

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ПОЛІСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет інженерії та енергетики

Кафедра механіки та інженерії агроєкосистем

Кваліфікаційна робота

на правах рукопису

МИХАЙЛЕНКО АРТЕМ ВІТАЛІЙОВИЧ

УДК 631.313.6

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

**Обґрунтування конструкції екологічно безпечного
ґрунтообробного робочого органу**

208 “Агроінженерія”

Подається на здобуття освітнього ступеня магістр

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

_____ А.В. Михайленко

Керівник роботи

Кухарець С. М.

Доктор технічних наук, професор

Житомир – 2020

АНОТАЦІЯ

Михайленко Артем Віталійович. Обґрунтування конструкції екологічно безпечного ґрунтообробного робочого органу. – Кваліфікаційна робота на правах рукопису.

Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня магістра за спеціальністю 208 – Агроінженерія. – Поліський національний університет, Житомир, 2020.

Встановлено, що є застосування в умовах Полісся України ротаційних ґрунтообробних знарядь та знарядь оснащених дисковими робочими органами, для виконання комплексу ґрунтообробних операцій, є доречним. При цьому відбувається поліпшення ґрунтових умов для росту сільськогосподарських культур, економія енергетичних ресурсів, та зменшення затрат праці на одиницю продукції. Проте існуючі типи конструкцій дискових ґрунтообробних інструментів не можуть повністю забезпечити заковування органічних залишків та органічних добрив та частково порушують структурність ґрунтового покриву. Крім того, обробіток дисковими робочими органами призводить до часткового руйнування важливих структурних ґрунтових формувань. Порушення структурності ґрунту призводить до зниження його мікробіологічної активності, викликає негативні явища дефляції та інші.

Встановлено що ґрунтообробні робочі органи, що працюють в режимі чистого відриву ґрунту, або відшарування значно менше порушують структурність ґрунту. Основою обґрунтування конструкції робочого органу є аналітична модель, яка відображає процес взаємодії робочого органу з ґрунтом з відшаруванням або чистим відривом.

Ключові слова: дискова борона, робочий орган, ґрунт, відшарування, відрив

ANNOTATION

Mykhaylenko Artem Vitaliyovych. Substantiation of the design of ecologically safe tillage working body. – Qualification work on the rights of the manuscript.

Qualifying work for a master's degree in specialty 208 – Agricultural Engineering. – Polissya National University, Zhytomyr, 2020.

It is established that the use of rotary tillage implements and implements equipped with disk working bodies in the conditions of Polissya of Ukraine is appropriate for performing a complex of tillage operations. This improves soil conditions for crop growth, saves energy resources, and reduces labor costs per unit of output. However, the existing types of structures of disk tillage tools can not fully ensure the burial of organic residues and organic fertilizers and partially disrupt the structure of the soil cover. In addition, the treatment of disk working bodies leads to the partial destruction of important structural soil formations. Violation of soil structure leads to a decrease in its microbiological activity, causes negative effects of deflation and others.

It has been established that tillage working bodies operating in the mode of pure soil separation or exfoliation violate the soil structure much less. The basis for substantiating the design of the working body is an analytical model that reflects the process of interaction of the working body with the soil with exfoliation or pure separation.

Key words: disc harrow, working body, soil, exfoliation, separation

ЗМІСТ

ВСТУП	5
РОЗДІЛ 1 ОСОБЛИВОСТІ ОБРОБІТКУ ҐРУНТІВ ПОЛІССЯ.....	7
Висновки до розділу	10
РОЗДІЛ 2 ПРОБЛЕМАТИКА ВИКОРИСТАННЯ РОТАЦІЙНИХ РОБОЧИХ ОРґАНІВ ҐРУНТООБРОБНИХ ЗНАРЯДЬ	11
Висновки до розділу	13
РОЗДІЛ 3 ТЕОРЕТИЧНЕ ВИЗНАЧЕННЯ ГЕОМЕТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ДИСКОВОГО РОБОЧОГО ОРґАНУ ҐРУНТООБРОБНОГО ЗНАРЯДДЯ.....	14
Висновки до розділу	23
ВИСНОВКИ.....	24
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	26

ВСТУП

Застосування в умовах Полісся України дискових ґрунтообробних знарядь та знарядь оснащених дисковими робочими органами, для виконання комплексу ґрунтообробних операцій, що забезпечують як основний, так і передпосівний обробіток є перспективним, з огляду поліпшення ґрунтових умов для росту сільськогосподарських культур, економії енергетичних ресурсів, та зменшення затрат праці на одиницю продукції.

