO$  – поверхня поля і точка початку вільного польоту;  $Mi$  – напрямок руху  $n$ -ої частинки ґрунту;  $h_1$  – глибина обробітку відрізним диском, см;  $\omega$  – кутова швидкість руху відрізного бокового диска, рад/с;  $B1, B2, B3, B4, B5$  – варіант зміщеного напрямку руху матеріальної точки;  $I, II, III, IV$  – сектори умовного розділення диска

Варіант 3 (B3) – рухаючись з певною швидкістю, грудка  $Mi$  потрапляє в один із секторів диска, вдаряється об диск, під впливом кутової швидкості диска, змінивши траєкторію руху в зворотному напрямку, падає в борозну за глибокорозпушувачем.

Варіант 4 (B4) – грудка  $Mi$ , маючи значну масу і рухаючись з високою швидкістю, потрапляє в один із секторів диска, вдаряється об диск, під дією кутової швидкості диска змінює траєкторію руху в зворотному напрямку, отримує прискорення і направляється в зону перед глибокорозпушувачем, створюючи негативні умови для формування якісного обробітку.

Варіант 5 (B5) – показує рух грудки  $Mi$  за межами відрізного диска, тобто в заштриховану зону пропускання грудок. Площа зони пропускання грудок безпосередньо залежить від всіх конструкційних параметрів відрізного диска.

Загальна кількість енергії, яка витрачається на деформацію ґрунту, відображується питомим опором ґрунту, який залежить від розмірів та геометрії робочого органу і швидкості обробітку, гранулометричного складу ґрунтів тощо. Отже, будь-яка дія робочого органу на ґрунт збільшує його об'ємну масу в деякому об'ємі; геометрія робочого органу і кінематика його руху зумовлює характер поля напружень і деформацій; енергія зміни об'єму, що приводить до ущільнення ґрунту робочим органом. Від форми робочого органу і кінематики його руху залежить енергоємність обробітку ґрунту.

### **2.3. Визначення зусиль та енергетичних потреб для виконання смугового обробітку ґрунту**

Слід зазначити, що під час рівномірного поступального руху агрегату (рис. 2.8) рушійна сила від енергетичного засобу зрівноважується силами опору секції агрегату для смугового обробітку ґрунту [91, 103, 104].

Вертикальна складова  $F_B$  загального опору секції агрегату для смугового обробітку ґрунту  $N$  створює момент навколо точки контакту задніх коліс трактора із ґрунтом та збільшує їх тиск на ґрунт, а горизонтальна складова  $F_T$  долається тяговою силою трактора. Сила тягового опору секції агрегату для смугового обробітку ґрунту (рис. 2.9) має основні складові елементи: сила тертя робочих органів об ґрунт, сила розрізання ґрунту робочими органами та деталями їх кріплення та сила, яка забезпечує відкидання ґрунту від поверхні робочих органів.

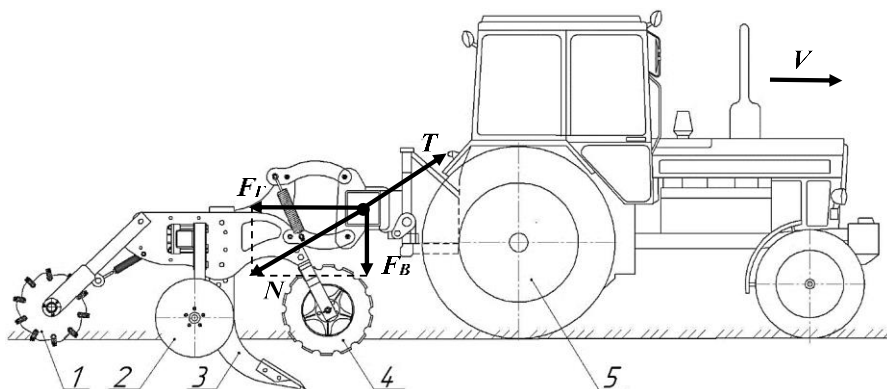


Рис. 2.8. Загальний вигляд машинно-тракторного агрегату та схема прикладення основних сил: 1 – прикочуючий коток; 2 – відрізні диски; 3 – глибокорозпушувач; 4 – передній диск; 5 – енергетичний засіб;  $V$  – швидкість руху машинно-тракторного агрегату, км/год;  $T$  – тягове зусилля енергетичного засобу, Н;  $N$  – сила загального опору секції агрегату для смугового обробітку ґрунту, Н;  $F_v$  – вертикальна складова загального опору секції агрегату для смугового обробітку ґрунту, Н;  $F_g$  – горизонтальна складова загального опору секції агрегату для смугового обробітку ґрунту, Н

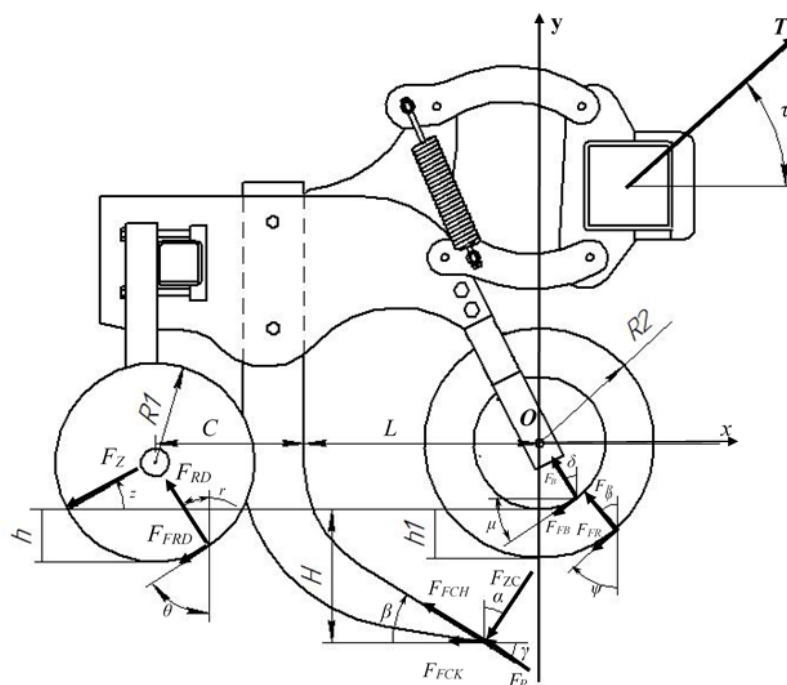


Рис. 2.9. Силова схема секції агрегату для смугового обробітку ґрунту:  $T$  – тягове зусилля енергетичного засобу, Н;  $R_1$  – радіус відрізного диска, мм;  $R_2$  – радіус переднього диска, мм;  $F_R$  – сила опору різання ґрунту переднім диском, Н;  $F_{FR}$  – сила тертя ґрунту по передньому диску, Н;  $F_B$  – сила опору перекочування

опорної реборди, Н;  $F_{FB}$  – сила тертя стерні по опорній реборді, Н;  $F_P$  – сила опору різання ґрунту глибокорозпушувачем, Н;  $F_{FCK}$  – сила тертя ґрунту по нижній частині глибокорозпушувача, Н;  $F_{FCH}$  – сила тертя ґрунту по поверхні глибокорозпушувача, Н;  $F_{ZC}$  – сила заглиблення глибокорозпушувача, Н;  $F_{RD}$  – сила опору різання ґрунту відрізним диском, Н;  $F_{FR}$  – сила тертя ґрунту по відрізнному диску, Н;  $F_Z$  – сила заглиблення відрізного диска, Н

Загальний тяговий опір секції агрегату для смугового обробітку ґрунту визначимо за формулою:

$$T = \sqrt{\left( \begin{aligned} &F_R \sin \varphi + F_{FR} \sin \psi + F_B \sin \delta + F_{FB} \cos \mu + F_{ZC} \sin \alpha + F_P \cos \gamma + \\ &+ F_{FCH} \cos \beta + F_{CK} + F_{RD} \sin r + F_{FRD} \sin \theta + F_Z \cos z \end{aligned} \right)^2 + \left( \begin{aligned} &-F_R \cos \varphi + F_{FR} \cos \psi - F_B \cos \delta + F_{FB} \sin \mu + F_{ZC} \cos \alpha - \\ &-F_P \sin \gamma - F_{FCH} \sin \beta - F_{RD} \cos r + F_{FRD} \cos \theta + F_Z \sin z \end{aligned} \right)^2} \quad (2.1)$$

Зважаючи на складність виразу, що визначає горизонтальну складову загального опору секції агрегату для смугового обробітку ґрунту, для визначення горизонтальної складової опору глибокорозпушувача було використано відому раціональну формулу В. П. Горячкіна [49] із уточненим значенням сили тертя у наступному вигляді:

$$\begin{aligned} F_{\Gamma} = f g m_{\Gamma\Gamma} \left( 2 \cos \theta + \frac{m_{\Gamma}}{m_{\Gamma\Gamma}} \right) + a_{\Gamma} b_{\Gamma} (k + k_v v^2) + f g (m_{PD} + m_{BD}) + \\ + k (a_{PD} b_{PD} + 2 a_{BD} b_{BD}) + f_{\Pi} g m_A \end{aligned} \quad (2.2)$$

де  $f$  – коефіцієнт тертя ґрунту і робочих органів, відн. од.;  $g$  – прискорення вільного падіння, м/с<sup>2</sup>;  $\theta$  – кут установки поверхні глибокорозпушувача до горизонту, рад;  $m_{\Gamma\Gamma}$ ,  $m_{PD}$ ,  $m_{BD}$  – маса глибокорозпушувача, переднього та відрізнних дисків, а також рами, яка на них припадає, кг;  $m_{\Gamma}$  – маса ґрунту над верхньою площиною глибокорозпушувача, кг;  $a_{\Gamma}$ ,  $a_{PD}$ ,  $a_{BD}$  – ширина глибокорозпушувача, переднього та відрізнних дисків, м;  $b_{\Gamma}$ ,  $b_{PD}$ ,  $b_{BD}$  – глибина обробітку ґрунту глибокорозпушувачем,

переднім та відрізними дисками, м;  $k$  – питомий опір ґрунту, Н/м<sup>2</sup>;  $k_v$  – питомий швидкісний опір ґрунту, Н с<sup>2</sup>/м<sup>4</sup>;  $v$  – швидкість руху агрегату, м/с;  $f_{II}$  – коефіцієнт кочення реборди, відн. од.;  $m_A$  – маса секції, кг.

Основними показниками тягових властивостей і економічності енергетичного засобу є: тягова потужність  $N_{кр}$ , кВт, тягове зусилля  $P_{кр}$ , кН, швидкість руху  $V$ , км/год або м/с, буксування  $\delta$ , %, годинна витрата палива  $G_T$ , кг/год та питома витрата палива  $g_{кр}$ , г/кВт·год [24]. Питома тягова витрата палива характеризує паливну економічність на робочих передачах в залежності від тягового зусилля і є похідною від годинної витрати палива і тягової потужності. Питома витрата палива із збільшенням навантаження зменшується і стає мінімальною в точці максимальної потужності на гаку; при перевантаженні питома витрата палива, як правило, збільшується. На основі загальновідомих виразів [13] визначимо питому витрату палива наступним чином:

$$E = \frac{Q}{S} = \frac{W}{Sq} = \frac{F_T l + W_{TP}}{Llq} = \frac{F_T}{Lq} + \frac{W_{TP}}{Sq} \quad (2.3)$$

де  $E$  – питома витрата палива машинно-тракторним агрегатом, кг/га;  $Q$  – витрата палива, кг;  $S$  – оброблена площа, м<sup>2</sup>;  $W$  – витрати енергії на роботу машинно-тракторного агрегату, Дж;  $q$  – теплотворна здатність палива, Дж/кг;  $F_T$  – тягова сила трактора, що дорівнює силі опору робочого агрегату, Н;  $l$  – шлях, пройдений машинно-тракторним агрегатом, м;  $L$  – ширина захвату робочого агрегату, м;  $W_{TP}$  – витрати енергії на створення тягового зусилля трактором, Дж.

Приймаючи допущення, що  $W_{TP}/S_q$  є приблизно постійною величиною, робимо висновок, що ключовою складовою величини питомих витрат палива є тягова сила енергетичного засобу або сила опору секції агрегату для смугового обробітку ґрунту. Сила опору має три складові елементи: сила тертя робочих органів об ґрунт, сила розрізання ґрунту робочими органами та деталями їх

кріплення та сила, яка забезпечує відкидання ґрунту від поверхні робочих органів. Оскільки ґрунтообробний агрегат є набором однотипних робочих органів, у подальшому будемо розглядати окремий робочий орган. Рівномірний поступальний рух робочого органу в ґрунті буде у випадку, коли сила тяги прикладена до робочого органу дорівнюватиме сумарній силі опору. Це може бути формалізовано наступним чином із використанням другого закону Ньютона:

$$m_A \frac{d^2 l}{dt^2} = F_T - F_F - F_R - F_H \quad (2.4)$$

де:  $m_A$  – маса робочого органу та деталей його кріплення, кг;  $l$  – шлях пройдений робочим органом, м;  $t$  – час руху робочого органу, с;  $F_T$  – сила тяги прикладена до робочого органу та деталей його кріплення, Н;  $F_F$  – сумарна сила тертя, що діє на робочий орган та деталі його кріплення, Н;  $F_R$  – сумарна сила розрізання ґрунту робочим органом та деталями його кріплення, Н;  $F_H$  – сумарна сила на підняття та відкидання ґрунту робочим органом та деталями його кріплення, Н.

Відрізні диски – це два плоскі, нормально встановлені, перпендикулярно до поверхні поля, паралельно до глибокорозпушувача і один до одного з величиною заглиблення  $h_1$ , які під час руху агрегату із швидкістю  $V$  під дією інертних сил обертаються навколо своєї осі (рис. 2.10).

Під час руху відрізний диск, з однієї сторони долаючи силу виштовхування  $F_{\text{виш}}$  або опір зминанню ґрунту, відрізає від поверхні необроблюваної частини поля зруйнований глибокорозпушувачем ґрунт і за допомогою сили тертя зміщує його в напрямку руху (напрямку кутової швидкості). Вся маса ґрунту зміщується в зону між поверхнею поля і обробленим ґрунтом, концентруючи вагу в точці  $K$  і створюючи відкидну силу  $F_v$ , яка зміщує траєкторію диска в напрямку від стерні до обробленої поверхні ґрунту. Під час зміщення траєкторії ґрунтова маса сходить з диска і загортає борозну глибокорозпушувача [101]. Представимо відрізний диск,



встановлений на вертикальному кронштейні та під кутом до горизонту, який забезпечує розпушування ґрунту [42].

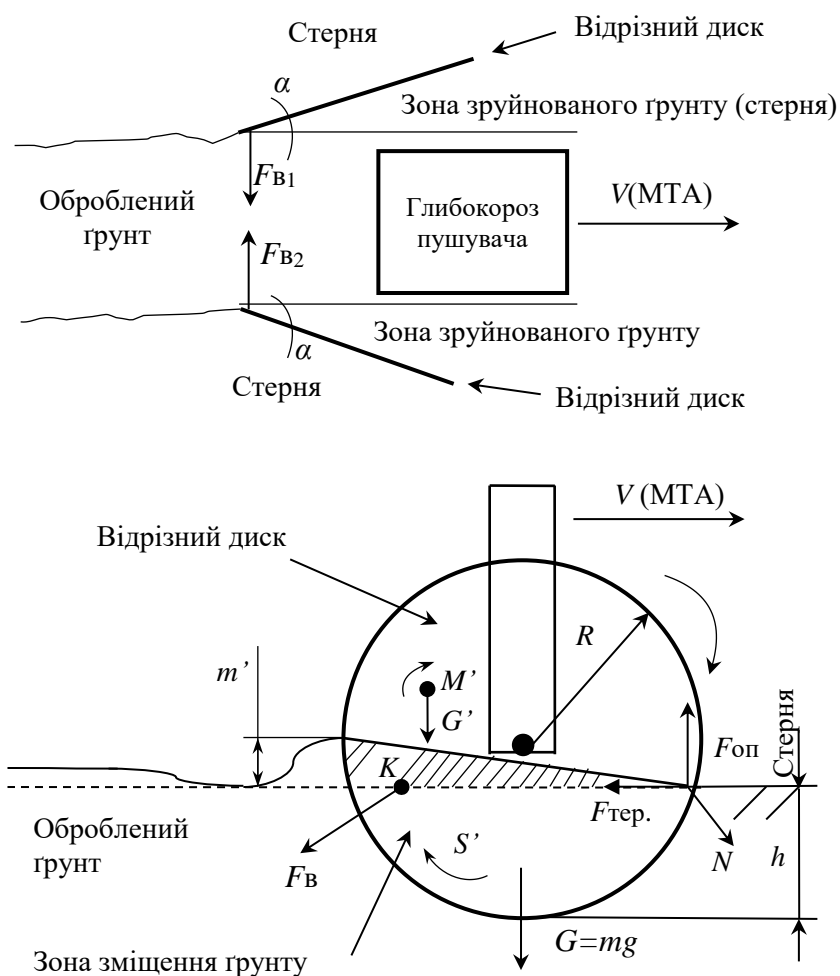


Рис. 2.10. Силевий аналіз руху відрізних дисків:  $G$  – сила тяжіння,  $H$ ;  $F_{TP}$  – сила тертя, що виникає при русі ґрунту робочою поверхнею,  $H$ ;  $F_{оп}$  – сила опору ґрунту,  $H$ ;  $N$  – рівнодіюча сила,  $H$ ;  $F_B$  – відкидна сила,  $H$ ;  $R_1$  – радіус відрізного диска, см;  $\omega'$  – кутова швидкість відрізного диска, рад/с;  $h$  – заглиблення відрізного диска, см;  $S'$  – зміщення ґрунту, см;  $M'$  – грудка, яка описує рух ґрунту;  $K$  – умовна концентрація ваги;  $G'$  – вага грудки  $M'$ ;  $v'$  – об'єм зміщеного ґрунту, см<sup>3</sup>

У цьому загальному випадку сумарна сила тертя глибокорозпушувача становитиме:

$$\begin{aligned}
F_F &= F_{ГРО} + F_{РОГ} + F_{БКГ} = \\
&= f g m_s \cos \theta + f g (m_s \cos \theta + m_A) + f m_s g k_p = \\
&= f g m_s \left( 2 \cos \theta + \frac{m_A}{m_s} + k_p \right)
\end{aligned} \tag{2.5}$$

де  $F_{ГРО}$  – сила тертя ґрунту по верхній площині робочого органу, Н;  $F_{РОГ}$  – сила тертя нижньої площини робочого органу по поверхні ґрунту, Н;  $f$  – коефіцієнт тертя ґрунту по металу, відн. од.;  $m_s$  – маса ґрунту над верхньою площиною робочого органу, кг;  $g$  – прискорення сили земного тяжіння, м/с<sup>2</sup>;  $\theta$  – кут установки поверхні робочого органу до горизонту, рад;  $m_A$  – маса робочого органу та деталей кріплення, що припадає на робочий орган, кг;  $k_p$  – коефіцієнт бокового тиску ґрунту на вертикальні елементи робочого органу, відн. од.

Коефіцієнт бокового тиску ґрунту на вертикальні елементи робочого органу може становити незначну величину із-за того, що ґрунт має не текучу структуру, а тому ним можна знехтувати. У цьому випадку сумарна сила тертя становитиме:

$$F_F = f g m_s \left( 2 \cos \theta + \frac{m_A}{m_s} \right) \tag{2.6}$$

Очевидно, що сумарна сила розрізання ґрунту робочими органами та деталями їх кріплення може бути визначена наступним чином:

$$F_R = l_{PO} k_{PO} + l_{ДК} k_{PO} \tag{2.7}$$

де  $l_{PO}, l_{ДК}$  – сумарна довжина ріжучої кромки робочих органів та деталей їх кріплення, м;  $k_{PO}, k_{ДК}$  – питоме зусилля на розрізання ґрунту ріжучою кромкою робочих органів та деталями їх кріплення, Н/м.

На основі загальновідомих формул сумарна сила на підняття та відкидання ґрунту робочими органами та деталями їх кріплення може бути визначена наступним чином:

$$F_H = m_H gh + 0,5m_D v^2 l_D \quad (2.8)$$

де  $m_H$  — маса ґрунту піднятого робочими органами, кг;  $m_D$  — маса ґрунту, яка відкидається робочими органами та деталями їх кріплення, кг,  $v$  — швидкість відкидання ґрунту робочими органами та деталями їх кріплення, м/с;  $l_D$  — довжина траєкторії відкидання ґрунту робочими органами та деталями їх кріплення, м.

Таким чином, питому витрату палива можемо записати:

$$E = \left[ f m_S g \left( 2 \cos \theta + \frac{m_A}{m_S} \right) + l_{PO} k_{PO} + l_{DK} k_{PO} + m_H gh + 0,5 m_D v^2 l_D \right] (Lq)^{-1} + \frac{W_{TP}}{sq}, \quad (2.9)$$

а формула динаміки агрегату 2.4. набуває вигляду:

$$m_A \frac{d^2 l}{dt^2} = F_T - f g m_S \left( 2 \cos \theta + \frac{m_A}{m_S} \right) - l_{PO} k_{PO} + l_{DK} k_{PO} - m_H gh - 0,5 m_D v^2 l_D \quad (2.10)$$

Із рівнянь видно, що питома витрата палива при роботі агрегату для смугового обробітку ґрунту в основному залежить від параметрів робочих органів. Параметри ґрунту у цих рівняннях відображені коефіцієнтом тертя ґрунту по металу та питомим зусиллям на розрізання ґрунту ріжучою кромкою робочих органів та деталями їх кріплення.

Для спрощення розрахунків представлено робочий орган у вигляді плоскої заточеної пластини без деталей кріплення, встановлену вертикально та без відкидання ґрунту робочим органом [63]. У цьому випадку на основі рівняння динаміки можна записати:

$$m_A \frac{d^2 l}{dt^2} = F_T - 2 f g m_S - f g m_A - l_{PO} k_{PO} \quad (2.11)$$

При рівномірному введенні заточеної пластини без деталей кріплення, встановлену вертикально та без відкидання ґрунту робочим органом ґрунту, можна записати:

$$F_T = fg(2m_s + m_A) + l_{PO}k_{PO} \quad (2.12)$$

Звідки:

$$k_{PO} = \frac{F_T}{l_{PO}} - \frac{fg(2m_s + m_A)}{l_{PO}} = f_T - f_F \quad (2.13)$$

де  $f_T, f_F$  — питомі зусилля тиску на ґрунт зовнішньої сили та тертя ґрунту об верхню та нижню площини робочого органу, Н/м.

Очевидно, що із глибиною та зменшенням вологості ґрунту питомих зусилля на розрізання ґрунту зростає, а тому необхідно провести експериментальні дослідження по визначенню питомого зусилля на розрізання ґрунту ріжучою кромкою робочих органів та пов'язати цю величину із твердістю ґрунту, визначену твердоміром.

#### 2.4. Дослідження руху ґрунту під час обробітку глибокорозпшувачем

Розглядається рух грудки як невільний рух, оскільки він фізично спрямовується і обмежується площиною, клином або параболічною поверхнею, за якою вимушена рухатись ця частина ґрунту. Виразимо рівняннями в'язей у вигляді функціональної залежності від координат  $f(x, y, z) = 0$ , поверхні або лінії, по якій рухається грудка. Координати грудки мають задовольняти цьому рівнянню, коли рух шорсткою поверхнею з тертям, яке вважаємо близьким до умовно сухого Кулонового тертя. Повну реакцію шорсткої поверхні розклали на дві взаємно перпендикулярні складові вздовж головної нормалі в даній точці кривої  $N$  і вздовж дотичної  $F_{TP}$  до поверхні, за якою рухається грудка. Крім векторів нормальної складової реакції  $\vec{N}$  і сили тертя  $\vec{F}_{TP}$  на точку діє і вертикальна сила ваги  $G(H)$ , як добуток маси  $m$  на прискорення вільного падіння  $g$ ,  $G = mg, (H)$ .

Для вивчення невільного руху грудки по заданій нерухомій кривій або кривій, що рухається поступально і рівномірно, можна використовувати

натуральний тригранник  $M\tau nb$ , три взаємно перпендикулярні осі якого розміщуються по дотичній до кривої в даній точці по головній нормалі і по бінормалі, а початок координат – в точці  $M$ , рух якої досліджується (рис. 2.11).

Оскільки на бінормаль не проєктуються вектори сил і кінематичних параметрів, то вона на рисунку не показана. Точка додатного відліку переміщення  $O$  розміщена на початку руху на дні борозни, вектор початкової швидкості  $\vec{v}_0$  горизонтальний. Координатні осі  $\tau, n$  рухаються разом з грудкою і змінюють своє положення згідно характеру кривої. Головна нормаль  $n$  спрямована до точки  $C$ , на якій розміщений вектор сили нормальної реакції  $\vec{N}$ . Вздовж дотичної  $\tau$  розміщені вектор поточної швидкості  $\vec{v}$  і протилежний йому вектор сили Кулонового тертя  $\vec{F}_{\text{ТР}}$ . До точки прикладений також вектор сили ваги  $\vec{G}$ .

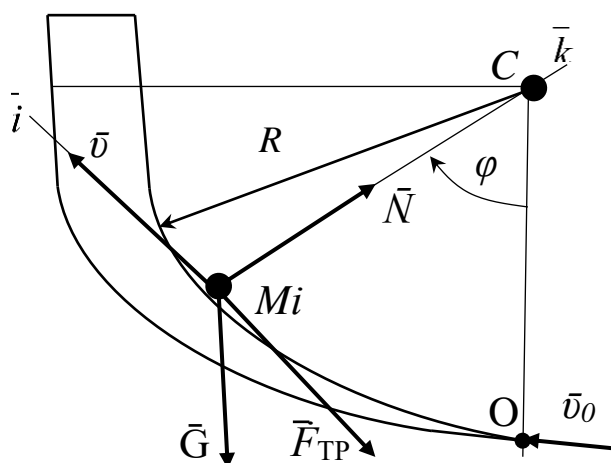


Рис. 2.11. Спрощена розрахунково-силова схема дослідження руху грудки  $Mi$  робочою поверхнею глибокорозпушувача в натуральних осях координат:  $Mi$  –  $n$ -на грудка ґрунту;  $\vec{k}, \vec{i}$  – осі руху  $n$ -ї грудки ґрунту;  $O$  – початок координат по відношенню до глибокорозпушувача;  $R$  – умовний радіус траєкторії грудки, м;  $\vec{G}$  – сила тяжіння, що діє на  $n$ -у грудку ґрунту, Н;  $\vec{F}_{\text{ТР}}$  – сила тертя, що діє на  $n$ -у грудку ґрунту при русі робочою поверхнею, Н;  $\vec{N}$  – рівнодіюча сила, що діє на  $n$ -у грудку ґрунту  $n$ -ої частинки ґрунту, Н;  $\varphi$  – кут відхилення  $n$ -ої грудки ґрунту від початку руху;  $\vec{v}$  – швидкість руху  $n$ -ої грудки ґрунту у відповідній точці, м/с

Складемо диференціальне рівняння руху невідільної грудки у векторній формі відносно криволінійної поверхні глибокорозпушувача  $m\bar{a} = \bar{G} + \bar{N} + \bar{F}_{TP}$ . Спроектуємо вектори рівняння на осі натуральної системи координат, використавши кут  $\phi$ , який координує положення точки. На початку руху при  $t = t_0$  цей кут  $\phi_0 = 0$ , а початкова швидкість дорівнювала  $\bar{v}_0$ . Отримаємо наступні два скалярних рівняння в проекціях на натуральні осі  $\tau, n$ :

$$m \frac{dv}{dt} = -G \sin \phi - F_{TP}. \quad (2.14)$$

$$m \frac{v^2}{R} = N - G \cos \phi. \quad (2.15)$$

де  $m$  – маса грудки, кг;  $\phi$  – поточний кут, рад;  $R$  – радіус кола, м.

Підставляємо сталу інтегрування  $C_1$  в загальний розв’язок неоднорідного диференціального рівняння і, враховуючи, що  $v^2 = \dot{\phi}^2 R^2$ , остаточно отримаємо шуканий закон зміни квадрата швидкості грудки ґрунту від кута  $\phi$ , який визначає її положення:

$$v^2 = \left( v_0^2 - \frac{2gR(1-2f^2)}{1+4f^2} \right) e^{-2f\phi} - \frac{6gRf}{1+4f^2} \sin \phi + \frac{2gR(1-2f^2)}{1+4f^2} \cos \phi. \quad (2.16)$$

Визначимо величину сили нормальної реакції  $N$ , оскільки швидкість в будь-який момент руху тепер відома:

$$N = m \left[ \left( v_0^2 - \frac{2g(1-2f^2)}{(1+4f^2)} \right) e^{-2f\phi} - \frac{6gf}{(1+4f^2)} \sin \phi + \frac{2g(1-2f^2)}{(1+4f^2)} \cos \phi \right] + mg \cos \phi. \quad (2.17)$$

Математична модель обробітку ґрунту складена з урахуванням допущень:

- рух робочого органу є поступальним, коли всі точки глибокорозпушувача мають тотожні швидкості і прискорення;
- глибокорозпушувач рухається з деякою середньою усталеною швидкістю, тобто в першому наближенні рівномірно;

- згідно експериментальних досліджень співударяння ґрунтових мас з робочою поверхнею глибокорозпушувача під час обробітку є непружними з нехтовно малим коефіцієнтом відновлення [89];
- лівосторонню систему координат, пов'язану з серединою робочого леза долота, відносно якої досліджується рух ґрунту і яка поступально і рівномірно рухається разом з машинно-тракторним агрегатом під час усталеного процесу смугового обробітку, вважаємо інерційною системою відліку з високим ступенем точності [89];
- сили взаємодії окремої грудки, рух якої досліджується, з іншими грудками потоку ґрунту вважаються у першому наближенні зрівноваженими, а тому не враховуються.

Одним з можливих варіантів робочої поверхні долота може бути циліндрична поверхня [25], твірні якої паралельні осі  $Oy$ , тобто горизонтальні, але розміщені за законом параболи [31, 64] (рис. 2.5). Подібне дослідження надає можливість порівняти вплив цієї параболічної поверхні на узагальнені показники якості процесу обробітку ґрунту відносно існуючих варіантів.

Рівняння параболічної поверхні в лівій прямокутній системі декартових координат  $Oxz$ , коли  $y = 0$ , має вигляд:

$$z = \sqrt{L} - \sqrt{L - x}, \quad (2.18)$$

де  $L$  – довжина робочої поверхні вздовж осі  $Ox$ .

Для обґрунтування розглянемо виведення рівняння параболи (2.18) згідно рис. 2.12. Почнемо з параболи, яка розміщена симетрично відносно осі  $Ox$ .  $z^2 = L - x; \Rightarrow z = \pm\sqrt{L - x}$ ; при  $x = 0: z = \pm\sqrt{L}$ ; при  $x = L: z = 0$ . Перемістимо вісь симетрії параболи паралельно догори на величину  $\sqrt{L}$ .  $(z - \sqrt{L})^2 = L - x; z - \sqrt{L} = \pm\sqrt{L - x}; \Rightarrow z = \sqrt{L} \pm \sqrt{L - x}$ . Потрібна нам вітка параболи має вигляд:  $z = \sqrt{L} - \sqrt{L - x}$ , при  $x = 0: \Rightarrow z = \sqrt{L} - \sqrt{L} = 0$ ; при  $x = L: \Rightarrow z = \sqrt{L}$ .

Таким чином, вісь симетрії параболі зміщена догори паралельно осі  $Ox$  і проходить через вершину параболі точку  $C$  з координатами  $C(L; \sqrt{L})$ . Отже, вибираємо для досліджуваної поверхні долота нижню вітку параболі, що розміщується від початку координат  $O$  до її вершини в точці  $C$  за формулою (2.18).

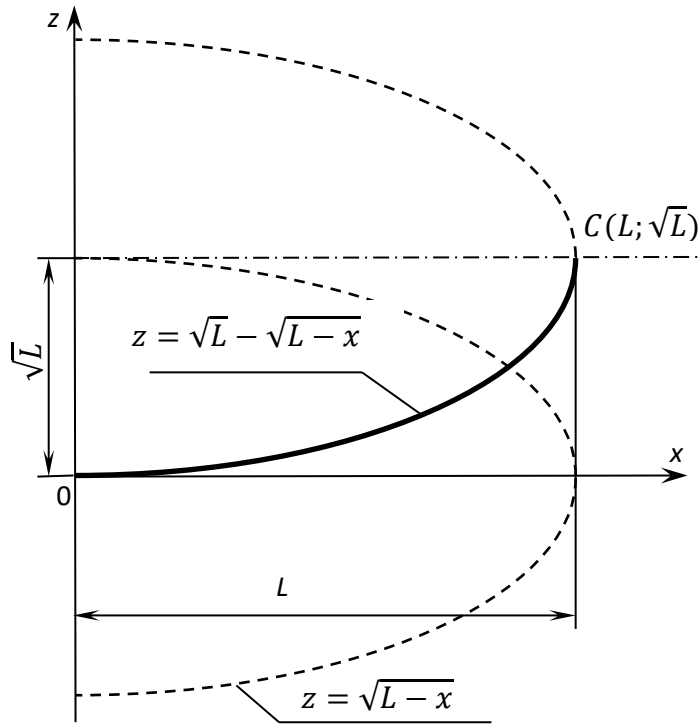


Рис. 2.12. Схема до виведення рівняння параболі

Розглянемо далі рух грудки ґрунту вздовж робочої поверхні долота, яка складається із плоского клину 1 довжиною  $l$  (рис. 2.13) і циліндричної параболічної поверхні 2 з параметром  $L$ , твірні якої горизонтальні і паралельні осі  $Oy$  [74]. Початок лівої прямокутної декартової системи координат (точка  $O$ ) розмістимо посередині ріжучої кромки леза долота. Вісь  $Ox$  направимо горизонтально проти напрямку руху глибокорозпушувача, вісь  $Oz$  – вертикально вгору, а вісь  $Oy$  – перпендикулярно до осі  $Ox$  і в той же час паралельно твірній поверхні прямого кругового циліндра 2, яка з'єднується з поверхнею плоского клину 1. Грудка  $M$  в довільному положенні під час її руху по площині плоского клину 1, в подальшому вона переходить на циліндричну поверхню 2.



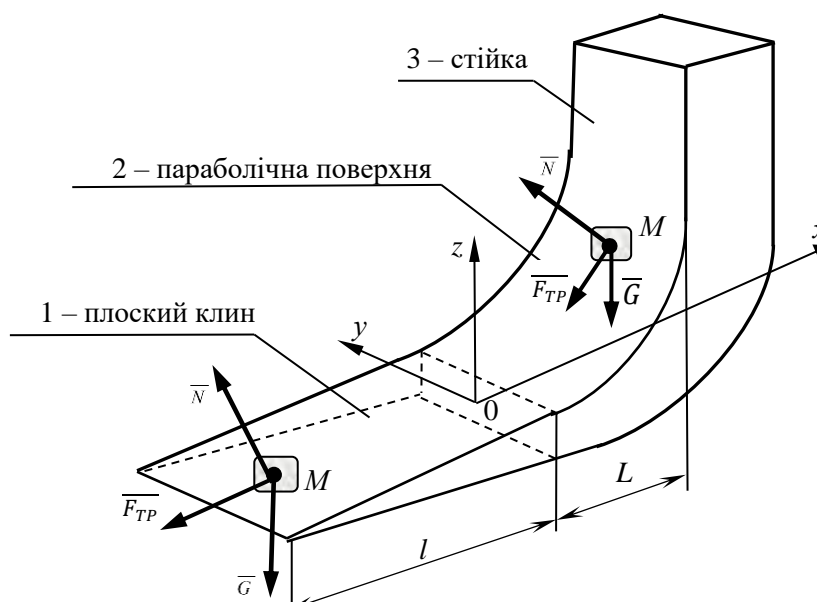


Рис. 2.13. Розрахункова схема взаємодії грудки з поверхнями плоского клину і параболічною поверхнею та стійки глибокорозпушувача

У зв'язку з усталеним рухом машинно-тракторного агрегату припустимо, що початкова швидкість руху грудки на першому етапі дорівнює поступальній швидкості машини  $v_0 = v_{0x}$ , але направлена вздовж осі  $Ox$ . Можна вважати, що проекції початкової швидкості на дві інші осі координат  $z$  та  $y$  дорівнюють нулю, звідки  $v_{0x} = \dot{x}_0 = v_0$ . Зберігається лише дотична складова вектору швидкості, яка стає початковою лінійною швидкістю грудки, а нормальна складова є нехтовно малою. Тому під час руху грудки по плоскому клину початкові умови руху мають вигляд:  $t = t_0 = 0$ ;  $x = x_0(t_0) = 0$ ;  $y = y_0(t_0) = 0$ ;  $z = z_0(t_0) = 0$ ;  $v_x = \dot{x}_0(t_0) = v_0$  м/с;  $v_y = \dot{y}_0(t_0) = v_{0y} = 0$ ;  $v_z = \dot{z}_0(t_0) = v_{0z} = 0$  [27].

Рух грудки не залежить від рушійних сил енергетичного засобу, а переходить у самостійний рух під дією сили ваги, сили реакції поверхні з врахуванням сили тертя грудки по металевій поверхні, які заважають вільному руху [28].

Таким чином, диференціальне рівняння руху грудки відносно поверхні глибокорозпушувача у векторній формі згідно основного закону динаміки для невідомої матеріальної точки матиме вигляд  $m\bar{a} = \bar{G} + \bar{N} + \bar{F}_{TP}$ . Зазначимо, що напрям вектора  $\bar{N}$  нормальної реакції, як сила дії поверхні на грудку, формує конфігурація робочої поверхні, її геометрія. Рівняння цієї поверхні є рівнянням в'язі

під час руху по ній грудки ґрунту, від якого залежить відносний рух часток грудок. Враховуючи векторне рівняння і рівняння в'язі  $f(x, y, z) = kx - z = 0$ ;  $y = 0$ , з врахуванням формули П. М. Василенка [30], складемо диференціальні рівняння руху грудки плоским клином в координатній формі проєкцій на осі прямокутної декартової системи координат  $Oxyz$ :

$$\begin{aligned} m\ddot{x} &= N \cos(\bar{i}, ^\wedge \bar{N}) + F_{TP} \cos(\bar{i}, ^\wedge \bar{v}), \\ m\ddot{y} &= N \cos(\bar{j}, ^\wedge \bar{N}) + F_{TP} \cos(\bar{j}, ^\wedge \bar{v}), \\ m\ddot{z} &= N \cos(\bar{k}, ^\wedge \bar{N}) + F_{TP} \cos(\bar{k}, ^\wedge \bar{v}) - G, \\ f(x, y, z) &= \sqrt{L} - \sqrt{L - x} - z = 0; \end{aligned} \quad (2.19)$$

де  $\bar{v}$  – вектор швидкості грудки вздовж поверхні робочого органу,  $\bar{i}, \bar{j}, \bar{k}$  – орти або одиничні базисні вектори прийнятої лівої прямокутної декартової системи координат  $Oxyz$  (рис. 1);  $k = tg \frac{H}{L}$ , – кутовий коефіцієнт пропорційності,  $H$  – кінцева висота клину,  $m$ ,  $L$  – довжина клину по горизонталі у запропонованій конструкції, де останнє рівняння є рівнянням в'язі (2.19) у неявній формі.

Для визначення напрямних косинусів візьмемо частинні похідні від рівняння в'язі у неявній формі [33]:

$$\frac{\partial f}{\partial x} = \frac{1}{2\sqrt{L-x}}; \quad \frac{\partial f}{\partial y} = 0; \quad \frac{\partial f}{\partial z} = -1. \quad (2.20)$$

Частинна похідна  $\frac{\partial f}{\partial y}$  від функції в'язі  $f(x, y, z)$  дорівнює нулю, оскільки ця функція не залежить від координати  $y$ . Визначимо градієнт функції в'язі  $f(x, y, z)$

$$\Delta f = \sqrt{\frac{1}{4(L-x)}} + 1 = \sqrt{\frac{1+4(L-x)}{4(L-x)}}. \quad (2.21)$$

Отримаємо величини напрямних косинусів:

$$\cos(\bar{i}, ^\wedge \bar{N}) = \frac{1}{\sqrt{1+4(L-x)}}; \cos(\bar{j}, ^\wedge \bar{N}) = 0; \cos(\bar{k}, ^\wedge \bar{N}) = -\sqrt{\frac{4(L-x)}{1+4(L-x)}}. \quad (2.22)$$

Напрямний косинус між віссю  $Oy$  та нормальною складовою реакції  $\bar{N}$ , як можна побачити, дорівнює нулю, тому кут між ними  $(\bar{j}, ^\wedge \bar{N}) = \frac{\pi}{2}$ . Визначимо далі напрямні косинуси між осями координат та вектором швидкості  $\bar{v}$ , вздовж якого спрямована сила тертя ковзання, але протилежно за напрямом мають такі значення:

$$\begin{aligned} \cos(\bar{i}, ^\wedge \bar{v}) &= -\frac{\dot{x}}{v} = -\frac{\dot{x}}{\sqrt{\dot{x}^2 + \dot{y}^2 + \dot{z}^2}}; & \cos(\bar{j}, ^\wedge \bar{v}) &= -\frac{\dot{y}}{v} = -\frac{\dot{y}}{\sqrt{\dot{x}^2 + \dot{y}^2 + \dot{z}^2}}; \\ \cos(\bar{k}, ^\wedge \bar{v}) &= -\frac{\dot{z}}{v} = -\frac{\dot{z}}{\sqrt{\dot{x}^2 + \dot{y}^2 + \dot{z}^2}}. \end{aligned} \quad (2.23)$$

Підставляючи вирази у систему диференціальних рівнянь (2.19), отримаємо наступну систему рівнянь:

$$\begin{aligned} m\ddot{x} &= \frac{N}{\sqrt{1+4(L-x)}} - f N \frac{\dot{x}}{\sqrt{\dot{x}^2 + \dot{y}^2 + \dot{z}^2}}, \\ m\ddot{y} &= -f N \frac{\dot{y}}{\sqrt{\dot{x}^2 + \dot{y}^2 + \dot{z}^2}}, \\ m\ddot{z} &= -N \sqrt{\frac{4(L-x)}{1+4(L-x)}} - f N \frac{\dot{z}}{\sqrt{\dot{x}^2 + \dot{y}^2 + \dot{z}^2}} - mg, \\ z &= \sqrt{L} - \sqrt{L-x}; \quad y = 0. \end{aligned} \quad (2.24)$$

Система диференціальних рівнянь (2.24) є системою нелінійних диференціальних рівнянь другого порядку, яка відображає рух частинки ґрунту вздовж параболічної циліндричної поверхні робочого органу. Враховуючи, що

нормальна складова реакції  $\bar{N}$  перпендикулярна до осі  $Oy$ , можна зробити висновок, що всі прикладені сили розміщені в центральній площині симетрії робочого органу, а тому вважаємо, що вектори швидкості і прискорення грудки не проектується на вісь  $Oy$ :  $\dot{y} = 0$ ;  $\ddot{y} = 0$ . Тоді система рівнянь (2.24) набуває такого вигляду:

$$\begin{aligned} m\ddot{x} &= \frac{N}{\sqrt{1+4(L-x)}} - f N \frac{\dot{x}}{\sqrt{\dot{x}^2 + \dot{z}^2}}, \\ m\ddot{z} &= -N \sqrt{\frac{4(L-x)}{1+4(L-x)}} - f N \frac{\dot{z}}{\sqrt{\dot{x}^2 + \dot{z}^2}} - mg, \\ z &= \sqrt{L} - \sqrt{L-x}; \quad y = 0. \end{aligned} \quad (2.25)$$

Початкові умови для системи диференціальних рівнянь мають наступний вигляд:  $t = t_0 = 0$ ;  $x = x_0 = 0$ ;  $z = z_0 = 0$ ;  $\dot{x} = \dot{x}_0 = v_0$ ;  $\dot{z} = \dot{z}_0 = 0$ . Прямокутну декартову систему координат  $Oxyz$  розміщуємо на початку розташування параболічної поверхні з початком координат  $O$  на площі різання.

На грудку діють сила ваги  $\bar{G}$ , сила нормальної реакції  $\bar{N}$  і сила Кулонового тертя  $\bar{F}_{TP}$ . Рівняння плоскої поверхні клину, твірні якого паралельні осі  $Oy$ , виглядає  $z = kx$ ;  $y = 0$ , де  $k = tg \frac{H}{l}$  – коефіцієнт пропорційності,  $H$  – кінцева висота клину,  $m$ ,  $l$  – довжина клину по горизонталі у запропонованій конструкції. У неявній формі функція в'язі має вираз  $f(x, y, z) = kx - z = 0$ ;  $y = 0$ .

Знайдемо частинні похідні та модуль градієнта функції в'язі:

$$\frac{\partial f}{\partial x} = k; \quad \frac{\partial f}{\partial y} = 0; \quad \frac{\partial f}{\partial z} = -1; \quad \Delta f = \sqrt{k^2 + 1}. \quad (2.26)$$

Напрямні косинуси векторів сили тертя  $\bar{F}_{TP}$  і сили нормальної реакції  $\bar{N}$  мають такі вирази:

$$\begin{aligned}\cos(\bar{i}, ^\wedge \bar{v}) &= -\frac{\dot{x}}{v} = -\frac{\dot{x}}{\sqrt{\dot{x}^2 + \dot{y}^2 + \dot{z}^2}}; \quad \cos(\bar{j}, ^\wedge \bar{v}) = -\frac{\dot{y}}{v} = -\frac{\dot{y}}{\sqrt{\dot{x}^2 + \dot{y}^2 + \dot{z}^2}}; \\ \cos(\bar{k}, ^\wedge \bar{v}) &= -\frac{\dot{z}}{v} = -\frac{\dot{z}}{\sqrt{\dot{x}^2 + \dot{y}^2 + \dot{z}^2}}.\end{aligned}\quad (2.27)$$

$$\cos(\bar{i}, ^\wedge \bar{N}) = \frac{k}{\sqrt{k^2 + 1}}; \quad \cos(\bar{j}, ^\wedge \bar{N}) = 0; \quad \cos(\bar{k}, ^\wedge \bar{N}) = -\frac{1}{\sqrt{k^2 + 1}}. \quad (2.28)$$

За врахуванням виразів (2.27), (2.28) та перпендикулярності векторів прикладених сил осі  $Oy$  складемо остаточно систему диференціальних рівнянь руху матеріальної точки у вигляді малої грудки ґрунту в проекціях на осі декартової системи координат:

$$\begin{aligned}m\ddot{x} &= N \frac{k}{\sqrt{k^2 + 1}} - f N \frac{\dot{x}}{\sqrt{\dot{x}^2 + \dot{z}^2}}, \\ m\ddot{z} &= -N \frac{1}{\sqrt{k^2 + 1}} - f N \frac{\dot{z}}{\sqrt{\dot{x}^2 + \dot{z}^2}} - mg, \\ z &= kx; \quad y = 0.\end{aligned}\quad (2.29)$$

Початкові умови для розв'язання системи диференціальних рівнянь з визначенням довільних сталих інтегрування мають вигляд  $t = t_0 = 0: x = x_0(t_0) = -l; y = \dot{y}_0 = 0; z = z_0 = 0; \dot{x} = \dot{x}_0(t_0) = v_0; \dot{z} = \dot{z}_0 = 0$ .

Для визначення величини швидкості в залежності від кута установки леза до горизонту скористаємося загальновідомим рівнянням [58] рівноваги структурного агрегату ґрунту на поверхні глибокорозпушувача:

$$m \frac{dV_R}{dt} = -f_1 Q - f_1 P \cos \alpha - P \sin \alpha, \quad (2.30)$$

де  $m$  – маса структурного агрегату ґрунту на поверхні долота, кг;  $V_R$  – швидкість руху структурного агрегату ґрунту на поверхні долота, м/с;  $t$  – час руху структурного агрегату ґрунту на поверхні долота, с;  $f_1$  – коефіцієнт тертя ґрунту по матеріалу поверхні долота, відносних од.;  $Q$  – відцентрова сила інерції, що діє на

структурний агрегат ґрунту при русі по поверхні долота, Н;  $P$  – вага структурного агрегату ґрунту, Н;  $\alpha$  – кут установки леза до горизонту, град.

Увівши загальновідомі значення відцентрової сили інерції та ваги структурного агрегату ґрунту, які становлять:

$$m \frac{dV_R}{dt} = -f_1 m \frac{V_R^2}{R} - f_1 mg \cos \alpha - mg \sin \alpha \quad (2.31)$$

де  $g$  – прискорення сили тяжіння, м/с<sup>2</sup>;  $R$  – радіус напрямної поверхні, м.

Загальне рішення даного диференційного рівняння за методикою [83, 88]:

$$\begin{aligned} V_R &= uv; \quad V_R' = u'v + v'u; \\ u'v + v'u + f_1 uv &= -\frac{Rg}{uv}(f_1 \cos \alpha + \sin \alpha); \\ u'v + u(v' + f_1 v) &= -\frac{Rg}{uv}(f_1 \cos \alpha + \sin \alpha); \\ v' + f_1 v &= 0; \quad \frac{dv}{d\alpha} = -f_1 v; \quad \frac{dv}{v} = -f_1 d\alpha; \quad \ln v = -f_1 \alpha; \quad v = \exp(-f_1 \alpha); \\ uu' \exp(-2f_1 \alpha) &= -Rg(f_1 \cos \alpha + \sin \alpha); \\ u \frac{du}{d\alpha} &= -Rg \exp(2f_1 \alpha)(f_1 \cos \alpha + \sin \alpha); \\ \frac{u^2}{2} &= -Rg[f_1 \exp(2f_1 \alpha) \cos \alpha d\alpha + \exp(2f_1 \alpha) \sin \alpha d\alpha]; \\ \frac{u^2}{2} &= -Rg \left[ f_1 \frac{\exp(2f_1 \alpha)}{4f_1^2 + 1} (2f_1 \cos \alpha + \sin \alpha) + \frac{\exp(2f_1 \alpha)}{4f_1^2 + 1} (2f_1 \sin \alpha - \cos \alpha) \right]; \\ \frac{u^2}{2} &= -\frac{Rg \exp(2f_1 \alpha)}{4f_1^2 + 1} [f_1 (2f_1 \cos \alpha + \sin \alpha) + 2f_1 \sin \alpha - \cos \alpha]; \\ u^2 &= -\frac{2Rg \exp(2f_1 \alpha)}{4f_1^2 + 1} [f_1 (2f_1 \cos \alpha + \sin \alpha) + 2f_1 \sin \alpha - \cos \alpha]; \end{aligned}$$

$$u^2 = -\frac{2Rg \exp(2f_1\alpha)}{4f_1^2 + 1}[(2f_1^2 - 1)\cos\alpha + 3f_1 \sin\alpha] + C;$$

$$V_R^2 = \left( -\frac{2Rg \exp(2f_1\alpha)}{4f_1^2 + 1}[(2f_1^2 - 1)\cos\alpha + 3f_1 \sin\alpha] + C \right) \exp(-2f_1\alpha)$$

Постійну інтегрування визначимо, скориставшись умовою, що для початкового моменту часу  $t = 0$  швидкість руху структурного агрегату ґрунту на поверхні плоского клину дорівнює швидкості руху глибокорозпушувача  $V$ , а кут установки клину до горизонту дорівнює початковому куту  $\alpha_0$ . В цьому випадку:

$$C = V^2 \exp(2f_1\alpha_0) + \frac{2Rg \exp(2f_1\alpha_0)}{4f_1^2 + 1}[(2f_1^2 - 1)\cos\alpha_0 + 3f_1 \sin\alpha_0]. \quad (2.32)$$

Підставляючи одержане значення постійної інтегрування, отримаємо наступний вираз для визначення швидкості руху ґрунту у функції кута підйому:

$$V_R^2 = -\frac{2Rg}{4f_1^2 + 1}[(2f_1^2 - 1)\cos\alpha + 3f_1 \sin\alpha] + V^2 \exp[2f_1(\alpha_0 - \alpha)] +$$

$$+ \frac{2Rg}{4f_1^2 + 1}[(2f_1^2 - 1)\cos\alpha_0 + 3f_1 \sin\alpha_0] \exp[2f_1(\alpha_0 - \alpha)] \quad (2.33)$$

Після перетворення одержимо:

$$V_R^2 = \left( V^2 - \frac{2Rg \exp[2f_1(\alpha - \alpha_0)]}{4f_1^2 + 1}[(2f_1^2 - 1)\cos\alpha + 3f_1 \sin\alpha] + \right.$$

$$\left. + \frac{2Rg}{4f_1^2 + 1}[(2f_1^2 - 1)\cos\alpha_0 + 3f_1 \sin\alpha_0] \right) \exp[2f_1(\alpha_0 - \alpha)]$$

$$V_R^2 = \left[ V^2 - \frac{2Rg \exp[2f_1(\alpha - \alpha_0)]\sqrt{4f_1^4 + 5f_1^2 + 1}}{4f_1^2 + 1} \sin\left(\alpha + \arctg \frac{2f_1^2 - 1}{3f_1}\right) + \right.$$

$$\left. + \frac{2Rg\sqrt{4f_1^4 + 5f_1^2 + 1}}{4f_1^2 + 1} \sin\left(\alpha_0 + \arctg \frac{2f_1^2 - 1}{3f_1}\right) \right] \exp[2f_1(\alpha_0 - \alpha)]$$

$$V_R^2 = \left\{ V^2 - \frac{2Rg\sqrt{4f_1^4 + 5f_1^2 + 1}}{4f_1^2 + 1} \left[ \exp[2f_1(\alpha - \alpha_0)] \sin\left(\alpha + \arctg \frac{2f_1^2 - 1}{3f_1}\right) - \right. \right. \\ \left. \left. - \sin\left(\alpha_0 + \arctg \frac{2f_1^2 - 1}{3f_1}\right) \right] \right\} \exp[2f_1(\alpha_0 - \alpha)] \\ V_R = \left\{ V^2 \exp[2f_1(\alpha_0 - \alpha)] - \frac{2Rg\sqrt{4f_1^4 + 5f_1^2 + 1}}{4f_1^2 + 1} \left[ \sin\left(\alpha + \arctg \frac{2f_1^2 - 1}{3f_1}\right) - \right. \right. \\ \left. \left. - \exp[2f_1(\alpha_0 - \alpha)] \sin\left(\alpha_0 + \arctg \frac{2f_1^2 - 1}{3f_1}\right) \right] \right\}^{\frac{1}{2}}$$

Визначимо умови, коли швидкість руху ґрунту по поверхні глибокорозпушувача на рівні глибини обробітку дорівнює нулю. Ця умова визначає границю між двома режимами роботи глибокорозпушувача. Якщо швидкість руху ґрунту по поверхні глибокорозпушувача на рівні глибини обробітку менше нуля, то глибокорозпушувач працює в режимі розпушування. Кут між дотичною до напрямної у початку координат та горизонталлю – кут підйому  $\alpha_0$  вибирається так, щоб пластичні деформації не потрапляли у дно борозни і не ущільнювали її. Це досягається дотриманням нерівності:

$$\alpha_0 \leq \frac{45^\circ - \varphi_2}{2}. \quad (2.34)$$

Для розрахунку конструкційних параметрів відрізних дисків використаємо математичний опис моделі вільного польоту грудки ґрунту (рис. 2.14), де необхідно знати її початкове положення (координати) і початкову швидкість руху за величиною і напрямом, які визначаються із відомих досліджень.

Під час вільного польоту у повітрі на грудку  $M$  діють сила її ваги  $G = mg$  і сила опору повітря  $F_{\text{оп}} = f(v)$ , яка є функцією від швидкості і спрямована протилежно вектору швидкості, направленому по дотичній до траєкторії. На початку руху грудка  $M$  знаходиться в положенні  $MO$  і має початкову швидкість  $v_0$ ,



вектор якої мав кут  $\alpha$  [73, 84]. Потік ґрунту, що формується глибокорозпушувачем, піднімається вгору доти, поки швидкість  $V_R$  не буде дорівнювати нулю  $V_R = 0$ .

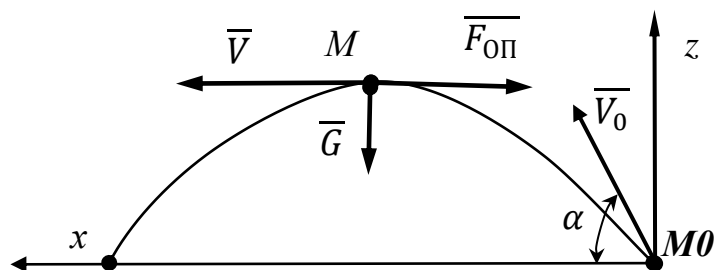


Рис. 2.14. Схема вільного польоту грудки у повітрі:  $x, z$  – осі координат;  $MO$  – поверхня поля і точка початку вільного польоту;  $M$  – грудка ґрунту в польоті;  $\overline{V}_0$  – початкова швидкість руху грудки, м/с;  $\overline{G}$  – сила тяжіння, що діє на грудку, Н;  $\overline{F}_{оп}$  – сила опору повітря, що діє на грудку, Н;  $\overline{V}$  – швидкість руху грудки у відповідній площині координат, м/с

Для визначення траєкторії руху грудки у польоті використаємо загально відомі рівняння [73, 83, 105]:

$$z = z_0 + \frac{1}{k} \left( -\frac{g}{k} + v_0 \sin \alpha \right) \cdot \left( 1 - e^{\ln(1 - \frac{kx}{v_0 \cos \alpha})} \right) + \frac{g}{k^2} \ln \left( 1 - \frac{kx}{v_0 \cos \alpha} \right). \quad (2.35)$$

Для визначення далькості польоту грудки ґрунту необхідно у рівняння (2.35) підставити  $z = 0$ , тобто, коли грудка впаде на поле, і визначити координату  $x$ , яка покаже пройдену відстань по горизонталі. Відповідно до координат польоту грудки визначимо параметри розміщення відрізних дисків.

## Висновки за розділом 2

Для умов роботи секції агрегату для смугового обробітку та на основі використання раціональної формули В. П. Горячкіна із уточненим значенням сили

тертя отримано залежність для визначення тягового опору агрегату для смугового обробітку ґрунту та витрат палива в залежності від глибини обробітку ґрунту глибокорозпушувачем, а також заглиблення переднього та відрізних дисків.

Досліджено рух грудки Мі поверхнями плоского клину і параболічною поверхнею та стійки глибокорозпушувача. Розраховано вловлювання вивільненого ґрунту вільного польоту відрізними дисками після глибокорозпушувача для формування поперечної та повздовжньої поверхні смуги.

Основні результати другого розділу дисертаційної роботи були опубліковані в таких наукових працях здобувача зі списку [8, 14, 15]

### **РОЗДІЛ 3. ПРОГРАМА ТА МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ ПАРАМЕТРІВ ВЗАЄМНОГО РОЗМІЩЕННЯ РОБОЧИХ ОРГАНІВ СЕКЦІЇ АГРЕГАТУ ДЛЯ СМУГОВОГО ОБРОБІТКУ ҐРУНТУ**

#### **3.1. Методика визначення вагомості показника якості смугового обробітку ґрунту**

Для дослідження та оцінки конструкційно-технологічних параметрів секції агрегату для смугового обробітку ґрунту необхідно визначити основні показники оцінювання. Аналізуючи наукові дослідження в напрямку смугового обробітку ґрунту можемо сказати, що визначальними показниками оцінки якості є: грудкуватість поверхні обробленої смуги, поперечна нерівність обробленої смуги, рівномірність глибини обробітку смуги та наявність рослинних решток на поверхні обробленої смуги. Вони є визначальними для рівномірного формування насінневого ложе сівалкою, в подальшому кожен показник окремо і всі комплексно впливають на розвиток кореневої системи рослини.

На рисунку 3.1 показана трискладова впливу на показники обробітку ґрунту, де фізико-механічні властивості ґрунту включають в себе вологість ґрунту, твердіть, пористість та інші. Технологічним параметром роботи агрегату для наших досліджень є швидкість руху агрегату. Конструкційні параметри – це взаємне розміщення робочих органів секції агрегату для смугового обробітку ґрунту.

При проектуванні, оцінці та системному аналізі існуючих агрегатів для смугового обробітку ґрунту необхідно мати порівняльні характеристики, в яких важливу роль відіграє вагомість показників якості обробітку ґрунту, що впливає на результат визначення ефективності. Вагомість показників якості смугового обробітку ґрунту визначалася методом експертної оцінки шляхом опитування спеціалістів з обробітку ґрунту та вирощування польових культур.

Відповідно до методики SEER (System for Evolution and Review) фахівці, які залучаються до опитування, повинні відповідати загальним вимогам: достатня

професійна кваліфікація, обізнаність, інформованість щодо обговорюваного питання, об'єктивність, ерудованість у суміжних галузях та інші.

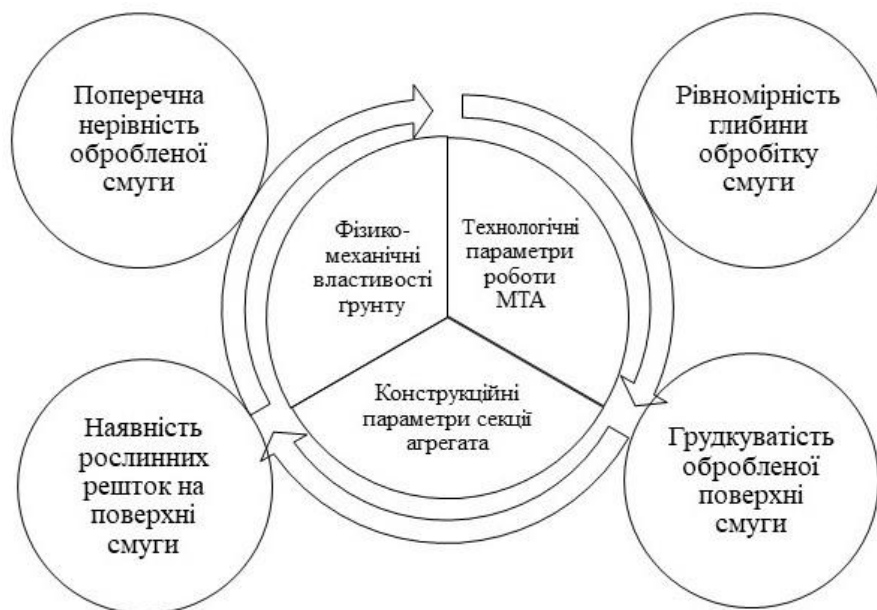


Рис. 3.1. Фактори, що впливають на якість смугового обробітку ґрунту

Відповідно рекомендаціям SEER (System for Evolution and Review) кількість осіб у групі повинна становити непарне значення з мінімальною чисельністю 5 осіб. Максимальна кількість визначається на основі нерівності:

$$n_{max} \leq \frac{n_{min} \sum k}{k_{max}} \quad (3.1)$$

де  $n_{max}$  – максимальне число експертів;  $n_{min}$  – мінімальне число експертів.  $n_{min} = 5$ ;  $k$  – коефіцієнт компетентності  $i$ -го експерта на основі аналізу наукових досліджень (табл. 3.1);  $k_{max}$  – максимально можливий коефіцієнт компетентності експерта.

За розрахунками  $n_{max}$  становить 19 осіб. Для опитування обрано 15 експертів, які беруть участь у дослідженні, проектуванні або використанні агрегатів для смугового обробітку ґрунту та інших ґрунтообробних знарядь. Групу сформовано з представників різних вікових категорій, шкіл мислення, організацій, географічних точок України, а саме: 3 професори, доктори технічних наук,

5 кандидатів технічних наук, 5 агрономів та агротехнологів, 2 інженери з впровадження ґрунтообробної техніки.

Таблиця 3.1

### Коефіцієнт компетентності експерта

Посада	Без ступеня	Кандидат наук	Доктор наук
Інженер з впровадження ґрунтообробної техніки та точного землеробства	1	1,5	
Агроном, агротехнолог, користувач точного землеробства	1	1,5	
Старший науковий співробітник, доцент, завідувач науковим відділом, професор		2	2,5

Методом експертної оцінки визначали вагомість показників якості обробітку ґрунту: грудкуватість поверхні обробленої смуги ( $\gamma_N$ ), поперечна нерівність обробленої смуги ( $\gamma_B$ ), рівномірність глибини обробітку смуги ( $\gamma_h$ ) та наявність рослинних решток на поверхні обробленої смуги ( $\gamma_{rr}$ ).

Кожний експерт індивідуально, незалежно від інших, в анкеті давав відсоткову оцінку вагомості показників якості смугового обробітку ґрунту. Оцінки аналізувалися за допомогою статистичних методів (табл. 3.2).

Типовість експертних оцінок визначалася за формулою середньоквадратичного коефіцієнта варіації:

$$V_{\sigma} = \frac{\sigma}{\bar{x}} \cdot 100\% \quad (3.2)$$

де  $\sigma$  – середнє квадратичне відхилення, %;  $\bar{x}$  – середнє арифметичне значення, %.

Всі значення коефіцієнтів варіації вагомості показників якості смугового обробітку ґрунту, що знаходяться в межах  $10\% \leq V_{\sigma} \leq 33\%$ , відповідають середньому коливанню, тобто сукупність є однорідною, а середні значення кожного показника можна вважати типовим рівнем ознаки експертної оцінки.

Отже, вагомість грудкуватості поверхні обробленої смуги  $\gamma_N = 0,19$ ; поперечної нерівності обробленої смуги  $\gamma_B = 0,4$ ; рівномірності глибини обробітку

смуги  $\gamma_h = 0,235$ ; наявність рослинних решток на поверхні обробленої смуги  $\gamma_{rr} = 0,175$ .

Таблиця 3.2

### Результати опитування експертів

Експерт	Грудкуватість обробленої поверхні	Поперечна нерівність обробленої смуги	Рівномірність глибини обробітку ґрунту	Наявність рослинних решток на поверхні обробленої смуги
1	15	40	20	25
2	30	35	15	20
3	25	35	25	15
4	20	40	30	10
5	15	30	30	25
6	15	45	25	15
7	25	35	15	25
8	15	50	20	15
9	15	45	20	20
10	15	30	40	15
11	20	50	15	15
12	20	40	25	15
13	15	35	30	20
14	25	40	20	15
15	15	45	25	15
Середнє значення, %	19,00	39,67	23,67	17,67
Коефіцієнт варіації, %	26	16	28	25
Вагомість показника	0,19	0,40	0,235	0,175

Значення коефіцієнтів вагомості показників якості відображено на рис. 3.2.

Найоб'єктивніше оцінити відповідність показників якості роботи агрегату для смугового обробітку ґрунту агротехнічним вимогам дозволяє ймовірність перебування їх у заданих межах [45]. Для оцінки якості обробітку ґрунту використовують рівень досягнення заданих значень показника якості обробленого ґрунту [45] як відношення значень показника якості, що досягнув заданих значень під час виконання технологічної операції, до загальної кількості виміряних значень показника якості або коефіцієнт варіації відхилення показника якості від його

середнього або заданого значення, що визначається за загальновідомими виразами статистичної математики.

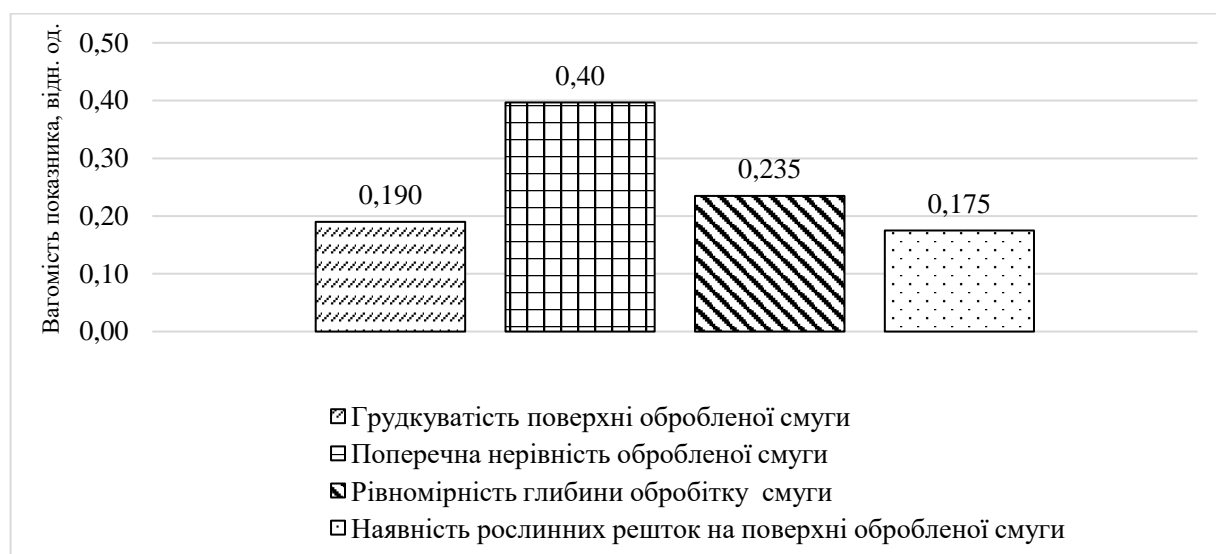


Рис. 3.2. Значення коефіцієнтів вагомості показників якості

Алгоритм визначення відхилень показників якості обробітку від нормативних агротехнічних вимог із урахуванням їх допустимих значень визначався за наступним виразом [45]:

$$\gamma = \begin{cases} \frac{\gamma_{\phi} - \gamma_{T3}}{\gamma_{T3}} = \frac{\gamma_{T3}^{\min} - \gamma_{\phi}}{\gamma_{T3}^{\min}} \text{ при } \gamma_{\phi} < \gamma_{T3}^{\min} \\ \frac{\gamma_{\phi} - \gamma_{T3}}{\gamma_{T3}} = \frac{\gamma_{\phi} - \gamma_{T3}^{\max}}{\gamma_{T3}^{\max}} \text{ при } \gamma_{\phi} > \gamma_{T3}^{\max} \\ \frac{\gamma_{\phi} - \gamma_{T3}}{\gamma_{T3}} = 0 \text{ при } \gamma_{T3}^{\min} \leq \gamma_{\phi} \leq \gamma_{T3}^{\max} \end{cases}, \quad (3.3)$$

де  $\gamma_{T3}^{\min}, \gamma_{T3}^{\max}$  – мінімальне та максимальне значення показника якості роботи, яке задане агротехнічними вимогами, кг, м або шт.;  $\gamma_{\phi}$  – фактичне значення показника якості роботи, кг, м або шт.

При оцінці ефективності смугового обробітку ґрунту необхідно розглядати одночасно декілька показників якості із використанням узагальненого показника,

що враховує відповідність стану обробленої смуги до агротехнічних вимог передпосівного обробітку. Найбільш характерною є залежність узагальненого показника якості смугового обробітку ґрунту від конструкційних параметрів робочих органів, властивостей ґрунту і швидкісних режимів роботи агрегату.

Значення узагальненого показника якості роботи секції агрегату для смугового обробітку ґрунту, враховуючи відхилення вимірних показників якості від заданих меж нормативних значень та їх вагомості, доцільно визначати за виразом [45]:

$$\begin{aligned} \Pi_{\gamma} = \gamma_h & \left( \frac{h_{T3}^{\min} - h_{\phi}}{h_{T3}^{\min}} \text{ при } h_{\phi} < h_{T3}^{\min}; \frac{h_{\phi} - h_{T3}^{\max}}{h_{T3}^{\max}} \text{ при } h_{\phi} > h_{T3}^{\max}; 0 \text{ при } h_{T3}^{\min} \leq h_{\phi} \leq h_{T3}^{\max} \right) + \\ & + \gamma_B \left( \frac{B_{\phi} - B_{T3}^{\max}}{B_{T3}^{\max}} \text{ при } B_{\phi} > B_{T3}^{\max}; 0 \text{ при } 0 \leq B_{\phi} \leq B_{T3}^{\max} \right) + \\ & + \gamma_N \left( \frac{N_{\phi} - N_{T3}^{\max}}{N_{T3}^{\max}} \text{ при } N_{\phi} > N_{T3}^{\max}; 0 \text{ при } 0 \leq N_{\phi} \leq N_{T3}^{\max} \right) \end{aligned} \quad (3.4)$$

де  $\gamma_h$  – вагомість показника рівномірності глибини обробітку смуги, відн. од;  $h_{T3}^{\min}, h_{T3}^{\max}$  – мінімальне та максимальне значення заданої глибини обробітку смуги, см;  $h_{\phi}$  – фактичне значення глибини обробітку смуги, см;  $\gamma_B$  – вагомість показника поперечної нерівності поверхні обробленої смуги, відн. од;  $B_{T3}^{\max}$  – максимально допустиме значення поперечної нерівності обробленої смуги, см;  $B_{\phi}$  – фактичне значення поперечної нерівності обробленої смуги, см;  $\gamma_N$  – вагомість показника грудкуватості поверхні обробленої смуги, відн. од;  $N_{T3}^{\max}$  – максимально допустиме значення грудкуватості поверхні обробленої смуги, тобто кількості комірок із грудками розміром  $\geq 5$  см, шт.;  $N_{\phi}$  – фактична грудкуватість поверхні обробленої смуги, тобто фактична кількість комірок із грудками розміром  $\geq 5$  см, шт.

Для комплексної оцінки якості роботи агрегатів для смугового обробітку перевагу доцільно надавати таким конструкційно-технологічним схемам, які



задовольняють компромісне рішення, що враховує витрати палива та відхилення вимірювальних показників якості обробітку ґрунту від заданих значень, тобто значення узагальненого показника роботи, який доцільно визначати за виразом:

$$\gamma = G_{\Phi} \Pi_{\gamma} = G_{\Phi} \left( \alpha_B \frac{B_{\Phi} - B_{T3}^{max}}{B_{T3}} + \beta_N \frac{N_{\Phi} - N_{T3}^{max}}{N_{T3}} \right) \quad (3.5)$$

де  $\gamma$  – значення узагальненого показника, л/га;  $G_{\Phi}$  – фактична витрата палива, л/га;  $\Pi_{\gamma}$  – узагальнений показник якості, відн. од.;  $\alpha_B$  – вагомість показника поперечної нерівності поверхні обробленої смуги, відн. од.,  $\beta_B = 0,4$  відн. од.;  $B_{T3}^{max}$  – максимально допустиме значення поперечної нерівності поверхні обробленої смуги, %.  $B_{T3}^{max} = 15$  %;  $B_{\Phi}$  – фактичне значення поперечної нерівності поверхні обробленої смуги, %;  $\gamma_N$  – вагомість показника грудкуватості поверхні обробленої смуги, відн. од.,  $\gamma_N = 0,19$  відн. од.;  $N_{T3}^{max}$  – максимально допустиме значення грудкуватості поверхні обробленої смуги, тобто кількості комірок із грудками розміром  $\geq 5$  см у відношенні до загальної кількості комірок облікової рамки, %.  $N_{T3}^{max} = 10$  %;  $N_{\Phi}$  – фактична грудкуватість поверхні обробленої смуги, тобто фактична кількість комірок із грудками розміром  $\geq 5$  см у відношенні до загальної кількості комірок облікової рамки, %.

### 3.2. Методика дослідження кількісних значень якісних показників смугового обробітку ґрунту

Якість обробітку визначається за загальновідомою методикою, адаптованою для смугового обробітку ґрунту [44]. Спочатку оброблені смуги візуально оглядаються (рис. 3.3), при цьому звертається увага на рівномірність розміщення ґрунтових агрегатів (грудок), загальний стан стерні та наявність рослинних решток. Фотографування обробленої смуги дозволяє комплексно охарактеризувати її зовнішній вигляд та провести подальше оцінювання навіть за межами поля.

Візуальна оцінка якості обробленої смуги проводилося за п'ятибальною шкалою, де 5 – це якісно оброблена смуга, придатна до подальшого використання та посіву, а 2 – смуга оброблена неякісно і не придатна до використання. Результати візуальної оцінки якості смугового обробітку ґрунту заносилися до відповідних розроблених карток (рис. 3.4) [44].



Рис. 3.3. Загальний вигляд та фотографування обробленої смуги

За результатами візуальної оцінки стану якості обробітку смуги розділяємо за подібністю на три групи:

I група – якісно оброблені (оцінка 5 та 4) – смуги придатні до використання, характеризуються рівномірною по всій довжині поперечною нерівністю в межах до 15 % без перепадів або із незначними перепадами 3-10 %. Поперечна нерівність сформована лише за рахунок грудок, що траплялися при вимірюванні. Ґрунт розпушений. Ґрунтові агрегати (грудки) знаходяться в межах смуги, деякі мають розмір до 10 см, що зумовлено значною твердістю ґрунту та неповною роботою прикочуючого котка. Рослинні рештки рівномірно зароблені. Форма смуги відповідає якісним зразкам поперечного перерізу (рис. 1.7, в). Смуга може використовуватись при осінньому внесенні добрив і весняному обробітку.

II група – відносно якісно оброблені (оцінка 4 – та 3) – смуги частково придатні до застосування з характерною рівномірністю вздовж всієї довжини з

поперечною нерівністю без значних перепадів. Ширина смуги майже однорідна, посередині можлива борозенка, на поверхні залишена певна кількість рослинних решток. Ґрунтові агрегати з розміром до 10 см і більше у межах смуги та іноді за її межами. Грудкуватість рівномірна по всій довжині. Смуга може використовуватися лише для осіннього обробітку та внесення добрив. За умов якісного спрацювання прикочуючого котка, тобто вирівнювання поперечної нерівності із зменшенням ґрунтових агрегатів (грудок), можливе використання смуг і для весняного обробітку.

	<p>Глибина обробітку глибокорозпушувачем <math>H = 27</math> см Відстань між відрізними дисками <math>B = 40</math> см Відстань від глибокорозпушувача до осі відрізнних дисків <math>C = 50</math> см</p>	<p>Дослід 1 Оцінка 4+</p>
<p>Поперечна нерівність без перепадів, або тільки за рахунок грудок, що траплялися при вимірюванні. Смуга рівномірна по довжині і ширині. Ґрунтові агрегати в цілому рівномірні, іноді з'являються розміром до 10 см, що є результатом не спрацювання прикочуючого котка. Іноді не загорнуті рослинні рештки. Смуга придатна до застосування.</p>		

	<p>Глибина обробітку глибокорозпушувачем <math>H = 27</math> см Відстань між відрізними дисками <math>B = 20</math> см Відстань від глибокорозпушувача до осі відрізнних дисків <math>C = 50</math> см</p>	<p>Дослід 3 Оцінка 2</p>
<p>Поперечна нерівність з перепадами 9-26 %. Смуга нерівномірна по довжині і ширині. Ґрунтові агрегати мають розміри 10 см і більше, тому смуга не придатна для використання.</p>		

Рис.3.4. Картка опису візуальної оцінки обробленої смуги

III група – не якісно оброблені (оцінка 3 – та 2) – смуги не придатні до подальшого застосування. Нерівномірність розподілу ґрунту по ширині та довжині із значними перепадами поперечної нерівності від 3 до 26 % і більше, що унеможливорює використання даної смуги, є глибока борозна посередині. Смуга насичена великими брилами розмірами 10 см і більше, які хаотично й нерівномірно розкидані вздовж смуги. Багато підірваних, але не перевернутих плах. Місцями смугу погано видно. Відповідно смуги даної групи неможна використовувати і поле потребує додаткового обробітку.

Рівномірність глибини обробітку смуги ( $h_{\phi}$ ) визначається за допомогою твердоміра Ревякіна (рис. 3.5) або мірного щупа. По середині смуги, де проходила секція для смугового обробітку ґрунту, фіксується глибина обробітку ґрунту (10 разів вздовж смуги). Величину глибини обробітку смуги доцільно зменшити на 5 % тому, що товщина шару ґрунту після його розпушування збільшується, а в точці вимірювання ми не знаємо вихідного рівня поверхні поля. Відхилення глибини обробітку смуги не повинно перевищувати  $\pm 2$  см від заданого значення.



Рис. 3.5. Визначення рівномірності глибини обробітку смуги за допомогою твердоміром Ревякіна

Поперечну нерівність обробленої смуги визначали за удосконаленою методикою, яка, на відміну від ОСТ 70.4.2-80, дозволяє уникнути спотворення значень. Поперечну нерівність обробленої смуги визначаємо методом видовження



шнура при копіюванні рельєфу ґрунту (рис. 3.6 – а, б) або за допомогою профілювання висоти гребенів та глибини борозен (рис. 3.6 – в).

Вимірювання поперечної нерівності обробленої смуги методом видовження шнура (рис. 3.6 – а, б) виконують у наступній послідовності: на краях обробленої смуги викладають і фіксують дві паралельно розміщені планки та заміряють фактичну відстань між планками ( $l$ ). Відстань між планками зазвичай перевищує ширину смуги, оскільки майже не можливо розмістити їх відповідно до заданої ширини обробітку. Перпендикулярно до планок у вільному стані викладають гнучкий шнур, який копіює поверхню смуги, і на ньому відмічають точки дотику з планками, потім вирівнюють шнур і заміряють його вирівняну довжину ( $l_B$ ). Вимірювання проводяться три рази вздовж обробленої смуги через кожні 10 см.



Рис. 3.6. Вимірювання якості обробленої смуги: а, б – вимірювання поперечної нерівності обробленої смуги методом видовження шнура; в – вимірювання поперечної нерівності обробленої смуги за допомогою

профілювання;  $\Gamma$  – вимірювання грудкуватості поверхні обробленої смуги з накладанням облікової рамки.

Фактичну поперечну нерівність обробленої смуги визначають за формулою:

$$B_{\phi} = \left( \frac{l_B - l}{l} \right) \cdot 100\% \quad (3.6)$$

де  $B_{\phi}$  – фактична поперечна нерівність, см;  $l_B$  – довжина вирівняного шнура, см;  $l$  – фактична відстань між вимірювальними планками, см.

Середнє значення фактичної поперечної нерівності обробленої смуги, визначеної методом видовження шнура, повинно становити не більше 15 %, а максимальне відхилення одного із замірів не повинно перевищувати 25 %.

Визначення поперечної нерівності обробленої смуги методом профілювання (рис. 3.6 – в) базується на побудові проекції ламаної лінії. Мірну рейку з поділками кожні 3 см на підставках фіксованої висоти (15 см) встановлюють поперек обробленої смуги.

Довжина рейки дорівнює заданій ширині обробленої смуги ( $l_P$ ). За допомогою лінійки у точках, відповідно до позначок на рейці, заміряють і фіксують відстань між рейкою і поверхнею обробленого ґрунту, при цьому відстань у борозенках буде більшою, ніж на гребнях або грудках. За отриманими даними, без урахування висоти підставок, у координатах  $x$ - $y$  будується ламана лінія, яка описує профіль обробленої смуги. Визначається загальна довжина ламаної лінії ( $l_L$ ).

Фактичну поперечну нерівність обробленої смуги визначають за формулою:

$$B_{\phi} = \left( \frac{l_L - l_P}{l_P} \right) \cdot 100\% \quad (3.7)$$

де  $B_{\phi}$  – фактична поперечна нерівність, см;  $l_L$  – загальна довжина ламаної лінії, см;  $l_P$  – довжина рейки, що дорівнює заданій ширині обробленої смуги, см.

Визначення поперечної нерівності методом профілювання (рис. 3.6 – в) проводили за допомогою програмного забезпечення Microsoft Excel, де розроблено алгоритм визначення загальної довжини ламаної лінії ( $l_L$ ), що описує профіль обробленого ґрунту і фактичну поперечну нерівність поверхні.

Поперечна нерівність повинна становити не більше 15 %, а в окремих точках глибина борозенок і висота гребенів – не більше 5 см. Довжина рейки, що дорівнює заданій ширині обробленої смуги  $L_p = 75$  см. Для побудови алгоритму визначення поперечної нерівності не враховували заміри, що співпадали з грудками розміром більше 5 см, кількість яких не перевищувала 10 %. Тобто, якщо три виміри з 26-ти позначених на мірній рейці із значеннями більше  $\pm 5$  см, то нехтуємо цими значеннями і прирівнюємо їх до нуля. Якщо ж вимірів із значеннями більше  $\pm 5$  см більше трьох, то їх значення залишаємо без змін.

Грудкуватість обробленого ґрунту впливає не тільки на розвиток коренів рослин, але й на водно-повітряний та поживний баланс, що вважається важливим фактором родючості. Відповідно класифікації П.А. Некрасова, структурні ґрунтові агрегати поділяються на пилюваті  $< 0,5$  мм; зернисті та дрібногрудкуваті 0,5-10 мм; середньогрудкуваті 10-50 мм; великі грудки-брили  $> 50$  мм. Для вирощування польових культур цінними агрегатами є грудки розміром від 0,5 до 5 см, тобто грудкуватість поверхні обробленої смуги з грудками розміром не більше 5 см [65].

Грудкуватість визначаємо накладанням на поверхню обробленої смуги прямокутної облікової рамки (рис. 3.6 – г) площею  $0,24 \text{ м}^2$  ( $40 \times 60$  см) із комірками розміром  $50 \times 25$  мм. Підраховуємо кількість комірок, займаних грудками розміром 5 см і більше на поверхні ґрунту і визначаємо їх відсоткове відношення до загальної кількості комірок облікової рамки.

Для передпосівного обробітку грудкуватість з розміром грудок більше 5 см повинна становити до 10 %, наявність грудок розміром більше 10 см взагалі не допустима [4].

### 3.3. Методика визначення експлуатаційної витрати палива

Для дослідження вибираємо рівномірну, без схилів та долин ділянку поля розміром  $140 \text{ м} \times 30 \text{ м}$ . Довжина гонів розділялася на три складові: перша – відстань 30 м для розгону агрегату і утримання усталеного рівномірного режиму роботи; друга – досліджувана частина довжиною 100 м; третя – довжиною 10 м для гальмування агрегату. Перша і третя частина довжини гону у вимірюваннях не враховувалася. Для забезпечення адекватності експерименту машинно-тракторний агрегат кожного разу починав рух із однієї сторони і з дотриманням однакової усталеної середньої швидкості руху. Після проведення налаштувань машинно-тракторного агрегату згідно матриці планування експерименту агрегат починав рух зі однієї сторони досліджуваної ділянки. Під час досліджень робоча передача та швидкість руху залишалися незмінними, фіксувався час проходження досліджуваної ділянки і витрата палива.

Для визначення витрати палива використовували порційний витратомір (рис. 3.7) палива під'єднаний до паливної системи трактора та мірні стакани 250 мл та 500 мл [46].

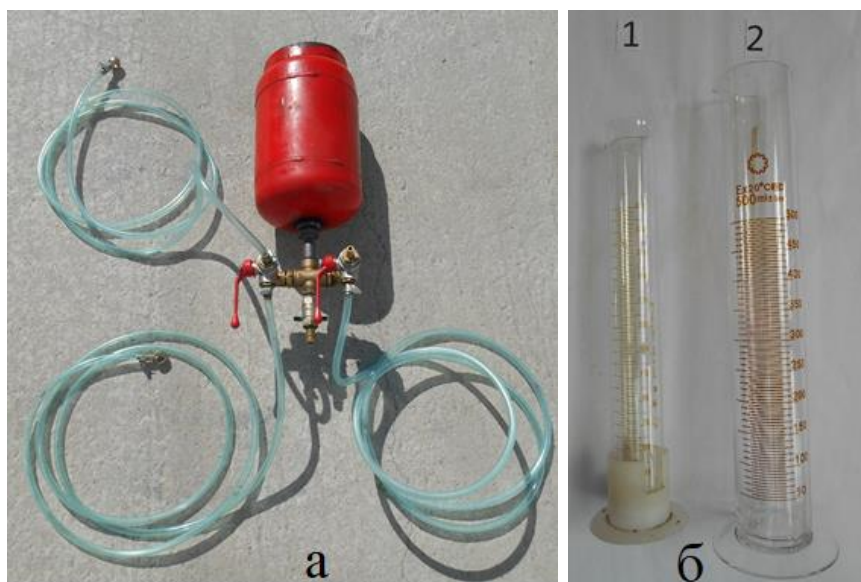


Рис. 3.7. Засоби для вимірювання витрати палива: а – порційний витратомір; б – мірні стакани; 1 – мірний стакан 250 мл; 2 – мірний стакан 500 мл



Порційний витратомір за допомогою трьохходових кранів підключався до паливної системи трактора паралельно у лінію подачі та повернення палива від паливного насоса високого тиску таким чином, що при розгоні та гальмуванні агрегату паливо використовувалося від штатної системи паливоподачі (з основного бака) трактора, а при виконанні досліду в межах досліджуваної 100 м частини відміряної ділянки миттєво переключалися трьох-ходові крани і використовувалося паливо з порційного витратоміра. Після зупинки трактора з витратоміра зливалося паливо і визначався залишок від початкової кількості 500 мл.

### 3.4. Опис експериментальної секції агрегату для смугового обробітку ґрунту та її регулювання

Зміну конструкційних параметрів розміщення робочих органів секції агрегату для смугового обробітку ґрунту виконуємо відповідно до точок регулювання (рис. 3.8).



Рис. 3.8. Точки регулювання конструкційних параметрів робочих органів секції агрегату для смугового обробітку ґрунту: 1 – стрем'янка для кріплення та

регулювання відстані між відрізними дисками,  $B$ ; 2 – отвори для зміни заглиблення відрізних дисків,  $h$ ; 3 – місце кріплення кронштейна відрізних дисків, з додатковим регулюванням встановлення їх у відношенні до основи секції; 4 – фіксатор зміни глибини обробітку глибокорозпушувачем  $H$ ; 5 – місце встановлення перехідника для зміни відстані від глибокорозпушувача до осі переднього диска  $L$

Для зміни відстані від глибокорозпушувача до осі переднього диска  $L$  використано подовжувач (рис. 3.9), який кріпиться до основи секції і дозволяє жорстко закріпити вилку переднього диска, обмеживши зміщення вилки переднього диска упорами шириною 5 см.

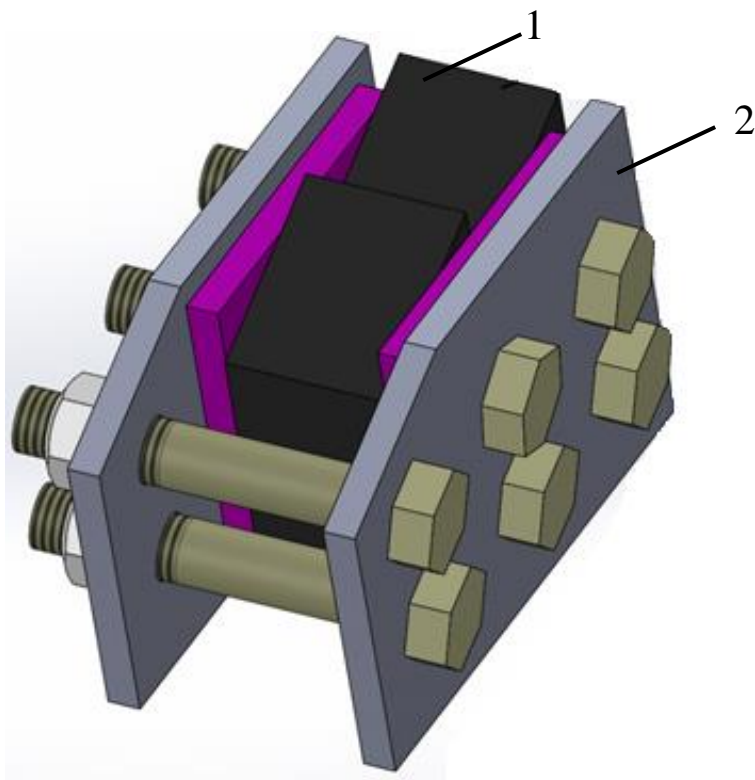


Рис. 3.9. Перехідник для зміни відстані від глибокорозпушувача до осі переднього диска  $L$ : 1 – упор; 2 – пластина кріплення змінних елементів та переднього диска

Глибина обробітку глибокорозпушувачем  $H$  змінюється переміщенням стійки у відношенні до основи 1 (рис. 3.10) секції, яка фіксується у отворах 2.

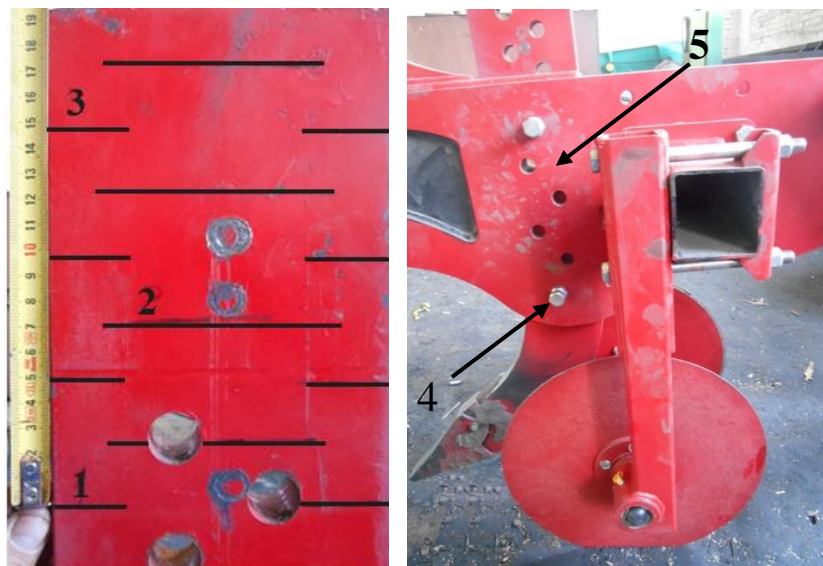


Рис. 3.10. Регулювання глибини обробітку глибокорозпушувачем  $H$ , см:  
1 – мітка глибини обробітку  $H_{min}$ , 2 – мітка глибини обробітку  $H_0$ , 3 – мітка глибини  $H_{max}$ . 4 – контровочні болти; 5 – отвір для встановлення фіксатора

Відстань від глибокорозпушувача до осі відрізних дисків  $C$  виставлялася зміною положення зміщеного від центру кронштейна кріплення стійки та самої стійки відрізних дисків по відношенню до кронштейна (рис. 3.11). Переміщуючи стійку відрізних дисків вздовж кронштейну змінювалась відстань між відрізними дисками  $B$ .

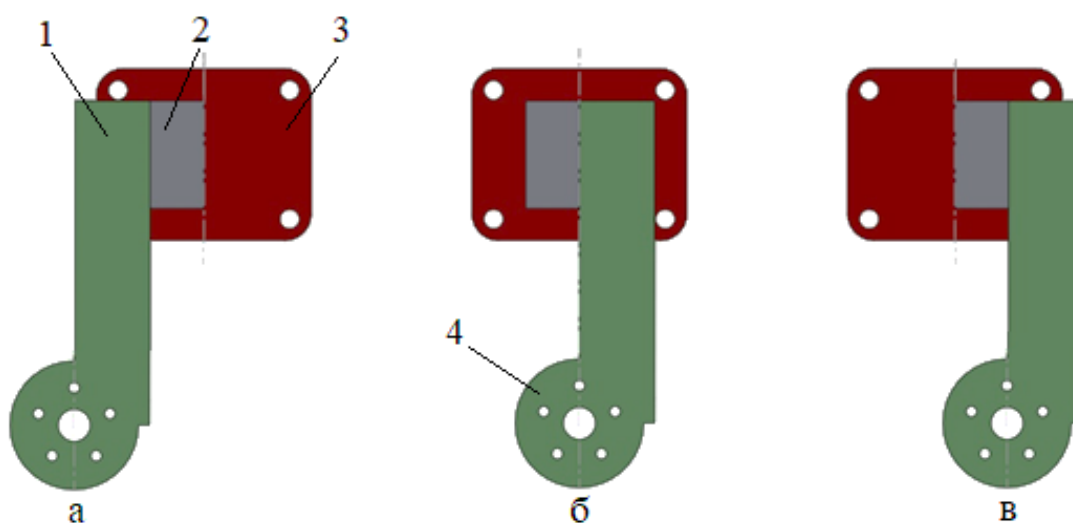


Рис. 3.11. Схема встановлення відрізних дисків на відстані від глибокорозпушувача до осі відрізних дисків  $C$ , см: а – відстань  $C = 38$  см;



б – відстань  $C = 50$  см; в – відстань  $C = 62$  см. 1 – стійка відрізних дисків; 2 – кронштейн кріплення стійки; 3 – кріплення кронштейна до рами; 4 – ступиця кріплення диска

### 3.5. Методика та програма проведення попередніх експериментальних досліджень

Перші випробування роботи секції агрегату для смугового обробітку ґрунту проведено трактором МТЗ-892 на дослідних овочевих ділянках Національного університету біоресурсів і природокористування України. Результати випробувань у вигляді неякісного, задовільного та якісного варіантів оброблених смуг показано на рисунку 3.12. Перші випробування показали, що для забезпечення адекватності експерименту необхідно вибрати відповідний дослідний фон із значною кількістю рослинних решток, високою твердістю та щільністю ґрунту [23].