Однак, завдяки своїм конструктивним особливостям, знаряддя для обробки ґрунту, оснащені серійними робочими органами призводять до часткового руйнування важливих структурних ґрунтових формувань. Порушення структурності ґрунту призводить до зниження його мікробіологічної активності, викликає негативні явища дефляції та інші. Тому необхідно розробити робочий орган ґрунтообробного знаряддя, який в значно меншій мірі порушує структурність ґрунту ніж існуючі конструкції.

Мета роботи. Підвищення якості обробітку ґрунту агротехнологічних властивостей шляхом застосування ґрунтообробних знарядь що працюють в режимі відшарування ґрунту.

Задачі досліджень.

1. Проаналізувати стан та перспективи застосування дискових робочих органів.
2. Обґрунтувати конструкційні параметри робочого органу з поліпшеними характеристиками для ґрунтово-кліматичних умов Полісся України.
3. Визначити вплив параметрів робочих органів на якість обробітку ґрунту.

Об'єкт досліджень. Конструкційні параметри дискових робочих органів ґрунтообробного знаряддя.

Предмет досліджень. Показники взаємодії робочого органу ґрунтообробного знаряддя з ґрунтом.

Методи дослідження: дослідження виконано з використанням методів механіки. Експериментальні дослідження проведено із застосуванням комп'ютерного моделювання.

Перелік публікацій автора за темою дослідження:

1. Михайленко А. В. Особливості обробітку ґрунтів Полісся. Наукові читання–2020: матеріали науково-практичної конференції науково-педагогічних працівників, докторантів, аспірантів та молодих вчених факультету інженерії та енергетики, 5-6 березня 2020 р. Житомир: ЖНАЕУ, 2020. С. 190–192.

2. Михайленко А. В. Проблематика використання ротаційних робочих органів ґрунтообробних знарядь. Біоенергетичні системи: матеріали IV Міжн. наук.-практ. конф., 29 трав. 2020 р. Житомир : Вид.-во ПНУ, 2020. С. 95–96.

Практичне значення одержаних результатів. Основні результати дослідження спрямовані на вдосконалення ґрунтообробних робочих органів. На основі проведеного дослідження розроблено конструкцію дискового ґрунтообробного робочого органу.

Структура та обсяг роботи. Кваліфікаційна робота складається із вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел з 21 найменування. Загальний обсяг роботи становить 27 сторінок комп'ютерного тексту, містить 1 таблицю, 12 рисунків та 7 формул.

РОЗДІЛ 1

ОСОБЛИВОСТІ ОБРОБІТКУ ҐРУНТІВ ПОЛІССЯ

На сучасному етапі ґрунтокористування із застосуванням широкого спектру сільськогосподарських машин екологічна безпека агроеколаншафтів повинна враховуватись уже на стадії проектування машин для обробітку ґрунту [1].

Легкий гранулометричний склад, а також порівняно незначна кількість гумусу (0,7 - 3,0%) в ґрунтах Полісся зумовили їхню слабку агрегативність та низьку стійкість проти ерозійних процесів [2]. Показник руйнування ґрунтозахисних агрегатів (більше 1мм), як правило, становить 45-80% і вище, що відповідає середній та сильній схильності ґрунтів до вітрової ерозії. Саме тому виникає необхідність вивчення впливу ґрунтообробної техніки на такі ґрунти. Зокрема орієнтовна система використання ґрунтообробної техніки наведена в таблиці 1.1.