Рис. 3.12. Фото оброблених смуг при перших випробуваннях

Із застосуванням методики планування експерименту передбачалось провести попередні дослідження впливу конструкційно-технологічних параметрів взаємного розміщення робочих органів секції агрегату для смугового обробітку ґрунту на агротехнічні показники якості, щоб відсіяти або підтвердити значення теоретично розрахованих параметрів. Прийнято рішення провести попередні

досліди при трьох швидкостях руху машино-тракторного агрегату  $V$ , км/год ( $V_1 = 4$  км/год,  $V_2 = 7,5$  км/год,  $V_3 = 11$  км/год).

Аналізуючи рух ґрунту при перших випробуваннях, змінні параметри для попередніх досліджень обрано глибину обробітку глибокорозпушувачем  $H$ , відстань між відрізними дисками  $B$  та заглиблення відрізнних дисків  $h$ . Незмінні параметри: відстань від долота до осі переднього диска  $L = 50$  см, відстань від глибокорозпушувача до осі відрізнних дисків  $C = 38$  см. Верхня та нижня межа вимірювання конструкційно-технологічних параметрів секції агрегату для смугового обробітку ґрунту попередньо обґрунтовані в процесі теоретичних дослідженнях і уточнені після попередніх досліджень. Інтервали значень та рівні варіювання досліджуваних факторів наведено в таблиці 3.3.

Для проведення попередніх досліджень обрано стерню озимої пшениці відразу після збирання [50]. Середнє значення опору різання  $P$  відповідно до значень твердоміра Ревякіна (рис. 3.5) з товщиною леза 0,1 мм, 2 мм та 4 мм становить  $P = 580$  Н.

Таблиця. 3.3

**Інтервали значень та рівні варіювання досліджуваних факторів для проведення попередніх досліджень**

Найменування фактору та його позначення	Рівні факторів			Інтервали варіювання
	-1	0	+1	
Глибина обробітку глибокорозпушувачем, $H$ , см	13	20	27	7
Відстань між відрізними дисками, $B$ , см	30	40	50	10
Заглиблення відрізнних дисків, $h$ , см	4	10	16	4

На момент проведення досліджень середня вологість ґрунту на різних глибинах визначено за ГОСТ 5180-84, становить 7,1 % на глибині 13 см, 8,2 % на 20 см, 7,8 % при 27 см, середнє значення 7,7 %. Попередні дослідження проведено скомплектованою експериментальною установкою (рис. 3.13), у складі трактора МТЗ-892 та секції агрегату для смугового обробітку ґрунту.



Рис. 3.13. Експериментальна секція агрегату для смугового обробітку ґрунту

### 3.6. Методика та програма проведення експериментальних досліджень

На основі попередніх досліджень та розроблених механіко-технологічних передумов секції агрегату для смугового обробітку ґрунту з врахуванням вимог (табл. 1.4), розроблено програму досліджень впливу зміни конструкційно-технологічних параметрів на агротехнічні й енергетичні показники виконання смугового обробітку ґрунту [72, 82, 85]:

1) дослідження впливу глибини обробітку глибокорозпушувачем ( $H$ ), відстані між відрізними дисками ( $B$ ) та швидкості руху агрегату ( $V$ ) на якісно-енергетичні показники обробленої смуги (табл. 3.4);

Таблиця. 3.4

#### Інтервали значень та рівні варіювання досліджуваних факторів першого пункту програми досліджень

Найменування фактору та його позначення	Рівні факторів			Інтервали варіювання
	-1	0	+1	
Глибина обробітку глибокорозпушувачем $H$ , см	13	20	27	7
Відстань між відрізними дисками $B$ , см	10	20	30	10
Швидкість руху агрегату $V$ , км/год	4	7,5	11	3,5

2) дослідження впливу глибини обробітку глибокорозпушувачем ( $H$ ), відстані між відрізними дисками ( $B$ ) та відстані від глибокорозпушувача до осі відрізнних дисків ( $C$ ) на якісно-енергетичні показники обробленої смуги (табл. 3.5);

Таблиця. 3.5

**Інтервали значень та рівні варіювання досліджуваних факторів другого пункту програми досліджень**

Найменування фактору та його позначення	Рівні факторів			Інтервали варіювання
	-1	0	+1	
Глибина обробітку глибокорозпушувачем, $H$ , см	13	20	27	7
Відстань між відрізними дисками, $B$ , см	20	30	40	10
Відстань від долота до осі відрізних дисків, $C$ , см	38	50	62	12

3) дослідження впливу глибини обробітку глибокорозпушувачем ( $H$ ), відстані від глибокорозпушувача до осі переднього диска ( $L$ ) та відстані від глибокорозпушувача до осі відрізних дисків ( $C$ ) на якісно-енергетичні показники обробленої смуги (табл. 3.6).

Програмою не передбачалось визначення впливу параметрів робочих органів секції агрегату для смугового обробітку ґрунту, що були визначені при розробці механіко-технологічних передумов, із врахуванням літературних джерел та конструктивних міркувань на основі досліджень попередників.

Таблиця. 3.6

**Інтервали значень та рівні варіювання досліджуваних факторів третього пункту програми досліджень**

Найменування фактору та його позначення	Рівні факторів			Інтервали варіювання
	-1	0	+1	
Глибина обробітку глибокорозпушувачем, $H$ , см	13	20	27	7
Відстань від долота до осі переднього диска, $L$ , см	50	55	60	5
Відстань від долота до осі відрізних дисків, $C$ , см	38	50	62	12

Виконання першого пункту програми експериментальних досліджень проводилося за аналогічними умовами, що і попередні дослідження.

Для виконання другого та третього пунктів програми досліджень прийнято рішення змінити енергетичний засіб трактор МЗТ-892 на трактор Т-40. Для визначення оптимальних параметрів розміщення робочих органів на секції агрегату для смугового обробітку ґрунту розроблено експериментальну установку (рис. 3.14) у складі трактора Т-40 та секції агрегату для смугового обробітку ґрунту.

Експериментальні дослідження другого та третього пунктів програми проводилися на землях господарства «Іскра» с. Талалаївка, Ніжинського району, Чернігівської обл. Дослідний фон – поле, стерня озимої пшениці із попередньо зібраною і вивезеною за межі поля соломною. Ґрунти – важкі суглинки, бурі дерново-підзолисті. До дня проведення дослідів у зазначеному регіоні погодні умови були стабільними: температура 18-24°C вдень, 10-16°C вночі, без опадів.

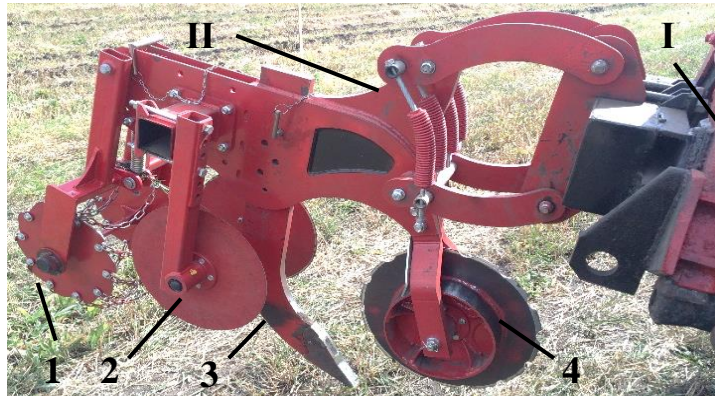


Рис. 3.14. Загальний вигляд експериментальної установки для проведення досліджень: I – навіска енергетичного засобу; II – секція агрегату для смугового обробітку ґрунту; 1 – прикочуючий коток; 2 – відрізнi диски 3 – глибокорушувач; 4 – передній диск

### 3.7. Методика обробки результатів експериментальних досліджень

Після проведення експериментальних досліджень проводилась обробка результатів експерименту, мета якої передбачала отримання моделі регресії, яка охарактеризує вплив факторів і їх взаємодію на показники якості обробітку. Обробка результатів експериментальних досліджень здійснювалась за стандартною методикою [29] із застосуванням прикладних математичних програм [72, 77]. Статистичне оцінювання рівня дисперсії, отриманих результатів проводилося за критерієм Кохрена для 95-% рівня довірчої ймовірності шляхом порівняння його розрахункового значення з табличним [130, 131, 132, 133]. Адекватність отриманої математичної моделі отриманого рівняння регресії та її придатність для опису досліджуваного процесу перевіряли за критерієм Фішера. Перевірка за критерієм



Фішера при 0,05 рівні значущості підтвердила існування взаємозв'язків між конструкційно-технологічними параметрами та результативними ознаками. Перевірка значимості коефіцієнтів регресії при прийнятій довірчій ймовірності проводилась за критерієм Стюдента [130, 131, 132, 133].

Розрахункове значення множинного коефіцієнту кореляції є величина позитивна і змінюється від 0 до 1. Нульове значення множинного коефіцієнту кореляції означає відсутність лінійного зв'язку між величинами, але не виключає можливості існування нелінійного зв'язку. Якщо ж коефіцієнт рівний 1, то існує лінійний зв'язок, а всі експериментальні дані лежать в одній площині, яка є поверхнею відгуку. Квадрат коефіцієнту кореляції є детермінацією, яка виражає залежність однієї величини від іншої. Аналіз отриманих математичних моделей, з метою оптимізації конструкційно-технологічних параметрів взаємного розміщення робочих органів секції агрегату для смугового обробітку ґрунту проведений із використанням методу побудови поверхонь відгуку.

### **Висновки за розділом 3**

Дотримання агротехнічних вимог при смуговому обробітку ґрунту забезпечить можливість формування якісного насіннєвого ложа та подальшого посіву сільськогосподарських культур. Методика оцінки ефективності смугового обробітку встановлює відповідність впливу робочих органів на стан обробленої смуги і забезпечує оперативне налагодження техніки й усунення недоліків. Запропонований узагальнений показник із урахуванням вагомості окремих показників якості, визначає відносне відхилення значень окремих якісних показників обробітку ґрунту від технологічно заданих, забезпечуючи об'єктивність оцінки.

Основні результати третього розділу дисертаційної роботи були опубліковані в таких наукових працях здобувача зі списку [3, 4]

## **РОЗДІЛ 4. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ВЗАЄМНОГО РОЗМІЩЕННЯ РОБОЧИХ ОРГАНІВ СЕКЦІЇ АГРЕГАТУ ДЛЯ СМУГОВОГО ОБРОБІТКУ**

### **4.1. Результати дослідження впливу параметрів взаємного розміщення робочих органів секції агрегату для смугового обробітку ґрунту на якість обробленої смуги при проведенні попередніх досліджень**

Візуально оцінивши оброблені смуги (Додаток 3), можна зробити висновок, що при досліджуваних швидкостях ( $V = 4$  км/год,  $V = 7,5$  км/год,  $V = 11$  км/год) всі досліди з глибиною обробітку глибокорозпушувачем  $H = 13$  см є непридатними до використання, оскільки представляють собою тоненьку прорізану щілину ґрунту, сформовану переднім диском та клином глибокорозпушувача, і тому значення глибини обробітку  $H = 13$  см у вигляді суцільної лінії на графіках не показуємо. Найбільш якісно оброблені смуги при параметрах дослідів № 5 та № 12 з глибиною обробітку глибокорозпушувачем  $H = 20$  та  $27$  см, відстані між відрізними дисками  $B = 30$  см та  $40$  см та заглиблені відрізних дисків  $h = 16$  см, проведено вимірювання поперечної нерівності та грудкуватості.

Після побудови графіків поперечної нерівності та грудкуватості визначено подібність значень та форм ліній, що описують суть процесу впливу факторів на вимірювальні параметри. За допомогою MS Excel виконано накладання графіків один на один із побудовою лінії екстремуму, визначено впливові фактори та залежності поперечної нерівності та грудкуватості. Графіки (рис. 4.1) показують, що при збільшенні глибини обробітку ґрунту глибокорозпушувачем збільшується поперечна нерівність, характеризуючи збільшення вивільненої маси ґрунту під час руху. Штрихова лінія (50 см відстані між відрізними дисками) знаходиться вище інших, що характеризує незадовільність даного параметру.

Штрихова та пунктирна лілія (рис. 4.2) показують, що оптимальна відстань між відрізними дисками  $B$  знаходиться в межах 35-45 см, а із збільшенням відстані до 50 см збільшується показник поперечної нерівності, що характеризується

недольотом грудок до дисків і відповідно не загортанням відрізними дисками борозни глибокорозпушувача.

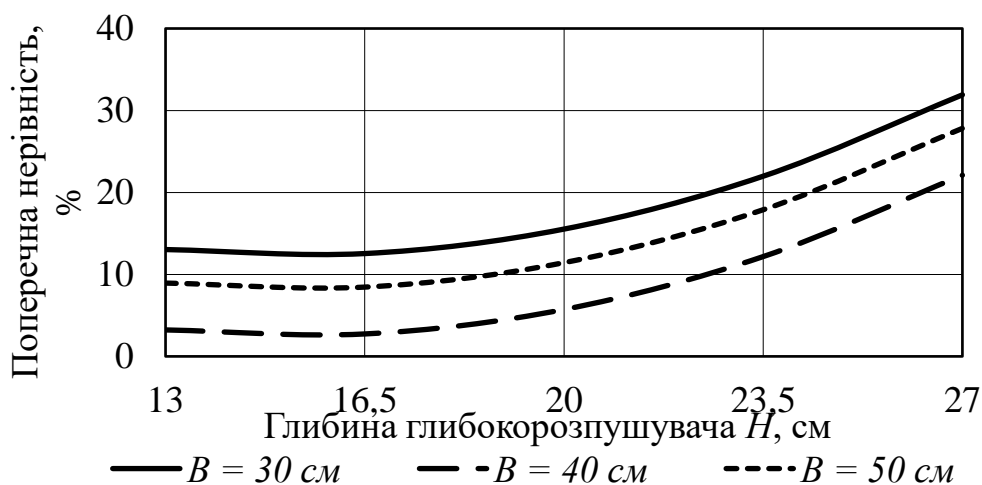


Рис. 4.1. Графіки залежності поперечної нерівності від глибини обробітки глибокорозпушувача  $H$  при заглибленні відрізнних дисків  $h = 10$  см

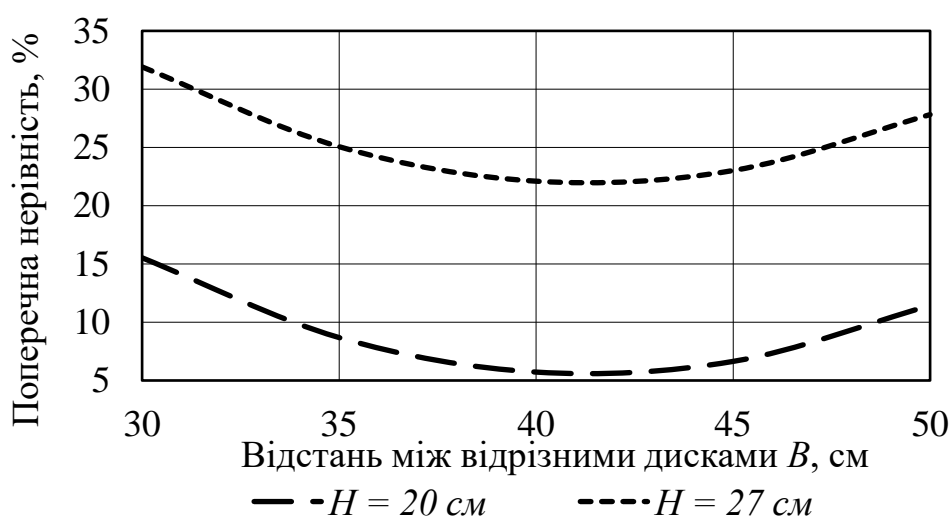


Рис. 4.2. Графіки залежності поперечної нерівності від відстані між відрізнними дисками  $B$  при заглибленні відрізнних дисків  $h = 10$  см

Графіки (рис. 4.3) показують, що для штрихової та пунктирної лінії оптимальне значення заглиблення відрізнних дисків знаходиться  $h$  у межах 13-16 см. За результатами візуальної оцінки визначено, що при  $h = 4$  см диск лише прорізує рослинні рештки і верхній шар коренів, не виконуючи загортання борозни.

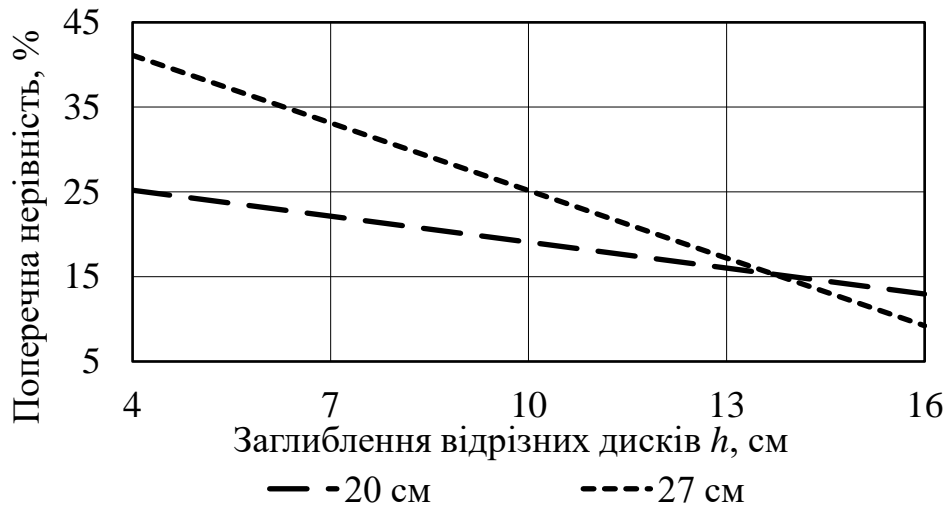


Рис. 4.3. Графіки залежності поперечної нерівності від заглиблення відрізних дисків  $h$  при відстані між відрізними дисками  $B = 40$  см

Штрихова лінія (рис. 4.4) показує, що заглиблення відрізних дисків  $h = 16$  см є задовільним при збільшенні глибини обробітку глибокорозпушувачем  $H$ .

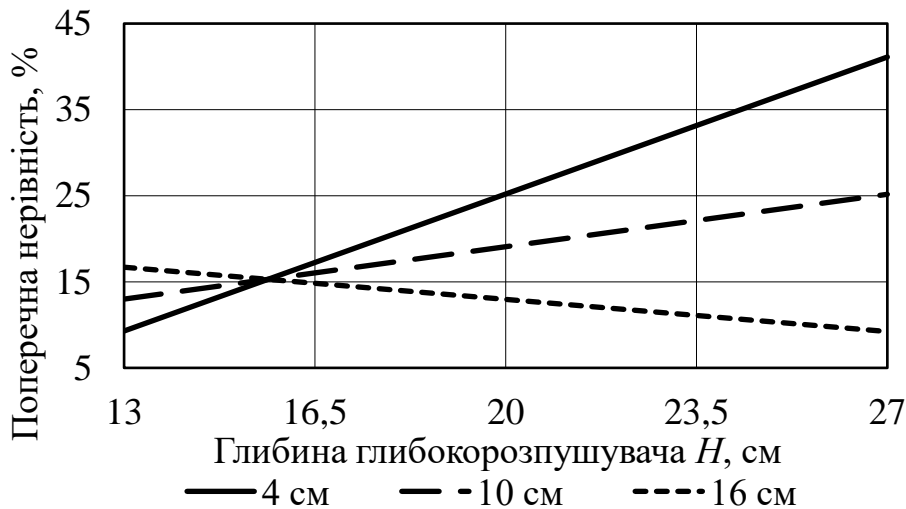


Рис. 4.4. Графіки залежності поперечної нерівності від глибини обробітку глибокорозпушувачем  $H$  при відстані між відрізними дисками  $B = 40$  см

Графіки (рис. 4.5) показують впливову залежність поперечної нерівності від взаємного розміщення відрізних дисків. При збільшенні відстані між відрізними дисками до  $B = 40$  см крива спочатку збільшується, а потім зменшується, показуючи, що при даній відстані диски перестають виконувати свою функцію

загортання борозни глибокорозпушувача. Відрізні диски відділяють верхній шар ґрунту від необробленої смуги і зміщують його до центру обробленої смуги, але через велику відстань маса ґрунту не досягає борозни глибокорозпушувача. Відбувається накладання ґрунту, вивільненого глибокорозпушувачем та зміщеного відрізним диском, у результаті посередині оброблюваної смуги формується борозна після глибокорозпушувача, а по боках навали від відрізних дисків. Також на графіках видно, що для якісного підрізання та зміщення ґрунту заглиблення відрізних дисків  $h$  повинно бути більше 10 см.

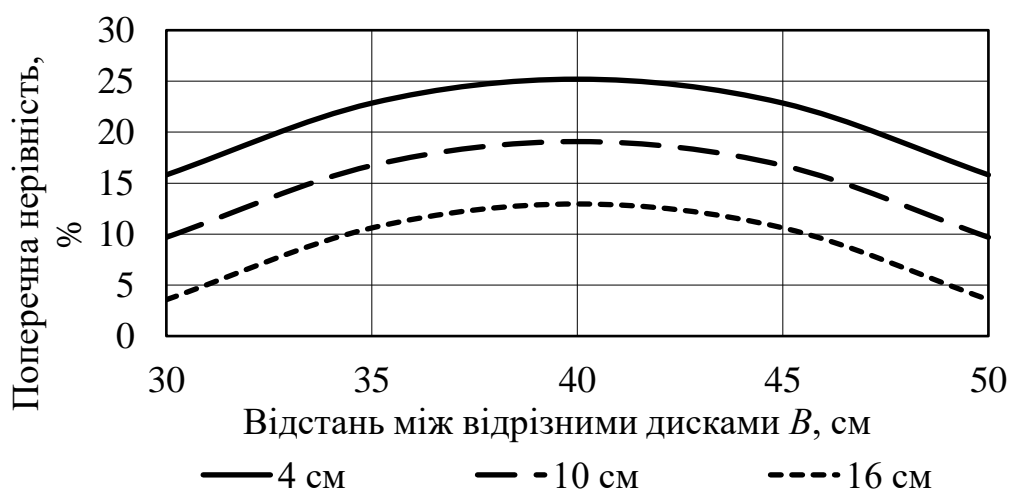


Рис. 4.5. Графіки залежності поперечної нерівності від відстані між відрізними дисками  $B$  при глибині обробітки глибокорозпушувачем  $H = 20$  см

Графіки (рис. 4.6) підтверджують фізичну суть графіків рисунку 4.5, що при збільшенні величини заглиблення відрізних дисків із оптимальним значенням  $h = 14-16$  см зменшується поперечна нерівність.

Таким чином значення заглиблення відрізних дисків доцільно прийняти  $h = 14-16$  см, що задовільно впливає на поперечну нерівність.

Графіки (рис. 4.7) підтверджують, що відстань між відрізними дисками  $B = 50$  см є незадовільною для використання (пунктирна лінія виходить за задані межі). Потрібно відзначити, що при цій відстані грудки розкидані за межі обробленої смуги і виявлено грудки більше 10 %, що є недопустимим. Суцільна

лінія виходить за задані межі 10 %, але максимально наближена до "червоної" лінії 10 % грудкуватості.

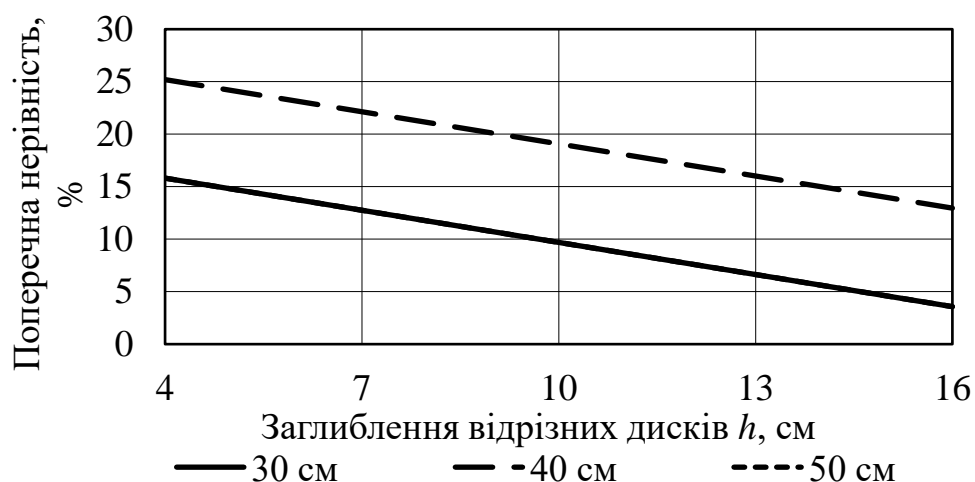


Рис. 4.6. Графіки залежності поперечної нерівності від заглиблення відрізних дисків  $h$  при глибині обробітки долотом  $H = 20$  см

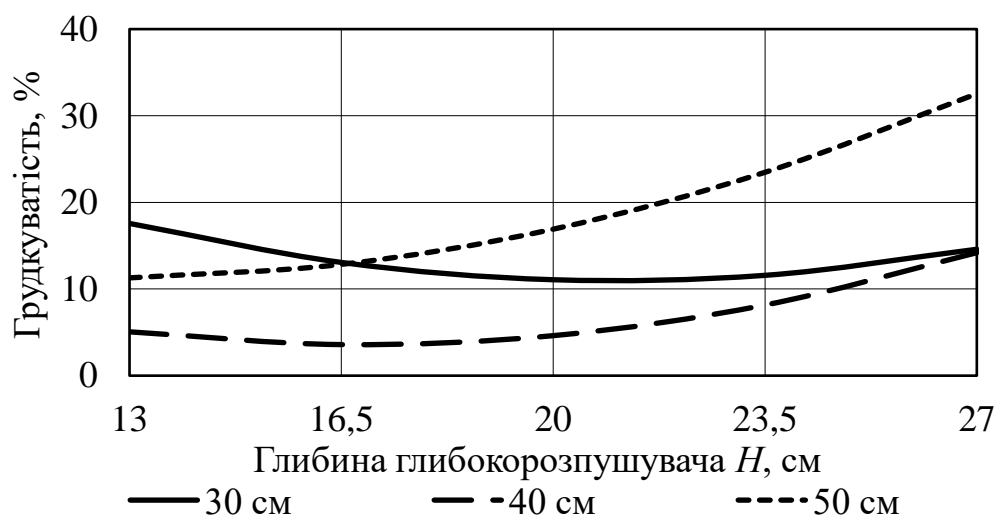


Рис. 4.7. Графіки залежності грудкуватості від глибини обробітки глибокорозпушувачем  $H$  при заглибленні відрізних дисків  $h = 10$  см

Штрихова лінія (рис. 4.8) виходить за задані межі і показує, що при глибині обробітки глибокорозпушувачем  $H = 27$  см відстань між відрізними дисками  $B$  повинна становити 30-40 см. Відстань між відрізними дисками  $B = 50$  см не можлива для використання при всіх значеннях глибини обробітки глибокорозпушувачем  $H$ .

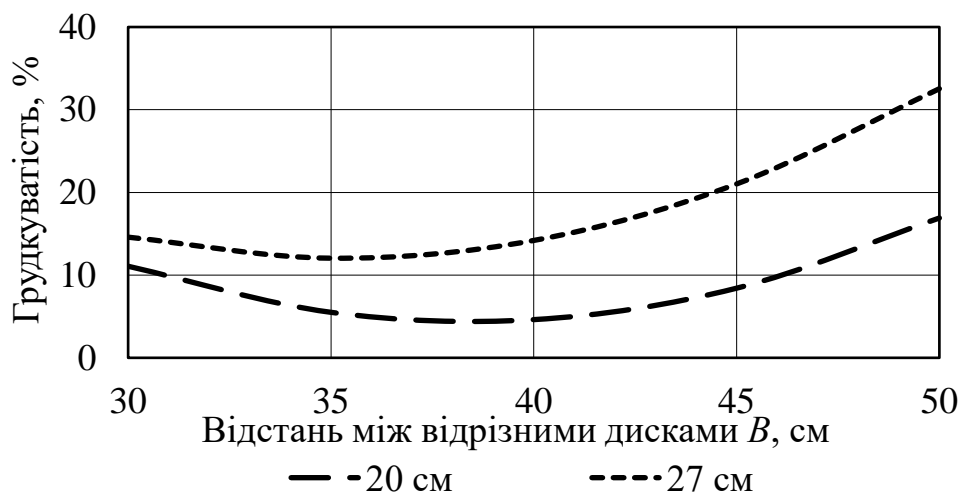


Рис. 4.8. Графіки залежності грудкуватості від відстані між відрізними дисками  $B$  при заглибленні відрізнних дисків  $h = 10$  см

Штрихова лінія (рис. 4.9) відзначає оптимальне заглиблення відрізнних дисків  $h$  у межах 7-13 см при глибині обробітку глибокорозпушувачем  $H = 27$  см.

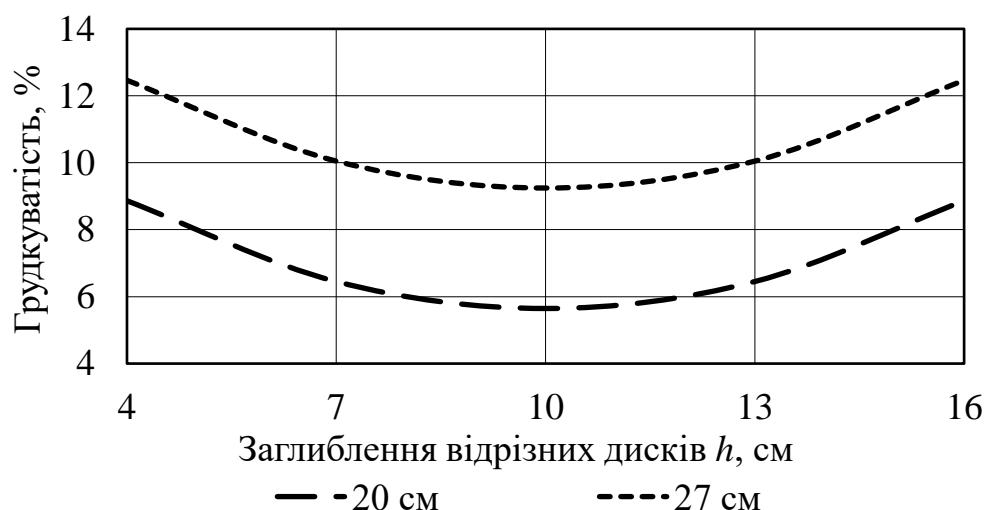


Рис. 4.9. Графіки залежності грудкуватості від заглиблення відрізнних дисків  $h$  при відстані між відрізними дисками  $B = 40$  см

Суцільна лінія графіку (рис. 4.10) входить у задані межі  $N_{\Phi} < 10$  %, але візуальна оцінка оброблених смуг та спостереження за ходом проведення досліджень показують, що при заглибленні відрізнних дисків  $h = 4$  см, вони просто котяться поверхнею поля фактично не виконуючи свої функції. Графіки показують, що збільшення глибини обробітку глибокорозпушувачем  $H$  збільшує грудкуватість.

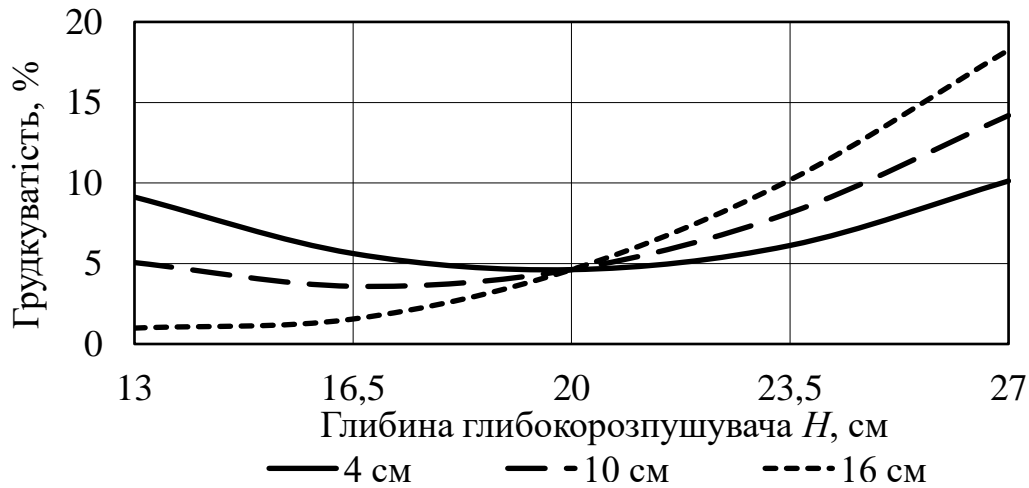


Рис. 4.10. Графіки залежності грудкуватості від глибини обробітку глибокорозпушувачем  $H$  при відстані між відрізними дисками  $B = 40$  см

Аналізуючи графіки (рис. 4.11), можемо зазначити, що відстань між відрізними дисками  $B$  повинна знаходитися в межах 35-45 см, а відстань  $B = 50$  см взагалі непридатна до застосування.

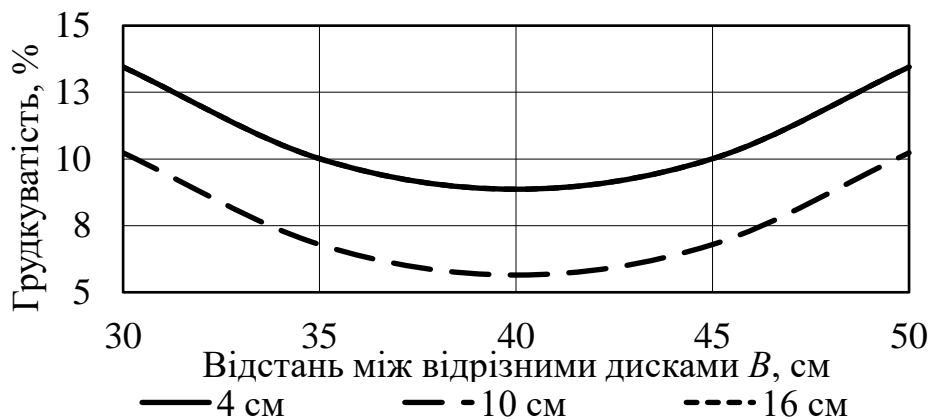


Рис. 4.11. Графіки залежності грудкуватості від відстані між відрізними дисками  $B$  при глибині обробітку глибокорозпушувачем  $H = 20$  см

**Висновки.** Попередні дослідження показали, що погіршення якісних показників обробітку смуги при досліджуваних швидкостях ( $V = 4$  км/год,  $V = 7,5$  км/год,  $V = 11$  км/год) відбуваються при збільшенні глибини обробітку глибокорозпушувачем  $H$ . Заглиблення відрізних дисків  $h = 4$  см та відстань між відрізними дисками  $B = 50$  см є параметрами недоцільними до використання в



агрегатах для смугового обробітку ґрунту. Для подальших досліджень слід прийняти незмінне значення заглиблення відрізних дисків  $h = 16$  см. Необхідно більш детально дослідити діапазон 30-40 см, як відстань між відрізними дисками  $B$ , оскільки значення відповідних графіків коливаються і не співпадають при однакових умовах. Провівши візуальну оцінку оброблених смужок та спостереження за ходом експериментів з аналізом руху ґрунту, ми визначали необхідність проведення детальних досліджень із зміною швидкості руху агрегату ( $V$ ), глибиною обробітку глибокорозпушувачем ( $H$ ), відстанню від глибокорозпушувача до осі переднього диска ( $L$ ), відстані між відрізними дисками ( $B$ ), відстані від глибокорозпушувача до осі відрізних дисків ( $C$ ) при заглибленні відрізних дисків  $h = 16$  см.

#### **4.2. Результати досліджень впливу глибини обробітку глибокорозпушувачем, відстані між відрізними дисками та швидкості руху агрегату на якісні та енергетичні показники роботи агрегату**

За планом трьохфакторного експерименту [37] проведено дослідження з урахуванням глибини обробітку глибокорозпушувачем  $H$ , см, відстані між відрізними дисками  $B$ , см, швидкості руху  $V$ , км/год, із незмінними значеннями відстані від глибокорозпушувача до осі переднього диска  $L = 50$  см, відстані від глибокорозпушувача до осі відрізних дисків  $C = 50$  см, заглиблення відрізних дисків  $h = 16$  см. Результати досліджень середньої поперечної нерівності  $B_\phi$ , %, середньої грудкуватості  $N_\phi$ , %, середньої витрати палива  $G_\phi$ , л/га та середнього значення узагальненого показника  $\gamma$ , л/га. наведені в табл. 4.1.

Проведено візуальну оцінку якості обробітку смуги та умовно розділено на три групи: якісно оброблені (дослід № 1, 8, 9, 11), відносно якісно (№ 4, 6, 7, 13, 14, 15) та неякісно (№ 2, 3, 5, 10, 12). Фото зразків відповідної групи візуальної оцінки представлено на рисунку 4.12.

**Результати досліджень впливу глибини обробітку глибокорозпушувачем  $H$ , відстані між відрізними дисками  $B$  та швидкості руху агрегату  $V$  на якісно-енергетичні показники обробленої смуги**

№ досліду	Глибина глибокорозпушувачем, $H$		Відстань між відрізними дисками, $B$		Швидкість руху, $V$		$B_f$ , %	$N_f$ , %	$G_f$ , л/га	$\gamma$ , л/га
	код	см	код	см	код	км/год				
1	+1	27	+1	30	0	7,5	31,5	24,5	13,3	22,8
2	-1	13	-1	10	0	7,5	10,1	16,1	10,3	10,2
3	+1	27	-1	10	0	7,5	65,5	19,3	14,3	36,1
4	-1	13	+1	30	0	7,5	1,2	7,8	9,3	5,5
5	+1	27	0	20	+1	11	41,1	7,8	15,0	24,8
6	-1	13	0	20	-1	4	9,7	11,5	11,4	10,1
7	+1	27	0	20	-1	4	39,1	5,2	16,4	25,5
8	-1	13	0	20	+1	11	13,5	5,7	8,1	7,1
9	0	20	+1	30	+1	11	5,1	4,7	10,7	6,8
10	0	20	-1	10	-1	4	17,9	5,2	16,4	16,2
11	0	20	+1	30	-1	4	10,1	10,3	13,9	12,1
12	0	20	-1	10	+1	11	27,9	22,0	10,0	15,7
13	0	20	0	20	0	7,5	19,0	2,6	10,7	10,8
14	0	20	0	20	0	7,5	16,3	3,6	10,9	9,9
15	0	20	0	20	0	7,5	19,0	4,2	10,6	10,5



Рис. 4.12. Фото зразків візуальної оцінки досліджень впливу глибини обробітку глибокорозпушувачем  $H$ , відстані між відрізними дисками  $B$  та швидкості руху агрегату  $V$

Після обробки експериментальних даних отримано рівняння регресії, які описують результати досліджень:

$$\begin{aligned}
B\phi &= 13,47 - 3,653H + 1,6816B + 2,1429V + 0,2H^2 - 0,0899HB - 0,1071BV, \\
&\text{при } Ff = 0,48; Gk = 0,015; \\
N\phi &= 77,9869 - 5,5954H - 3,2499B + 3,1965V + 0,1067H^2 + 0,0822B^2 - \\
&- 0,0939V^2 + 0,0484HB + 0,085HV + 0,16BV; \text{ при } Ff = 2,45; Gk = 0,105; (4.1) \\
G\phi &= 27,1261 - 0,1665H - 0,4099B - 3,1079V + 0,0095H^2 + 0,0046B^2 - \\
&- 0,1166V^2 + 0,019HV + 0,0235BV; \text{ при } Ff = 1,59; Gk = 0,073; \\
\gamma &= 39,552 - 3,2614H - 0,3203B - 0,4836V + 0,1265H^2 + 0,0202B^2 + \\
&+ 0,0241V^2 + 0,0308HB + 0,0237HV + 0,0345BV, \text{ при } Ff = 0,89; Gk = 0,066;
\end{aligned}$$

де  $B\phi$  – фактична поперечна нерівність, %;  $N\phi$  – фактична грудкуватість, %;  $G\phi$  – фактична витрата палива, л/га;  $\gamma$  – узагальнений показник, л/га;  $H$  – глибина обробітку глибокорозпушувачем, см;  $B$  – відстань між відрізними дисками, см;  $V$  – швидкість руху агрегату, км/год.

Графіки залежності поперечної нерівності (рис. 4.13) показують, що вона поступово збільшується із збільшенням глибини обробітку глибокорозпушувачем  $H$ . Лінії, що характеризують відстань між відрізними дисками  $B$ , спрямовані майже паралельно, при  $B = 30$  см найбільша кількість значень знаходиться у заданих межах 15 %. Відстань між дисками  $B = 20$  см може використовуватися лише для глибини обробітку глибокорозпушувачем  $H$  до 18 см, а відстань  $B = 10$  см – взагалі не може використовуватися.

При швидкості руху  $V = 7,5$  км/год видно, що при збільшені відстані між відрізними дисками  $B$  від 10 до 30 см прямолінійна залежність поперечної нерівності зменшується. Значення поперечної нерівності при глибині обробітку долотом  $H = 13$  см, незалежно від зміни відстані між відрізними дисками  $B$ , повністю потрапляє під контрольну межу 15 % і пояснюється тим, що при заданій глибині ( $H = 13$  см) вивільнюється незначна маса обробленого ґрунту і в більшості випадків смуга представляє собою прорізану, фактично не оброблену щілину.

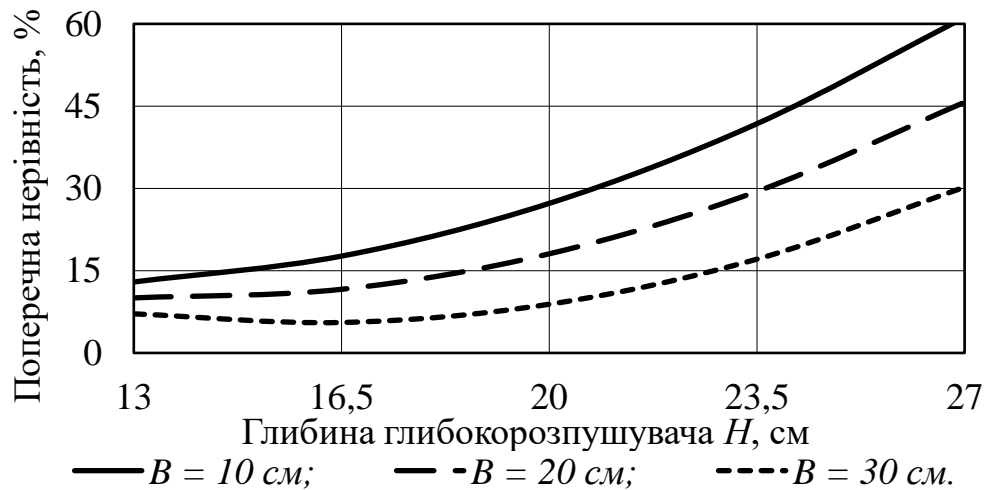


Рис. 4.13. Залежність поперечної нерівності від глибини обробітку глибокорозпушувачем  $H$  при швидкості руху агрегату  $V = 7,5$  км/год

При глибині обробітку глибокорозпушувачем  $H = 27$  см при зміні відстані між відрізними дисками  $B$  значення знаходяться за межею 15 %, що пояснюється великою кількістю вивільненого обробленого ґрунту та формуванням відповідної форми поперечного перерізу обробленої смуги. Рациональною глибиною обробітку глибокорозпушувачем  $H$  є значення від 16 до 23 см при відстані між відрізними дисками  $B$  від 23 до 30 см (рис. 4.14).

При відстані між відрізними дисками  $B = 20$  см (рис. 4.15) на швидкостях руху агрегату  $V$  від 4 до 11 км/год із збільшенням глибини обробітку глибокорозпушувачем  $H$  поперечна нерівність збільшується, тобто лише глибина обробітку глибокорозпушувачем  $H$  впливає на значення поперечної нерівності. Залежність поперечної нерівності від зміни відстані між відрізними дисками  $B$  є спадаючою прямою. При відстані між відрізними дисками  $B = 25$ -30 см значення знаходяться у заданих межах 15 %. Значення поперечної нерівності при швидкості руху  $V = 4$  км/год спочатку менше порівняно з  $V = 11$  км/год, але після проходження позначки відстані між відрізними дисками  $B = 20$  см збільшується. Дані дослідження показують, що оптимальне значення відстані між відрізними дисками  $B$  знаходиться в межах 25-30 см.