Комплекс прийомів, способів обробітку ґрунту, та спектр застосовуваних ґрунтообробних машин, основним чином залежать від типів ґрунтів розповсюджених в даній зоні або підзоні, та вирощуваних сільськогосподарських культур. Основним, найпоширенішим типом ґрунту (на прикладі Житомирської області) є дерново – підзолисті ґрунти [3], вони складають 49,8% від загальної площі сільськогосподарських угідь. Даним ґрунтам властива відносно низька природна родючість, мілкий орний шар, малий вміст гумусу й поживних речовин, кисла реакція, низька насиченість основами, особливо калієм [4]. Внаслідок дуже низької вбирної здатності і вологоємності, високої водопроникності і повітроємності (піщаних, супіщаних, легко суглинистих) вони не можуть нагромаджувати і утримувати потрібні запаси вологи у посушливі роки, особливо при відсутності або зрідженні

рослинного покриву, спостерігається вітрова ерозія, а при великій інтенсивності опадів і водна ерозія.

Таблиця 1.1. Орієнтовна система використання ґрунтообробної техніки

Культура	Обробіток ґрунту	
	Основний	Передпосівний
1	2	3
Озимі культури	Оранка слідом за збиранням попередника на 18-20 см. У посушливих умовах дискування і оранка через 7-8 днів. На чистих від бур'янів полях мілкий обробіток дисковими, лемішними або плоско різними знаряддями на 10-12 см. Під проміжні культури обробіток на 12-14 см дисковими, плоско різними знаряддями або сівба сівалкою – культиватором сзс-2,1.	Культивація з боронуванням у міру з'явлення бур'янів. Передпосівна культивація на глибину загортання насіння. В посушливих умовах коткування. На фоні оранки на не ущільнених ґрунтах замість передпосівної культивациї - боронування агрегатом з двох рядів зубових борін.-

Продовження табл. 1.1

1	2	3
Картопля	Дискування на 6-8 см, після з'явлення бур'янів повторне лущення на 10-12 см лемішними або дисковими знаряддями, зяблева оранка у другій половині вересня – першій декаді жовтня на 23-25 см або на глибину орного шару плугами з вирізними полицями на 28-30 см.	Ранньовесняне боронування, 1-2 передсадивні культивації на глибину до 14-16 см.
Ярі культури	Оранка слідом за збиранням попередника на 18-20 см. На чистих від бур'янів полях мілкий обробіток на 10-12 см дисковими, лемішними або плоскорізними знаряддями.	Ранньовесняне боронування зябу, передпосівна культивація на глибину загортання насіння. На фоні оранки при відсутності перезволоження і бур'янів – замість культивації боронування в 1-2 сліди.
Кукурудза на силос	Дискування на 6-8 см, зяблева оранка на глибину 23-26 см або глибину орного шару.	Ранньовесняне боронування зябу. Одна – дві культивації з боронуванням від 10-12 до 6-8 см, передпосівна культивація на глибину загортання насіння.

Результати наукових досліджень та практика підприємств Полісся України свідчать про доцільність широкого застосування обробітків ґрунту знаряддями з ротаційними дисковими робочими органами в системах основного та передпосівного обробітків ґрунту.

Висновки до розділу

Підсумовуючи виконаний аналіз можна зробити висновок який засвідчує перспективність застосування в умовах Полісся України ротаційних ґрунтообробних знарядь та знарядь оснащених дисковими робочими органами, для виконання комплексу ґрунтообробних операцій, що забезпечують як основний, так і передпосівний обробіток у визначених ланках відповідних сівозмін з метою поліпшення ґрунтових умов для росту сільськогосподарських культур, економії енергетичних ресурсів, та зменшення затрат праці на одиницю продукції.

РОЗДІЛ 2

ПРОБЛЕМАТИКА ВИКОРИСТАННЯ РОТАЦІЙНИХ РОБОЧИХ ОРГАНІВ ҐРУНТООБРОБНИХ ЗНАРЯДЬ

У системі основних та передпосівної обробки ґрунтів набула широкого поширення обробка ґрунту інструментами з дисковими робочими інструментами (рис .2.1).

Їх використання скорочує час підготовки ґрунту до посівних робіт [3]. На нашу думку, доцільно використовувати дискові ґрунтообробні інструменти в системах основного обробітку ґрунтового покриву. Використання дискового обробітку може зменшити негативний вплив попередників урожаю на основну культуру. Та зменшити викиди вуглекислого газу в атмосферу [5].