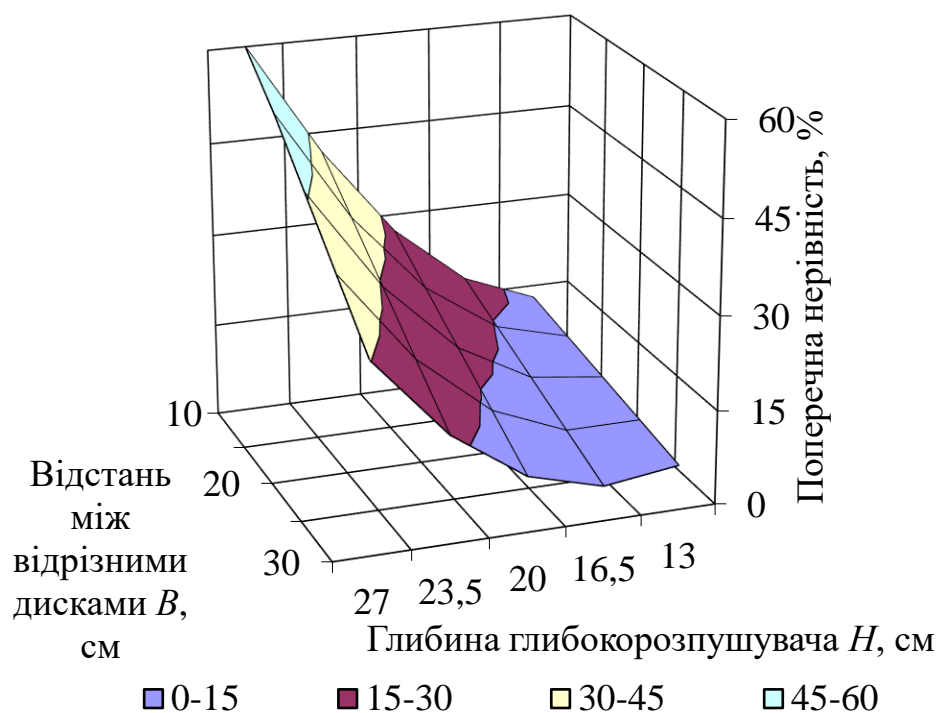


Рис. 4.14. Залежність поперечної нерівності від глибини обробітку глибокорозпушувачем  $H$  та відстані між відрізними дисками  $B$  при швидкості руху агрегату  $V = 7,5$  км/год

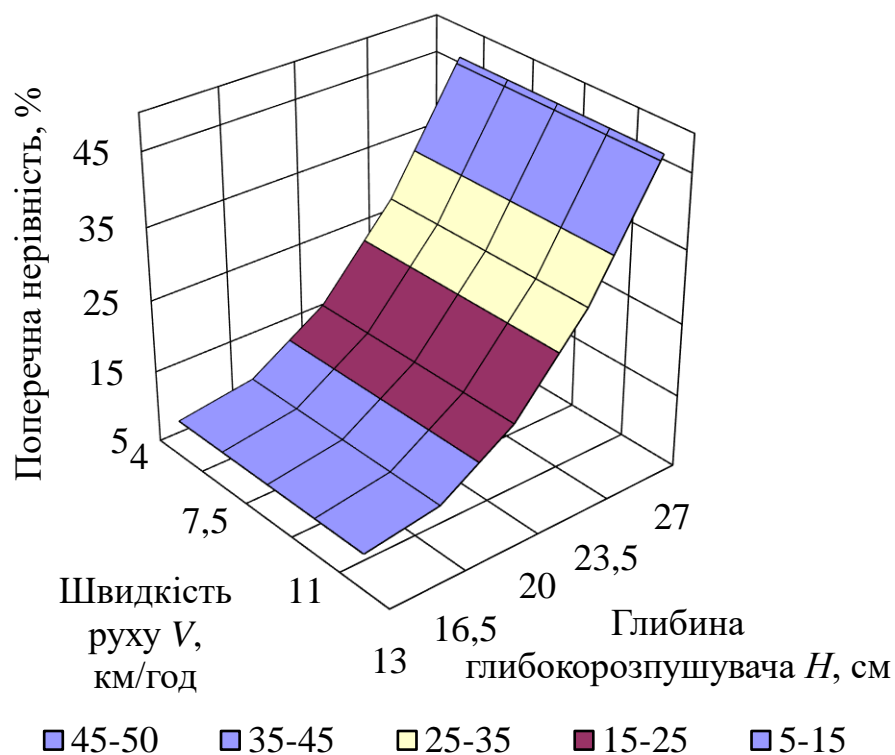


Рис. 4.15. Залежність поперечної нерівності від швидкості руху  $V$  та глибини обробітку глибокорозпушувачем  $H$  при відстані між відрізними дисками  $B = 20$  см

При відстані між відрізними дисками  $B$  від 20 до 30 см оптимальною швидкістю руху  $V$  є діапазон від 7,5 до 11 км/год (рис. 4.16) тому, що при одночасному збільшенні швидкості руху  $V$  та відстані між відрізними дисками  $B$  значення поперечної нерівності зменшується. Отже, при зміні швидкості руху  $V$  та відстані між відрізними дисками  $B = 20$  см поперечна нерівність не залежить від зміни швидкості  $V$  і має значення 18 %, що є більше заданих меж. При відстані між відрізними дисками  $B = 10$  см поперечна нерівність постійно збільшується при збільшенні швидкості руху  $V$  і пояснюється тим, що вивільнена маса ґрунту, зустрічаючись з дисками, не встигає змінити напрямок руху і відбувається процес волочіння маси ґрунту, утворюючи канаву або насип. При відстані між відрізними дисками  $B = 30$  см поперечна нерівність знаходиться в заданих межах і при збільшенні швидкості руху  $V$  постійно зменшується. При  $V = 11$  км/год поперечна нерівність досягає мінімального значення.

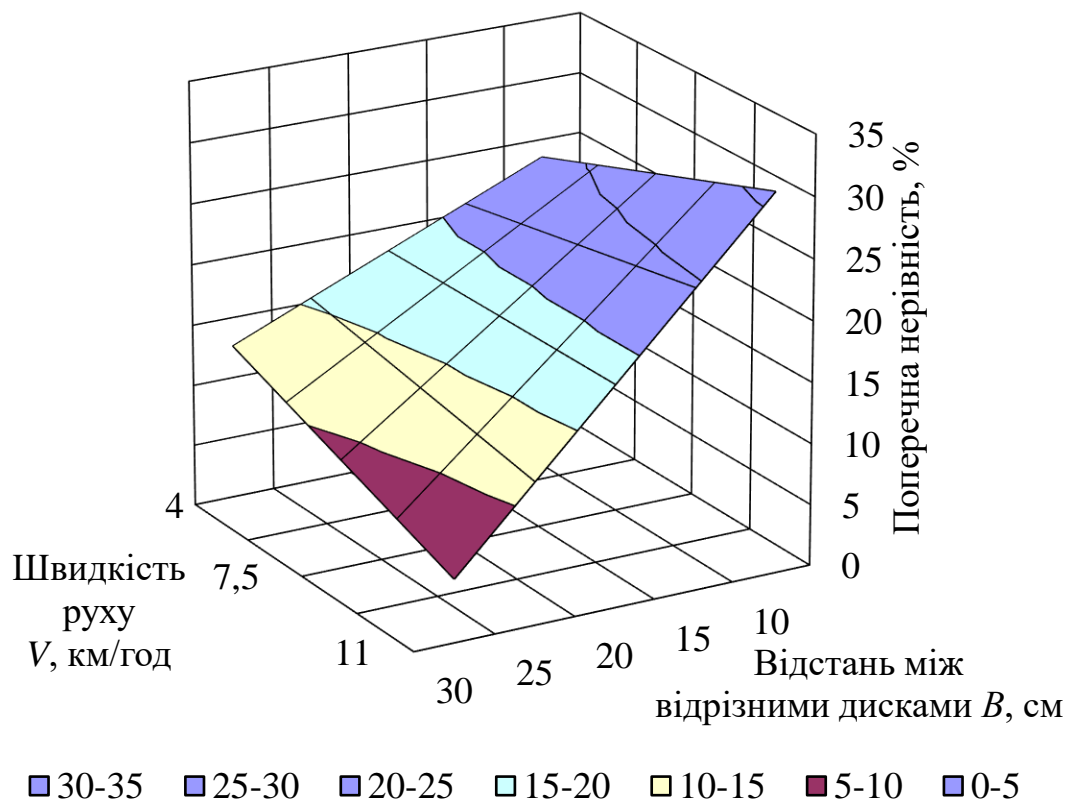


Рис. 4.16. Залежність поперечної нерівності від відстані між відрізними дисками  $B$  та швидкості руху агрегату  $V$  при глибині обробітку глибокорозпушувачем  $H = 20$  см

Відстань між відрізними дисками  $B = 30$  см дозволяє якісно виконувати поставлену задачу: відрізати ґрунт від необробленої частини стерні, подрібнювати його та спрямовувати до центру обробленої смуги, загортаючи утворену глибокорозпушувачем борозну.

Графіки грудкуватості (рис. 4.17) при швидкості руху  $V = 7,5$  км/год показують, що значення спочатку спадають до глибини обробітку глибокорозпушувачем  $H = 16-20$  см, а потім із збільшенням глибини обробітку  $H$  рівномірно збільшуються [36]. Найменші показники грудкуватості спостерігаються при відстані між відрізними дисками  $B = 20$  см. Лінія  $B = 10$  см відстані між відрізними дисками повністю виходять за задані межі 10 % і є не придатною до використання.

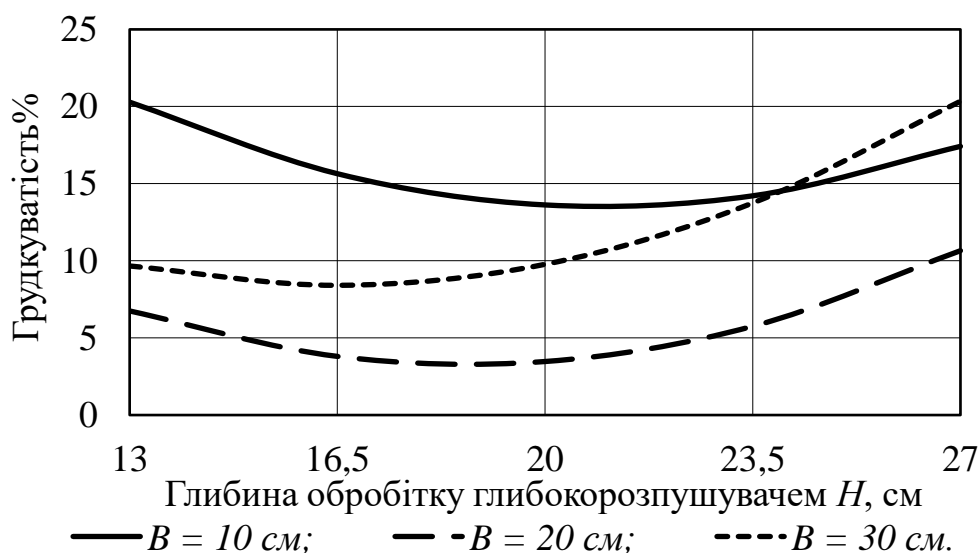


Рис. 4.17. Залежність грудкуватості від глибини обробітку глибокорозпушувачем  $H$  при швидкості руху агрегату  $V = 7,5$  км/год

Графіки залежності грудкуватості (рис. 4.18) при швидкості руху агрегату  $V = 7,5$  км/год зменшуються із збільшенням відстані між відрізними дисками до  $B = 20$  см, а потім плавно збільшуються. При глибині обробітку глибокорозпушувачем  $H = 27$  значення грудкуватості виходить за межі 10 %, а при збільшенні відстані між дисками до  $B = 30$  см взагалі доходить до позначки 20 %.

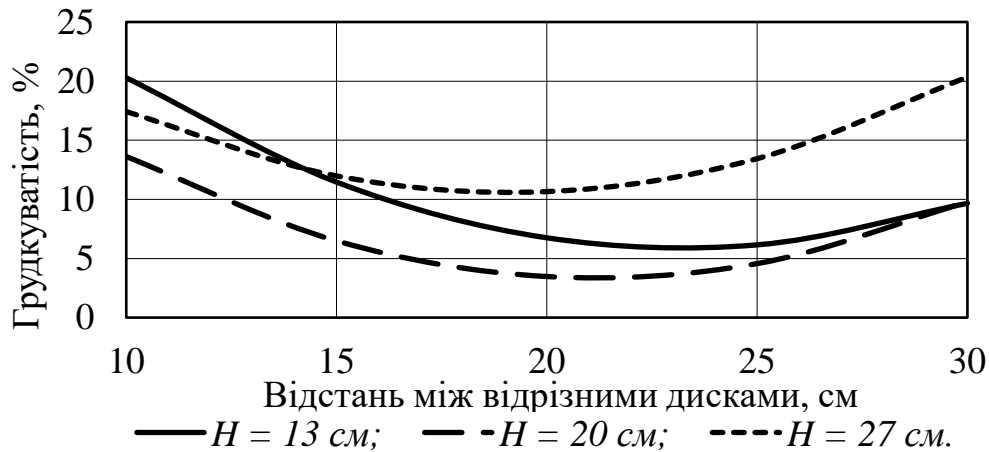


Рис. 4.18. Залежність грудкуватості від відстані між відрізними дисками  $B$  при швидкості руху агрегату  $V = 7,5$  км/год

Графік (рис. 4.19) показує, що при швидкості руху  $V = 7,5$  км/год найменша грудкуватість забезпечується глибиною обробки глибокорозпушувачем  $H = 16-20$  см та відстанню між відрізними дисками  $B = 20$  см. Візуально оглянувши стан смуг, оброблених на глибину обробки глибокорозпушувачем  $H = 27$  см із відстанню між відрізними дисками  $B$  20 та 30 см, можна зробити висновок, що якість обробки при даних параметрах краща в порівнянні з глибиною обробки долотом  $H = 20$  см, а на кількість грудок у цілому впливає твердість та щільність ґрунту, сформована роками при використанні плугів на глибину до 25 см та дискових борін на глибину 18 см. Прямі залежності грудкуватості від швидкості руху  $V$  показують різний результат для різної глибини обробки глибокорозпушувачем  $H$ . При  $H = 20$  см і збільшенні швидкості руху  $V$  грудкуватість не змінюється, що вказує на рівномірність складу ґрунту в шарі до 20 см, який оброблявся важкою дисковою бороною. При глибині обробки  $H = 13$  см значення спадають, але це характеризується тим, що на цій глибині із збільшенням швидкості руху ґрунт не встигає обробитися, просто прорізується канавка в середині смуги. При глибині обробки глибокорозпушувачем  $H = 27$  см значення характеризуються збільшенням грудкуватості при збільшенні швидкості руху  $V$ , що пояснюється збільшенням кількості та початкової швидкості ґрунту, що вивільняється, а відрізні диски, встановлені на відстані 20 см, формують "коридор" який спрямовує грудки, не руйнуючи їх.



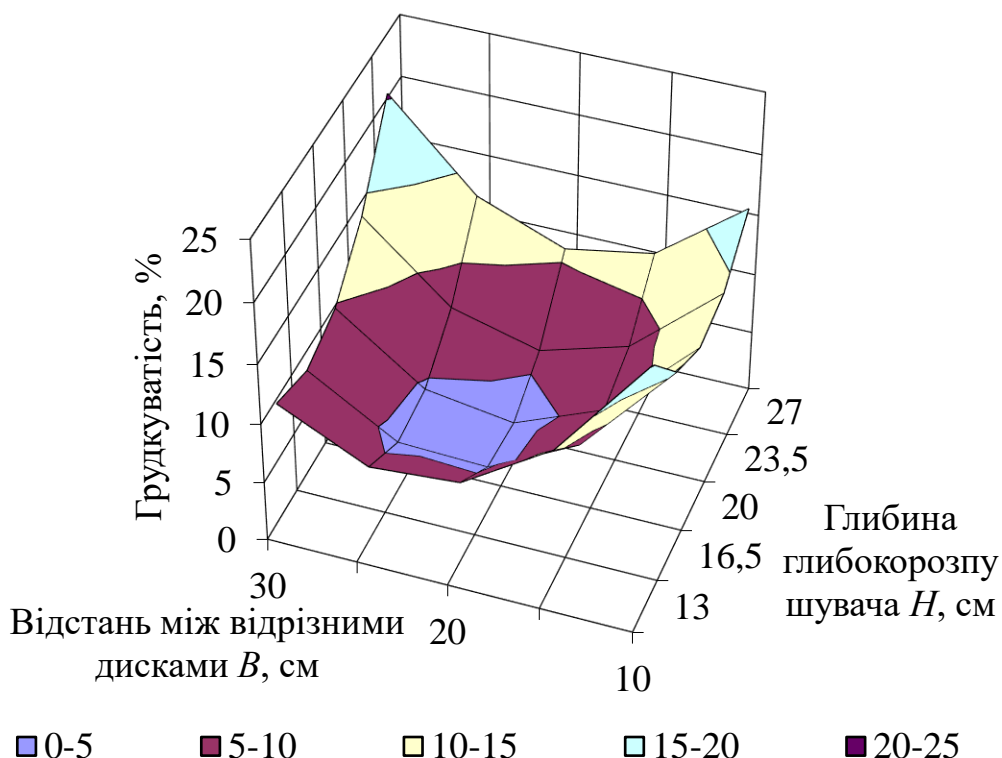


Рис. 4.19. Залежність грудкуватості від глибини глибокорозпушувача  $H$  та відстані між відрізними дисками  $B$  при швидкості руху агрегату  $V = 7,5$  км/год

Залежність грудкуватості спочатку зменшується до глибини обробітку глибокорозпушувачем  $H = 18-20$  см, тобто до глибини залягання "плужної підшви", сформованої дисковою бороною, а потім збільшуються майже однаково на різних швидкостях. При  $V = 11$  км/год та збільшенням глибини обробітку глибокорозпушувачем до  $H = 25$  см значення грудкуватості виходить за встановлені межі 10 %, і зменшує можливість смугового обробітку на швидкості  $V = 11$  км/год. Графік (рис. 4.20) показує, що із збільшенням глибини обробітку глибокорозпушувачем  $H$  та швидкості руху  $V$  при відстані між відрізними дисками  $B = 20$  см суттєво збільшується грудкуватість.

При швидкості руху  $V = 4$  км/год значення відстані між відрізними дисками  $B$  буде в межах 15-20 см (рис. 4.21). При  $V = 7,5$  км/год значення грудкуватості майже повністю входить у задані межі 10 %, і відповідає оптимальності даної швидкості для виконання смугового обробітку ґрунту. При  $V = 11$  км/год зменшується грудкуватість при збільшенні відстані між відрізними дисками  $B$ .

Значення при відстані між відрізними дисками  $B = 10$  см виходить за встановлені межі 10 % грудкуватості і є неможливою для використання при смуговому обробітку ґрунту. Із збільшенням швидкості руху  $V$  відповідно повинна збільшуватись відстань між відрізними дисками  $B$ .

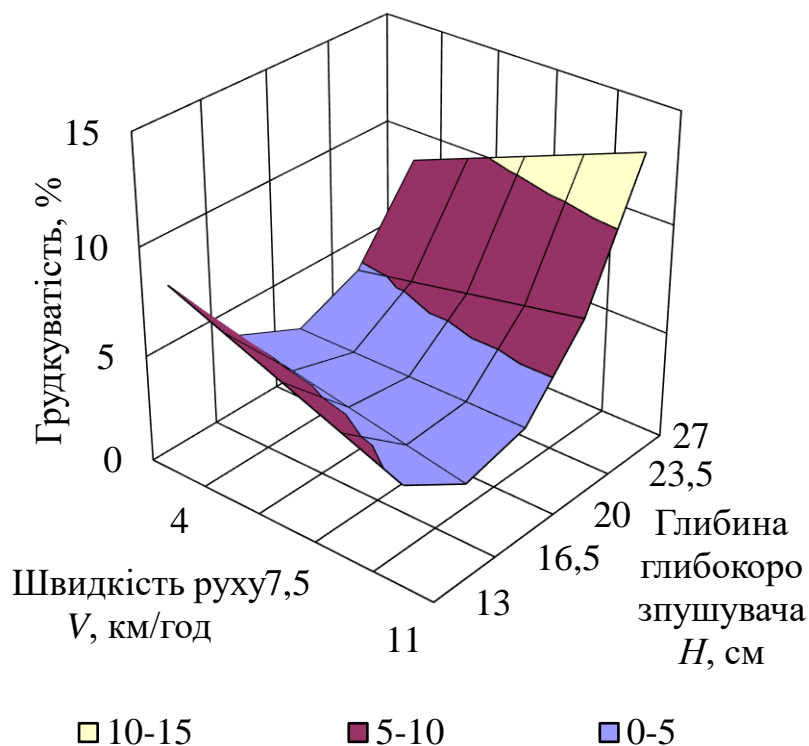


Рис. 4.20. Залежність грудкуватості від швидкості руху агрегату  $V$  та глибини глибокорозпушувача  $H$  при відстані між відрізними дисками  $B = 20$  см

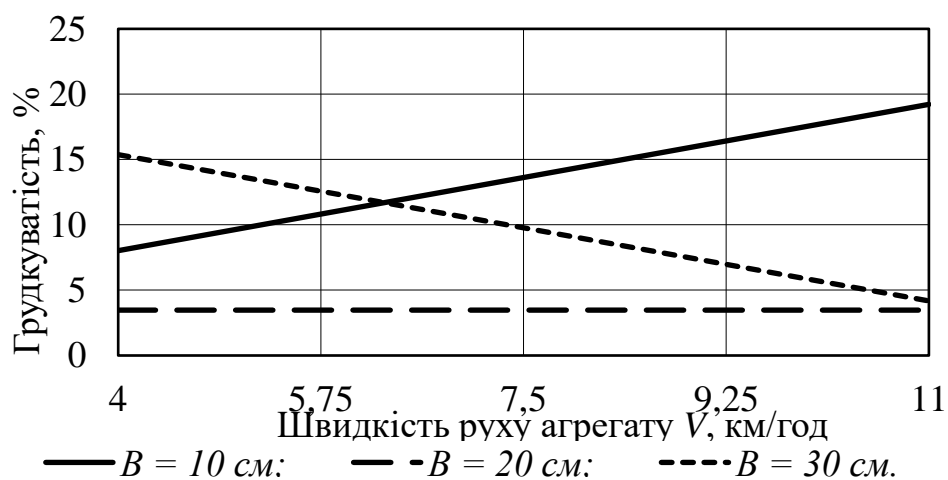


Рис. 4.21. Залежність грудкуватості від швидкості руху агрегату  $V$  при глибині обробітку глибокорозпушувачем  $H = 20$  см

Графік (рис. 4.22) показує, що під час смугового обробітку із збільшенням швидкості руху  $V$  збільшується початкова швидкість вивільненого на поверхню ґрунту, який рухається до відрізних дисків, при зіткненні з якими руйнується з більшою силою. Відстань між відрізними дисками  $B$  є впливовим фактором, який регулює силу зіткнення ґрунту з диском і впливає на якість обробітку. Ґрунт у стані вільного польоту з певною початковою швидкістю повинен встигнути досягти максимальної ударної сили. Ми бачимо, що при відстані між відрізними дисками  $B = 10$  см грудкуватість збільшується, тобто при даній відстані ґрунт не встигає досягнути максимальної швидкості, і при зіткненні з відрізним диском не руйнується, а просто по дотичній змінює напрямок свого руху. При збільшенні відстані між відрізними дисками більше  $B = 25$  см грудкуватість починає знову збільшуватись, що пояснюється зменшенням швидкості польоту ґрунту і зменшенням його кінетичної енергії при зіткненні з диском.

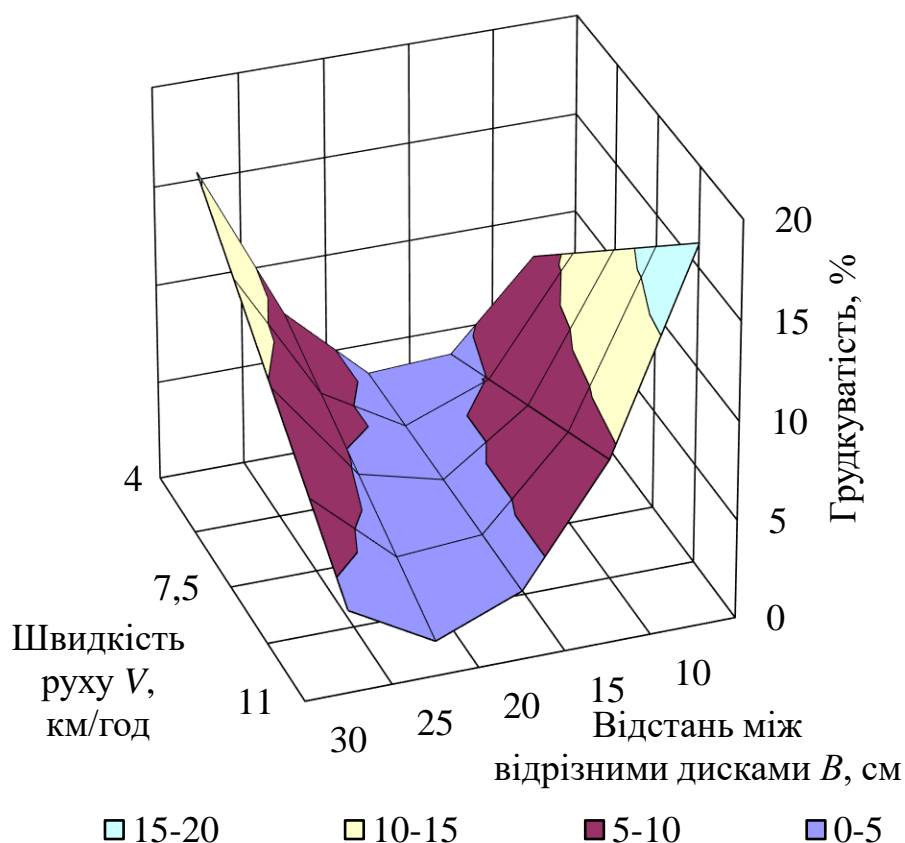


Рис. 4.22. Залежність грудкуватості від відстані між відрізними дисками  $B$  та швидкістю руху агрегату  $V$  при глибині обробітку глибокорозпушувачем  $H = 20$  см

Графік (рис. 4.23) показує, що при однаковій швидкості руху  $V$  витрата палива прямо залежить від глибини обробітку глибокорозпушувачем  $H$  та зменшується при збільшенні відстані між відрізними дисками до  $B = 30$  см. При відстані між відрізними дисками  $B = 10$  см витрата палива найбільша тому, що такої відстані недостатньо для проходження ґрунту між дисками. Ґрунт забивається між дисками, і вони починають просто сунутися смужкою, збільшуючи загальний опір секції агрегату для смугового обробітку ґрунту.

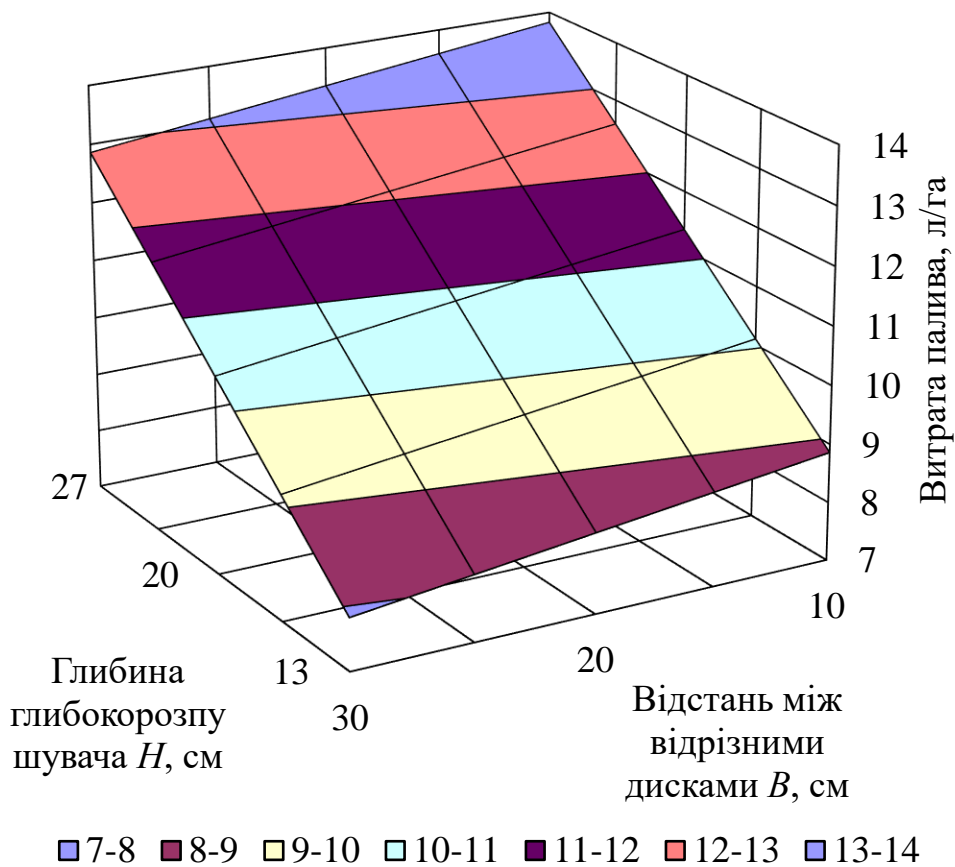


Рис. 4.23. Залежність витрати палива від глибини обробітку глибокорозпушувачем  $H$  та відстані між відрізними дисками  $B$  при швидкості руху агрегата  $V = 7,5$  км/год

Графік (рис. 4.24) показує, що витрата палива прямолінійно збільшується при збільшенні глибини обробітку глибокорозпушувачем  $H$ , яка безпосередньо впливає на збільшення опору руху секції агрегата для смугового обробітку ґрунту.

Аналізуючи дані дослідження, можемо відзначити, що при збільшенні швидкості руху до  $V = 9$  км/год витрата палива зменшується, а потім знову починає збільшуватись, тобто минається оптимума кількості обертів двигуна та тяговим опором секції агрегату для смугового обробітку ґрунту. При швидкості руху  $V = 11$  км/год частина ґрунту отримує більше початкове прискорення і відповідно з більшою силою ударяється об відрізний диск, створюючи додаткові напруження і гальмуючи його обертання. При зменшенні кутової швидкості обертання маса ґрунту не встигає відлітати від диска і накопичується на ньому. Отже, оптимальною швидкістю руху агрегату  $V$  можна вважати інтервал від 7,5 до 9,5 км/год.

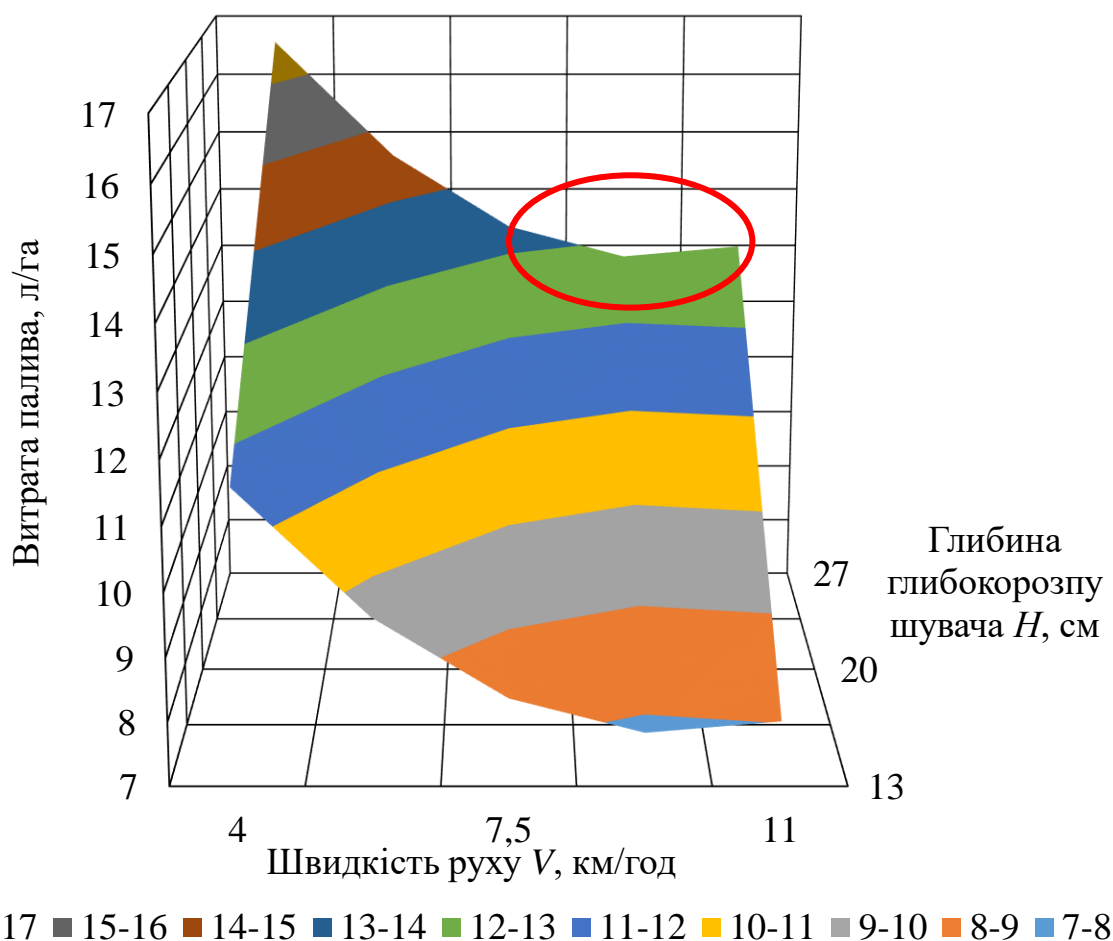


Рис. 4.24. Залежність витрати палива від швидкості руху агрегата  $V$  та глибини обробітку глибокорозпушувачем  $H$  при відстані між відрізними дисками  $B = 20$  см

При швидкості руху агрегату  $V = 4$  км/год (рис. 4.25) витрата палива висока, тобто відповідно тяговій характеристиці трактора двигун не довантажений і паливо витрачається на переміщення і витрати в трансмісії. При відстані між відрізними дисками  $B = 30$  см зменшується значення опору ґрунту в порівнянні з відстанню між відрізними дисками  $B = 10$  см. При швидкості руху  $V = 11$  км/год та відстані між відрізними дисками  $B = 10$  см ґрунт забивається між дисками, формуючи суцільну площину з глибокорозпушувачем, в результаті верхня частина стійки глибокорозпушувача стає товщиною 10 см, замість спроектованої трьох см. Потужності трактора МТЗ-892 вистачає, щоб не відчувати такої зміни, тому "пролітає" полем, залишаючи після себе широку глибоку борозну. Збільшення відстані між відрізними дисками  $B$  до 30 см при швидкості  $V = 11$  км/год зумовлює правильне спрацювання робочих органів і підвищує якість обробітку смуги.

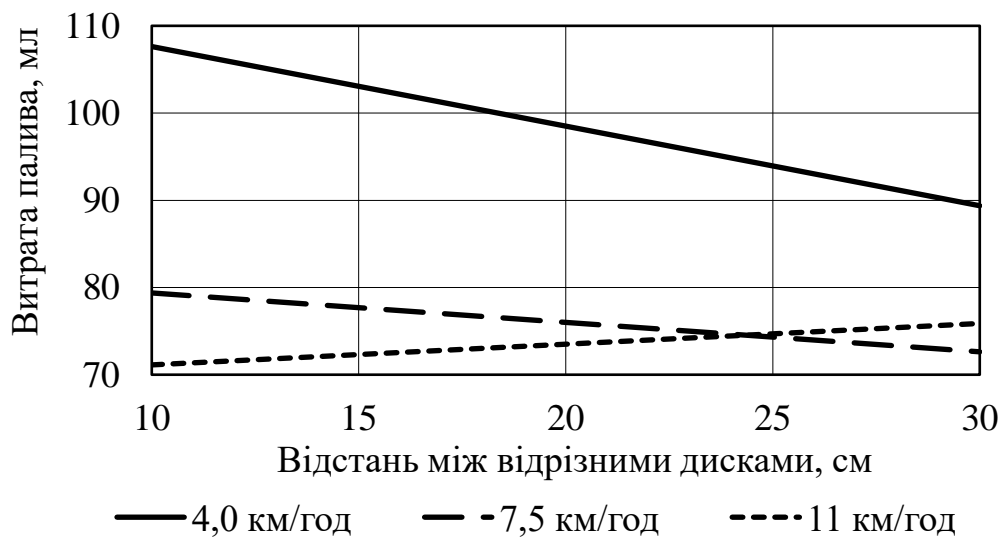


Рис. 4.25. Залежність витрати палива від відстані між відрізними дисками  $B$  при глибині обробітку глибокорозпушувачем  $H = 20$  см

Графік (рис. 4.26) характеризує зменшення витрати палива при збільшенні швидкості руху до  $V = 9,5$  км/год, а потім знову збільшення. Найменше значення витрати палива спостерігається в інтервалі швидкості руху  $V = 7,5-9,5$  км/год при відстані між відрізними дисками  $B = 30$  см.

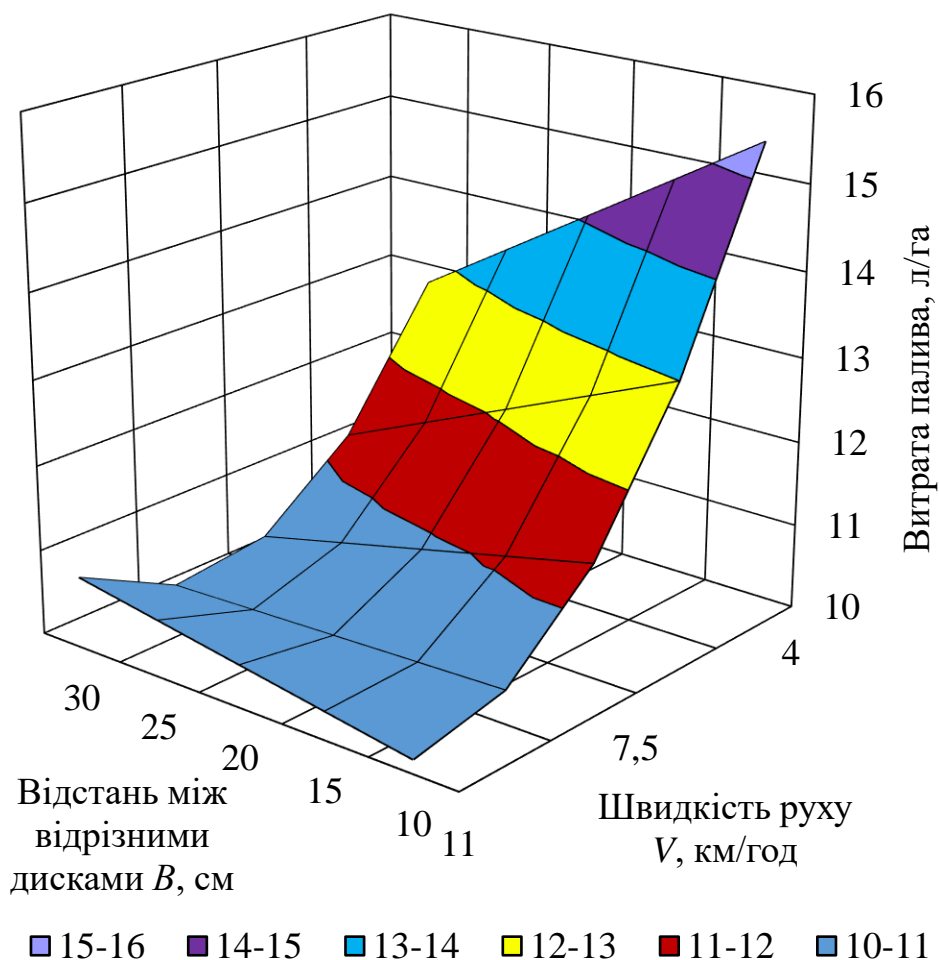


Рис. 4.26. Залежність витрати палива від відстані між відрізними дисками  $B$  та швидкістю руху  $V$  при глибині обробітку глибокорозпушувачем  $H = 20$  см

Графік залежності узагальненого показника, який враховує, як витрати палива, так і якісні показники обробітку ґрунту (рис. 4.27), показує, що із врахуванням енергетичних та якісних показників із збільшенням глибини обробітку глибокорозпушувачем  $H$  оптимальне значення відстані між відрізними дисками становить  $B = 25-30$  см.

Аналізуючи графіки (рис 4.28), бачимо, що значення узагальненого показника рівномірно збільшується із збільшенням глибини обробітку глибокорозпушувачем  $H$  із незначними відхиленнями на різних швидкостях  $V$ , оскільки для трактора МТЗ-892 при швидкості руху  $V = 4$  км/год витрата палива буде більшою, ніж при  $V = 11$  км/год, навіть при холостому русі без здійснення обробітку ґрунту.

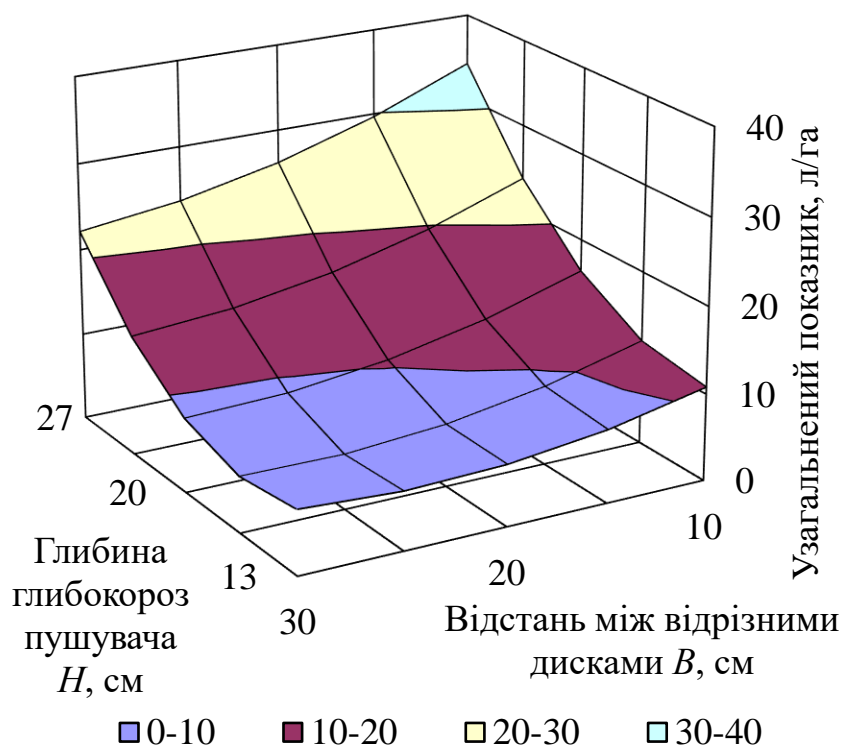


Рис. 4.27. Залежність значення узагальненого показника від глибини обробітку глибокорозпушувачем  $H$  та відстані між відрізними дисками  $B$  при швидкості руху агрегату  $V = 7,5$  км/год

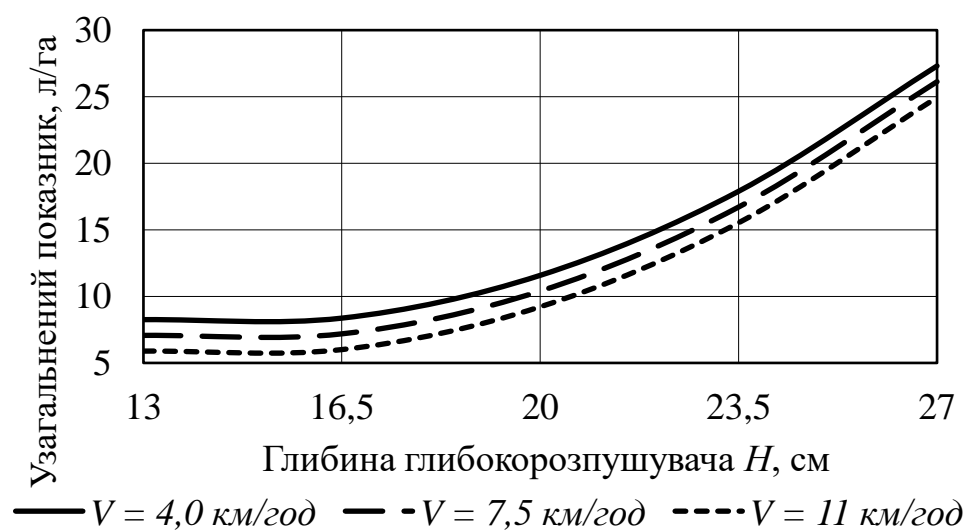


Рис. 4.28. Залежність значення узагальненого показника від глибини обробітку глибокорозпушувачем  $H$  при відстані між відрізними дисками  $B = 20$  см



Графік (рис. 4.29) показує, що найменші значення узагальненого показника при відстані між відрізними дисками  $B = 25-30$  см та швидкості руху  $V = 11$  км/год. Зазначимо, що графіки залежності витрати палива при цих дослідженнях показали оптимальний діапазон швидкості руху агрегату  $V = 8-9,5$  км/год.

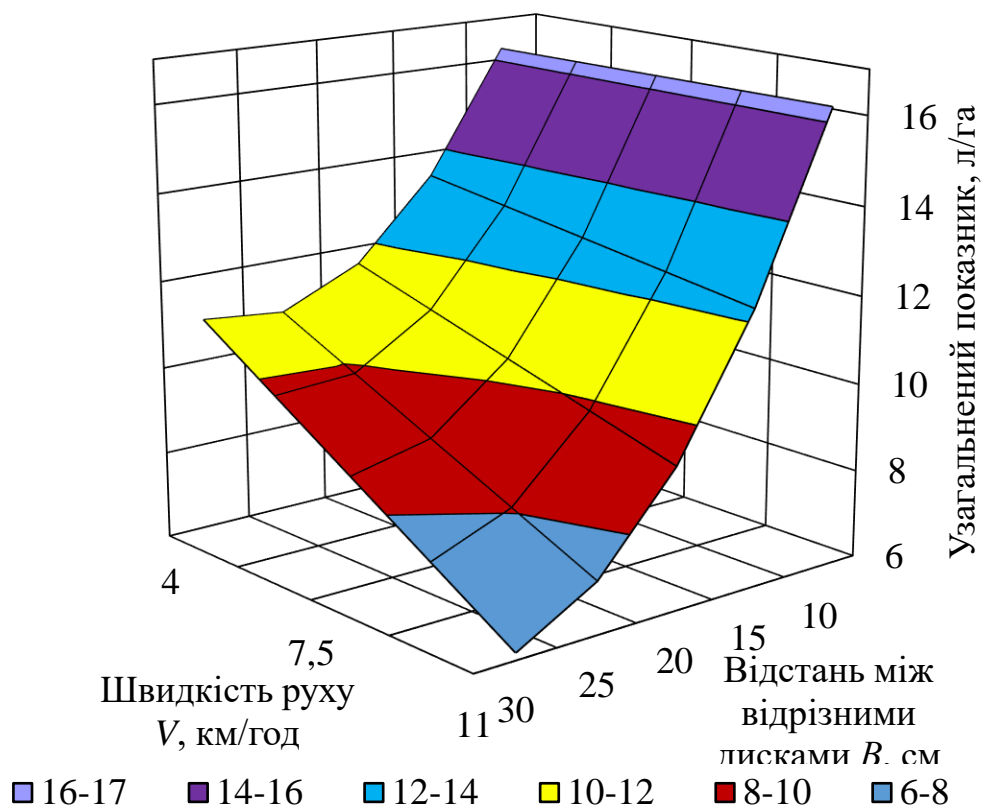


Рис. 4.29. Залежність узагальненого показника від відстані між відрізними дисками  $B$  та швидкості руху агрегату  $V$  при глибині обробітку глибокорозпушувачем  $H = 20$  см

**Висновки.** Результати проведених досліджень показують, що для руйнування плужної підшви, сформованої при використанні плугів та дискових борін, необхідно встановлювати глибину обробітку глибокорозпушувачем  $H = 27$  см при швидкості руху  $V = 8-9,5$  км/год. Оптимальна відстань між відрізними дисками  $B$  становить 25-30 см, що дозволяє забезпечувати дотримання заданих агротехнічних вимог (поперечна нерівність не більше 15 %, грудкуватість до 10 %).

### 4.3. Результати дослідження впливу глибини обробітку глибокорозпушувачем, відстані між відрізними дисками та відстані від глибокорозпушувача до осі відрізнних дисків на якісні та енергетичні показники роботи секції агрегату

У результаті попередніх експериментальних досліджень визначено, що ваговими факторами, що впливають на якість обробленої смуги при смуговому обробітку ґрунту є: глибина обробітку глибокорозпушувачем  $H$ , см; відстань між відрізними дисками  $B$ , см та відстань від глибокорозпушувача до осі відрізнних дисків  $C$ , см. За планом трьохфакторного експерименту [38] проведено дослідження взаємного впливу даних факторів при незмінних значеннях швидкості руху агрегату  $V=4$  км/год, відстані від глибокорозпушувача до осі переднього диска  $L = 50$  см, заглибленні відрізнних дисків  $h = 10$  см.

Результати досліджень середньої фактичної поперечної нерівності  $B_\phi$ , %, середньої грудкуватості  $N_\phi$ , %, середньої витрати палива  $G_\phi$ , л/га та середнього значення узагальненого показника  $\gamma$ , л/га. наведено в таблиці 4.2.

Після обробки експериментальних даних отримано рівняння регресії, які описують результати досліджень:

$$\begin{aligned}
 B_\phi &= 95,4554 + 1,6485H - 2,7676B - 2,6866C - 0,01H^2 + 0,0509B^2 + \\
 &+ 0,0324C^2 - 0,002HB - 0,0153HC - 0,0045BC, \text{ при } Ff = 1,89; Gk = 0,002; \\
 N_\phi &= -21,4893 + 3,206H - 0,3144B - 0,108C - 0,0612H^2 + 0,0107B^2 + \\
 &+ 0,0011C^2 - 0,0186HB - 0,0016HC - 0,0019BC, \text{ при } Ff = 1,83; Gk = 0,223; (4.2) \\
 G_\phi &= 90,6699 - 4,392H - 1,9154B + 0,3126C - 0,034H^2 + 0,0185B^2 + \\
 &+ 0,0145C^2 - 0,0281HB - 0,0489HC - 0,003BC, \text{ при } Ff = 2,43; Gk = 0,078; \\
 \gamma &= 119,3465 - 1,6936H - 2,2744B - 0,9804C - 0,0063H^2 + 0,0633B^2 + \\
 &+ 0,0027C^2 - 0,0187HB - 0,0327HC - 0,002BC, \text{ при } Ff = 2,50; Gk = 0,081.
 \end{aligned}$$

де  $B_\phi$  – фактична поперечна нерівність, %;  $N_\phi$  – фактична грудкуватість, %;  $G_\phi$  – фактична витрата палива, л/га;  $\gamma$  – узагальнений показник, л/га;  $H$  – глибина

обробітку глибокорозпушувачем, см;  $B$  – відстань між відрізними дисками, см;  $C$  – відстань від глибокорозпушувача до осі відрізних дисків, см.

Таблиця 4.2

**Результати досліджень впливу глибини обробітку глибокорозпушувачем  $H$ , відстані між відрізними дисками  $B$  та відстані від глибокорозпушувача до осі відрізних дисків  $C$  на якісно-енергетичні показники обробленої смуги**

№ досліду	Глибина обробітку долотом $H$		Відстань між відрізними дисками $B$		Відстань від долота до осі відрізних дисків $C$		$B_{\phi}$ , %	$N_{\phi}$ , %	$G_{\phi}$ , л/га	$\gamma_{\phi}$ , л/га
	код	см	код	см	код	см				
1	+1	27	+1	40	0	50	30,5	4,2	35,0	45,6
2	-1	13	-1	20	0	50	2,0	1,0	26,4	12,8
3	+1	27	-1	20	0	50	25,2	7,3	31,4	38,4
4	-1	13	+1	40	0	50	7,3	3,1	22,1	14,7
5	+1	27	0	30	+1	62	14,6	2,6	27,1	23,0
6	-1	13	0	30	-1	38	14,6	3,1	30,7	26,3
7	+1	27	0	30	-1	38	7,2	3,1	20,7	13,7
8	-1	13	0	30	+1	62	27,0	3,1	20,7	24,6
9	0	20	+1	40	+1	62	17,1	9,4	22,9	23,9
10	0	20	-1	20	-1	38	24,6	5,2	27,9	32,5
11	0	20	+1	40	-1	38	22,8	7,3	23,6	27,3
12	0	20	-1	20	+1	62	21,1	6,4	25,7	28,1
13	0	20	0	30	0	50	11,1	5,9	25,0	20,5
14	0	20	0	30	0	50	11,4	5,7	25,7	21,2
15	0	20	0	30	0	50	12,4	5,9	25,0	21,3

Проведено візуальну оцінку якості обробітку смуги з умовним розділенням на три групи: якісно оброблені (дослід № 1, 6, 7, 13, 14, 15), відносно якісно (№ 2, 5, 8, 11, 12) та неякісно (№ 3, 4, 9, 10). На рисунку 4.30 приведені фото зразка кожної групи, де № 22 відповідає досліду № 7, що відносимо до першої групи, № 27 відповідає досліду № 12, – до другої групи, а № 18 – досліду № 3 – до третьої групи.

При зміні глибини обробітку глибокорозпушувачем  $H$  від 13 до 27 см поперечна нерівність рівномірно прямолінійно зростає при відстані від глибокорозпушувача до осі відрізних дисків  $C = 50$  см, тобто рівномірність погіршується із збільшенням глибини обробітку глибокорозпушувачем  $H$ . Відстань між відрізними дисками  $B = 30$  см забезпечує дотримання поперечної нерівності в

заданих межах 15 %, а при відстані між відрізними дисками  $B = 40$  і 20 см значення співпадають і знаходяться вище заданих меж.



Рис. 4.30. Фото зразків відповідної групи візуальної оцінки оброблених смуг

Графік залежності (рис. 4.31) поперечної нерівності від глибини обробітку глибокорозпушувачем  $H$  та відстані між відрізними дисками  $B = 20-40$  см показує, що впливовим фактором є зміна відстані між відрізними дисками з найменшим значенням  $B = 30$  см, тоді як глибина обробітку глибокорозпушувачем  $H$  має рівномірну прямолінійну залежність: із збільшенням глибини збільшується поперечна нерівність.

При збільшенні глибини обробітку глибокорозпушувачем  $H$  поперечна нерівність збільшується. Залежність поперечної нерівності від відстані від глибокорозпушувача до осі відрізних дисків  $C$  при відстані між відрізними дисками  $B = 30$  см має вигляд паралельних парабол, які змінюються неоднозначно: зі збільшенням відстані від долота до осі відрізних дисків  $C$  поперечна нерівність зменшується, досягає значень  $C = 45-50$  см і потім збільшується. При відстані  $C = 38$  см зона уловлювання ґрунту відрізними дисками менша і площа відбиття знаходиться в межах від осі до вершини дисків протилежних глибокорозпушувачу. При збільшенні відстані від глибокорозпушувача до осі відрізних дисків  $C = 45-50$  см збільшується площа контакту для відбиття ґрунту, від якої він повертається до обробленої смуги. При збільшенням відстані від глибокорозпушувача до осі

відрізних дисків  $C$  більше 50 см між глибокорозпушувачем і початком диску з'являється проміжок, через який ґрунт вилітає за межі заданої обробленої смуги. Мінімальне значення поперечної нерівності отримуємо при відстані від долота до осі відрізних дисків  $C = 45$ -50-см.

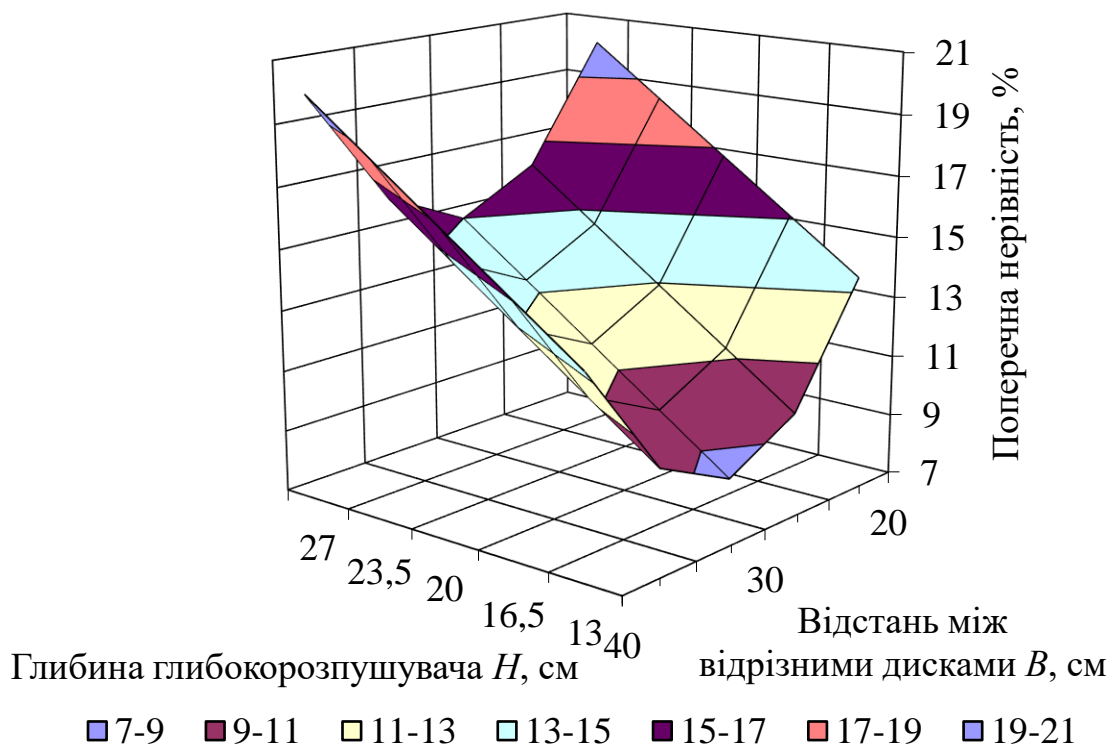


Рис. 4.31. Залежність поперечної нерівності від глибини обробітку глибокорозпушувачем  $H$  та відстані між відрізними дисками  $B$  при відстані від долота до осі відрізних дисків  $C = 50$  см

Залежність поперечної нерівності від глибини обробітку глибокорозпушувачем  $H$  при відстані між відрізними дисками  $B = 30$  см має прямолінійну залежність при  $C = 50$  см. Застосування відстані від долота до осі відрізних дисків  $C = 38$  см із дотриманням агротехнічних вимог поперечної нерівності можливе лише для глибини обробітку глибокорозпушувачем  $H$  до 20 см, далі значення поперечної нерівності погіршується. Відстань від долота до осі відрізних дисків  $C = 62$  см взагалі не може використовуватися, тому, що значення поперечної нерівності, відповідно до пунктирної лінії, в цілому виходять за агротехнічні межі 15 %. Можна зробити висновок, що значення відстані від

глибокорозпушувача до осі відрізних дисків  $C$  для забезпечення агротехнічних вимог і використання при різних глибинах обробітку становить  $C = 50$  см.

Залежність (рис. 4.32) поперечної нерівності від глибини обробітку глибокорозпушувачем  $H$  та відстані від глибокорозпушувача до осі відрізних дисків  $C$  при відстані між відрізними дисками  $B = 30$  см показує, що впливовим фактором є зміна відстані від долота до осі відрізних дисків  $C = 45-50$  см з найменшим значенням поперечної нерівності при відстані від долота до осі відрізних дисків  $C = 50$  см, тоді як глибина обробітку глибокорозпушувачем має рівномірний прямолінійний вплив на поперечну нерівність.

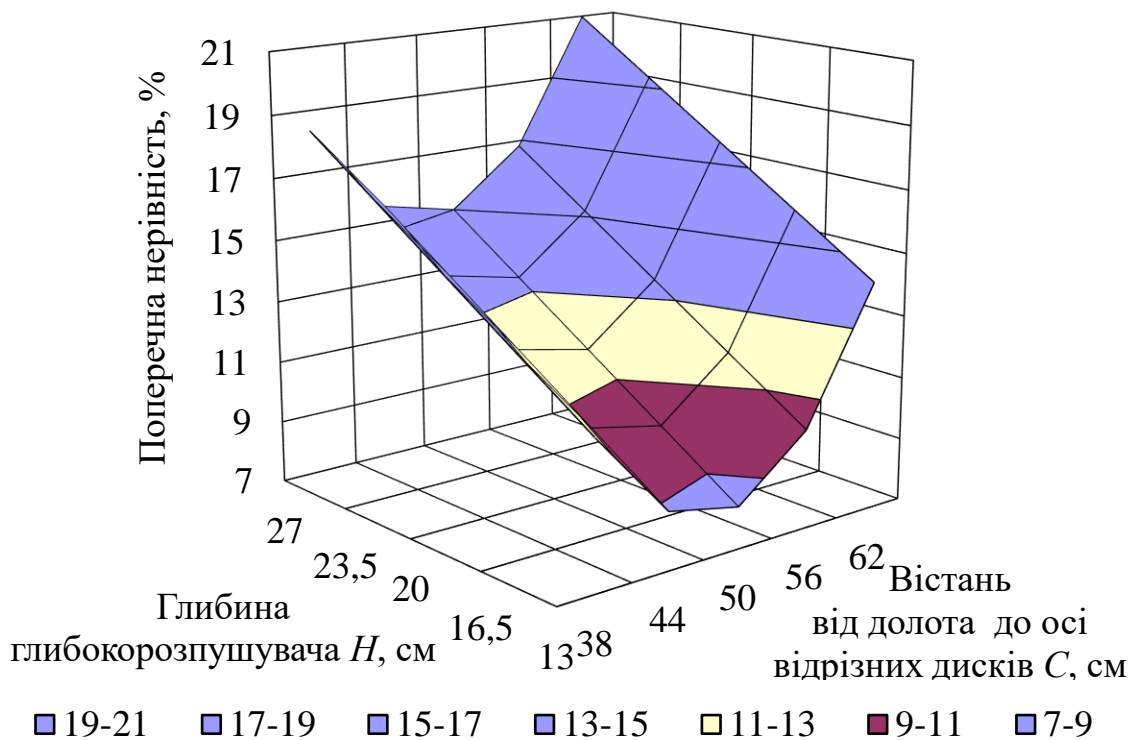


Рис. 4.32. Залежність поперечної нерівності від глибини обробітку глибокорозпушувачем  $H$  та відстані від долота до осі відрізних дисків  $C$  при відстані між відрізними дисками  $B = 30$  см

Графік залежності (рис. 4.33) поперечної нерівності від відстані між відрізними дисками  $B$  при глибині обробітку глибокорозпушувачем  $H = 20$  см показує, що при відстані від глибокорозпушувача до осі відрізних дисків  $C = 62$  см

значення знаходиться вище заданих меж 15 %. При відстані від долота до осі відрізних дисків  $C = 38$  см в агротехнічних межах знаходяться значення в основі параболі, лише при відстані між відрізними дисками  $B = 30$  см. Отже, при зміні відстані між відрізними дисками  $B$  від 20 до 40 см поперечна нерівність змінюється за параболічною залежністю з мінімальною відстанню між відрізними дисками  $B = 30$  см і відстанню від долота до осі відрізних дисків  $C = 38-50$  см. При глибині обробітку глибокорозпушувачем  $H = 20$  см впливовим фактором є зміна відстані між відрізними дисками  $B$  від 25 до 35 см, тоді як відстань від глибокорозпушувача до осі відрізних дисків  $C$  в межах від 38 до 50 см.

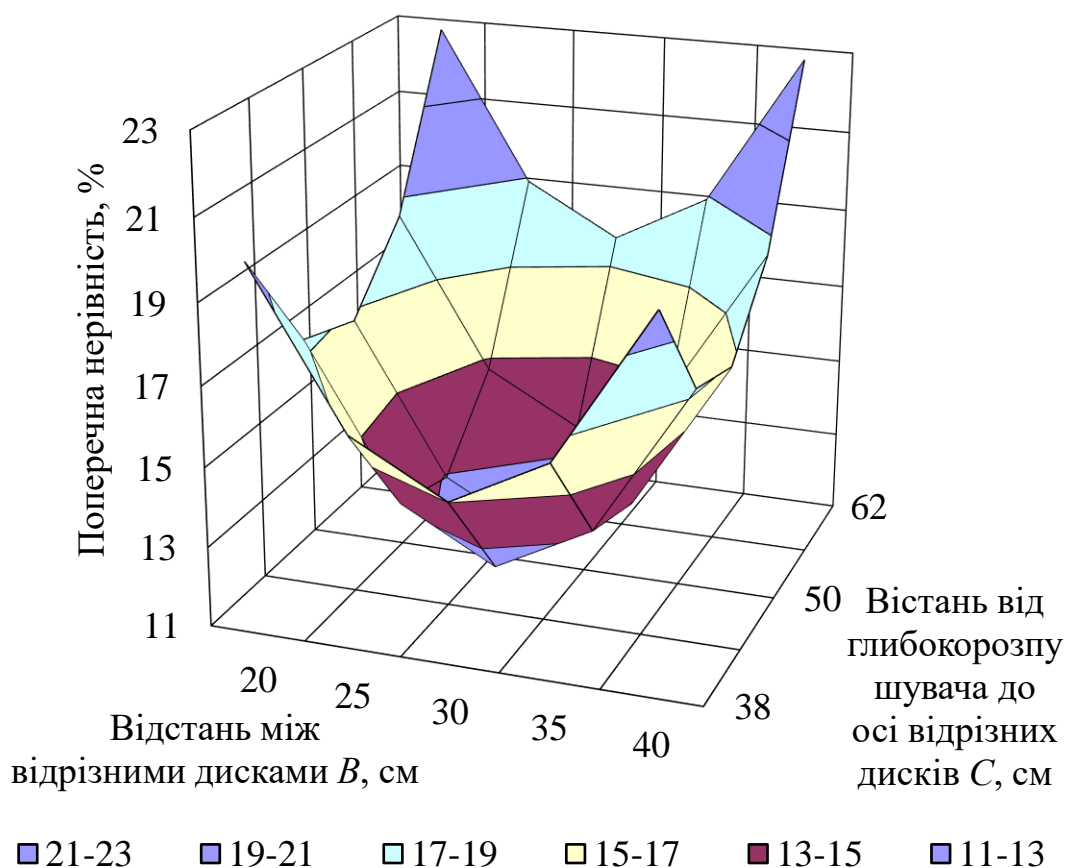


Рис. 4.33. Залежність поперечної нерівності від відстані між відрізними дисками  $B$  та відстані від глибокорозпушувача до осі відрізних дисків  $C$  при глибині обробітку глибокорозпушувачем  $H = 20$  см

Графіки залежності (рис. 4.34) грудкуватості від глибини обробітку глибокорозпушувачем  $H$  мають параболічну форму, яка із збільшенням глибини

обробітку збільшується, а при  $H = 20-23,5$  см спадає, що характеризує нерівномірність розподілу твердості та щільність ґрунту по оброблюваній глибині. Всі лінії входять у задані межі обробітку, але ми можемо виокремити відстань  $B = 30$  см між відрізними дисками, яка має найменші значення при глибині обробітку  $H = 27$  см забезпечує якісний обробіток.

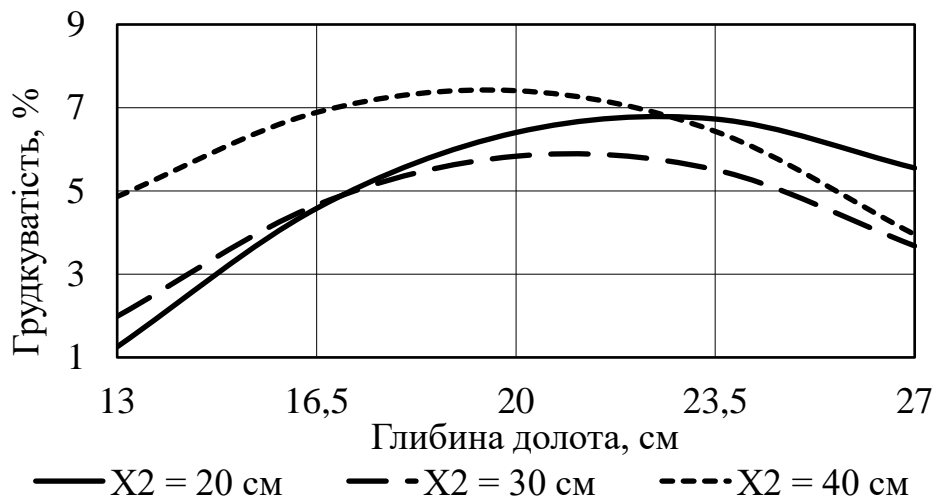


Рис. 4.34. Залежність грудкуватості від глибини обробітку глибокорозпушувачем  $H$  при відстані від глибокорозпушувача до осі відрізнних дисків  $C = 50$  см

Залежність грудкуватості від відстані між відрізнними дисками  $B$  при відстані від долота до осі відрізнних дисків  $C = 50$  см накладається одна на одну і формують частину параболи, яка плавно збільшується при збільшенні глибини обробітку глибокорозпушувачем  $H$ . Графік залежності (рис. 4.35) грудкуватості від глибини обробітку глибокорозпушувачем  $H$  та відстані між відрізнними дисками  $B$  характеризується впадиною відстані між відрізнними дисками  $B = 30$  см для глибини обробітку глибокорозпушувачем  $H$  від 23 см, що відображає оптимальність даного параметру для забезпечення допустимої рівномірно розподіленої грудкуватості.

Графіки залежності грудкуватості від відстані від долота до осі відрізнних дисків  $C$  при відстані між відрізнними дисками  $B = 30$  см, є прямими похилими лініями, які збільшуються у напрямі до відстані від долота до осі відрізнних дисків



$C = 62$  см. Штрихова лінія  $H = 20$  см обробітку глибокорозпушувачем  $H$  знаходиться вище пунктирної лінії  $H = 27$  см обробітку, і підтверджує наявність плужної підшви на полі, що весь час оброблялось плугом на глибину 23 см.

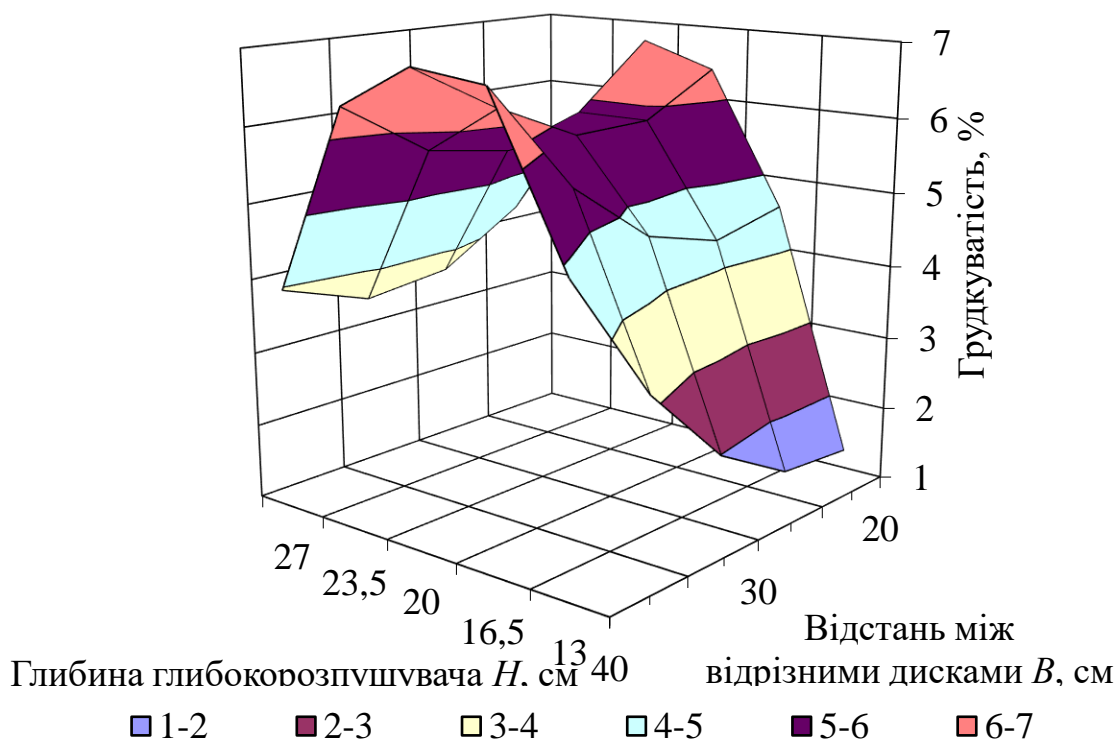


Рис. 4.35. Залежність грудкуватості від глибини обробітку глибокорозпушувачем  $H$  та відстані між відрізними дисками  $B$  при відстані від глибокорозпушувача до осі відрізнних дисків  $C = 50$  см

Графіки залежності грудкуватості від глибини обробітку глибокорозпушувачем  $H$  (рис. 4.36) при відстані між відрізними дисками  $B = 30$  см мають параболічну форму з вершинами на глибині обробітку глибокорозпушувачем  $H = 20$  см, і так само як графіки рисунку 4.35 вказують на твердість і щільність ґрунту даної зони. Ґрунт відривається від суцільного пласта і виходить на поверхню і перевертається, але не розкришується, цим самим збільшує кількість грудок на поверхні. При збільшенні глибини обробітку глибокорозпушувачем  $H$ , руйнується плужна підшва і збільшується кількість ґрунту, який рухається на поверхню і в стані вільного польоту руйнується і розкришується, відбиваючись від відрізнних дисків.

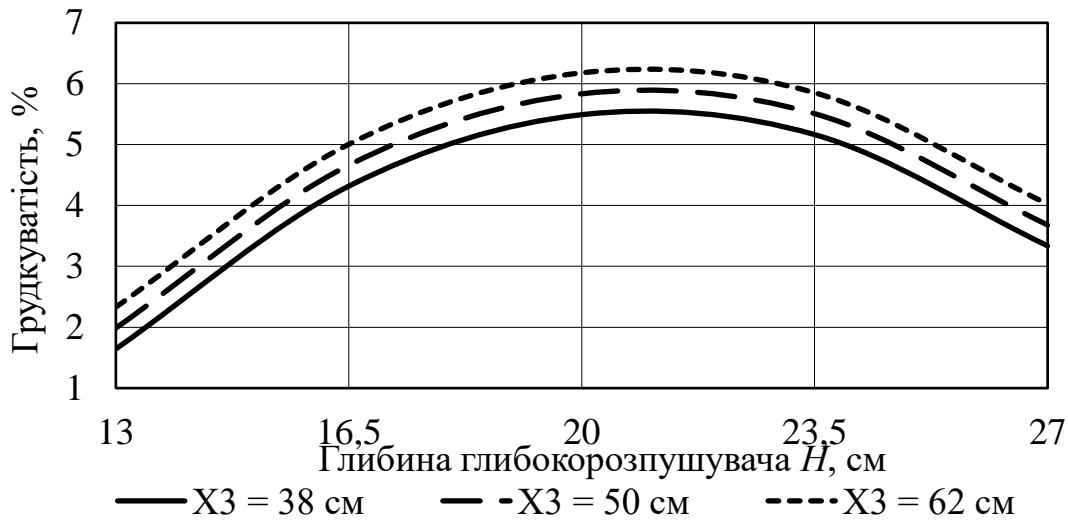


Рис. 4.36. Залежність грудкуватості від глибини обробітку глибокорозпушувачем  $H$  при відстані між відрізними дисками  $B = 30$  см

Залежність (рис. 4.37) грудкуватості від глибини обробітку глибокорозпушувачем  $H$  та відстані від долота до осі відрізнних дисків  $C$  при відстані між відрізними дисками  $B = 30$  см показує, що впливовим фактором даного дослідження є глибина обробітку глибокорозпушувачем  $H$  із всіма досліджуваними параметрами відстані між відрізними дисками  $B$ .

Графіки залежності грудкуватості від відстані між відрізними дисками  $B$  (рис. 4.38) при глибині обробітку глибокорозпушувачем  $H = 20$  см є параболічними з нижніми точками в межах відстані між відрізними дисками  $B = 25$ -30 см, з чого можна зробити висновок, що дана відстань між дисками  $B$  є оптимальною в цих досліджуваних умовах.

Похилі прямолінійні залежності грудкуватості від відстані від долота до осі відрізнних дисків  $C$  при глибині обробітку глибокорозпушувачем  $H = 20$  см показують збільшення грудкуватості (у заданих межах) при збільшенні відстані від долота до осі відрізнних дисків із відстанню між дисками  $B = 30$  см і пояснюється тим, що під час руху секції агрегата для смугового обробітку ґрунту відрізнний диск рівномірно вловлює вивільнений ґрунт, руйнує його та спрямовує до сформованої глибокорозпушувачем борозни.

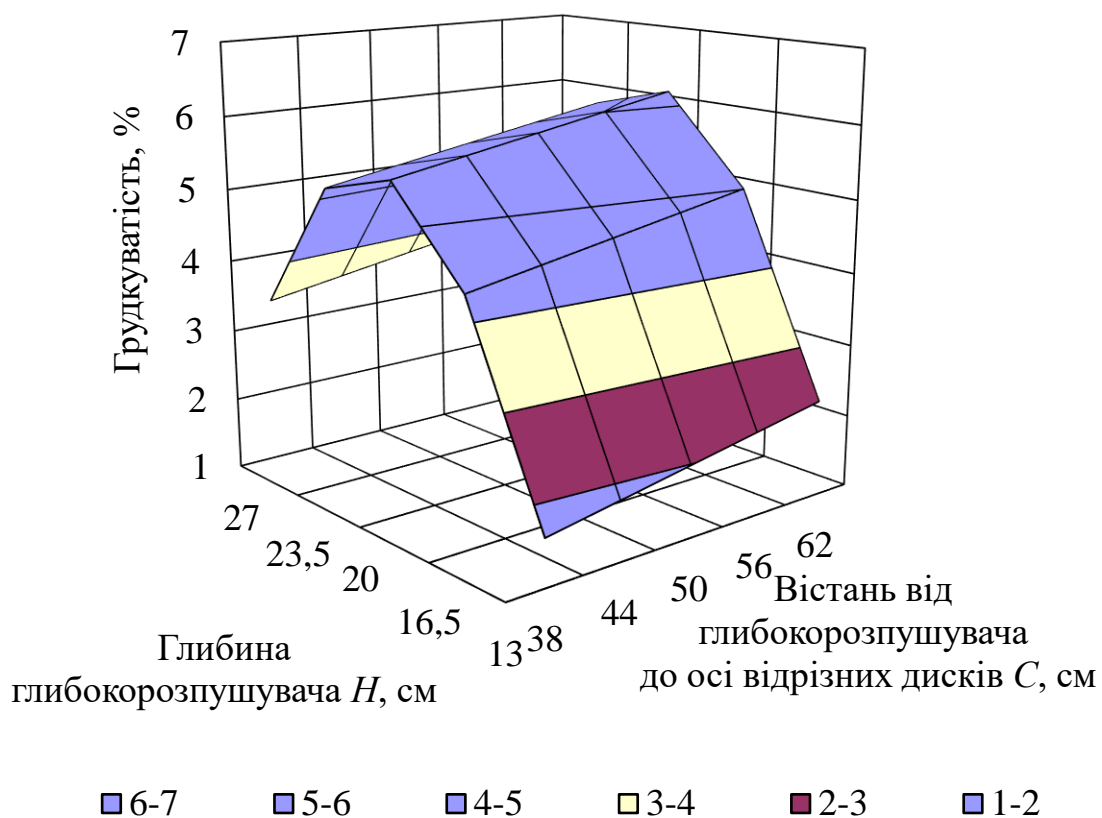


Рис. 4.37. Залежність грудкуватості від глибини обробітку глибокорозпушувачем  $H$  та відстані від глибокорозпушувача до осі відрізних дисків  $C$  при відстані між відрізними дисками  $B = 30$  см

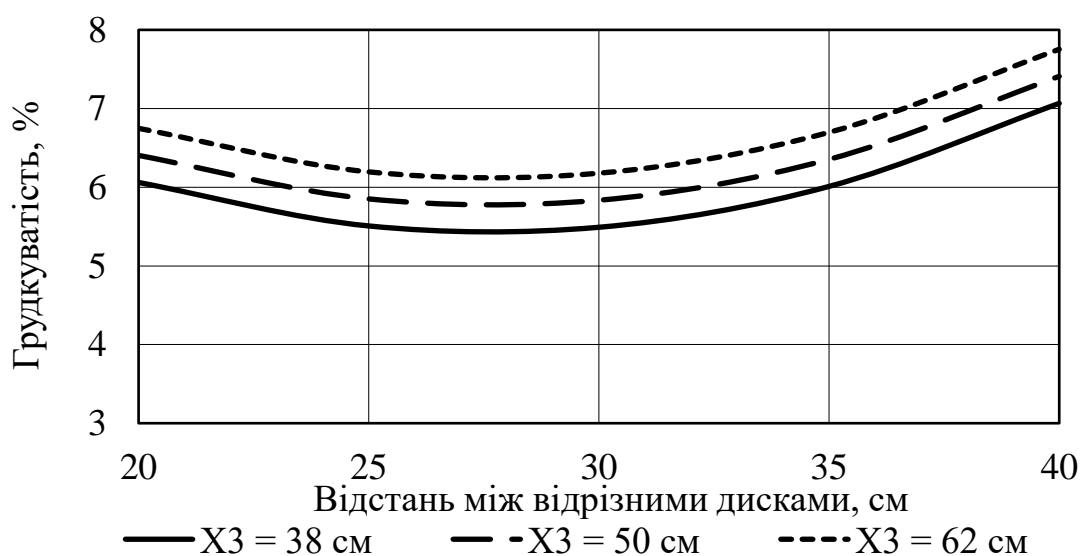


Рис. 4.38. Залежність грудкуватості від відстані між відрізними дисками  $B$  при глибині обробітку глибокорозпушувачем  $H = 20$  см

Графік залежності (рис. 4.39) грудкуватості від відстані між відрізними дисками  $B$  та відстані від глибокорозпушувача до осі відрізних дисків  $C$  при глибині обробітку глибокорозпушувачем  $H = 20$  см показує, що оптимальна відстань між відрізними дисками  $B$  становить 25-30 см, при якій грудкуватість поступово збільшується при збільшені відстані від глибокорозпушувача до осі відрізних дисків  $C$ .

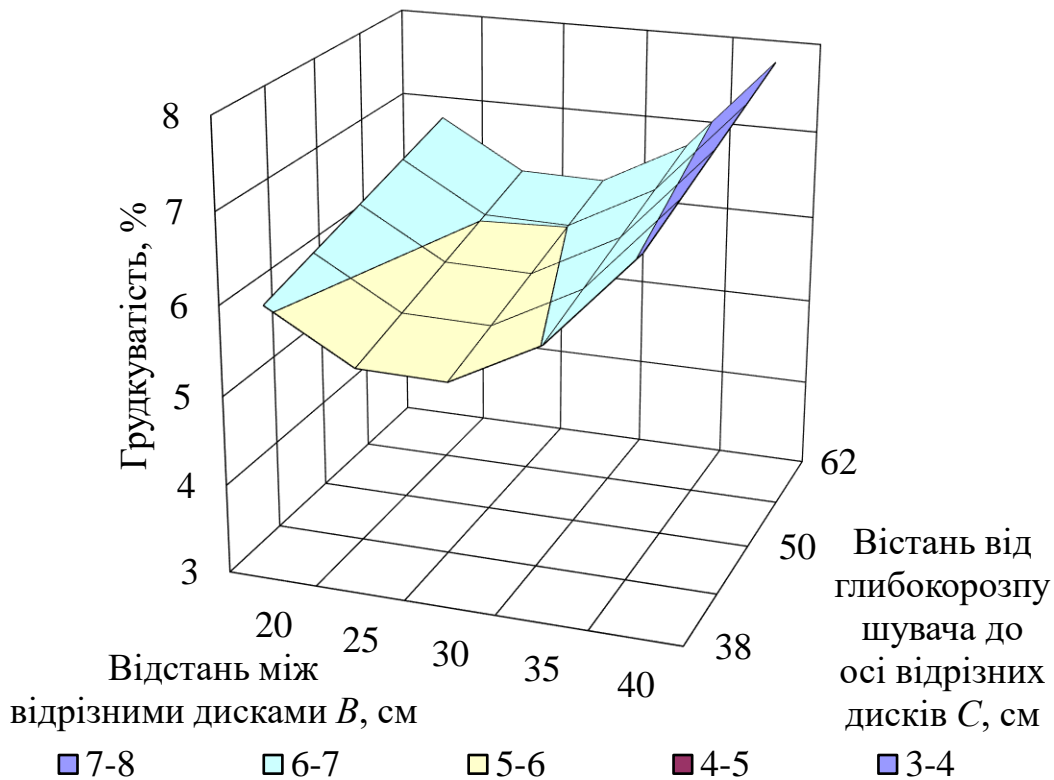
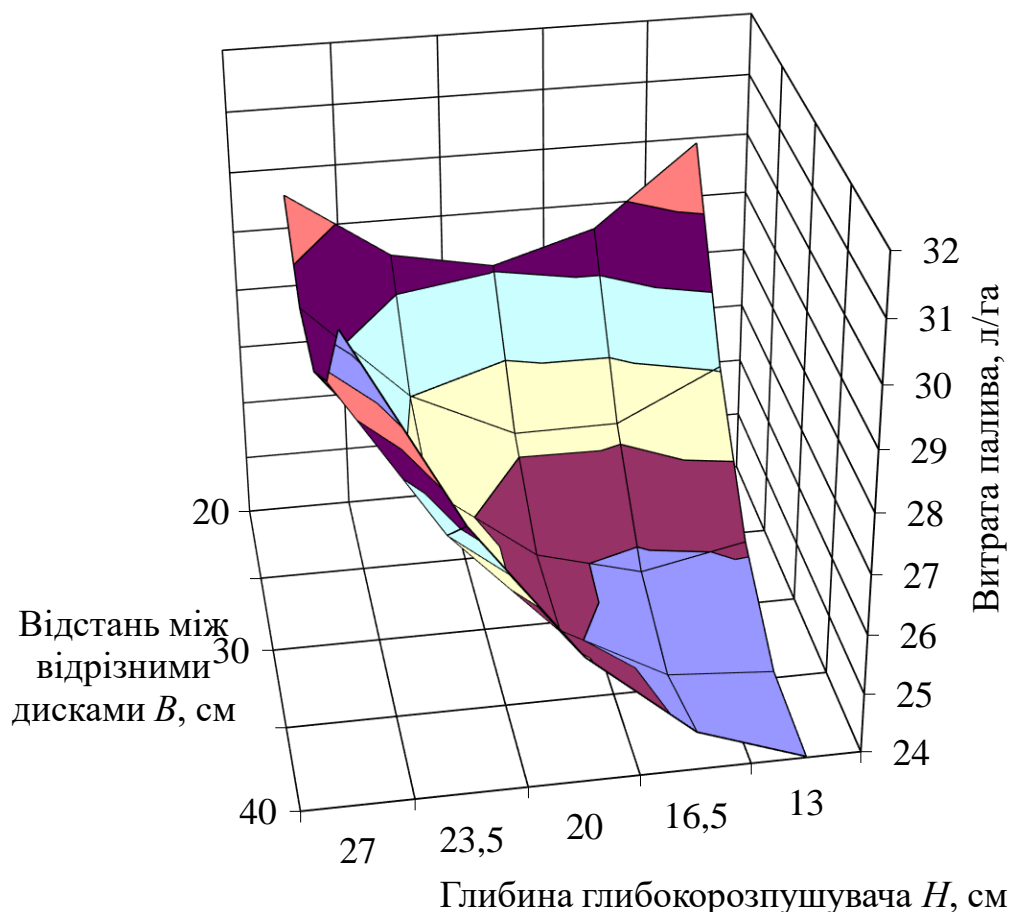


Рис. 4.39. Залежність грудкуватості від відстані між відрізними дисками  $B$  та відстані від глибокорозпушувача до осі відрізних дисків  $C$  при глибині обробітку глибокорозпушувачем  $H = 20$  см

Графік (рис. 4.40) показує, що відстань між відрізними дисками  $B$  повинна становити 30 см, що описується певним рухом дисків: передня частина диску рухається по частково зруйнованій стерні, долаючи виштовхуючу силу або опір стерні різанню, задня рухається обробленою частиною смуги і спрямовує ґрунт на загортання борозни глибокорозпушувача. При відстані між відрізними дисками  $B = 20$  см вони повністю рухаються обробленим ґрунтом, який гальмує їх обертання, формуючи волочіння і збільшуючи опір секції агрегату для смугового

обробітку, при відстані  $B = 40$  см – диски повністю рухаються стернею із більшим опором, тобто диску необхідно подолати виштовхуючу силу або опір різання стерні, заглибитися, відділити частину ґрунту від стерні і обернути його із зміщенням до борозни глибокорозпушувача.



■ 24-25 ■ 25-26 ■ 26-27 ■ 27-28 ■ 28-29 ■ 29-30 ■ 30-31 ■ 31-32

Рис. 4.40. Залежність витрати палива від глибини обробітку глибокорозпушувачем  $H$  та відстані між відрізними дисками  $B$  при відстані від глибокорозпушувача до осі відрізних дисків  $C = 50$  см

На графіку (рис. 4.41) видно, що при глибині обробітку глибокорозпушувачем  $H = 27$  см відстань від глибокорозпушувача до осі відрізних дисків  $C$  повинна становити 38 см.

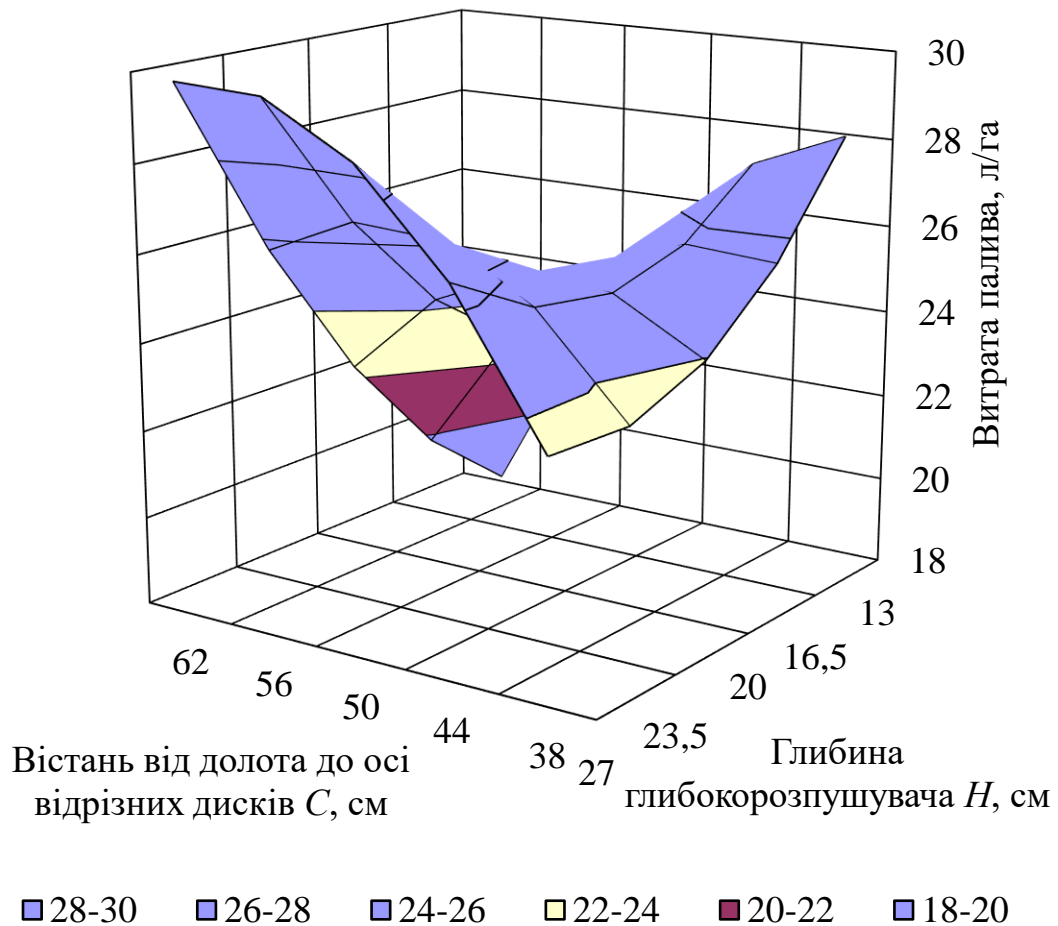


Рис. 4.41. Залежність витрати палива від глибини обробітку глибокорозпушувачем  $H$  та відстані від глибокорозпушувача до осі відрізних дисків  $C$  при відстані між відрізними дисками  $B = 30$  см

Графік (рис. 4.42) показує, що відстань між відрізними дисками  $B$  повинна бути 30 см при відстані від долота до осі відрізних дисків  $C = 38$  см. При збільшенні відстані  $C$  до 62 см хоч і визначається менша витрата палива, але з такими параметрами диски не вловлюють всі грудки, вивільнені глибокорозпушувачем і, відповідно, погіршуючи якість обробітку, зумовлюючи додаткові витрати палива з виконанням додаткових технологічних операцій.

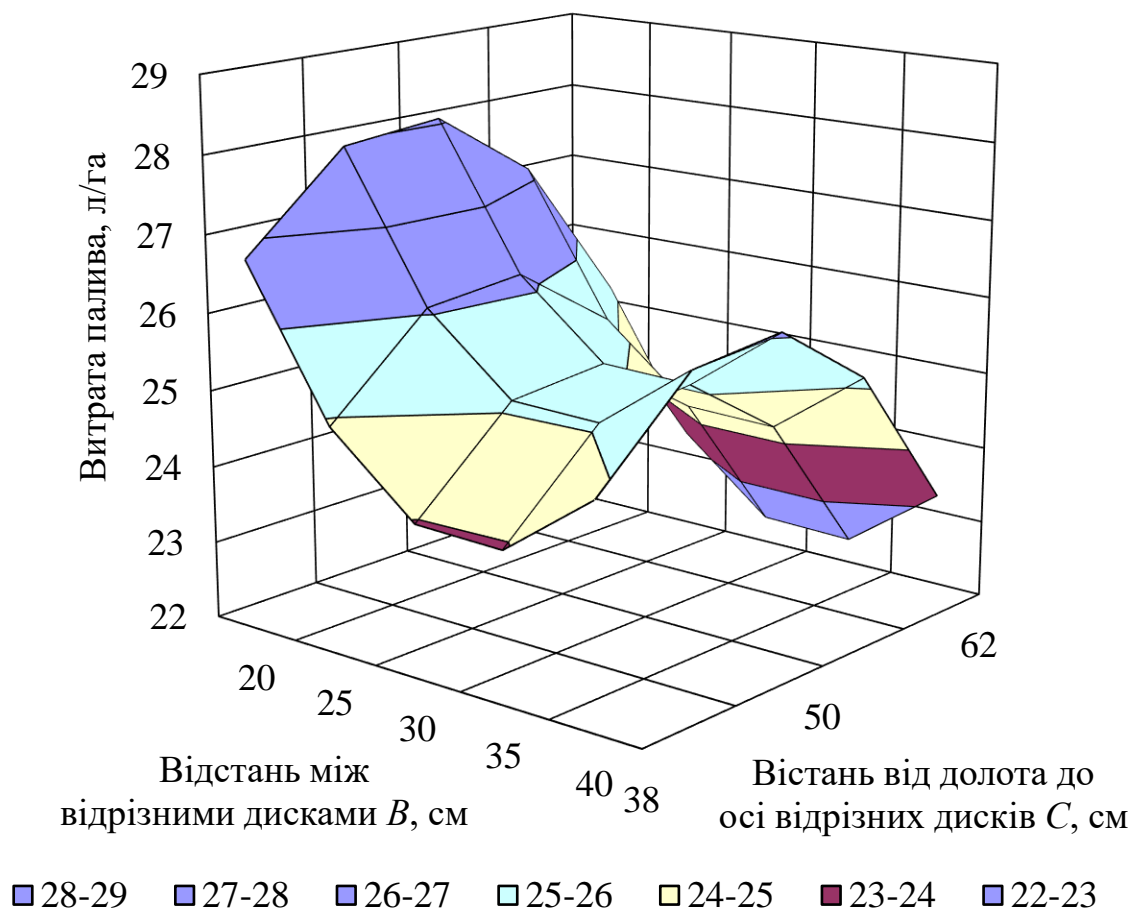


Рис. 4.42. Залежність витрати палива від відстані між відрізними дисками  $B$  та відстані від глибокорозпушувача до осі відрізних дисків  $C$  при глибині обробітку глибокорозпушувачем  $H = 20$  см

Графік (рис. 4.43) залежності значень узагальненого показника показує, що при відстані від глибокорозпушувача до осі відрізних дисків  $C = 50$  см і збільшенні глибини обробітку глибокорозпушувачем  $H$  оптимальна відстань між відрізними дисками  $B = 30$  см.

Графік (рис. 4.44) показує, що при відстані між відрізними дисками  $B = 30$  см із збільшенням глибини обробітку глибокорозпушувачем  $H$  до 27 см відстань від глибокорозпушувача до осі відрізних дисків  $C$  повинна бути 38 см.