Рис. 1. Широкозахватна дискова борона в полі
[https://www.kuhn.com/com_en/range/tillage/disc-harrows/tdh-7300-24.html]

Однак, завдяки своїм конструктивним особливостям, інструменти для обробки ґрунту, оснащені серійними робочими органами, не забезпечують в повному обсязі агротехнічні вимоги щодо закопування добрив, рослинних залишків, гербіцидів, насіння бур'янів тощо. Використання дискового обробітку

призводить до часткового руйнування важливих структурних ґрунтових формувань. Порушення структурності ґрунту призводить до зниження його мікробіологічної активності, викликає негативні явища дефляції (рис 2.2) та інші.



а)



б)

Рис. 2.2. Результати порушення структурності ґрунту: а – дефляція [http://www.ukrsugar.com/uk/post/struktura-gruntu-e-viznacalnim-faktorom-u-pravilnomu-rozvitku-korenevoi-sistemi-burakiv], б – висихання

[<https://www.poglyad.tv/через-высыхания-грунтов-урожай-озимых-в-украине-под-загрозу/>]

Під час закопування органічних добрив дисковою бороною частина рослинних залишків та добрив залишається на поверхні ґрунту, що значно знижує ефективність їх використання. Обробка ґрунту за допомогою серійних дискових інструментів не забезпечує належного ступеня закопування органічних решток, що знижує ефективність їх розкладання[6].

В працях учених [7, 8, 9, 10] проаналізовано обробіток ґрунту з огляду на руйнування та порушення структурності ґрунту. Також встановлено що ґрунтообробні робочі органи, що працюють в режимі чистого відриву ґрунту, або відшарування значно менше порушують структурність ґрунту.

Висновки до розділу

Результати проведеного аналізу існуючих конструкцій робочих дискових органів свідчать про перспективність їх використання. Однак використання дискового обробітку призводить до часткового руйнування важливих структурних ґрунтових формувань. Порушення структурності ґрунту призводить до зниження його мікробіологічної активності, викликає негативні явища дефляції та інші.

Тому необхідно розробити робочий орган ґрунтообробного знаряддя, який в значно меншій мірі порушує структурність ґрунту ніж існуючі конструкції.

РОЗДІЛ 3

ТЕОРЕТИЧНЕ ВИЗНАЧЕННЯ ГЕОМЕТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ДИСКОВОГО РОБОЧОГО ОРГАНУ ГРУНТООБРОБНОГО ЗНАРЯДДЯ

Основою обґрунтування є аналітична модель [11, 12], яка відображає процес взаємодії робочого органу з ґрунтом. За моделлю, беручи до уваги повний тензор напружень у верхній частині тріщини ґрунтового простору, визначаються, загальні рівняння робочої поверхні (в умовах неблокованого або напівзаблокованого різання) з чистим відшаруванням (3.1) (рис. 3.1) і чистим зсувом (3.2) (рис. 3.2):

$$\begin{aligned} & \cos \frac{\theta_1}{2} \left(1 - \sin \frac{K}{2} \sin \frac{3}{2} K \right) x'^2 + \cos \frac{K}{2} \left(1 + \sin K \sin \frac{3}{2} Q_1 \right) y'^2 + \\ & + 2 \sin \frac{K}{2} \cos \frac{K}{2} \cos \frac{3}{2} K x' y' = 0, \end{aligned} \quad (3.1)$$

$$z' = \operatorname{tg} \frac{M}{2} x', \quad (3.2)$$

де: K , M , – параметри робочої поверхні залежно від фізичних характеристик ґрунтів, *град*;

x' , y' , z' – поточні координати робочої поверхні, м.