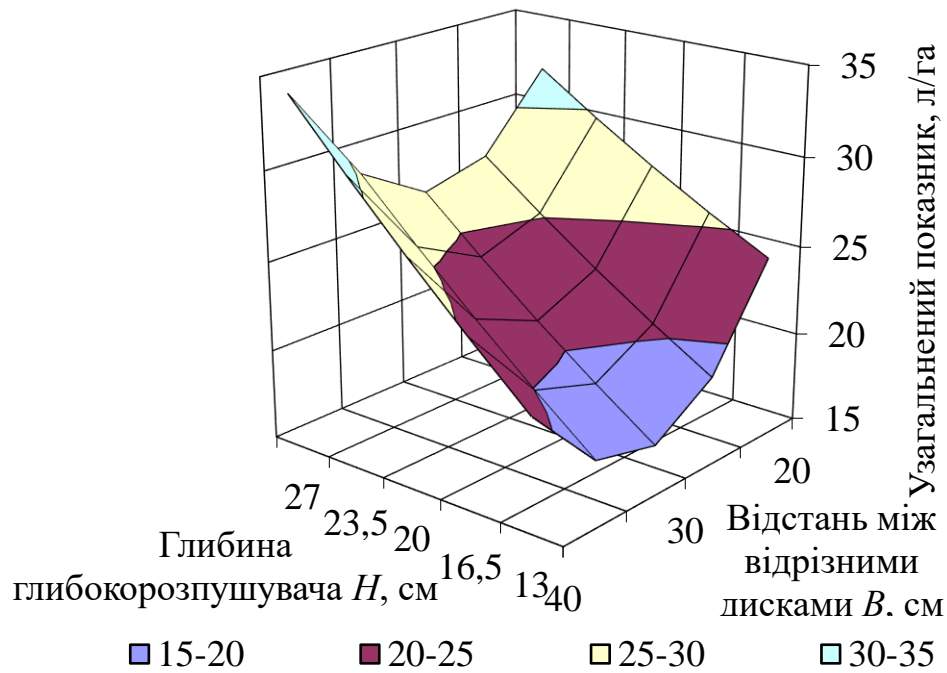


Рис. 4.43. Залежність узагальненого показника від глибини обробітку глибокорозпушувачем  $H$  та відстані між відрізними дисками  $B$  при відстані від долота до осі відрізнних дисків  $C = 50$  см

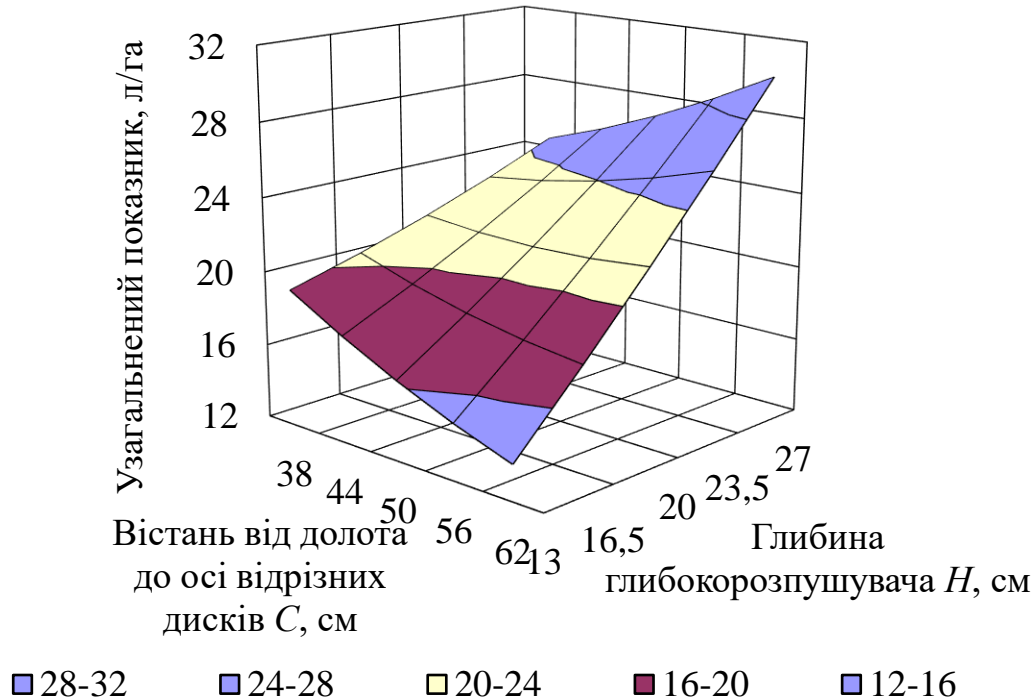


Рис. 4.44. Залежність узагальненого показника від глибини обробітку глибокорозпушувачем  $H$  та відстані від глибокорозпушувача до осі відрізнних дисків  $C$  при відстані між відрізнними дисками  $B = 30$  см



Графік (рис. 4.45) залежності значень узагальненого показника при глибині обробітку глибокорозпушувачем  $H = 20$  см показує найменші значення при відстані між відрізними дисками  $B = 30$  см та відстані від глибокорозпушувача до осі відрізнних дисків  $C = 45-55$  см.

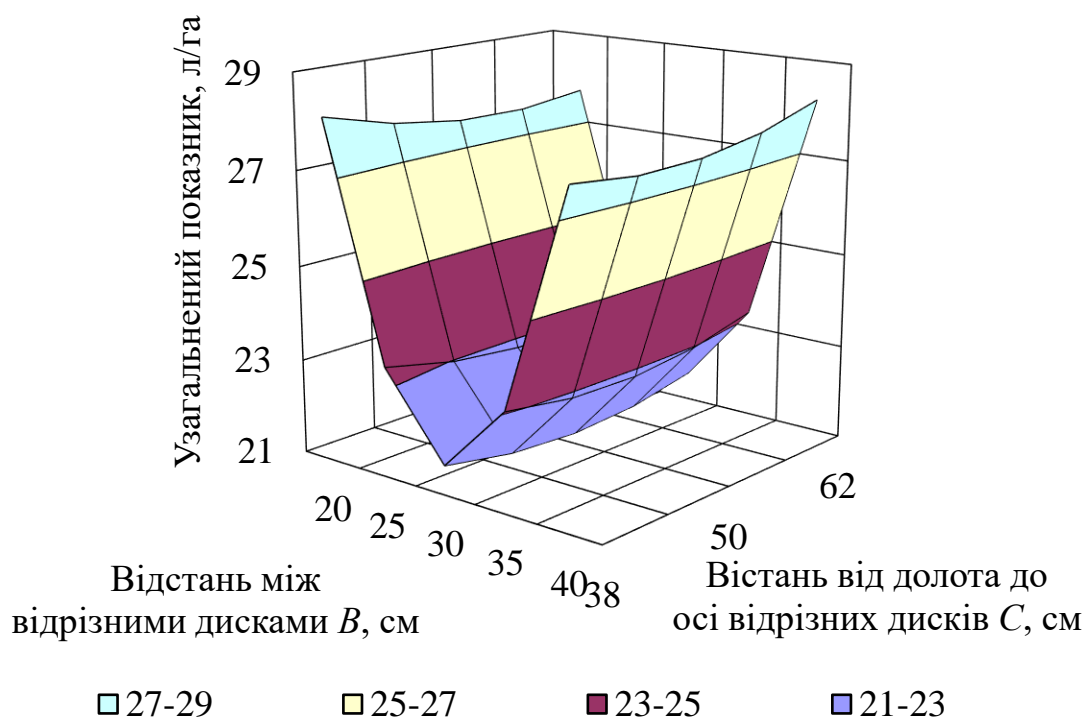


Рис. 4.45. Залежність узагальненого показника від відстані між відрізними дисками  $B$  та відстані від глибокорозпушувача до осі відрізнних дисків  $C$  при глибині обробітку глибокорозпушувачем  $H = 20$  см

**Висновки.** Експериментально встановлено, що секція агрегату для смугового обробітку ґрунту має мінімальну поперечну нерівність обробленої смуги в межах до 15 % при відстані між відрізними дисками  $B = 30$  см, тобто ширині обробленої смуги 30 см. При збільшенні глибини обробітку глибокорозпушувачем поперечна нерівність збільшується прямопропорційно глибині обробітку. У залежності від залягання плужної підшви секція агрегату для смугового обробітку ґрунту повинна бути налаштована на глибину обробітку глибокорозпушувачем  $H$  більше 23 см із відстанню між відрізними дисками  $B = 30$  при відстані від долота до осі відрізнних дисків  $C = 38-50$  см. Отже, необхідно більш детально дослідити

зміну відстані від глибокорозпушувача до осі відрізних дисків  $C$ , оскільки значення відповідних залежностей є неоднозначними.

#### **4.4. Результати дослідження впливу глибини обробітку глибокорозпушувачем, відстані від глибокорозпушувача до осі переднього диска та відстані від глибокорозпушувача до осі відрізних дисків на якісні та енергетичні показники роботи секції агрегату**

Факторами, що впливають на якість обробленої смуги при даних дослідженнях є: глибина обробітку глибокорозпушувачем  $H$ , см; відстань від глибокорозпушувача до осі переднього диска  $L$ , см; відстань від глибокорозпушувача до осі відрізного диску  $C$ , см. За планом трьохфакторного експерименту [39] проведено дослідження взаємного впливу вказаних факторів при незмінних значеннях швидкості руху агрегату  $V = 4$  км/год, відстані між відрізними дисками  $B = 30$  см, заглибленні відрізних дисків  $h = 10$  см.

Результати візуальної оцінки стану якості обробітку смуги розділено на групи (за подібністю). До першої групи відносяться досліді № 1, 7, 11, 14, 15 (з оцінками 4 та 4+). До другої групи – досліді № 3, 4, 9, 10, 12, 13 (з оцінками 3 та 3+). До третьої – досліді № 2, 5, 6, 8 (з оцінками 2 та 2+).



Рис. 4.46. Фото зразків груп оброблених смуг за даними візуальної оцінки

Результати досліджень середньої фактичної поперечної нерівності  $B_{\phi}$ , %, середньої грудкуватості  $N_{\phi}$ , %, середньої витрати палива  $G_{\phi}$ , л/га та середнього значення узагальненого показника  $\gamma$ , л/га наведені в таблиці 4.3.

Таблиця 4.3

**Результати досліджень впливу глибини обробітку глибокорозпушувачем  $H$ , відстані від глибокорозпушувача до осі переднього диска  $L$  та відстані від глибокорозпушувача до осі відрізних дисків  $C$  на якісно-енергетичні показники обробленої смуги**

№ досліду	Глибина глибокорозпушувачем $H$		Відстань від осі переднього диска до глибокорозпушувача $L$		Відстань від глибокорозпушувача до осі відрізних дисків $C$		$B_{\phi}$ , %	$N_{\phi}$ , %	$G_{\phi}$ , л/га	$\gamma$ , л/га
	код	см	код	см	код	см				
1	+1	27	+1	60	0	50	8,2	9,9	31,4	25,6
2	-1	13	-1	50	0	50	24,9	6,8	27,1	28,4
3	+1	27	-1	50	0	50	11,5	16,2	35,7	37,3
4	-1	13	+1	60	0	50	17,9	2,1	22,9	18,0
5	+1	27	0	55	+1	62	11,9	7,8	30,7	25,5
6	-1	13	0	55	-1	38	19,6	2,6	22,9	19,1
7	+1	27	0	55	-1	38	5,5	5,7	34,3	22,9
8	-1	13	0	55	+1	62	20,1	1,0	27,1	22,2
9	0	20	+1	60	+1	62	17,2	8,3	42,9	41,1
10	0	20	-1	50	-1	38	13,0	4,2	32,9	25,3
11	0	20	+1	60	-1	38	9,2	7,3	28,6	22,2
12	0	20	-1	50	+1	62	9,7	13,5	28,6	27,3
13	0	20	0	55	0	50	5,1	5,0	28,6	18,6
14	0	20	0	55	0	50	3,3	3,1	30,0	16,8
15	0	20	0	55	0	50	4,2	4,2	30,0	18,2

Після обробки експериментальних даних отримано рівняння регресії, які описують результати досліджень:

$$\begin{aligned}
 B_{\phi} &= 885,445 - 8,6113H - 23,8583L - 5,1722C + 0,1367H^2 + 0,189L^2 + \\
 &+ 0,0233C^2 + 0,0264HL + 0,0176HC + 0,0475LC, \text{ при } Ff = 1,35; Gk = 0,110; \\
 N_{\phi} &= 402,4777 + 0,4954H - 16,4474L + 2,0273C + 0,0015H^2 + 0,1644L^2 - \\
 &- 0,0022C^2 - 0,0112HL + 0,0109HC - 0,0347LC, \text{ при } Ff = 1,36; Gk = 0,075; \quad (4.3) \\
 G_{\phi} &= 419,3197 + 4,2448H - 11,804L - 4,6713C - 0,059H^2 + 0,0725L^2 + \\
 &+ 0,0105C^2 - 0,0262HC + 0,0774LC, \text{ при } Ff = 2,48; Gk = 0,068;
 \end{aligned}$$

$$\gamma = 1209,1464 - 0,0715H - 38,3144L - 5,6056C + 0,0272H^2 + 0,3156L^2 + 0,0206C^2 - 0,0094HL + 0,0015HC + 0,0701LC, \text{ при } Ff = 2,41; Gk = 0,078;$$

де  $B_\phi$  – поперечна нерівність, %;  $N_\phi$  – грудкуватість, %;  $G_\phi$  – фактична витрата палива, л/га;  $\gamma$  – узагальнений показник, л/га;  $H$  – глибина обробітку глибокорозпушувачем, см;  $L$  – відстань від глибокорозпушувача до осі переднього диска, см;  $C$  – відстань від глибокорозпушувача до осі відрізних дисків, см.

Залежність (рис. 4.47) при відстані від глибокорозпушувача до осі відрізних дисків  $C = 50$  см із збільшенням глибини обробітку глибокорозпушувачем  $H$  до 22 см спочатку зменшується, а потім поступово збільшується.

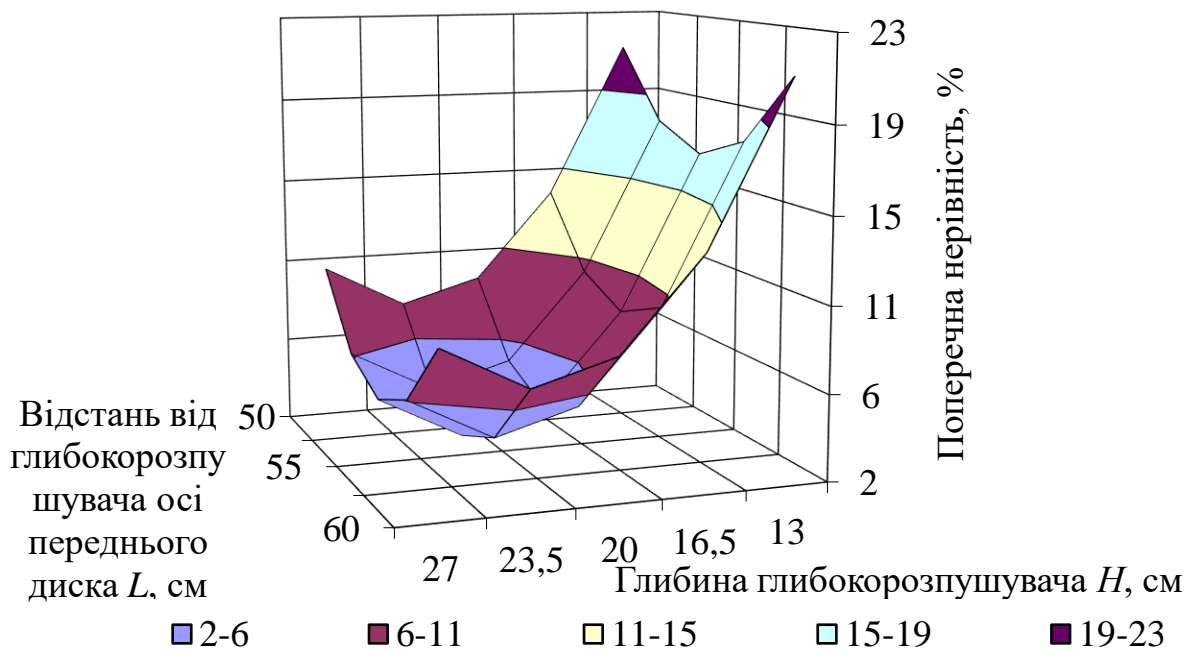


Рис. 4.47. Залежність поперечної нерівності від глибини обробітку глибокорозпушувачем  $H$  та відстані від глибокорозпушувача до осі переднього диска  $L$  при відстані від глибокорозпушувача до осі відрізних дисків  $C = 50$  см

Значення поперечної нерівності найменше серед отриманих при відстані від долота до осі переднього диска  $L = 55$  см. Лінія  $L = 60$  см відстані від долота до осі переднього диска накладається на лінію  $L = 50$  см, що характеризується однаковими середніми значеннями поперечної нерівномірності. Можемо зробити

висновок, що поперечна нерівність з дотриманням заданих меж 15 % змінюється при глибині обробітку глибокорозпушувачем  $H$  від 15 см і оптимальною відстанню від глибокорозпушувача до осі переднього диска  $L = 55$  см.

Залежності (рис. 4.48) поперечної нерівності від відстані від долота до осі відрізних дисків  $C$  при відстані від глибокорозпушувача до осі переднього диска  $L = 55$  см показують, що глибина обробітку глибокорозпушувачем  $H = 13$  см знаходиться за допустимою межею поперечної нерівності 15 %, тоді як  $H = 20$  см та 27 см повністю знаходяться в заданих межах.

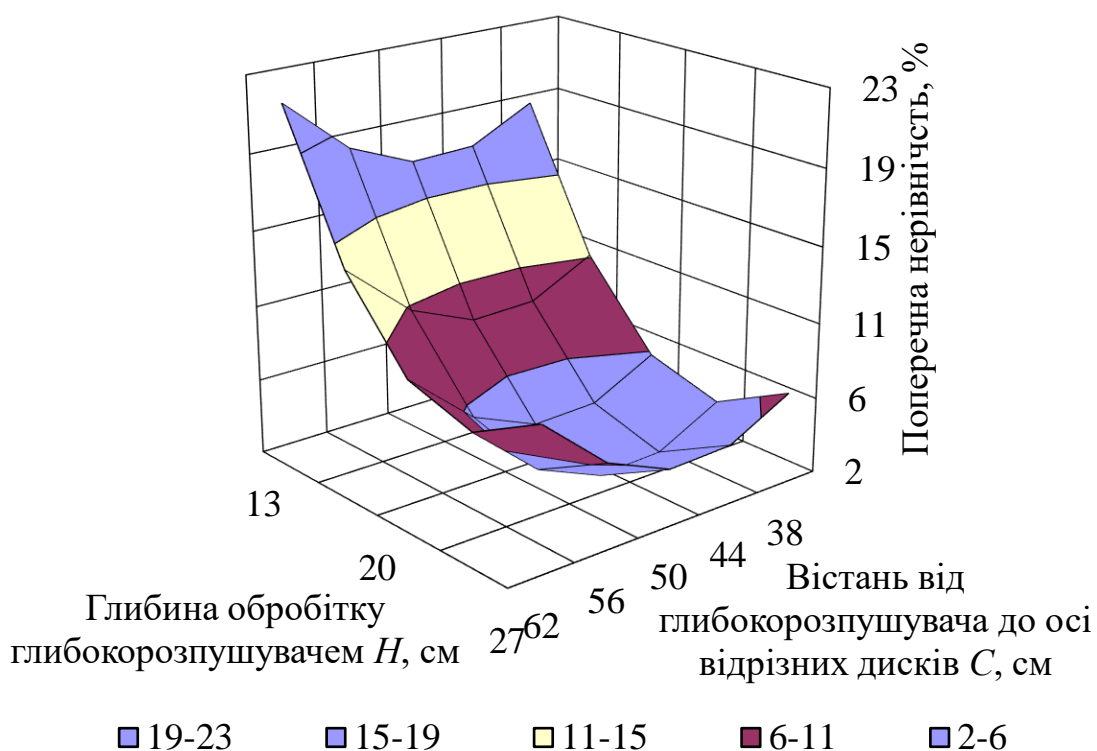


Рис. 4.48. Залежність поперечної нерівності від глибини обробітку глибокорозпушувачем  $H$  та відстані від долота до осі відрізних дисків  $C$  при відстані від долота до осі переднього диска  $L = 55$  см

Зі зміною відстані від долота до осі відрізних дисків  $C$  поперечна нерівність змінюється неоднозначно. Спочатку зі збільшенням відстані до  $C = 50$  см поперечна нерівність зменшується, а потім при збільшенні відстані  $C$  збільшується. Мінімальне значення поперечної нерівності отримано при відстані від долота до осі відрізних дисків  $C = 44-50$  см. Мінімальна глибина обробітку

глибокорозпушувачем  $H$ , яка може використовуватись, становить 15 см. Значення відстані від глибокорозпушувача до осі відрізних дисків  $C = 38$  см та 62 см знаходяться вище і входять у межі агротехнічних вимог поперечної нерівності 15 %. Можна зробити висновок, що для забезпечення агротехнічних вимог і використання при різних глибинах обробітку глибокорозпушувачем  $H$  значення відстані від долота до осі відрізних дисків повинно становити  $C = 50$  см.

Графіки (рис. 4.49) показують, що лінія рівномірно параболічна з вершиною на позначці відстані від глибокорозпушувача до осі переднього диска  $L = 55$  см, відстань від долота до осі відрізних дисків  $C = 50$  см із всіма значеннями поперечної нерівності знаходиться в межах заданих 15 %. Лінія, яка відповідає відстані від долота до осі відрізних дисків  $C = 38$  см, спочатку спадає до значення  $L = 56$  см, а потім зростає. Значення  $C = 62$  см зменшуються до відстані від долота до осі переднього диска  $L = 54$  см, потім збільшується.

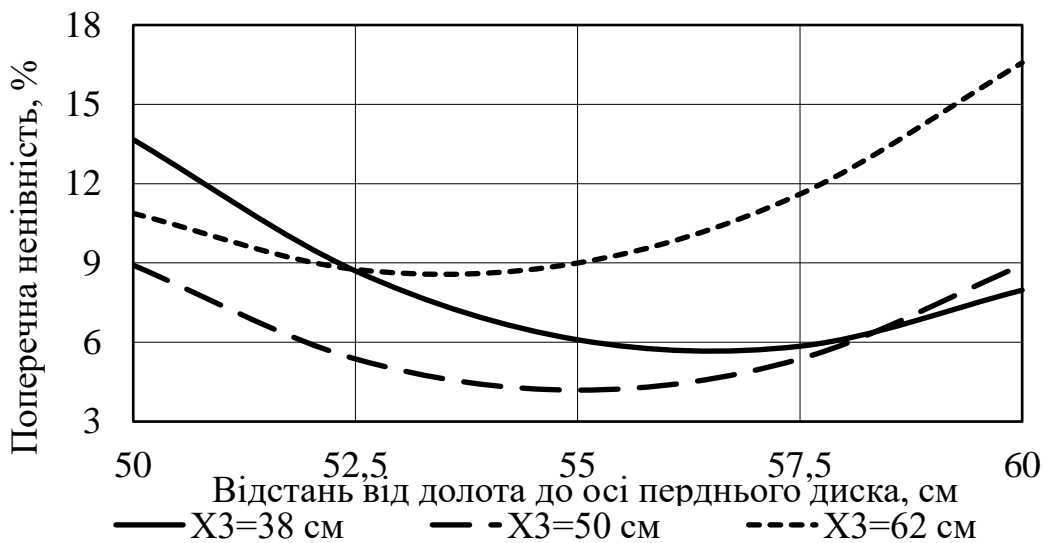


Рис. 4.49. Залежність поперечної нерівності від відстані від глибокорозпушувача до осі переднього диска  $L$  при глибині обробітку глибокорозпушувачем  $H = 20$  см

Графік (рис. 4.50) залежності поперечної нерівності при глибині обробітку глибокорозпушувачем  $H = 20$  см показує, що відстань від глибокорозпушувача до осі переднього диска  $L$  із найменшими значеннями поперечної нерівності

становить 55 см із вершиною у значенні відстані від глибокорозпушувача до осі відрізних дисків  $C = 48-50$  см. Отже, оптимальним значенням відстані від глибокорозпушувача до осі переднього диска  $L = 55$  см, а відстань від глибокорозпушувача до осі відрізних дисків  $C = 50$  см.

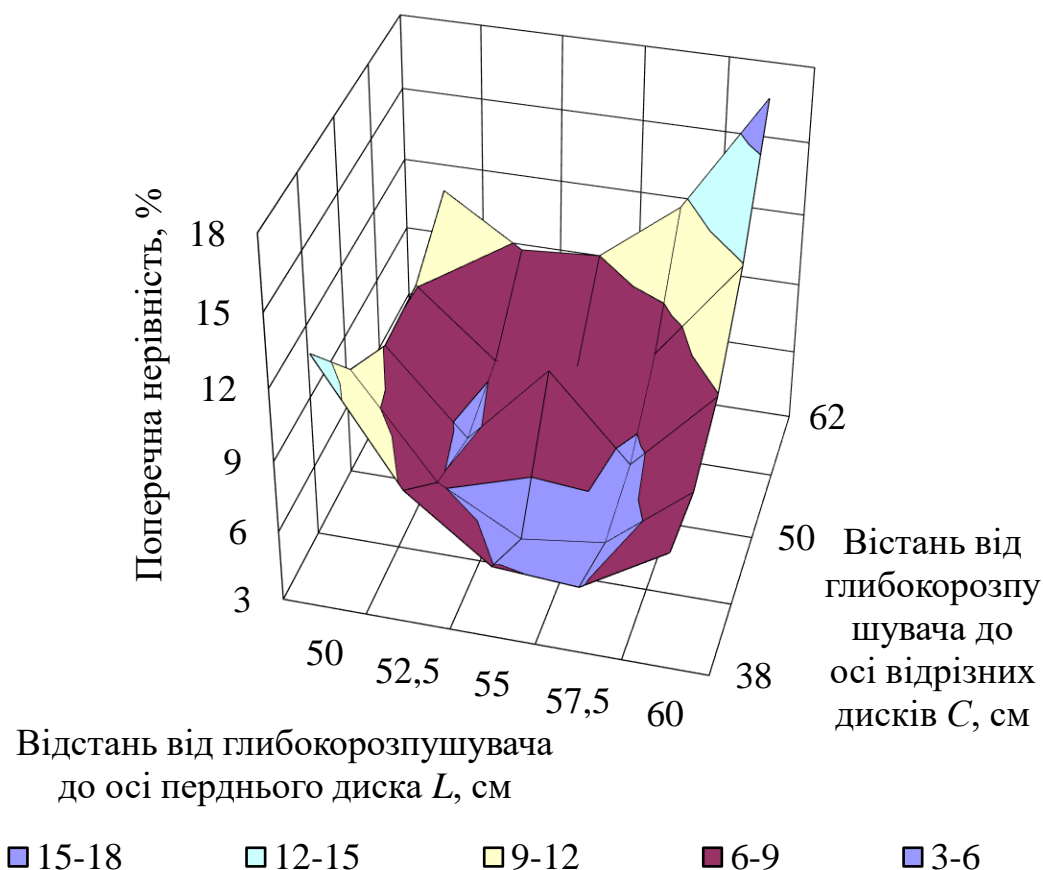


Рис. 4.50. Залежність поперечної нерівності від відстані від глибокорозпушувача до осі переднього диска  $L$  та відстані від глибокорозпушувача до осі відрізних дисків  $C$  при глибині обробітку глибокорозпушувачем  $H = 20$  см

Залежність (рис. 4.51) грудкуватості від зміни глибини обробітку глибокорозпушувачем  $H$  при відстані від долота до осі відрізних дисків  $C = 50$  см є прямолінійною, яка збільшується із збільшенням глибини обробітку глибокорозпушувачем, що характеризується збільшенням кількості ґрунту, спрямованого на поверхню. Лінія відстані від долота до осі переднього диска  $L = 55$  см не виходить за задані 10 %.



Отже, при зміні глибини обробітку глибокорозпушувачем  $H$  від 13 до 27 см з дотриманням заданих меж грудкуватості 10 % оптимальна відстань від глибокорозпушувача до осі переднього диска  $L = 55$  см. При зменшенні відстані  $L$  опорна реборда (складова переднього диска), яка виконує функцію опорного колеса не встигає виконати своє призначення: спрямувати вивільнений долотом ґрунт в напрямку, протилежному напрямку руху агрегату, відповідно при збільшенні відстані  $L$  більше 55 см зменшується швидкість руху ґрунту до контакту з опорною ребордою, цим самим впливаючи на зменшення енергії польоту і зміни напрямку руху. Отже, оптимальне значення відстані від долота до осі переднього диска становить  $L = 55$  см.

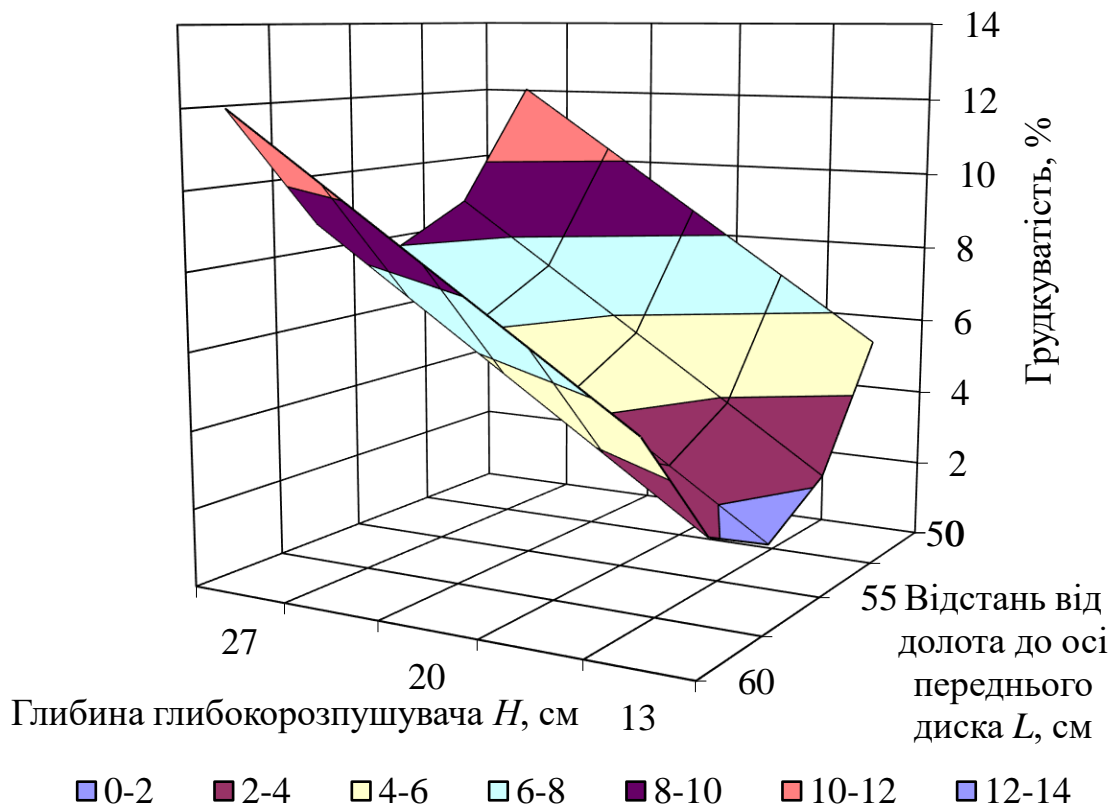


Рис. 4.51. Залежність грудкуватості від глибини обробітку глибокорозпушувачем  $H$  та від відстані від глибокорозпушувача до осі переднього диска  $L$  при відстані від глибокорозпушувача до осі відрізних дисків  $C = 50$  см

Залежність (рис. 4.52) грудкуватості від глибини обробітку глибокорозпушувачем (долотом)  $H$  при відстані від глибокорозпушувача до осі



переднього диска  $L = 55$  см має вигляд похилої прямої, за якою грудкуватість збільшується до 8 % із збільшенням глибини обробітку глибокорозпушувачем  $H$ .

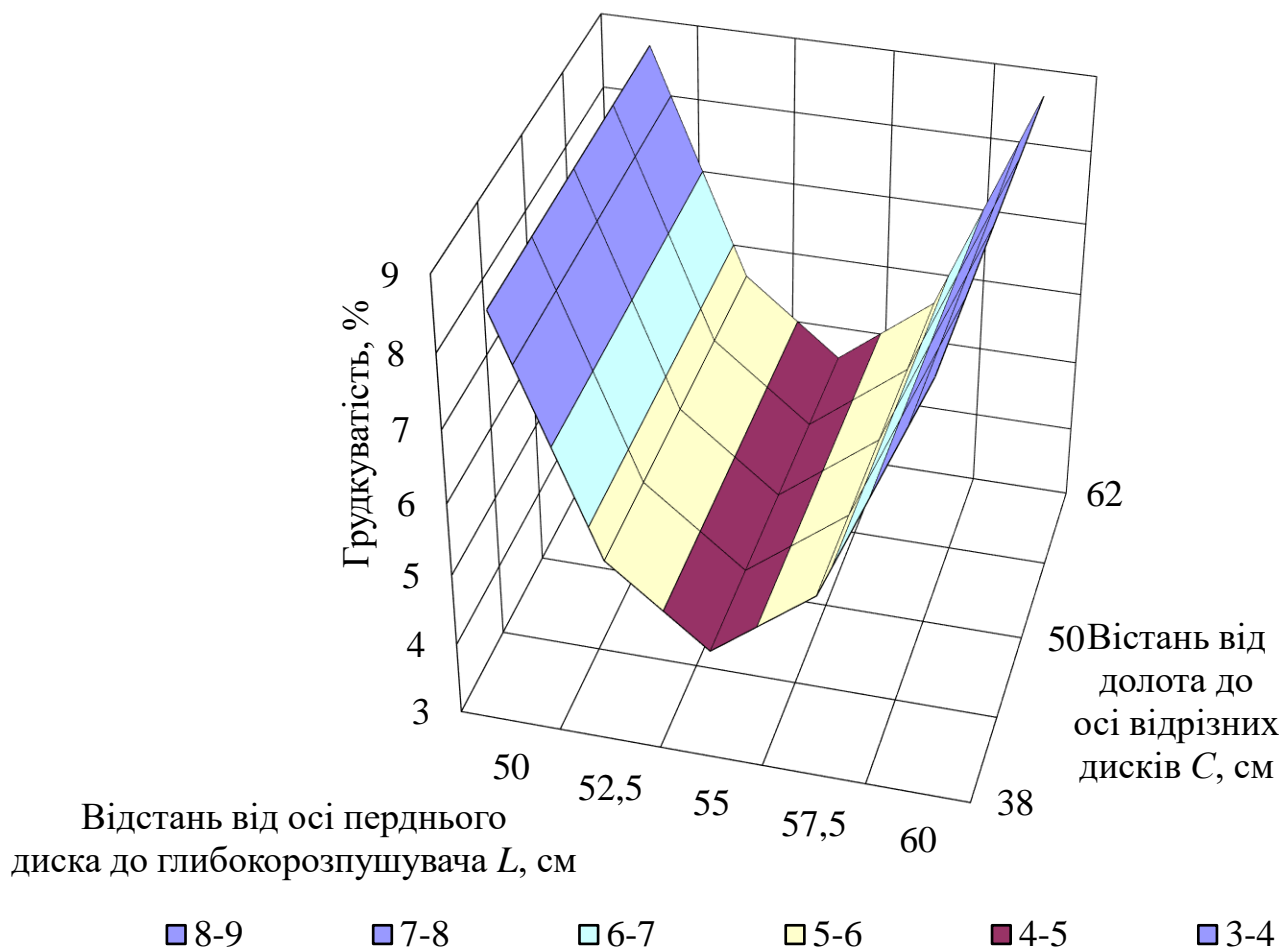


Рис. 4.52. Залежність грудкуватості від відстані від глибокорозпушувача до осі переднього диска  $L$  та відстані від глибокорозпушувача до осі відрізних дисків  $C$  при глибині обробітку глибокорозпушувачем  $H = 20$  см

Похила залежність грудкуватості від глибини обробітку глибокорозпушувачем  $H$  та відстані від долота до осі відрізних дисків при відстані від долота до осі переднього диска  $L = 55$  см рівномірно збільшується при збільшенні глибини обробітку глибокорозпушувачем і суттєво не впливає на грудкуватість. Рівномірно параболічна залежність грудкуватості показує, що відстань від осі переднього диска  $L$  при глибині обробітку глибокорозпушувачем  $H = 20$  см з вершиною на позначці відстані від

глибокорозпушувача до осі переднього диска  $L = 55$  см при відстань від глибокорозпушувача до осі відрізних дисків в межах від 38 до 62 см.

Графік (рис. 4.53) показує поступове збільшення витрати палива при збільшенні глибини обробітку глибокорозпушувачем  $H$  до 24 см, а потім спадання, що характеризує подолання переущільненого шару "плужної підшви" з відповідним зменшенням опору, тобто після подолання переущільненого шару ґрунт має природну щільність.

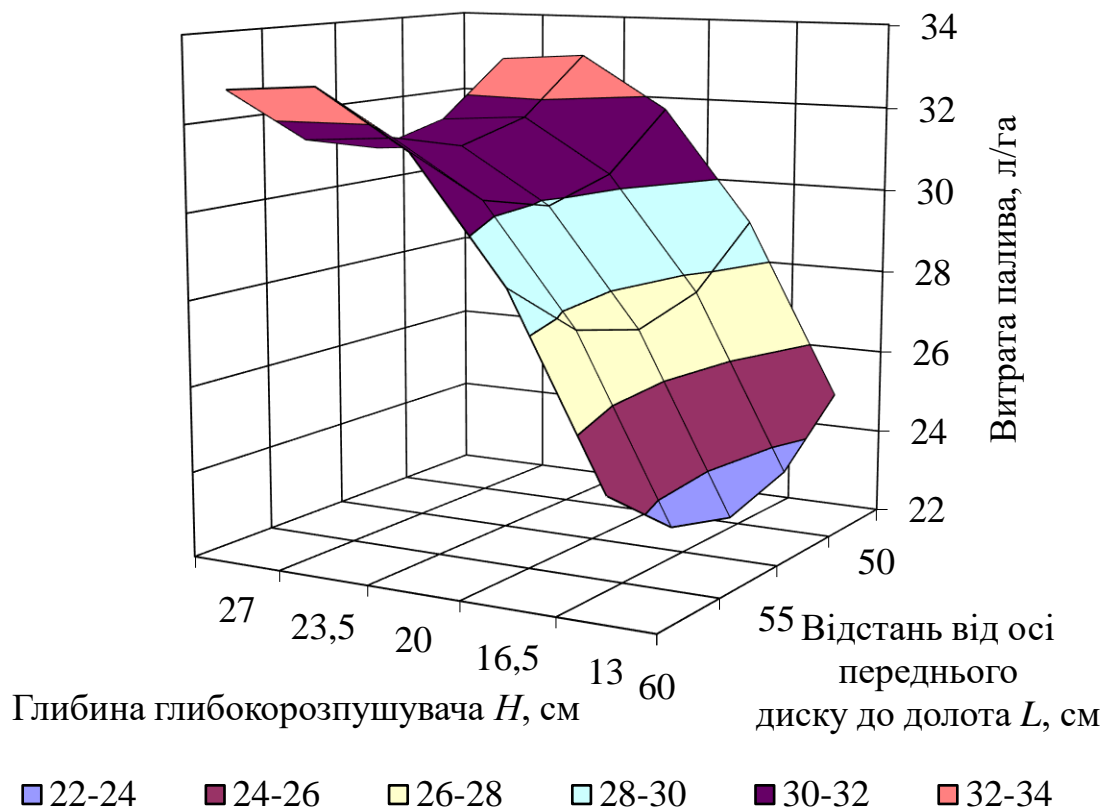


Рис. 4.53. Залежність витрати палива від глибини обробітку глибокорозпушувачем  $H$  та від відстані від глибокорозпушувача до осі переднього диска  $L$  при відстані від глибокорозпушувача до осі відрізних дисків  $C = 50$  см

Зміна відстані від глибокорозпушувача до осі переднього диска описує спадаючу параболу із вершиною  $L = 55$  см, що характеризує дану відстань як оптимальне значення для досліджуваного параметру, забезпечуючи правильну направленість руху грудок. При відстані від глибокорозпушувача до осі переднього диска  $L = 50$  см рівнодіюча сила більше притискає опорну реборду переднього

диска до поверхні поля, відповідно ґрунт стискається опорною ребордою переднього диска і збільшує опір руху секції, при  $L = 60$  см відстань зменшує вплив зміни руху вивільненого ґрунту в протилежному напрямку руху. Грудки відлітають вперед, вдаряються об опорну реборду і падають перед глибокорозпушувачем, формуючи більшу масу необробленої частини перед глибокорозпушувачем, що в свою чергу, збільшує опір секції агрегату для смугового обробітку ґрунту.

При проведенні дослідження визначено залежність (рис. 4.54), що із збільшенням глибини обробітку глибокорозпушувачем  $H$  до 24 см витрата палива поступово збільшується із її найменшими значеннями при відстані від глибокорозпушувача до осі відрізних дисків  $C = 38$  см, пройшовши позначку глибини обробітку глибокорозпушувачем  $H = 24$  см, графік змінюється в протилежному нахилі, тобто менші значення відбувається при відстані від глибокорозпушувача дисків до осі відрізних дисків  $C = 62$  см.

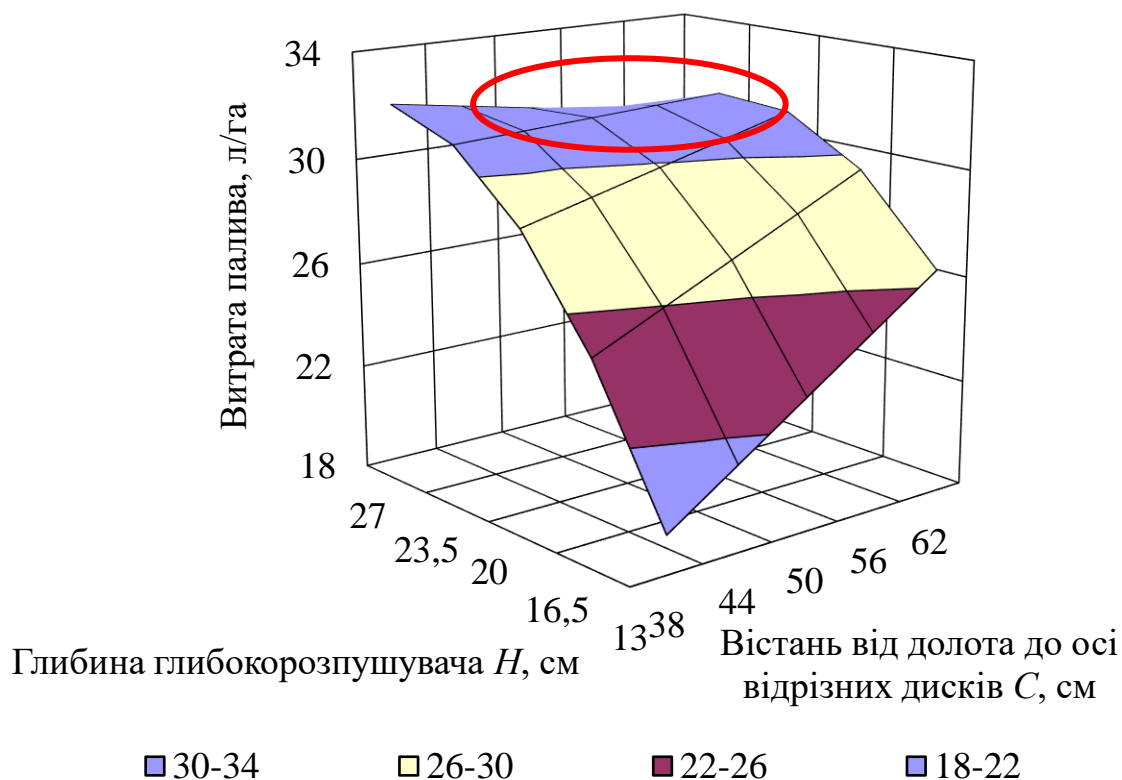


Рис. 4.54. Залежність витрати палива від глибини обробітку глибокорозпушувачем  $H$  та відстані від глибокорозпушувача до осі відрізних дисків  $C$  при відстані від долота до осі переднього диска  $L = 55$  см

Оскільки найменші значення витрати палива при відстані від долота до осі відрізних дисків  $C = 38$  см займають основний проміжок графіку, приймаємо їх за основу, а діапазон відстані від долота до осі відрізних дисків  $C = 50-62$  см – потребує додаткових досліджень.

Графік (рис. 4.55) впливу витрати палива від взаємної зміни відстані від долота до осі переднього диска  $L$  та відстані від глибокорозпушувача від осі відрізних дисків  $C$ , тобто фактична зміна відстані від осі переднього диска до осі відрізних дисків, показує, що збільшення відстані від стійки глибокорозпушувача, яка є центром ваги, до осі переднього диска, повинне супроводжуватись зменшенням відстані від осі відрізних дисків і навпаки.

Витрата палива показує, що значення відстані від глибокорозпушувача до осі переднього диска  $L = 55$  см змінюється майже рівномірно із перехрещенням ліній  $C = 45-55$  см. Найменше значення витрати палива спостерігається при відстані від глибокорозпушувача до осі відрізних дисків  $C = 38$  см.

При взаємній зміні відстані дисків по відношенню до глибокорозпушувача змінюється вплив на кут відхилення від горизонту секції агрегату для смугового обробітку ґрунту. При збільшенні відстані від глибокорозпушувача до осі відрізних дисків  $C$  збільшується плече і відповідно момент виштовхуваної сили, що переносить вагу секції на передній диск, змушуючи долото змінювати кут нахилу заглиблювальної сили, тобто заглиблюватися і збільшувати опір ґрунту відповідно, а передній диск сильніше вдавлюється в зруйнований ґрунт. При зменшенні відстані від глибокорозпушувача до осі відрізних дисків  $C$  повинна збільшуватися відстань від глибокорозпушувача до осі переднього диска  $L$ , оскільки вплив моменту переднього диска на виштовхування змінюючи траєкторію руху глибокорозпушувача.