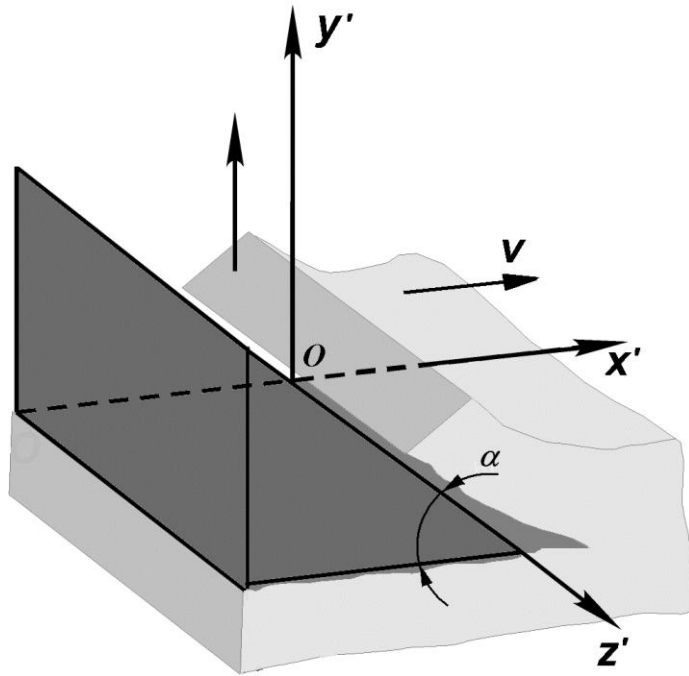


Рис. 3.1. Відшарування ґрунтового середовища (відрив)

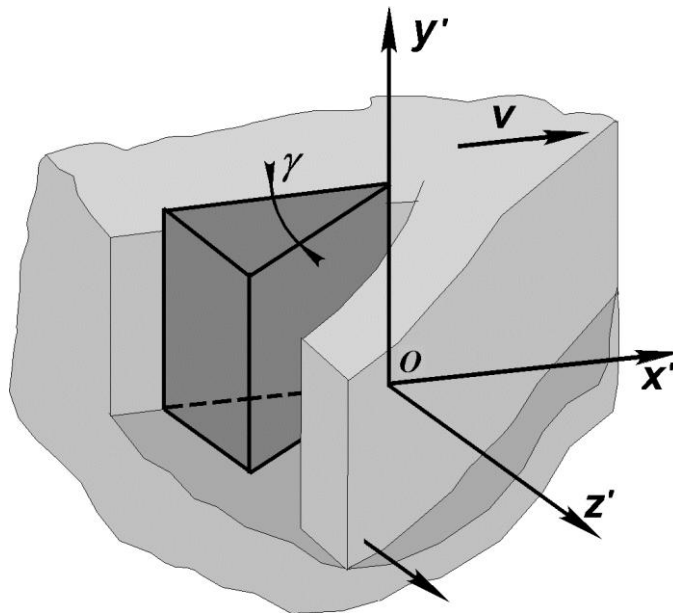


Рис. 3.2. Зсув ґрунтового середовища

В результаті спільного вирішення рівнянь (3.1) та (3.2) було встановлено залежність форми робочої поверхні фронтальної робочої поверхні дискового робочого органу, що обробляє тіло ґрунту на глибині обробітку. Результуюча форма робочої поверхні описує поверхню гіперболічного параболоїду (рис. 3.4), та описується формулою (3.3).

$$x = \frac{H_{\max} \cdot z}{\operatorname{tg} \gamma_0 \cdot y}, \quad (3.3)$$

Де: H_{\max} – максимальна глибина обробітку ґрунту робочим органом, м
 γ_0 – кут скручування робочої поверхні в напрямку площини обертання диска, град;

x, y, z – координати точок робочої поверхні, м.