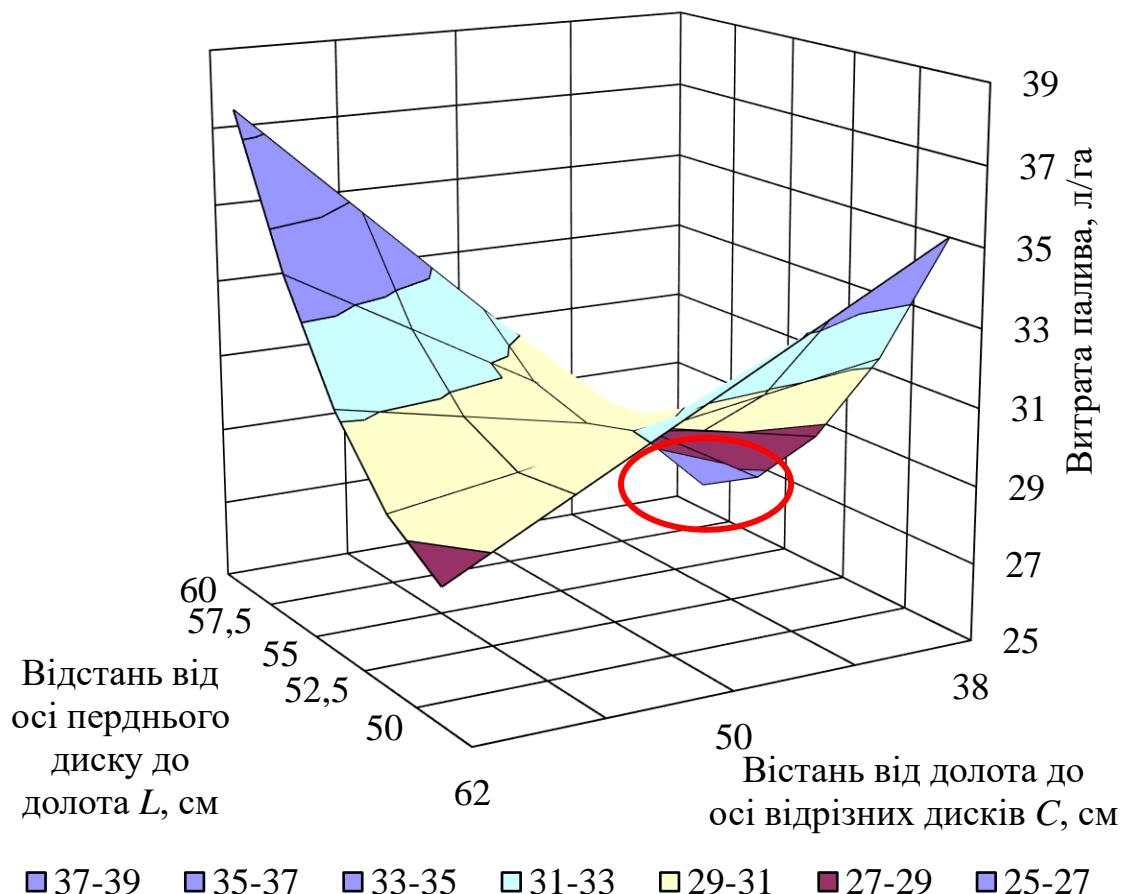


Рис. 4.55. Залежність витрати палива від відстані від глибокорозпушувача до осі переднього диска  $L$  та відстані від глибокорозпушувача до осі відрізних дисків  $C$  при глибині обробітку глибокорозпушувачем  $H = 20$  см

Передній диск рухається безпосередньо по стерні перед глибокорозпушувачем, а відрізні диски частково рухаються зруйнованою структурою стерні із зменшеною твердістю та структурністю, а частковообробленою частиною смуги. Відрізним дискам необхідно долати масу ґрунту, що залишається на поверхні ґрунту, збільшуючи опір перекочування, а опір стерні зменшується, бо ґрунт вже зруйнований і тому відстань до долота до осі відрізних дисків повинна бути більшою. Отже, відстань від глибокорозпушувача до осі відрізних дисків має забезпечити відрізання частини стерні до того, як вона відділиться від основного шару ґрунту, що забезпечить відповідний опір диска та спрямує ґрунт до борозни за глибокорозпушувачем.

Збільшення значення (рис 4.56) узагальненого показника із збільшенням глибини обробітку глибокорозпушувачем при відстані від глибокорозпушувача до осі відрізних дисків  $C = 50$  см показує, що оптимальна відстань від глибокорозпушувача до осі переднього диска  $L = 55$  см.

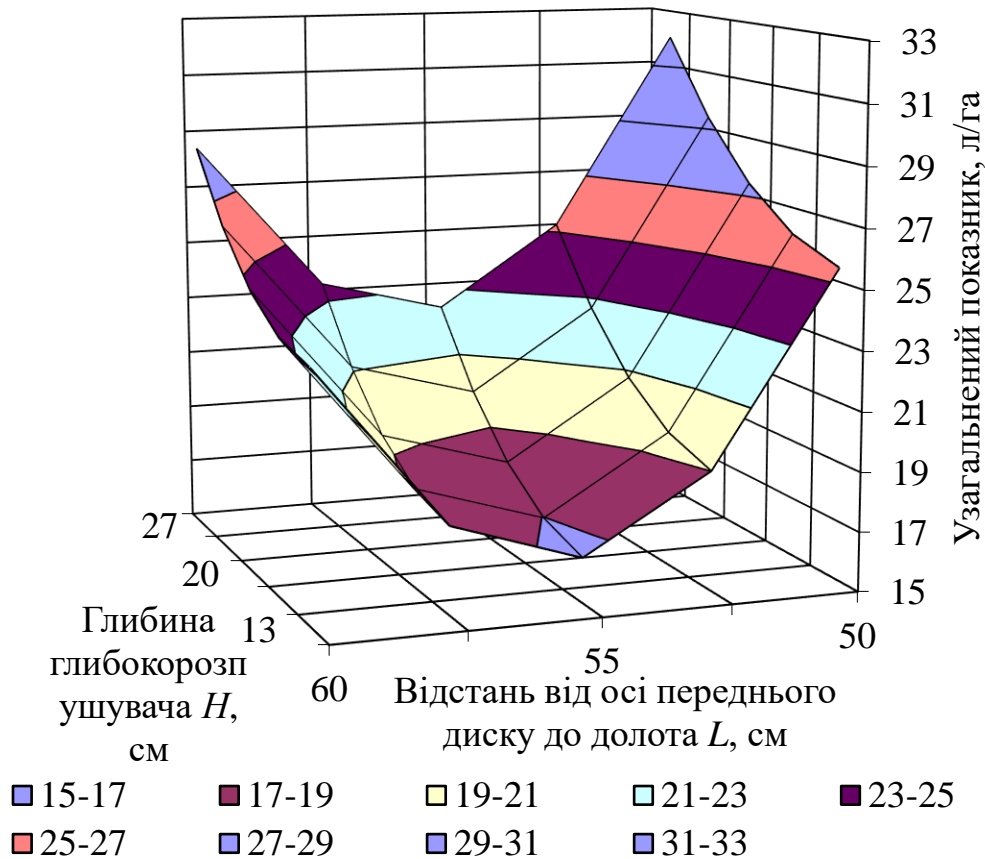


Рис. 4.56. Залежність узагальненого показника від глибини обробітку глибокорозпушувачем  $H$  та від відстані від глибокорозпушувача до осі переднього диска  $L$  при відстані від глибокорозпушувача до осі відрізних дисків  $C = 50$  см

Значення (рис. 4.57, 4.58) узагальненого показника засвідчують, що із збільшенням глибини обробітку глибокорозпушувачем  $H$  до 27 см при відстані від глибокорозпушувача до осі переднього диска  $L = 55$  см оптимальним (найменшим) значенням відстані від глибокорозпушувача до осі відрізних дисків  $C = 44$  см. При глибині обробітку глибокорозпушувачем  $H = 20$  см відстань від глибокорозпушувача до осі відрізних дисків  $C = 38$  см.

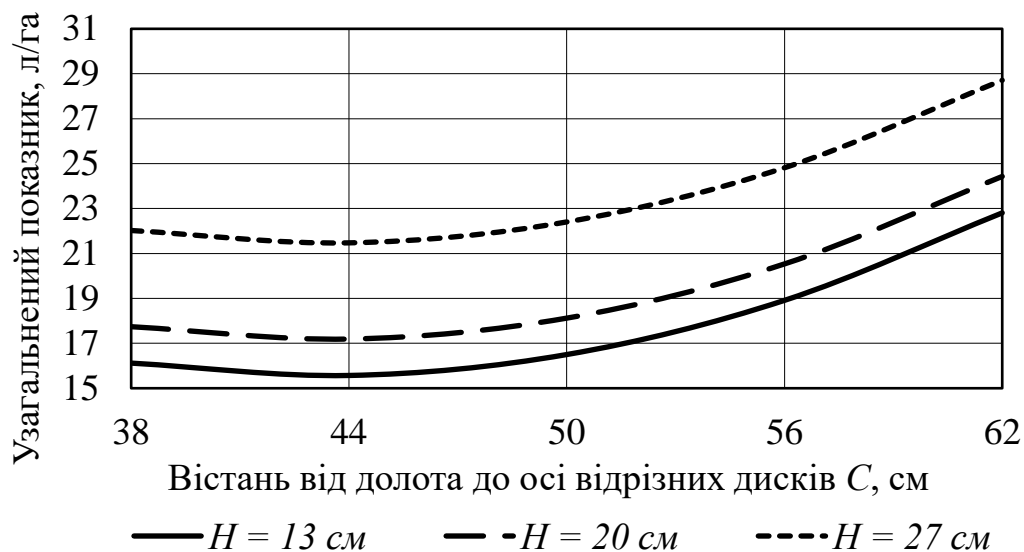


Рис. 4.57. Залежність узагальненого показника від відстані від глибокорозпушувача до осі відрізних дисків  $C$  при відстані від глибокорозпушувача до осі переднього диска  $L = 55$  см

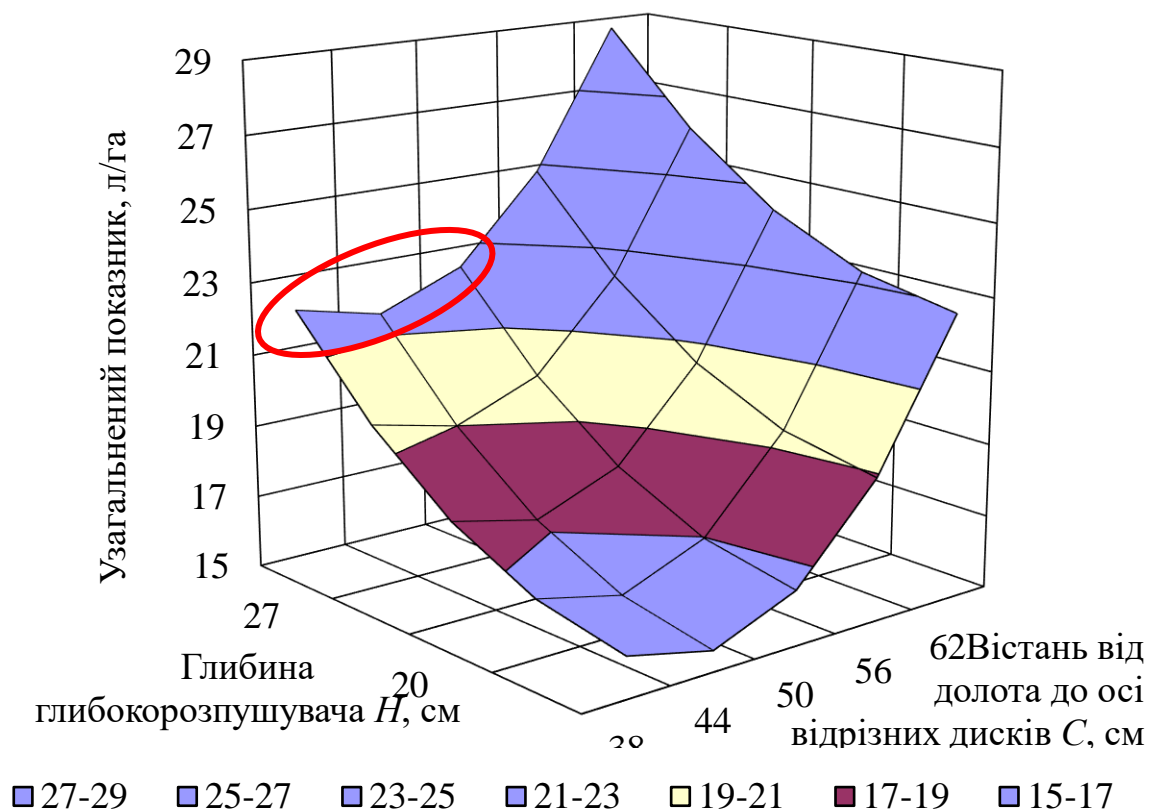


Рис. 4.58. Залежність узагальненого показника від глибини обробітку глибокорозпушувачем  $H$  та відстані від глибокорозпушувача до осі відрізних дисків  $C$  при відстані від глибокорозпушувача до осі переднього диска  $L = 55$  см

Значення залежності (рис. 4.59) узагальненого свідчать показують, що при глибині обробітку глибокорозпушувачем  $H = 20$  см оптимальні значення відстані від глибокорозпушувача до осі переднього диска  $L = 55$  см та відстані від глибокорозпушувача до осі відрізних дисків  $C = 38$ –44 см. Оскільки при теоретичних розрахунках та конструюванні дослідного зразка секції для смугового обробітку ґрунту отримано значення відстані від глибокорозпушувача до осі відрізних дисків  $C = 38$  см, то і приймаємо це значення за основу.

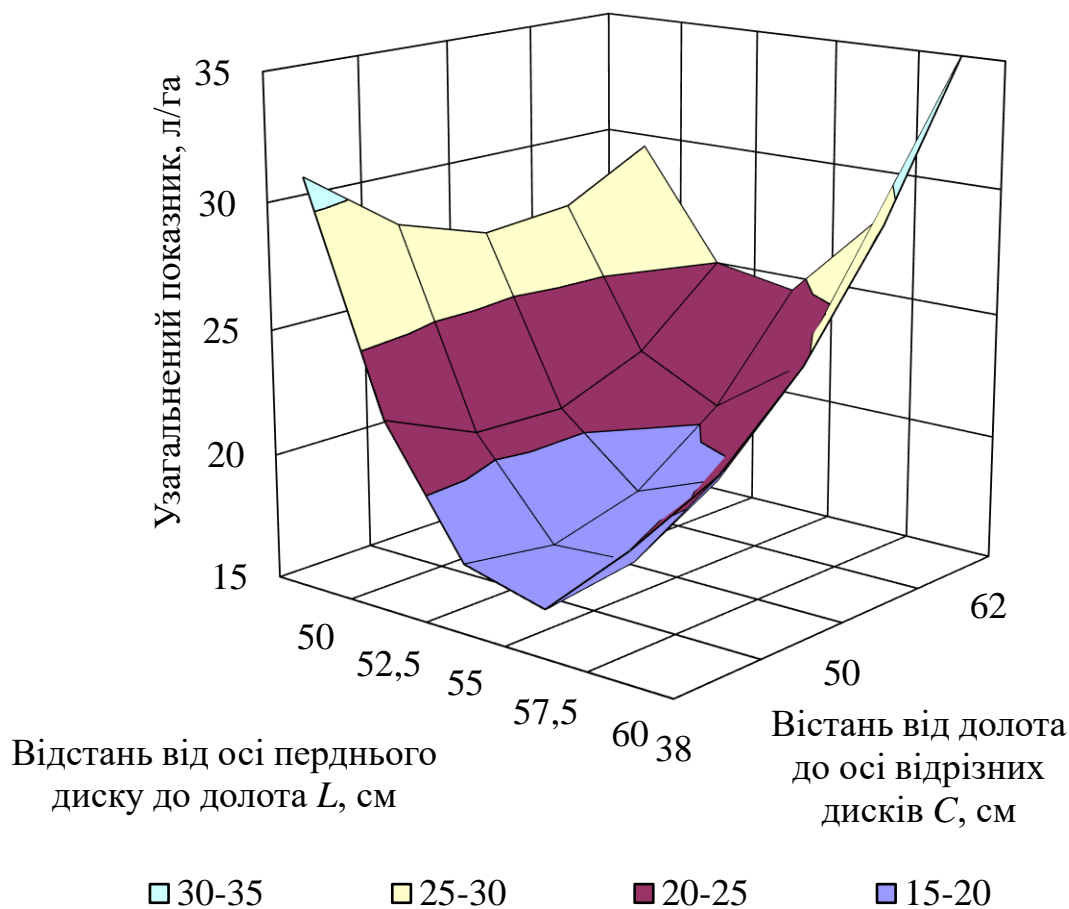


Рис. 4.59. Залежність узагальненого показника від відстані від долота до осі переднього диска  $L$  та відстані від долота до осі відрізних дисків  $C$  при глибині обробітку глибокорозпушувачем  $H = 20$  см

**Висновки.** За результатами досліджень встановлено, що найкращі якісно-енергетичні показники роботи секції агрегату для смугового обробітку ґрунту досягаються встановленням глибини обробітку глибокорозпушувачем  $H = 27$  см,



відстані від глибокорозпушувача до осі переднього диска становить  $L = 55$  см та відстані від глибокорозпушувача до осі відрізних дисків  $C = 38$  см.

#### 4.5. Залежність розрахункового та експериментального тягового опору та витрат палива

Розрахунок відхилення між розрахунковими та експериментальними значеннями витрат палива при роботі секції агрегату для смугового обробітку ґрунту за індексом детермінації показали (рис. 4.60), що індекс детермінації значень експериментальної та розрахункової залежностей витрат палива від глибини обробітку ґрунту глибокорозпушувачем становить  $\eta_2 = 0,91$  відн. од., що свідчить про можливість використання отриманої розрахункової залежності для моделювання тягового опору та витрат палива агрегатами для смугового обробітку ґрунту в залежності від глибини обробітку ґрунту глибокорозпушувачем, а також заглиблення переднього та відрізних дисків.

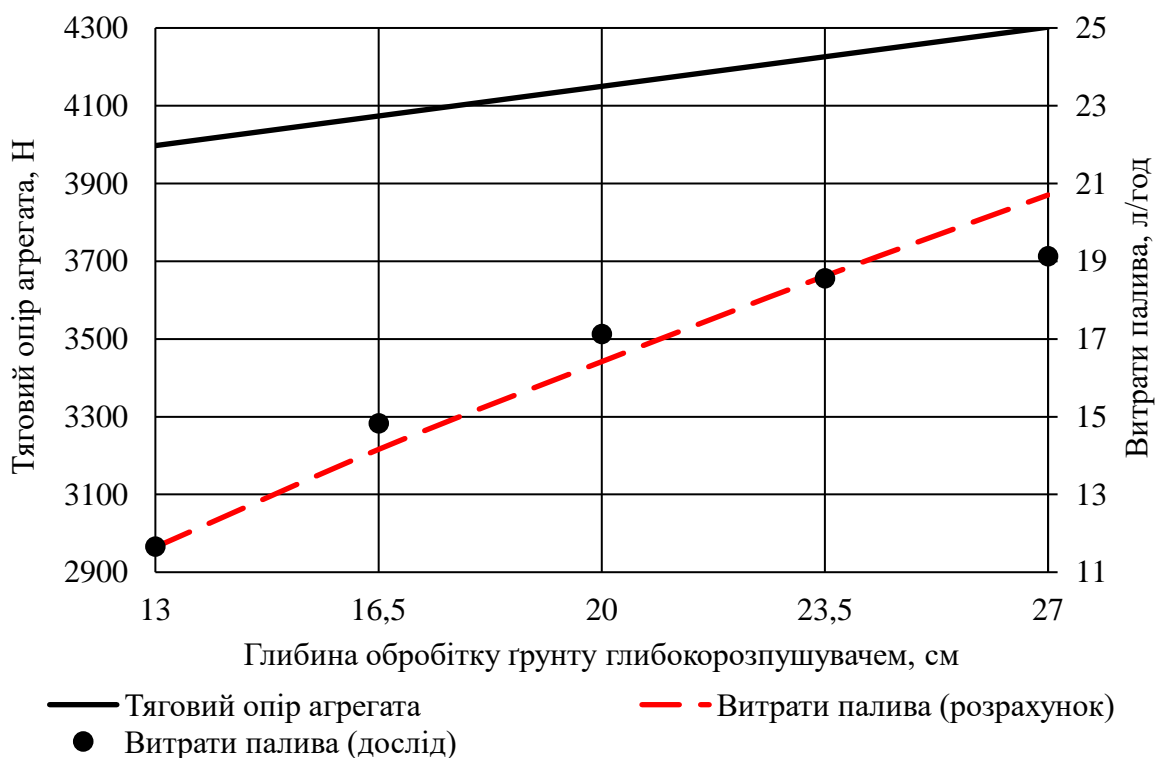


Рис. 4.60. Залежність розрахункового тягового опору та витрат палива від глибини обробітку ґрунту глибокорозпушувачем  $H$  при відстані від

глибокорозпушувача до осі переднього диска  $L = 55$  см, відстані від глибокорозпушувача до осі відрізних дисків  $C = 38$  см та відстані між відрізними дисками  $B = 30$  см

#### Висновки за розділом 4

Експериментально встановлено залежності, які пов'язують глибину обробітку ґрунту глибокорозпушувачем, відстань від глибоко-розпушувача до осі переднього диска, відстань між відрізними дисками, відстань від глибокорозпушувача до осі відрізних дисків та заглиблення відрізних дисків агрегату для смугового обробітку ґрунту з показниками поперечної нерівності й грудкуватості обробленої смужки ґрунту, а також витратами палива агрегатом для смугового обробітку ґрунту.

Проведено попередні дослідження впливу на агротехнічні показники якості конструкційно-технологічних параметрів взаємного розміщення робочих органів секції агрегату для смугового обробітку ґрунту при трьох швидкостях руху машино-тракторного агрегату  $V$ , км/год ( $V_1 = 4$  км/год,  $V_2 = 7,5$  км/год,  $V_3 = 11$  км/год), відстані від глибокорозпушувача до осі переднього диска  $L = 50$  см, відстані від глибокорозпушувача до осі відрізних дисків  $C = 38$  см, які показали, що заглиблення відрізних дисків  $h = 4$  см та відстань між відрізними дисками  $B = 50$  см є параметрами недоцільними до використання в секціях агрегатів для смугового обробітку ґрунту. Значення заглиблення відрізних дисків повинно становити  $h = 16$  см.

Досліджено вплив глибини обробітку глибокорозпушувачем  $H$ , відстані між відрізними дисками  $B$  та швидкості руху  $V$  на якісно-енергетичні показники обробленої смуги. Встановлено, що для руйнування плужної підшви, сформованої при використанні плугів та дискових борін, необхідно встановлювати глибину глибокорозпушувача  $H = 20-27$  см при швидкості руху  $V = 8-9,5$  км/год. Оптимальна відстань між відрізними дисками  $B = 25-35$  см, а відстань  $B = 10$  см є не придатна до використання.

Досліджено вплив глибини обробітку глибокорозпушувачем ( $H$ ), відстані між відрізними дисками ( $B$ ) та відстані від глибокорозпушувача до осі відрізнних дисків ( $C$ ) на якісно-енергетичні показники обробленої смуги. Встановлено, що секція агрегату для смугового обробітку ґрунту при глибині обробітку глибокорозпушувачем  $H$  більше 23 см повинна мати відстань між відрізними дисками  $B = 30$  при відстані від глибокорозпушувача до осі відрізнних дисків  $C = 38-50$  см. Досліджено вплив глибини обробітку глибокорозпушувачем ( $H$ ), відстані від глибокорозпушувача до осі переднього диска ( $L$ ) та відстані від глибокорозпушувача до осі відрізнних дисків ( $C$ ) на якісно-енергетичні показники обробленої смуги. Встановлено, що при глибині обробітку глибокорозпушувачем  $H = 27$  см відстань від глибокорозпушувача до осі переднього диска повинна становити  $L = 55$  см, а відстань від глибокорозпушувача до осі відрізнних дисків  $C = 38$  см.

Таблиця 4.4

**Значення параметрів взаємного розміщення робочих органів секції агрегату для смугового обробітку ґрунту**

Параметр	Теоретичний	Експериментальний
Швидкість руху машино-тракторного агрегату, $V$ , км/год	9	8-9,5
Глибина обробітку глибокорозпушувачем, $H$ , см	27	27
Відстань від глибокорозпушувача до осі переднього диска, $L$ , см	55	55
Відстань між відрізними дисками, $B$ , см	32	30
Відстань від глибокорозпушувача до осі відрізнних дисків, $C$ , см	38	38
Заглиблення відрізнних дисків, $h$ , см	16	16

Основні результати четвертого розділу дисертаційної роботи були опубліковані в таких наукових працях здобувача зі списку [4, 5, 6, 7, 8]

## **РОЗДІЛ 5. ВПРОВАДЖЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ЗАСТОСУВАННЯ СЕКЦІЇ АГРЕГАТУ ДЛЯ СМУГОВОГО ОБРОБІТКУ ҐРУНТУ**

### **5.1. Впровадження результатів досліджень секції агрегату для смугового обробітку ґрунту**

Для підвищення ефективності застосування агрегата для смугового обробітку ґрунту шляхом удосконалення параметрів взаємного розміщення робочих органів встановлено взаємозв'язок між конструктивно-технологічними параметрами робочих органів агрегата та показниками ефективності смугового обробітку ґрунту. Розроблено і отримано патент на винахід №116501 «Секція агрегату для смугового обробітку ґрунту» та на корисну модель №96064 «Агрегат для смугового передпосівного обробітку ґрунту» [47, 48, 57].

На основі огляду та аналізу існуючих агрегатів розроблено та передано на виробництво 3D-проект агрегата для смугового обробітку ґрунту. У даному проекті враховані ґрунтово-кліматичні умови роботи українських виробників та їх купівельна спроможність. На рисунку 5.1.приведено аксонометричну модель секції агрегата для смугового обробітку ґрунту. Пропонується виконати компоновання агрегата у начіпному варіанті (рис. 5.2) з восьми секціями, розміщених із міжряддям 70 см. Розроблено комплект конструкторської документації на виготовлення секції агрегату для смугового обробітку ґрунту із розміщенням на рамі навісного використання, який передано в АТ "Ельворті" м. Кропивницький для використання при виготовленні під замовлення сільськогосподарських підприємств та фермерських господарств.

Результати досліджень впроваджено в навчальний процес Національного університету біоресурсів і природокористування України та Відокремленого структурного підрозділу «Ніжинський фаховий коледж Національного університету біоресурсів і природокористування України».

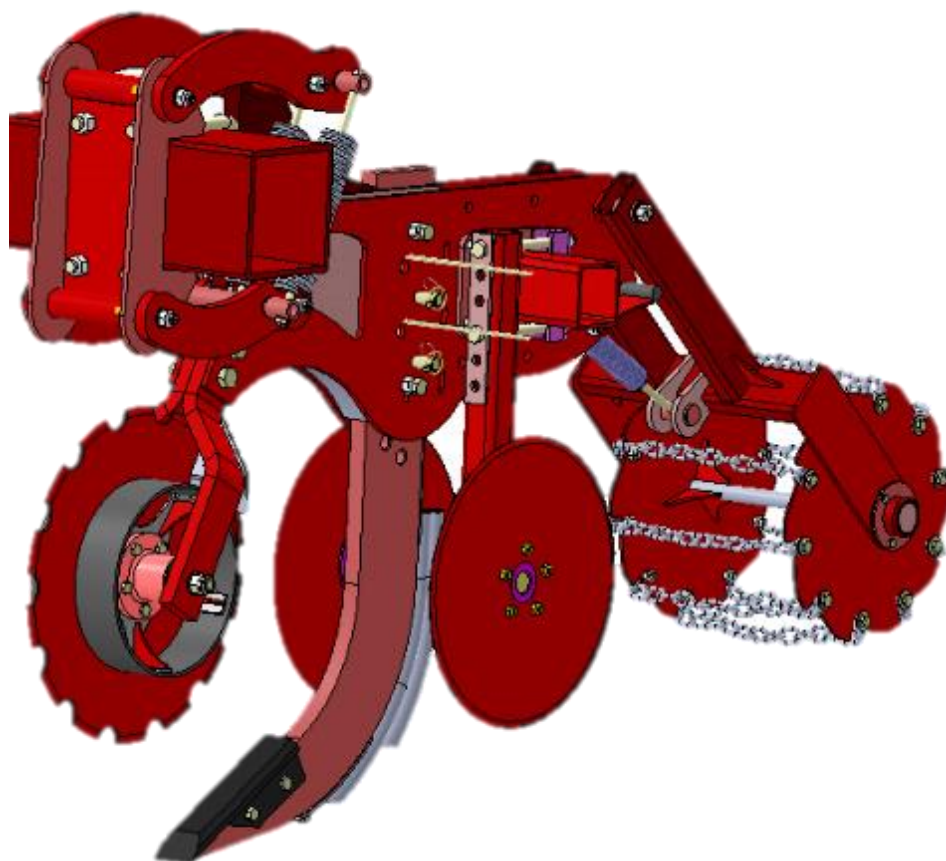


Рис. 5.1. Секція агрегата для смугового обробітку ґрунту

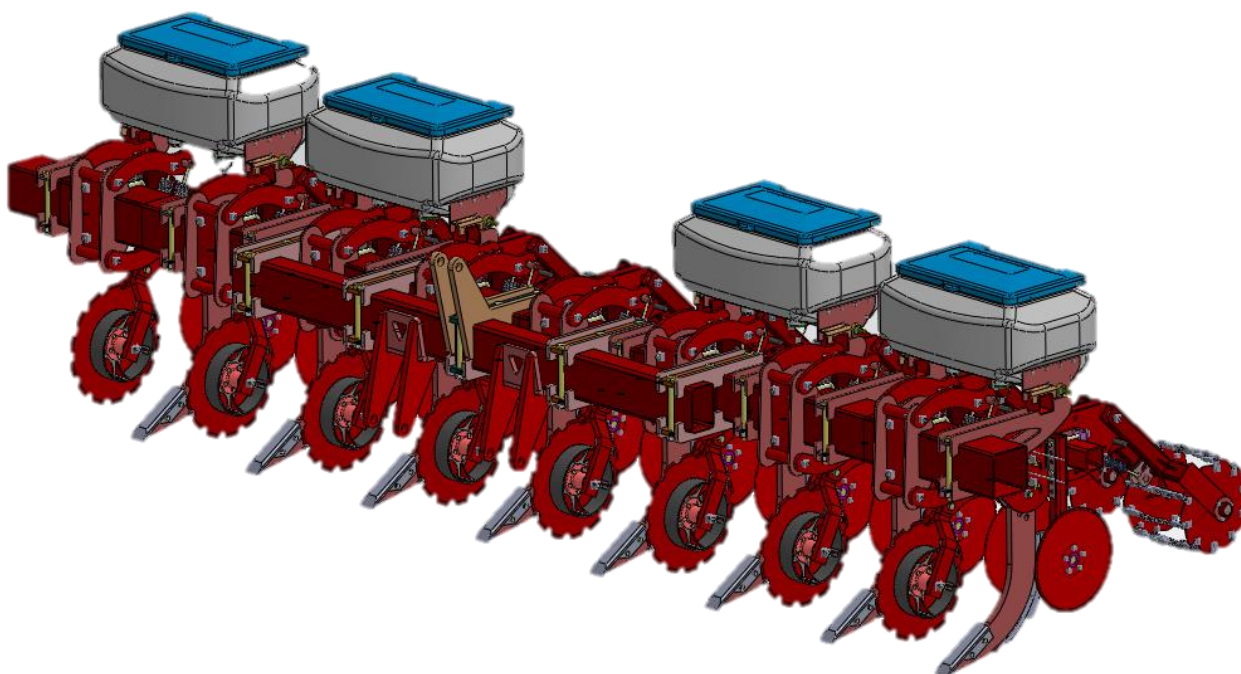


Рис. 5.2. Навісна система розміщення агрегата для смугового обробітку ґрунту

## 5.2. Економічна ефективність використання секції агрегату для смугового обробітку ґрунту

Оцінка економічної ефективності запропонованої секції агрегату для смугового обробітку ґрунту проведена за результатами експлуатаційно-технологічного дослідження їх параметрів згідно з ГОСТ 24055-88, ГОСТ 24057-88, ГОСТ 24059-88 та ДСТУ 4397: 2005 та чинними нормативними документами, що відображають надійність машин, якість їх роботи, безпечність та умови праці [59].

Прототипом для порівняння обрано агрегат для смугового обробітку ґрунту 1tRIPr компанії OrthMan [1]. Параметри прототипу: глибина обробітку глибокорозпушувача  $H = 27$  см, відстань від осі переднього диска до глибокорозпушувача  $L = 50$  см, відстань від глибокорозпушувача до осі відрізних дисків  $C = 50$  см, відстань між відрізними дисками  $B = 30$  см, заглиблення відрізних дисків  $h = 16$  см. Розрахункова витрата палива становить 10 л/га.

Критерієм оптимізації секції агрегату для смугового обробітку ґрунту є фактична витрата палива на гектар з врахуванням узагальненого показника якості, який при більших значеннях характеризує обробіток смуги як незадовільний і потребує додаткових операцій обробітку ґрунту і з додатковою витратою палива.

Для розрахунку критерію оптимізації приймаємо оптимально досліджені параметри секції агрегату для смугового обробітку ґрунту при глибині обробітку глибокорозпушувача  $H = 27$  см, відстань від осі переднього диска до глибокорозпушувача  $L = 55$  см, відстані від глибокорозпушувача до осі відрізних дисків  $C = 38$  см, відстанню між відрізними дисками  $B = 30$  см, заглиблення відрізних дисків  $h = 16$  см.

Відповідно до графіка (рис. 4. 59 годинна витрата палива на виконання смугового обробітку при глибині обробітку глибокорозпушувачем  $H = 27$  см становить 19 л/год, що при швидкості 9 км/год і ширині міжрядь 70 см становить 7,8 л/га. Різниця між прототипом і пропонованим варіантом при виконанні смугового обробітку становить 2,2 л/га, що при оптовій вартості ДП 19 грн/л, на

41,8 грн/га рентабельніше. За умови однакової вартості секції агрегату для смугового обробітку ґрунту 41 800 грн. при прогнозованому завантаженні агрегату для смугового обробітку ґрунту 1 тис. га/рік, за рахунок зменшення витрати палива термін окупності однієї секції буде становити 1 рік у порівнянні з базовим варіантом. Економічні показники використання секції агрегату для смугового обробітку ґрунту з дослідженими параметрами взаємного розміщення робочих органів приведені в таблиці 5.1.

Для порівняння ефективності використання технології смугового обробітку із традиційною технологією (оранкою) проведено дослідження в ПП «Іскра» з використанням відповідного набору машин (табл. 5.2), що використовуються в господарстві із затвердженими нормами витрати палива та оплати праці [102].

Таблиця 5.1

**Економічні показники використання секції агрегату  
для смугового обробітку ґрунту**

Параметр	Базовий варіант	Пропонований варіант
Швидкість руху машино-тракторного агрегату $V$ , км/год	8-9,5	
Глибина обробітку глибокорозпушувачем $H$ , см	27	
Відстань від глибокорозпушувача до осі переднього диска $L$ , см	50	55
Відстань між відрізними дисками $B$ , см	30	
Відстань від глибокорозпушувача до осі відрізнних дисків $C$ , см	50	38
Заглиблення відрізнних дисків, $h$ , см	16	
Фактична витрата палива, л/га	10	7,8
Вартість секції, грн	41 800	41 800

Основна технологія: розкидання добрив МТЗ-82+МВУ-5, оранка Т-40+ПЛН-2-35, передпосівна культивування МТЗ-82 + КПС-4. Для виконання технології смугового обробітку: нарізання смуг Т-40 + секція агрегату для смугового обробітку, внесення добрив в смуги МТЗ-82 + КРН-4,2.

**Визначення економічної ефективності використання технології смугового  
обробітку ґрунту**

Економічний показник	Основна технологія	Технологія смугового обробітку
Витрати на оплату праці, грн/га	28	22
Витрати на ПММ (при вартості ДП 19 грн/л), грн/га	293,26	204,4
Сумарні витрати, грн/га	321,26	226,4
Різниця витрат, грн/га	94,86	
Урожайність кукурудзи на зерно, ц/га	83,2	86,6
Різниця урожайності, ц/га	3,4	
Додатковий прибуток (при вартості кукурудзи 3850 грн/т), грн/га	1309	
Додаткова економічна ефективність, грн/га	1403,86	

Приведені витрати на виконання основного та передпосівного обробітку ґрунту та внесення добрив без врахування амортизаційних відрахувань та відрахувань на технічне обслуговування. Технологічні операції посіву, догляду за посівами та збирання були однаковими для традиційної та пропонованої технології.

Дослідженнями, проведеними в ПП «Іскра», отримано додаткову економічну ефективність 1403,86 грн/га від використання технології смугового обробітку ґрунту при вирощуванні кукурудзи на зерно, у порівнянні з типовою технологією (оранкою).

### **Висновки за розділом 5**

Приведено результати розроблення комплексу конструкторської документації на виготовлення секції агрегату для смугового обробітку ґрунту із розміщенням на рамі навісного використання, який передано в АТ "Ельворті" (м. Кропивницький) для використання при виготовленні під замовлення аграрних підприємств та фермерських господарств. Економічна ефективність використання



агрегату для смугового обробітку ґрунту показала, що розроблений агрегат забезпечує зменшення витрат палива на 2,2 л/га, що у перерахунку на грошові кошти становить 41,8 грн/га, у порівнянні із базовим варіантом – ORTHMAN 1tRIPr. При прогнозованому завантаженні агрегату для смугового обробітку ґрунту 1 тис. га/рік, термін окупності однієї секції буде становити 1 рік, у порівнянні з базовим варіантом, за умови однакової вартості секції агрегату для смугового обробітку ґрунту 41 800 грн. Дослідженнями, проведеними в ПП «Іскра», отримано додаткову економічну ефективність 1403,86 грн/га від використання технології смугового обробітку ґрунту при вирощуванні кукурудзи на зерно, у порівнянні з типовою технологією (оранкою).

Основні результати п'ятого розділу дисертаційної роботи були опубліковані в таких наукових працях здобувача зі списку [10, 11, 13]

## ВИСНОВКИ

У дисертації наведено дослідження щодо підвищення ефективності застосування агрегатів для смугового обробітку ґрунту шляхом обґрунтування конструкційно-технологічних параметрів взаємного розміщення робочих органів на секції.

1. Технологія смугового обробітку застосовується при вирощуванні польових культур і з часом може стати основною технологією обробітку ґрунту для культур широкорядного та здвоєного посіву. Проаналізувавши тенденції розвитку агрегатів для смугового обробітку ґрунту, було розроблено узагальнену схему компоновки секції агрегату для смугового обробітку ґрунту, визначено типи, роль і конструкційні параметри складових робочих органів, а також, на основі існуючих вимог до передпосівного обробітку ґрунту, запропоновано агротехнічні вимоги до роботи агрегатів для смугового обробітку ґрунту.

2. Для умов роботи секції агрегату для смугового обробітку та на основі використання раціональної формули В. П. Горячкіна із уточненим значенням сили тертя отримано залежність для визначення тягового опору агрегату для смугового обробітку ґрунту та витрат палива в залежності від глибини обробітку ґрунту глибокорозпушувачем, а також заглиблення переднього та відрізних дисків. Отримані залежності дозволяють із індексом детермінації на рівні  $\eta^2 = 0,91$  відн. од. визначати витрати палива в залежності від глибини обробітку ґрунту глибокорозпушувачем, а також заглиблення переднього та відрізних дисків.

3. Удосконалено методику оцінки ефективності смугового обробітку для встановлення відповідності впливу взаємного розміщення робочих органів на стан обробленої смуги і забезпечення оперативного налагодження агрегату й усунення недоліків. Запропоновано узагальнений показник, який із урахуванням вагомості показника поперечної нерівності поверхні обробленої смуги на рівні  $\beta_B = 0,4$  відн. од. та вагомості показника грудкуватості поверхні обробленої смуги на  $\gamma_N = 0,19$  відн. од., визначає відносне відхилення значень поперечної нерівності поверхні обробленої смуги та грудкуватості поверхні обробленої смуги від максимально

допустимого технологічно заданого значення поперечної нерівності поверхні обробленої смуги на рівні  $B_{T3max} = 15\%$  та максимально допустимого значення грудкуватості поверхні обробленої смуги на рівні  $N_{T3}^{max} = 10\%$ , забезпечуючи об'єктивність оцінки ефективності обробітку ґрунту.

4. Експериментально встановлено залежності, які пов'язують глибину обробітку ґрунту глибокорозпушувачем, відстань від глибокорозпушувача до осі переднього диска, відстань між відрізними дисками, відстань від глибокорозпушувача до осі відрізнних дисків та заглиблення відрізнних дисків агрегату для смугового обробітку ґрунту з показниками поперечної нерівності й грудкуватості обробленої смужки ґрунту, а також витратами палива агрегатом для смугового обробітку ґрунту. Дослідження впливу на агротехнічні показники якості обробітку ґрунту параметрів взаємного розміщення робочих органів секції агрегату для смугового обробітку ґрунту при трьох швидкостях руху машино-тракторного агрегату  $V, \text{км/год}$  ( $V_1=4\text{км/год}$ ,  $V_2=7,5\text{ км/год}$ ,  $V_3=11\text{км/год}$ ), відстані від глибокорозпушувача до осі переднього диска  $L=50\text{см}$ , відстані від глибокорозпушувача до осі відрізнних дисків  $C=38\text{см}$  показали, що заглиблення відрізнних дисків повинно становити  $h=16\text{см}$ . Дослідження впливу глибини обробітку глибокорозпушувачем  $H$ , відстані між відрізними дисками  $B$  та швидкості руху агрегату,  $V$  на якісно-енергетичні показники обробленої смуги які показали, що для руйнування плужної підшви сформованої при використанні плугів та дискових борін, необхідно встановлювати глибину глибокорозпушувача  $H=20-27\text{см}$  при швидкості руху агрегату  $V=8-9,5\text{км/год}$  та відстані між відрізними дисками  $B=25-35\text{см}$ . Дослідження впливу глибини обробітку ґрунту глибокорозпушувачем ( $H$ ), відстані між відрізними дисками ( $B$ ) та відстані від глибокорозпушувача до осі відрізнних дисків ( $C$ ) на якісно-енергетичні показники обробленої смуги показали, що секція агрегату для смугового обробітку ґрунту при глибині обробітку глибокорозпушувачем  $H$  більше  $23\text{см}$  повинна мати відстань між відрізними дисками  $B=30\text{см}$  при відстані від глибокорозпушувача до осі відрізнних дисків  $C=38-50\text{см}$ . Дослідження впливу глибини обробітку глибокорозпушувачем ( $H$ ), відстані від глибокорозпушувача до осі переднього диска ( $L$ ) та відстані від

глибокорозпушувача до осі відрізних дисків ( $C$ ) на якісно-енергетичні показники обробленої смуги показали, що при глибині обробітку глибокорозпушувачем  $H=27$  см, відстань від глибокорозпушувача до осі переднього диска становить  $L=55$  см, а відстань від глибокорозпушувача до осі відрізних дисків  $C=38$  см. Отже, параметри взаємного розміщення робочих органів секції агрегату для смугового обробітку ґрунту повинні бути наступними: глибина обробітку ґрунту глибокорозпушувачем  $H=30$  см, відстань від осі переднього диска до глибокорозпушувача  $L=55$  см, відстань від глибокорозпушувача до осі відрізних дисків  $C=38$  см, відстань між відрізними дисками  $B=30$  см, заглиблення відрізних дисків  $h=16$  см, що забезпечить поперечну нерівність до 15 % та грудкуватість до 10 %.

5. Економічна ефективність використання агрегату для смугового обробітку ґрунту показала, що розроблений агрегат забезпечує зменшення витрат палива на 2,2 л/га, що у перерахунку на грошові кошти становить 41,8 грн/га, у порівнянні із базовим варіантом – 1tRIPr OrthMan. При прогнозованому завантаженні агрегату для смугового обробітку ґрунту 1 тис. га/рік, термін окупності однієї секції буде становити 1 рік у порівнянні з базовим варіантом, за умови однакової вартості секції агрегату для смугового обробітку ґрунту 41 800 грн. Дослідженнями, проведеними у ПП «Іскра», отримано додаткову економічну ефективність 1403,86 грн/га від використання технології смугового обробітку ґрунту при вирощуванні кукурудзи на зерно у порівнянні з типовою технологією (оранкою).

6. Розроблений комплект конструкторської документації на виготовлення агрегату для смугового обробітку ґрунту із розміщенням на рамі навісного використання передано в АТ "Ельворті" (м. Кропивницький) для використання при виготовленні агрегатів для смугового обробітку ґрунту на замовлення аграрних підприємств та фермерських господарств.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. 1tRIPr OrthMan Agricultural. Operator's Manual. 125-000-01. 78 p.
2. Adee, Eric; Hansel, Fernando D. Corn Response as Affected by Planting Distance from the Center of Strip Till Fertilized Rows. *Frontiers in plant science*. Vol.: 7. №: 1232. 18.08. 2016.
3. Al-Kaisi, Mahdi M. Soybean Spatiotemporal Yield and Economic Variability as Affected by Tillage and Crop Rotation. *Agronomy journal*. 2016. Vol. 108. P. 267-280.
4. Cárcer P., Sinaj S., Fossati D. 2019. Long-term effects of crop succession, soil tillage and climate on wheat yield and soil Soil and Tillage Research. T. 190. P. 209–219.
5. Celik, A. Strip tillage width effects on sunflower seed emergence and yield. *Soil and Tillage Research*. 2013. Vol. 131. P. 20–27. doi: 10.1016/j.still.2013.03.004.
6. Dinku M. Endale, Thomas L. Potter, Timothy C. Strickland, David D. Bosch. 2017. Sediment-bound total organic carbon and total organic nitrogen losses from conventional and strip tillage cropping systems. *Soil and Tillage Research*. T. 171. P. 25–34.
7. Europe: A MZURI Pro-Till Hybrid Machine. Case Study. *Agronomy* 2020, 10, 925; doi:10.3390/agronomy10070925. P.2-18.
8. Foley K. M., Shock C. C., Norberg O. S., Welch T. K.: 2012. Making Strip Tillage Work for You: A Grower's Guide, Oregon State University, Department of Crop and Soil Science Ext. CrS 140.
9. G. Golub, A. Dvornyk. Research of indicators of strip tillage. 2020. *TEKA. Quarterly journal of agri-food industry*. 2020. Vol. 20. No. 2, 83-90.
10. Hossain M., Gathala M. K., Tiwari T.P., Hossain M S. Strip Tillage Seeding Technique: A Better Option for Utilizing Residual Soil Moisture in Rainfed Moisture Stress Environments of North-West Bangladesh. *International Journal of Recent Development in Engineering and Technology*. Website: [www.ijrdet.com](http://www.ijrdet.com) (ISSN 2347 - 6435 (Online) V. 2, I. 4, April 2014). P.132-136.
11. Kudrynetskyi R., Dnes V., Skibchyk V. Methodical Principles of Modeling of Subject-Agrometeorological Events in Technological Processes Growing of Grain Crops. 2018. *TEKA. Quarterly journal of agri-food industry*. 2018. Vol. 18. No. 3, 129-139.

12. Laufera D., Loiblb B., Märländera B., Kocha Heinz-Josef. 2016. Soil erosion and surface runoff under strip tillage for sugar beet (*Betavulgaris* L.) in Central Europe. *Soil and Tillage Research*. Vol. 162. P. 1–7.
13. Lekavičienė K., Šarauskis E., Naujokienė V., Buragienė S., Kriauciūnienė Z. 2019. The effect of the strip tillage machine parameters on the traction force, diesel consumption and CO<sub>2</sub> emissions. *Soil and Tillage Research*. Vol. 192. P. 95–102.
14. Palm C., Gatere L., Blanco-Canqui H. 2014 Conservation agriculture and ecosystem services: an overview. *Agriculture, ecosystems and environment*. V. 187. P. 87–105.
15. Pöhlitz J., Rücknagel J., Koblenz B., Schlüter S., Vogelb Hans-Jörg, Olaf C.. Computed tomography and soil physical measurements of compaction behaviour under strip tillage, mulch tillage and no tillage *Soil and Tillage Research*. 2018. Vol. 175. P. 205–216. doi: 10.1016/j.still.2017.09.007.
16. Sarauskis E., Vaitauskiene K., Romaneckas K., Sakalauskas A., Jasinskas A., Butkus V., Karayel D., Kriauciuniene Z. Research in strip tillage machine row cleaner technology process. *Engineering for rural development*. 20.-22.05.2015. P.51-56.
17. Strip tillage soil conditioner apparatus and method; Priority 1993-07-13 to US08/090,371 US5499685A. p.6.
18. Strip-till seed bed preparation apparatus/ David C. Roggenbuck, Paul Roggenbuck, Vincent Roggenbuck. Priority 1992-05-01 to US07/877,216. CA2089705C.p.8.
19. Tim Charman W.C., Moxey A.P., Towers W. 2015. Mitigating arable soil compaction: A review and analysis of available cost and Benefit data *Soil and Tillage Research*. T. 146. P. 10–25.
20. Vaitauskienė K., Šarauskis E., Kęstutis Romaneckasb, Jasinskas A. 2017. Design, development and field evaluation of row-cleaners for strip tillage in conservation farming *Soil and Tillage Research*. Vol. 174. P. 139–146.
21. Yinyana S., Sunb X., Xiaochan W., Zhichaoa H., Newmanb D., Weimin D. 2019. Numerical simulation and field tests of minimum-tillage planter with straw smashing and strip laying based on EDEM software. *Computers and Electronics in*

Agriculture 166 (2019) 105021. P.1-9.