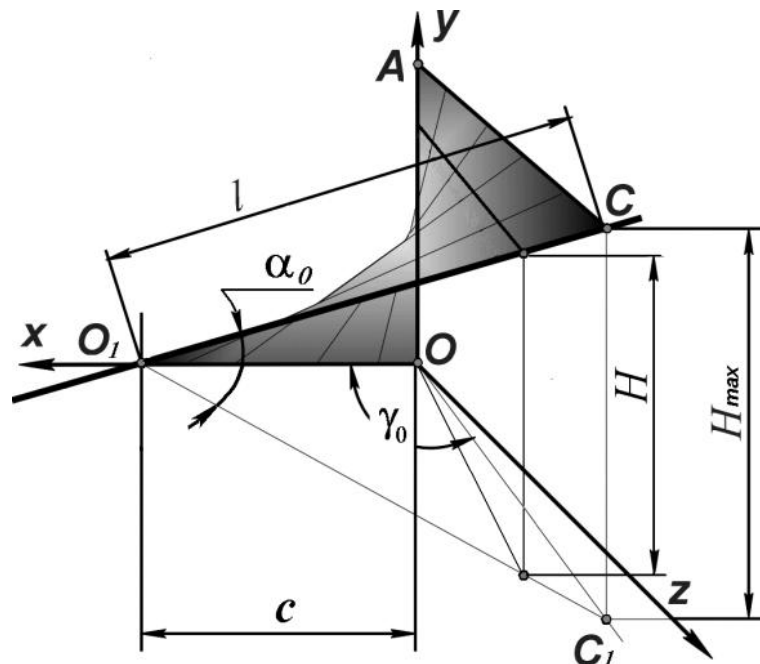


Рис. 3.4. Схема побудови робочої поверхні ґрунтообробного органу (гіперболічний параболоїд): α_0 – кут передньої ріжучої кромки до днища

борозни; γ_0 - кут скручування робочої поверхні елементу диска ґрунтообробного органу в напрямку площини обертання диска

В процесі розв'язку вищеназваних рівнянь виявлено залежність кута скручування робочої поверхні елементу диска від глибини обробки (3.4)

$$\gamma_0 = \gamma_{\max} - H_{\max} \frac{d\gamma_0}{dH}, \quad (3.4)$$

де: γ_{\max} – максимальний кут скручування робочої поверхні елементу диска для певного типу ґрунту, град;

$d\gamma_0$ по dH – показник, що враховує механічні характеристики ґрунтового середовища, град/м

Кількість робочих елементів на одному робочому диску (рис. 3.5) визначається як:

$$n \leq \frac{2\pi r_r}{s + (c \cos \gamma_0)} \quad (3.5)$$

де: r_r – радіус робочого органу разом із встановленими на ньому робочими елементами, м;

s – проекція відстані k між найближчими точками сусідніх робочих елементів на площину, паралельну площині обертання диска, м;

c - довжина робочого елементу, м.