22. Zubko V., Onychko V., Hvorost T., Chuba V. Technology and economic assessing machines for rural farms at conduct of processing soil befor and sowing and sowing winter wheat. Motrol. 2013. Vol.15, No 3. P. 150-156.

23. Адлер Ю.П., Маркова Е.В., Грановский Ю.В. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий: научное издание. Науч. совет по комплексной проблеме “Кибернетика” АН СССР. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Наука, 1976. 279 с.

24. Александров Г.Я., Груздев В.В. Тракторы и автомобили. Раздел IV. Теория, основы расчета и анализ работы тракторов и автомобилей. 2-е изд., перераб. и доп. Москва, 1981. 61 с.

25. Анурьев В.И. Справочник конструктора машиностроителя: В 3-х т. 5-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1980. Т.1. 728 с.

26. Беляева О.Н. Система No-till и ее влияние на доступность азота почв и удобрений: обобщение опыта. Земледелие. 2013. № 7. С. 16–18.

27. Бутенин Н.В., Лунц Я.Л., Меркин Д.Р. Курс теоретической механики. Том 2. М.: Наука, 1985. 496 с.

28. Василенко П.М. Теория движения частицы по шероховатым поверхностям сельскохозяйственных машин. К.: УАСХН, 1960. 284 с.

29. Василенко П.М. Элементы математической обработки результатов экспериментальных исследований. М.: ВИМ, 1958. 57с.

30. Василенко П.М., Василенко В.П. Методика построения расчетных моделей функционирования механических систем (машин и агрегатов): уч. пособ. К.: изд. УСХА, 1980. 136 с.

31. Ветохін В.І. Системи та фізико-механічні основи проектування розпушувачів ґрунту: автореф. дис... д-ра техн. наук: 05.05.11 Глеваха, 2010. 40 с.

32. Войтюк Д.Г., Барановський В.М., Булгаков В.М. Сільськогосподарські машини. Основи теорії та розрахунку: підручник / за ред. Д.Г. Войтюка. К.: Вища освіта, 2005. 464 с.

33. Выгодский М.Я. Справочник по высшей математике. 4-е издание, стереопипное. М.: ГОСИЗДАТ, 1959. 783 с.
34. Гаврилов С. Проблема плужної підшви у ґрунті та шляхи її вирішення. Пропозиція. 2015. № 10 (243). С. 60–73.
35. Герман Вілфрід. Особливості застосування та переваги технології Strip Till. Агроном. 2011. № 4 (50). С. 70–73.
36. Голуб Г. А., Дворник А. В. Вплив конструкційно-технологічних параметрів агрегата для смугового обробітку ґрунту на грудкуватість. Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства України. 2020. Вип. 27 (41). С. 89–98.
37. Голуб Г. А., Дворник А. В. Вплив конструкційно-технологічних параметрів на якість смугового обробітку ґрунту. Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства України. 2019. Вип. 24 (38). С. 28–37.
38. Голуб Г. А., Дворник А. В. Вплив параметрів секції агрегату для смугового обробітку на поперечну нерівність ґрунту. Наукові горизонти. 2019. №5 (78). С. 40–50.
39. Голуб Г. А., Дворник А. В. Дослідження поперечної нерівності смугового обробітку ґрунту. Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research. 2019. Vol. 10. № 2. P. 23–31.
40. Голуб Г. А., Дворник А. В. Координатно-просторова оцінка інтенсивності передпосівного обробітку ґрунту. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: Техніка та енергетика АПК. 2014. Вип. 194, Ч. 1. С. 188–194.
41. Голуб Г. А., Дворник А. В. Тенденції розвитку агрегатів для смугового передпосівного обробітку ґрунту. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: Техніка та енергетика АПК. 2014. Вип. 196, Ч. 1. С. 48–55.
42. Голуб Г. А., Дворник А. В. Теоретичне обґрунтування заглиблення леза в ґрунт. Сучасні тенденції розвитку освіти, науки і виробництва: Міжнародна



науково-практична конференція педагогічних і науково-педагогічних працівників, науковців та молодих учених, м. Ніжин, 09–10 грудня 2015 року: тези доповіді. Ніжин. 2015. С. 101–103.

43. Голуб Г. А., Дворник А. В. Узагальнення досліджень по доцільності застосування технології смугового обробітку ґрунту. Екологічні науки. 2018. №1(20). Т. 1. С. 81–85.

44. Голуб Г., Дворник А. Обґрунтування показників якості та агрономічних вимог до смугового обробітку ґрунту. Наукові горизонти. 2018. № 12 (73). С. 37–44.

45. Голуб Г.А. Критерії оптимізації параметрів машин та обладнання. Вісник Львівського національного аграрного університету "Агроінженерні дослідження". 2008. № 12 (2). С. 17-24.

46. Голуб Г.А., Чуба В.В. Рівняння динаміки машино-тракторного агрегату при роботі на дизельному біопаливі. Сучасні проблеми збалансованого природокористування. Кам'янець-Подільський. 2013. С. 186-190.

47. Голуб Г. А., Аніскевич Л. В., Кухарець С. М., Дворник А. В., Кузнюк Д. В. Секція агрегату для смугового обробітку ґрунту. Патент України на винахід № 116501 Україна, МПК А01В 13/08; А01В 49/06; А01С 5/06; А01В 79/02. Заявник та патентовласник Національний університет біоресурсів і природокористування України. № а201612519; заявлено 09.12.2016; опубліковано 26.03.2018. Бюл. №6/2018.

48. Голуб Г. А., Дворник А. В. Агрегат для смугового передпосівного обробітку ґрунту. Патент України на корисну модель № 96064 Україна, МПК А01В 13/08; А01В 49/00; А01С 5/00. Заявник та патентовласник Національний університет біоресурсів і природокористування України. № u201409262; заявлено 19.08.2014; опубліковано 12.01.2015. Бюл. №1/2015.

49. Горячкин В.П. Собрание сочинений: в 3-х томах. 2-е ред. / за ред. Н.Д. Лучинского. М.: Колос. 1968.

50. ГОСТ 20915-75. Сельскохозяйственная техника. Методы определения условий испытания. М.: Издательство стандартов, 1975. 42 с.

51. Гречкосій В.Д., Войтюк В.Д., Шатров Р.В., Мельник І.І., Михайлович Я.М., Опалко В.Г. Проектування технологічних процесів у рослинництві: навч. пос.. Видавничий центр НУБіП України 2011. 364 с.: іл.
52. Гронау Ян Препимущества полосной обработки почвы (стрип тилл) в долгосрочной перспективе. URL: <https://www.striptillfarmer.com/articles/1431-digging-into-the-soil-health-benefits-of-long-term-strip-tilling>.
53. Гуков Я.С. Обробіток ґрунту. Технологія і техніка. Механіко-технологічне обґрунтування енергозберігаючих засобів для механізації обробітку ґрунту в умовах України. К.: Нора-прінт, 1999. 280 с.
54. Гольдбергер Р. Strip–till на ріпаку. Підбиття підсумків. Agroexpert. 2013. № 9. С. 28–31.
55. Дворник А. В. Обґрунтування форми дискового робочого органу для смугового обробітку ґрунту. Сучасні тенденції розвитку освіти, науки і виробництва: Міжнародна науково-практична конференція педагогічних і науково-педагогічних працівників, науковців та молодих учених, м. Ніжин, 09–10 грудня 2015 року: тези доповіді. Ніжин. 2015. С. 108–110.
56. Дворник А. В. Перспективи розвитку точкового обробітку ґрунту. Технічний прогрес у сільськогосподарському виробництві: XXII Міжнародна науково-технічна конференція та IX Всеукраїнська конференція-семінар аспірантів, докторантів та здобувачів в галузі аграрної інженерії, смт. Глеваха, 21–23 травня 2014 року: тези доповіді. Глеваха. 2014. С. 56–57.
57. Дворник А. В., Голуб Г. А. Агрегат для смугового передпосівного обробітку ґрунту. Актуальні проблеми про життя та природокористування: III Міжнародна науково-практична конференція молодих вчених, м. Київ, 28–31 жовтня 2015 року: тези доповіді. К., 2015. С. 302–303.
58. Дідур В.А., Караев О.Г., Мінько С.А. Математична модель визначення відносної швидкості руху частки ґрунту по поверхні робочого органу фрезерної машини. Науковий вісник ТДАТУ 2015. 2 (5). С.201-209.

59. ДСТУ 4397:2005. Сільськогосподарська техніка. Методи економічного оцінювання техніки на етапі випробовування. [Чинний від 2005–04–28]. Вид. офіц. Київ: Держспоживстандарт України, 2005. 16 с.

60. Дубровін В.О., Теслюк В.В. Дослідження ефективності технології і техніки мінімізації весняного передпосівного обробітку ґрунту під посів цукрових буряків. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК. К., 2013. Вип. 185, ч. 1. С. 11-17.

61. Євтушенко В. Strip Till в Україні. Досвід використання Strip Till в Україні на прикладі СТОВ "Дружба Нова". The Ukrainian Farmer. 2012. № 9. С. 99–100.

62. Жолобецький Г. "Стрип-тілл": шляхом проб і помилок. Пропозиція. 2013. № 2. С. 26–30.

63. Завгородний А.Ф., Кравчук В.І., Юрчик В.П. Геометрическое конструирование рабочих органов корнеуборочных машин. Под ред. Л.В. Погорелого. К.: Аграрная наука, 2004. 240с.

64. Караєв О.Г., Пахаренко В.О., Рубцов М.О. Геометричне моделювання прийняття рішень щодо вибору машин із множини альтернатив. Сучасні проблеми моделювання. 2018. Вип. 12. С. 92-98. Режим доступу: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/cpm\\_2018\\_12\\_18](http://nbuv.gov.ua/UJRN/cpm_2018_12_18).

65. Качинский Н.А. Структура почвы. М.: Изд-во МГУ, 1963.

66. Кліщенко С., Урсулов В., Урсулов М. Сучасні тенденції в системах та технологіях обробітку ґрунту. Механізація сільського господарства. 2011. № 5. С. 36-45.

67. Коротко І., Сташевська А. Технології і технічні засоби сівби в системі мінімального та нульового обробітку ґрунту. Техніка і технологія АПК. 2011. № 2. С. 21-24.

68. Косолап М. П., Кротінов О. П. Система землеробства No–Till. Дощові черв'яки. Ексклюзивные технологии. 2013. № 3. С. 14–17.

69. Кострицын А.К., Пец А.К. Снижение сопротивления почвообрабатывающих орудий при безотвальной обработке почвы. Сборник научных трудов. Теория и расчет почвообрабатывающих машин. Том 120. М.: ВИМ, 1989. С.94-108.
70. Кравець С.В., Скоблюк М.П., Стіньо О.В., Зоря Р. В. Критичноглибинні двоярусні ґрунторозпушувачі: монографія. Рівне: НУВГП, 2018. 235 с.
71. Кравченко М.С., Царенко М.О., Міщенко Ю.Г. Практикум із землеробства: навч. посібник / за ред. М.С. Кравченко і З.М. Томашівського. К.: Мета, 2003. 320 с.
72. Кравчук В., Баранов Г., Комісаренко О. Ергатичне випробування у просторі та часі комплексних техніко-технологічних рішень керованого землеробства. Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства України: збірник наук. пр. УкрНДПВТ ім. Л. Погорілого. 2018. Вип. № 23 (37). С. 14–27.
73. Кубинский А.А. Метательные машины. М: Машиностроение, 1964. 196 с.
74. Кудриницький Р. Взаємодія двогранного клина з ґрунтом. 2001 Механізація та електрифікація сільського господарства. ННЦ "Інститут механізації та електрифікації сільського господарства". Вип. 85 С 85-91.
75. Кудриницький Р. Визначення оптимальних параметрів ґрунтообробних робочих органів 2005. Вісник Степу. Кіровоградська державна сільськогосподарська дослідна станція. С. 72-75.
76. Кудриницький Р.Б., Грицишин М. І. Обґрунтування ефективних технологічних комплексів машин для виробництва продукції рослинництва в сільськогосподарських підприємствах. Механізація та електрифікація сільського господарства, 2015,N Вип. №1 (100).-С.250-258.
77. Лебедев С., Коробко А., Козлов Ю. До питання оцінювання точності вимірювань під час випробувань сільськогосподарських машин. Техніка і технологія. 2017. № 10 (97). С. 22–25.

78. Летошнев М.В. Сельскохозяйственные машины. Теория расчета, проектирование и испытание. 2-е ред. Москва-Ленинград: "Печатный Двор", 1949. 856 с.
79. Лещенко С.М., Сало В.М., Петренко Д.І., Васильковский О.М. Вплив конструктивно-технологічних параметрів робочих органів глибокорозпушувача на тяговий опір. Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин, 2018, Вип.48. С.12-21.
80. Логинова И. Успешный менеджмента фосфора. Агроном. 2016. № 3 (53). С. 71–73.
81. Лурє А. Б., Громбчевський А. А. Расчет и конструирование сельскохозяйственных машин. Л.: Машиностроение, 1977. 528 с.
82. Мельников С.В. Планирование эксперимента в исследованиях сельскохозяйственных процессов. Л.: Колос, 1980. 168 с.
83. Мороз А.І. Обґрунтування параметрів чизельно-дискового культиватора для комбінованого мілкового обробітку ґрунту. .: дис... к-та техн. наук: 05.05.11. К.: 2006. 161 с.
84. Найдыш В.М., Нагорный Е.Н., Левчук Н.С., Караев А.И. Обоснование параметров и разработка машины для насыпки противоэрозионных валов на склонах. Механизация и электрификация сельхоз производства. 1989. № 4 С. 7-12.
85. Науково-випробувальні дослідження сільськогосподарської техніки і технологій: розвиток і диверсифікація (колектив авторів) / за ред. В. Кравчука; Міністерство аграрної політики та продовольства України; УкрНДПВТ ім. Л. Погорілого. Дослідницьке, 2018. 240 с.
86. Обработка почвы при интенсивном возделывании полевых культур / Т. Карворский и др.; под ред. и с передисл. А.С. Кушнарева. М.: Агропромиздат, 1988. 248 с.
87. Орсик Л.С. Теоретическое определения тягового сопротивления рабочих органов наклонного типа и обоснование их расстановки на раме орудия. Сборник научных трудов. Теория и расчет почвообрабатывающих машин. Том 120. М.: ВИМ, 1989. С.78-86.

88. Ортега Дж., Пул У. Введение в численные методы решения дифференциальных уравнений: Пер. с англ. А.А. Амбравова. М.: Наука, 1986. 288 с.
89. Павловський М.А. Теоретична механіка. К.: Техніка, 2002. 510 с.
90. Панченко А.Н. Теория измельчения почв почвообрабатывающими орудиями. Днепропетровск: ДГАУ, 1999. 140 с.
91. Пархоменко Г.Г., Щиров В.Н. Определение тягового сопротивления почвообрабатывающих машин. Механизация и электрификация сельского хозяйства. 2011. № 8. С. 23-24
92. Патент України на корисну модель № 128521" Пристрій для обробітку ґрунту" М. І. Стручаєв, В.О. Петров, Ю.О. Постол, В.В. Ковальов, Дата публ. 2018.
93. Петерсен М., Грінченко С. Нові перспективи із стрип тіл. Ґрунтозахисна технологія стрип-тілл дозволяє поєднати переваги традиційного землеробства і прямої сівби. The Ukrainian Farmer. 2012. № 8. С. 88-90.
94. Петерсон Г. No-Till как способ управления накоплением влаги в почве. Зерно. 2006. № 8. С. 66–74.
95. Почвоведение. Учебник для университетов. В 2-х ч./ под ред. В.А. Ковды, Б.Г. Розанова. М.: Высшая школа, 1988. Ч.1: Почва и почвообразование. 400 с.
96. Сало В.М. Науково-технологічні основи обґрунтування складу та параметрів комбінованих ґрунтообробних знарядь: автореф. дис... д-ра техн. наук: 05.05.11. Тернопіль, 2008. 38 с.
97. Секція агрегату для смугового обробітку ґрунту.: пат. 25742 Україна: МПК А01В 13/08; А01В 49/06; А01С 5/06; А01В 79/02. № 116501; заявл.25.04.2017, опубл. 26.03.2018, Бюл.№6. 5 с.
98. Скоробогатов Д., Голуб Г., Марус О. Сидеральні культури. Механіко-технологічні основи подрібнення та загортання: монографія. К.: НУБіП України, 2016. 171 с.
99. Спосіб смугового обробітку ґрунту за допомогою систем ґрунтообробних пристроїв.: пат. 25742 Україна: МПК А01В 49/02; А01В 79/02. № 111055; заявл.28.09.2015, опубл. 10.03.2016, Бюл.№5.
100. Стегенборг С. Глобальный круговорот углерода. Зерно. 2006. № 9. С. 42–47.

101. Теслюк Г.В., Волик Б.А., Сокол С.П., Кобець О.М., Семенюта А.М. Ґрунтообробні агрегати на основі дискових робочих органів: монографія. Дніпропетровськ, 2016. 144 с.
102. Типові норми продуктивності і витрат палива на передпосівному обробітку ґрунту. Вітвіцький В.В., Лобастов І.В., Кислеченко М.Ф та ін. К.: «Укагропромпродуктивність». 2005. 672 с.
103. Труфанов В.В. Тяговое сопротивление орудий чизельного типа. Сборник научных трудов. Теория и расчет почвообрабатывающих машин. Том 120. М.: ВИМ, 1989. С.60-69.
104. Тяговые характеристики сельскохозяйственных тракторов. Альбом-справочник. М.: Россельхозиздат, 1979. 240 с.
105. Харламов В.А. Исследование начальных условий свободного полета отдельной материальной частицы, выбрасываемой цепочно-фрезерным разбрасывателем. НТБ ВИМ «Механизация приготовления и внесения минеральных и органических удобрений». 1969. Вып.6. С.52-57.
106. Чернілевський М.С., Білявський Ю.А., Кропивницький Р.Б., Ворона Л.І. Агротехнічні вимоги та оцінка якості обробітку ґрунту: навч. посіб. 2-ге вид., допов. Житомир: Вид-во «Житомирський національний агроекологічний університет», 2012. 84 с.
107. Шидула М.К. Ґрунтозахисна біологічна система землеробства в Україні: монографія / за ред. М.К. Шидули. К.: Оранта, 2000. 389 с.
108. Шустік Л., Громадська В., Мариніна Л., Негуляєва Н., Супрун В. Шляхи реалізації технології смугового обробітку ґрунту в малих і середніх господарствах. Техніка і технологія. 2017. № 11 (98). С. 16–21.
109. Шустік Л., Мариніна Л., Новохацький М., Маринін С. Стрип-тилл в малых и средних хозяйствах: перспективы внедрения. Пропозиція. 2016. № 7/8 (252). С. 168–172.

## ДОДАТКИ



**СПИСОК  
ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ**

**Статті у наукових фахових виданнях України,  
у тому числі включених до міжнародних наукометричних баз даних**

1. Голуб Г. А., **Дворник А. В.** Координатно-просторова оцінка інтенсивності передпосівного обробітку ґрунту. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: Техніка та енергетика АПК. 2014. Вип. 194, Ч. 1. С. 188–194. *(Здобувачем проаналізовано технології передпосівного обробітку ґрунту, визначено переваги та недоліки).*

2. Голуб Г. А., **Дворник А. В.** Тенденції розвитку агрегатів для смугового передпосівного обробітку ґрунту. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: Техніка та енергетика АПК.. 2014. Вип. 196, Ч. 1. С. 48–55. *(Здобувачем проведено огляд існуючих агрегатів для смугового обробітку ґрунту).*

3. Голуб Г. А., **Дворник А. В.** Обґрунтування показників якості та агрономічних вимог до смугового обробітку ґрунту. Наукові горизонти. 2018. № 12 (73). С. 37–44. *(Здобувачем обґрунтовано показники якості смугового обробітку ґрунту та їх визначення).*

4. Голуб Г. А., **Дворник А. В.** Вплив конструкційно-технологічних параметрів на якість смугового обробітку ґрунту. Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства України. 2019. Вип. 24 (38). С. 28–37. *(Здобувачем приведено дослідження впливу на якісні показники взаємної зміни параметрів секції агрегату для смугового обробітку ґрунту та швидкості руху).*

5. Голуб Г. А., **Дворник А. В.** Вплив параметрів секції агрегату для смугового обробітку на поперечну нерівність ґрунту. Наукові горизонти. 2019. №5 (78). С. 40–50. *(Здобувачем приведено дослідження впливу на поперечну нерівність обробленої смуги параметрів зміни взаємного розміщення робочих органів).*

6. Голуб Г. А., **Дворник А. В.** Дослідження поперечної нерівності смугового обробітку ґрунту. Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research. 2019. Vol. 10. № 2. Р. 23–31. *(Здобувачем проведено дослідження поперечної нерівності обробленої смуги від зміни відстані від глибокорозпушувача до осі переднього диска, глибини обробітку та відстані від глибокорозпушувача до осі відрізного диска).*

7. Голуб Г. А., **Дворник А. В.** Вплив конструкційно-технологічних параметрів агрегата для смугового обробітку ґрунту на грудкуватість. Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства України. 2020. Вип. 27 (41). С. 89–98. *(Здобувачем проведено дослідження впливу конструкційно-технологічних параметрів секції агрегату для смугового обробітку ґрунту на грудкуватість обробленої поверхні).*

#### **Стаття у науковому виданні іншої держави**

8. Golub G., **Dvornyk A.** Research of indicators of strip tillage. 2020. ТЕКА. Quarterly journal of agri-food industry. 2020. Vol. 20. No 2. Р. 83–90. *(Здобувачем проведено дослідження руху відрізного диска, що підтверджено експериментально).*

#### **Стаття в іншому науковому виданні України**

9. Голуб Г. А., **Дворник А. В.** Узагальнення досліджень по доцільності застосування технології смугового обробітку ґрунту. Екологічні науки. 2018. №1(20). Т. 1. С. 81–85. *(Здобувачем узагальнено доцільність застосування технології смугового обробітку ґрунту).*

#### **Патент на винахід**

10. Голуб Г. А., Аніскевич Л. В., Кухарець С. М., **Дворник А. В.**, Кузнюк Д. В. Секція агрегату для смугового обробітку ґрунту. Патент України на винахід № 116501 Україна, МПК А01В 13/08; А01В 49/06; А01С 5/06; А01В 79/02. Заявник та патентовласник Національний університет біоресурсів і природокористування України. № а201612519; заявлено 09.12.2016; опубліковано 26.03.2018. Бюл. №6/2018. *(Здобувачем проведено патентний пошук і розроблено секцію агрегату для смугового обробітку ґрунту, що зменшує тяговий опір машино-тракторного агрегата).*

## Патент на корисну модель

11. Голуб Г. А., **Дворник А. В.** Агрегат для смугового передпосівного обробітку ґрунту. Патент України на корисну модель № 96064 Україна, МПК А01В 13/08; А01В 49/00; А01С 5/00. Заявник та патентовласник Національний університет біоресурсів і природокористування України. № u201409262; заявлено 19.08.2014; опубліковано 12.01.2015. Бюл. №1/2015. *(Здобувачем проаналізовано агрегати для смугового обробітку ґрунту та запропоновано конструкцію, шляхом зміни якої відбувається подрібнення рослинних решток перед агрегатом).*

## Тези наукових доповідей

12. Дворник А. В. Перспективи розвитку точкового обробітку ґрунту. Технічний прогрес у сільськогосподарському виробництві: XXII Міжнародна науково-технічна конференція та IX Всеукраїнська конференція-семінар аспірантів, докторантів та здобувачів в галузі аграрної інженерії, смт. Глеваха, 21–23 травня 2014 року: тези доповіді. Глеваха. 2014. С. 56–57.

13. **Дворник А. В.**, Голуб Г. А. Агрегат для смугового передпосівного обробітку ґрунту. Актуальні проблеми про життя та природокористування: III Міжнародна науково-практична конференція молодих вчених, м. Київ, 28–31 жовтня 2015 року: тези доповіді. К., 2015. С. 302–303. *(Здобувачем описано агрегат для смугового передпосівного обробітку ґрунту).*

14. Голуб Г. А., **Дворник А. В.** Теоретичне обґрунтування заглиблення леза в ґрунт. Сучасні тенденції розвитку освіти, науки і виробництва: Міжнародна науково-практична конференція педагогічних і науково-педагогічних працівників, науковців та молодих учених, м. Ніжин, 09–10 грудня 2015 року: тези доповіді. Ніжин. 2015. С. 101–103. *(Здобувачем теоретично обґрунтовано заглиблення леза в ґрунт).*

15. Дворник А. В. Обґрунтування форми дискового робочого органу для смугового обробітку ґрунту. Сучасні тенденції розвитку освіти, науки і виробництва: Міжнародна науково-практична конференція педагогічних і науково-педагогічних працівників, науковців та молодих учених, м. Ніжин, 09–10 грудня 2015 року: тези доповіді. Ніжин. 2015. С. 108–110.

**ДОГОВІР** 1021/254  
**про співробітництво в сфері наукових досліджень**

м. Київ

“04” 12 2015 р.

Національний університет біоресурсів і природокористування України (в подальшому Сторона 1) в особі першого проректора Ібатулліна Ільдуса Ібатулловича, що діє на підставі Довіреності від 17.11.2014 р. № 3500, з однієї сторони, та Публічне акціонерне товариство "Червона Зірка", (далі – Сторона -2) в особі голови правління - генерального директора ПАТ "Червона Зірка" Калапи Сергія Георгійовича, що діє на підставі Статуту з іншої сторони, (в подальшому разом іменуються "Сторони", а кожна окремо – "Сторона") уклали цей договір про співробітництво в сфері наукових досліджень агрегату для смугового передпосівного обробітку ґрунту.

**1. Загальні положення**

1.1. Сторони зобов'язуються співпрацювати у сфері досліджень на тему «Обґрунтування параметрів робочих органів агрегата для смугового передпосівного обробітку ґрунту».

1.2. Сторони зобов'язуються спільно діяти на засадах взаємної вигоди для досягнення спільних цілей у відповідності до поставлених завдань кожної із Сторін цього Договору.

1.3. У процесі виконання намічених спільних цілей Сторони прагнутимуть будувати свої взаємовідносини на підставі рівності, чесного партнерства та захисту інтересів один одного.

**2. Права та обов'язки Сторін**

2.1. Дослідження здійснюються на основі затверджених сторонами планами (які додаються) спільних наукових досліджень на певний проміжок часу (в строки виконання даного Договору).

2.2. Сторона 1 для забезпечення досліджень надає необхідні наукові консультації та розробки агрегату для смугового передпосівного обробітку ґрунту, бере участь у створенні конструкторської документації, а також безпосередньо бере участь у проведенні лабораторних та польових досліджень даного агрегата.

2.3. Сторона 2 для забезпечення досліджень безкоштовно виготовляє експериментальний зразок агрегата для смугового передпосівного обробітку ґрунту, надає можливість спільно працювати в стаціонарному дослідженні на базі (ПАТ «Червона Зірка» Кіровоградська обл., м. Кіровоград, вул. Медведєва, 1). Сторона 2 сприяє проведенню польових досліджень агрегата для смугового обробітку ґрунту на базі сільськогосподарських підприємств (партнерів Сторони 2).

2.4. Після проведення випробувань та наукових досліджень Сторона 2 безкоштовно виготовляє одну робочу секцію агрегата для смугового

передпосівного обробітку ґрунту і передає його Стороні 1 для навчальних цілей.

2.4. Сторони оформляють сумісні звіти за результатами досліджень у вигляді статей, методичних рекомендацій.

2.5. Право використання результатів науково-технічної роботи, виконаної за договором, належить обом Сторонам в повній мірі.

2.6. Аспірант кафедри сільськогосподарських машин та системотехніки ім. акад. П.М. Василенка НУБіП України, (Сторона 1), який безпосередньо бере участь в дослідженнях має право на використання отриманих результатів у своїй дисертаційній роботі.

### 3. Взаємні розрахунки Сторін

3.1. Сторони забезпечуватимуть виконання спільних проектів на безоплатній основі.

3.2. Цей Договір не передбачає фінансових зобов'язань між Сторонами. У випадку необхідності фінансування спільних проектів, між Сторонами укладаються відповідні договори.

### 4. Форс мажорні обставини

4.1 За умов виникнення форс мажорних обставин, передбачити які неможливо на час підписання договору, термін виконання робіт відкладається на час дії цих обставин.

4.2. Сторона, у якій існують обставини непереборної сили, повинна обов'язково повідомити іншу сторону про їх настання і припинення.

### 5. Строк дії Договору та інші умови

5.1. Цей Договір вважається укладеним і набирає чинності з моменту його підписання Сторонами та його скріплення печатками, а закінчується 31 грудня 2016 р., але у всякому випадку, до повного виконання Сторонами своїх зобов'язань.

5.2. Виконання даного договору проводиться згідно календарного плану (Додаток до договору) затвердженого обома Сторонами.

5.2. Зміни до цього Договору можуть бути внесені за взаємною згодою Сторін, що оформляється додатковою угодою до цього Договору.

5.3. Додаткові угоди та додатки до цього Договору є його невід'ємною частиною і мають юридичну силу у разі, якщо вони викладені у письмовій формі, підписані Сторонами та скріплені їх печатками.

5.4. Сторони зобов'язуються при виконанні цього Договору не зводити співробітництво до дотримання лише наявних у ній умов і вживати всіх необхідних заходів для забезпечення ефективності та розвитку їх зв'язків

5.5. Всі спори між Сторонами, що можуть виникнути при виконанні Договору, або у зв'язку з ним, вирішуються шляхом переговорів відповідно до чинного законодавства України.

5.6. Розроблений згідно цього Договору науково-технічний продукт в рівній мірі є власністю обох Сторін. При цьому кожна з Сторін не має права передавати свої права власності третій стороні без письмової згоди іншої сторони.



5.7. Результати завершених робіт будуть використані у спільних наукових публікаціях, доповідях на наукових конференціях.

5.8 У разі опублікування однією договірною стороною матеріалів, які є результатом виконання даного договору і предметом спільної інтелектуальної власності обох сторін посилання на другу договірну сторону обов'язкове.

5.9. Договір складено українською мовою у 2 (двох) автентичних примірниках, що мають однакову юридичну силу, по одному екземпляру для кожної Сторони.

## МІСЦЕЗНАХОДЖЕННЯ ТА РЕКВІЗИТИ СТОРІН

### СТОРОНА 1

Національний університет  
біоресурсів і природокористування  
України  
вул. Героїв Оборони, 15, м. Київ,  
03041

код ЄДРПОУ 00493706

Перший проректор



І.І. Ібатулін

Директор Науково-дослідного  
інституту Техніки, енергетики та  
інформатизації АПВ, доктор  
технічних наук, професор

В.Д. Войтюк

Науковий керівник, доктор  
технічних наук, професор

Г.А. Голуб

Аспірант кафедри  
сільськогосподарських машин та  
системотехніки ім. акад.

П.М. Василенка

А.В. Дворник

### СТОРОНА 2

ПАТ «По виробництву  
сільськогосподарської техніки  
«Червона Зірка»  
25006, м. Кіровоград,  
вул. Медведєва, 1  
р/р 2600303552507 в філії  
«Укресімбанк» м. Кіровограда  
МФО 323389

Код ЄДРПОУ 05784437

Св-во № 100334114

І.П.Н. № 057844311237

Голова правління – генеральний  
директор



С.Г. Калапа

Генеральний конструктор  
ПАТ "Червона Зірка"

Ю.Л. Кваша

*[Handwritten signature]*

Публічне акціонерне товариство  
«по виробництву  
сільськогосподарської техніки»



Публичное акционерное общество  
«по производству  
сельскохозяйственной техники»

## ЧЕРВОНА ЗІРКА

25006, Україна, м. Кіровоград,  
вул. Медведєва, 1, а/с 4  
Тел./факс (0522) 39-53-09, 39-53-22, 35-61-26,  
47  
Р/р 2600303552507, МФО 323389 у філії Укресімбанк  
м. Кіровограда, Код 05784437

25006, Украина, г. Кировоград,  
ул. Медведева, 1, а/я 4  
Тел./факс (0522) 39-53-09, 39-53-22, 35-61-26, 39-

с 2600303552507, МФО 323389 в филиале  
имбанк  
г. Кировограда, Код 05784437

e-mail: [office@redstar.kr.ua](mailto:office@redstar.kr.ua) [cd@redstar.kr.ua](mailto:cd@redstar.kr.ua) <http://www.chervonazirka.com>,

« 01 » 04 2016 р.

№

*1021/354*

Першому проректору  
НУБІП України  
Ібатулліну І.І.

### ДОВІДКА

про передачу матеріалів  
на виготовлення секції агрегату

Шановний Ільдус Ібатуллович!

Згідно договору про співробітництво в сфері наукових досліджень між Національним університетом біоресурсів і природокористування України та Публічним акціонерним товариством "Червона Зірка" №1021/354-150 від "04" грудня 2015 року, комплект матеріалів на виготовлення секції агрегату для смугового передпосівного обробітку ґрунту у вигляді тривимірної комп'ютерної моделі передано Публічному акціонерному товариству "Червона Зірка" для подальшої розробки робочих креслень та виготовлення експериментального зразка.

Голова правління

Генеральний директор ПАТ "Червона Зірка"

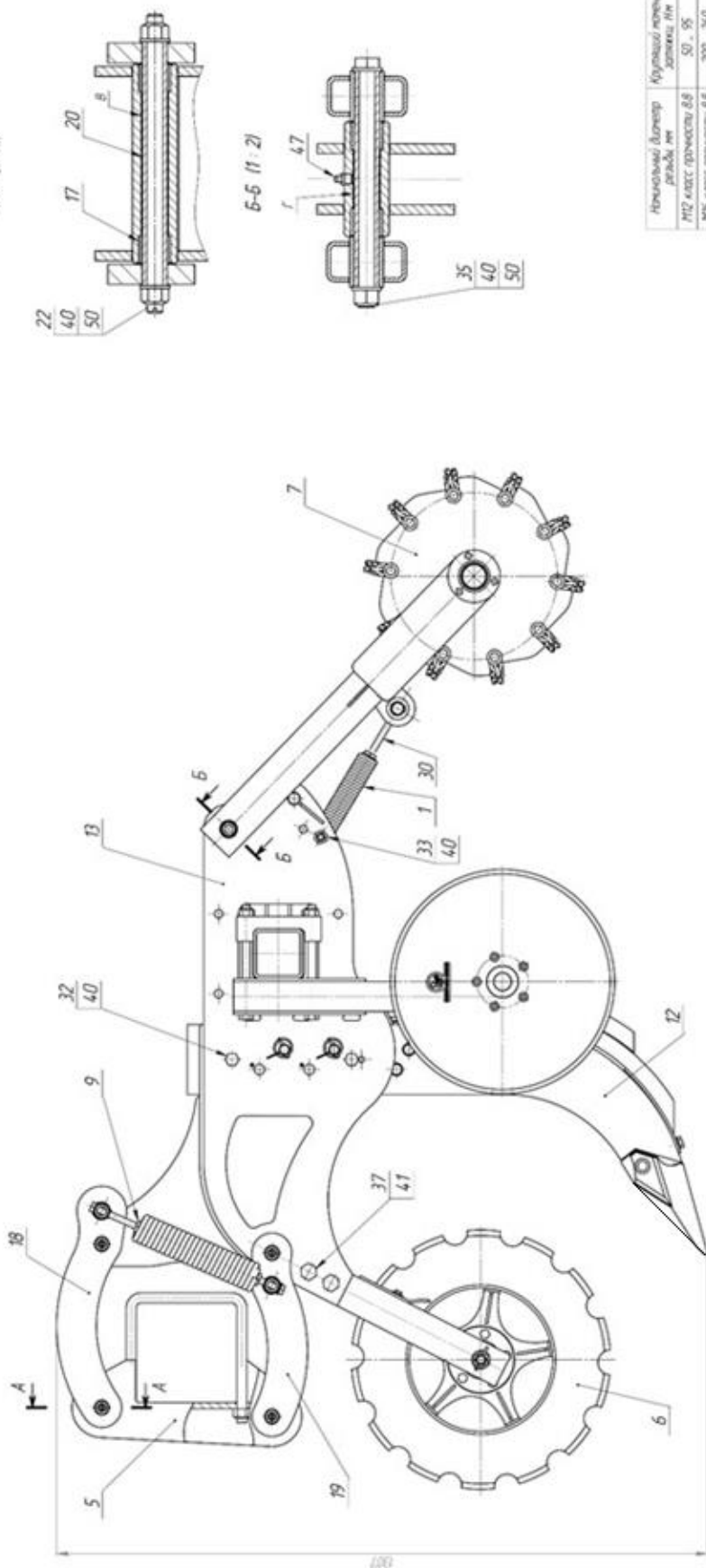


Головний конструктор ПАТ "Червона Зірка"

*С. Г. Калапа*  
С. Г. Калапа

*Ю. Л. Кваша*  
Ю. Л. Кваша

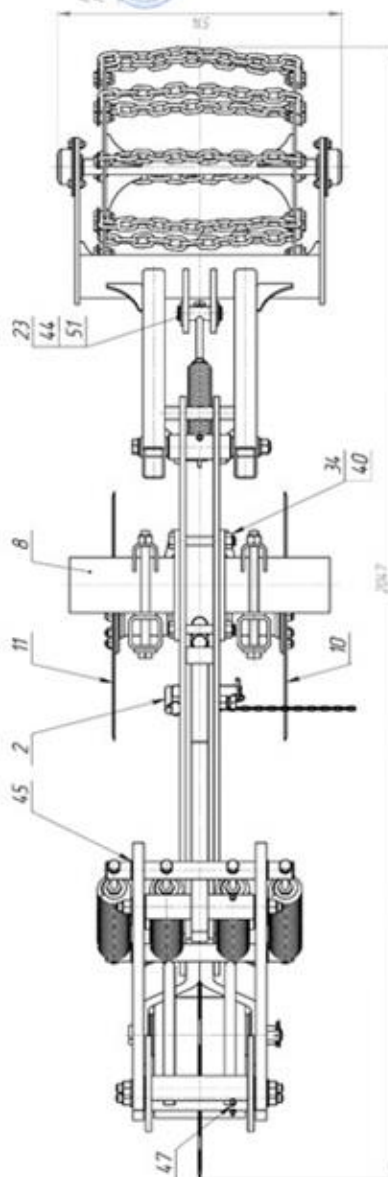
CIP 00.100.65



Начальный диаметр рыбы, мм	Крупность кормовых злающих НВ
М12 класс прочности 8/8	50 - 95
М16 класс прочности 8/8	200 - 260
М20 класс прочности 8/8	400 - 560

[illegible]

Генеральный  
инспектор  
Министерства  
образования  
и науки  
РФ

[illegible][illegible]



УКРАЇНА



# ПАТЕНТ

НА ВИНАХІД

№ 116501

СЕКЦІЯ АГРЕГАТУ ДЛЯ СМУГОВОГО ОБРОБІТКУ ҐРУНТУ

Видано відповідно до Закону України "Про охорону прав на винаходи і корисні моделі".

Зареєстровано в Державному реєстрі патентів України на винаходи  
26.03.2018.

Заступник міністра економічного  
розвитку і торгівлі України

М.І. Тітарчук







УКРАЇНА

(19) UA

(11) 116501

(13) C2

(51) МПК

A01B 13/08 (2006.01)

A01B 49/06 (2006.01)

A01C 5/06 (2006.01)

A01B 79/02 (2006.01)

МІНІСТЕРСТВО  
ЕКОНОМІЧНОГО  
РОЗВИТКУ І ТОРГІВЛІ  
УКРАЇНИ

**(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВИНАХІД**

- (21) Номер заявки: а 2016 12519  
(22) Дата подання заявки: 09.12.2016  
(24) Дата, з якої є чинними права на винахід: 26.03.2018  
(41) Публікація відомостей про заявку: 25.04.2017, Бюл. № 8  
(46) Публікація відомостей про видачу патенту: 26.03.2018, Бюл. № 6

- (72) Винахідник(и):  
Голуб Геннадій Анатолійович (UA),  
Аніскевич Леонід Володимирович (UA),  
Кухарець Савелій Миколайович (UA),  
Дворник Андрій Віталійович (UA),  
Кузнюк Давид Владиславович (UA)

- (73) Власник(и):  
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
БІОРЕСУРСІВ І  
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ,  
вул. Героїв Оборони, 15, м. Київ-41, 03041  
(UA)

- (56) Перелік документів, взятих до уваги експертизою:  
RU 147013 U1, 27.10.2014  
US 2008230242 A1, 25.09.2008  
US 6425445 B1, 30.07.2002  
CN 201758526 U, 16.03.2011  
FR 3009919 B1, 04.09.2015  
UA 103583 U, 25.12.2015  
RU 2533038 C1, 20.11.2014

**(54) СЕКЦІЯ АГРЕГАТУ ДЛЯ СМУГОВОГО ОБРОБІТКУ ҐРУНТУ****(57) Реферат:**

Секція агрегату для смугового обробітку ґрунту належить до галузі сільськогосподарського машинобудування, зокрема до машин і пристроїв для смугового обробітку ґрунту, з одночасним внесенням добрив.

Секція агрегату для смугового обробітку ґрунту містить навісну раму із паралелограмною підвіскою, яка через блок кріплень та тяговий брус з'єднана з навіскою трактора, передній розрізний диск із сферичними вирізами на нерухомій осі суміщений з опорним колесом і встановлений у вилці, жорстко прикріплений до рами, глибокорозпушувальну лапу у вигляді стійки із долотом та дворівневих живильників мінеральних добрив, два відрізни смугоформувальні диски, розміщені на рамі за глибокорозпушувальну лапою та підпружинений кришильно-ущільнюючий ланцюгово-дисковий коток, згідно з пропонованим рішенням глибокорозпушувальна лапа у вигляді стійки із долотом розміщена на рамі із двох паралельних пластин, між якими жорстко закріплені плавцеподібні виступи для кріплення переднього розрізного диска із сферичними вирізами та вузла кріплення підвіски, дворівневі живильники мінеральних та рідких органічних добрив встановлені із можливістю регулювання глибини їх внесення, підпружинений кришильно-ущільнюючий ланцюгово-дисковий коток виконаний із дисків зубчастої форми, на відрізних смугоформувальних дисках зі сторони необробленого ґрунту закріплені багатогранні реборди, дотично вершинам яких розміщені циліндричні стержні, що проходять крізь відрізни смугоформувальні диски в напрямку обробленого ґрунту, а опорне колесо переднього розрізного диска із сферичними вирізами має форму багатокутника,

UA 116501 C2

УКРАЇНА



ПАТЕНТ

НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

№ 96064

АГРЕГАТ ДЛЯ СМУГОВОГО ПЕРЕДПОСІВНОГО ОБРОБІТКУ  
ГРУНТУ

Видано відповідно до Закону України "Про охорону прав на винаходи  
і корисні моделі".

Зареєстровано в Державному реєстрі патентів України на корисні  
моделі **12.01.2015**.

Голова Державної служби  
інтелектуальної власності України

А.Г. Жарінова







УКРАЇНА

(19) UA (11) 96064 (13) U

(51) МПК (2015.01)  
A01B 13/08 (2006.01)  
A01B 49/00  
A01C 5/00

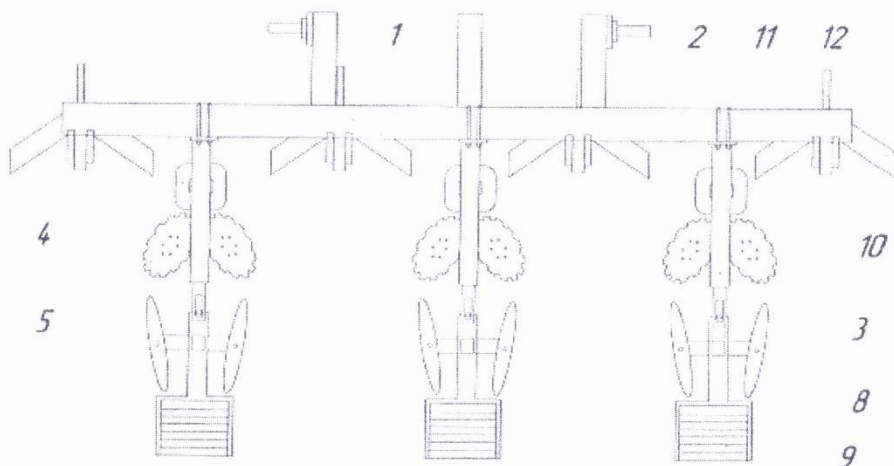
ДЕРЖАВНА СЛУЖБА  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІ  
УКРАЇНИ

**(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ**

(21) Номер заявки: u 2014 09262	(72) Винахідник(и): Голуб Геннадій Анатолійович (UA), Дворник Андрій Віталійович (UA)
(22) Дата подання заявки: 19.08.2014	(73) Власник(и): НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ, вул. Героїв Оборони, 15, м. Київ-41, 03041 (UA)
(24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель: 12.01.2015	
(46) Публікація відомостей про видачу патенту: 12.01.2015, Бюл.№ 1	

**(54) АГРЕГАТ ДЛЯ СМУГОВОГО ПЕРЕДПОСІВНОГО ОБРОБІТКУ ҐРУНТУ****(57) Реферат:**

Агрегат для смугового передпосівного обробітку ґрунту складається з рами, на якій за допомогою системи кріплення встановлені секції з опорними колесами, кожна з яких включає глибокорозпушувач ґрунту з патрубком для ґрунтового внесення добрив, дисковий загортач утвореної борозенки та вирівнювальний коток. Перед глибокорозпушувачем ґрунту встановлено подрібнювач рослинних решток, а на рамі між секціями, додатково встановлені пересувні стійки, на кожній із яких закріплено розрізний ніж та підрізну лапу.



Фиг. 1

UA 96064 U

**Погоджено**

Проректор з навчальної і виховної  
роботи Національного університету  
біоресурсів і природокористування  
України

Кваша С. М.

(підпис)

(Прізвище, ініціали)

2021 р.

**Затверджую**

Перший проректор Національного  
університету біоресурсів і  
природокористування України

Тбатуллі І. І.

(підпис)

(Прізвище, ініціали)

2021 р.

**А К Т**

**про впровадження результатів  
дисертаційної роботи у навчальний процес**

Даним актом стверджується, що результати дисертаційної роботи на  
тему: «Обґрунтування параметрів взаємного розміщення робочих органів  
секції агрегату для смугового обробітку ґрунту»,  
що представлена на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за  
спеціальністю 05.05.11 «Машини і засоби механізації  
сільськогосподарського виробництва»  
виконаної Дворником Андрієм Віталійовичем  
впроваджено у навчальному процесі на кафедрі сільськогосподарських машин  
та системотехніки імені академіка П. М. Василенка Національного  
університету біоресурсів і природокористування України у програми  
підготовки фахівців ОС «Бакалавр» та ОС «Магістр» із спеціальності  
208 «Агроінженерія» при викладанні дисциплін «Сільськогосподарські  
машини», «Проектування режимів роботи, процесів і техніки АПК»,  
«Моделювання робочих процесів машин». У лекційних курсах  
вищезазначених дисциплін викладаються матеріали з обґрунтування  
параметрів взаємного розміщення робочих органів секції агрегату для  
смугового обробітку ґрунту.

Декан механіко-технологічного  
факультету

Братішко В. В.

Завідувач кафедри  
сільськогосподарських машин і  
системотехніки імені  
академіка П. М. Василенка

Гуменюк Ю. О.

Директор НДІ техніки і технологій

Роговський І. Л.



### Додаток 3