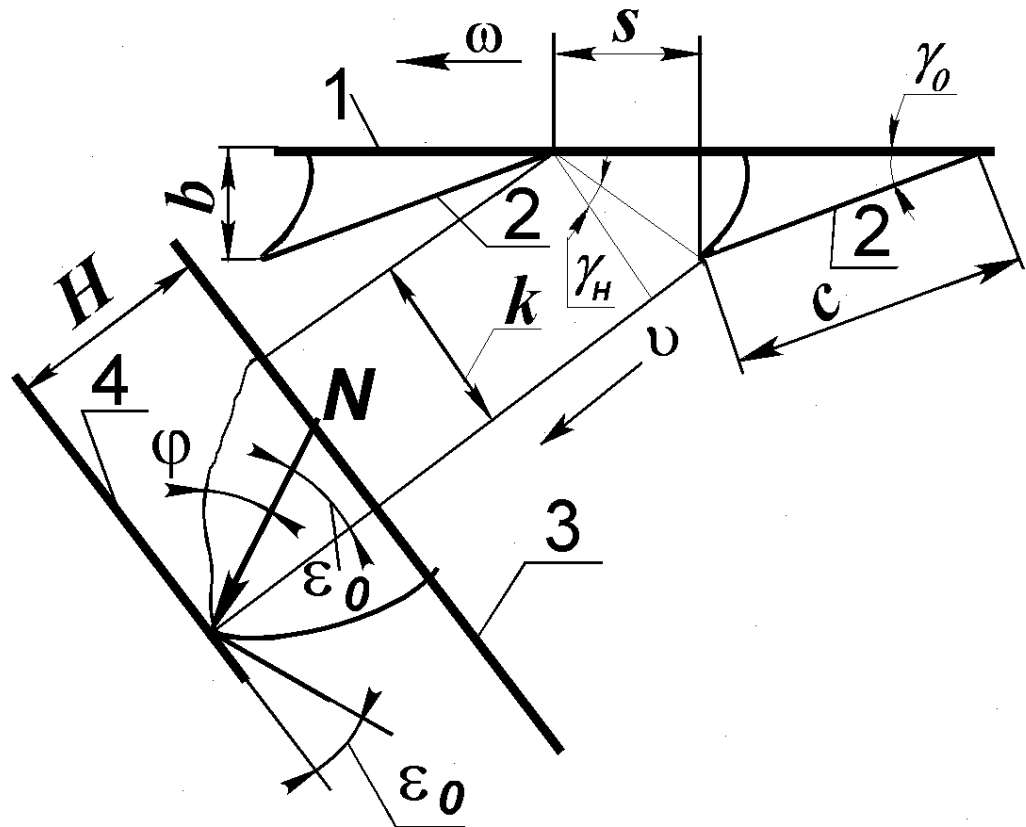


Рис. 3.5. Схема розміщення робочих елементів диска ґрунтообробного органу

1 – горизонтальна проекція площини обертання диска; 2 - горизонтальні виступи верхнього краю робочих елементів диска; 3 - поверхня поля; 4 - днище борозни; b - проекція робочої ширини робочого органу на площину, перпендикулярну площині обертання диска; k - відстань між найближчими точками сусідніх робочих елементів; γ_H - кут скручування робочої поверхні диска до площини обертання робочого органу, при номінальній глибині обробітку; ϕ - кут тертя на поверхні робочого органу, ϵ_0 - кут нижнього краю робочого елемента до днища борозни; ω - напрямок обертання диска; u - напрямок лінійного руху диска

Параметри наведені на рис визначають основні геометричні параметри робочої поверхні диска (рис. 3.6).

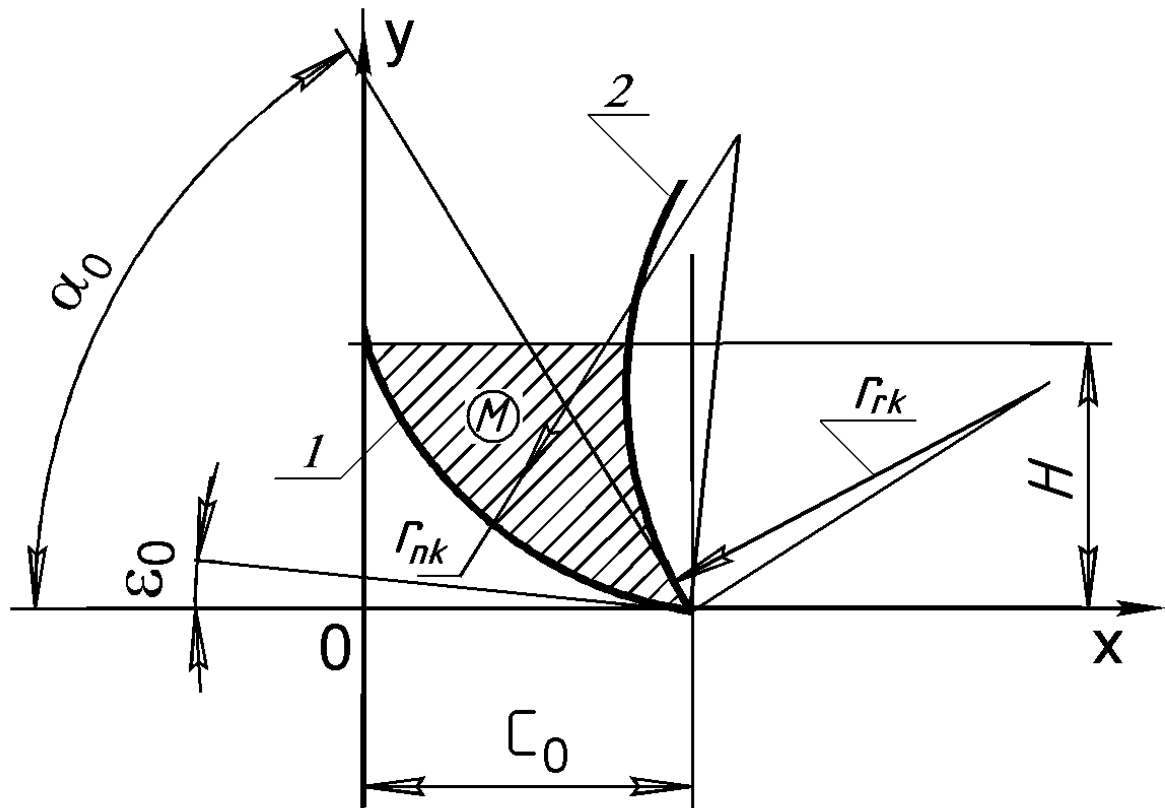
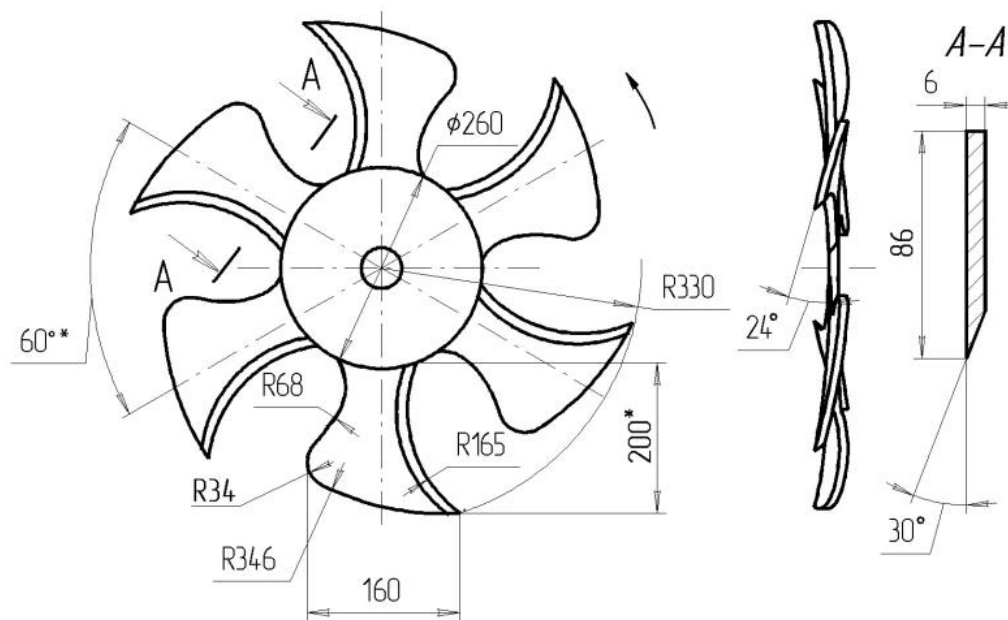


Рис 3.6. Теоретичний профіль робочої частини диска: 1 - нижній край; 2 - верхня ріжуча кромка; r_{rk} - радіус верхньої ріжучої кромки; r_{nk} - радіус нижнього краю; c_0 - проекція довжини робочого елемента на поверхню поля; H - глибина обробітку ґрунту

На основі аналітичних розв'язків рівнянь (3.1–3.5) були визначені геометричні параметри екологічнобезпечного робочого органу, що забезпечує роботу в режимі відшарування ґрунту, що зменшує його руйнування. Також виготовлено експериментальні зразки робочого органу дискового ножа (рис. 3.7, а) (рис. 3.7, б).



a)



b)

Рис. 3.7. Робочий орган дискового ножа: а) геометричні параметри, б) загальний вигляд прототипу

Для вивчення процесу роботи дискового робочого органу на основі кінематичних рівнянь (3.6) руху окремих точок робочих органів була створена аналітична модель руху батареї робочих органів (рис. 3.8).

$$\left. \begin{aligned} x &= v_p t + A \cos \beta \cos(\omega t - \alpha) + B \sin \beta + nl \sin \beta; \\ y &= B \cos \beta - A \sin \beta \cos(\omega t - \alpha) + nl \cos \beta; \\ z &= -A \sin(\omega t - \alpha), \end{aligned} \right\} \quad (3.6)$$

де: x, y, z – координати досліджуваних точок А, В, С, D, Е, F, А', В' моделі дискового робочого органу, м;

v_p – швидкість прямолінійного руху робочого органу, м/с;

β – кут атаки батареї дискових робочих органів, град;

ωt – кут повороту дискового робочого органу, відведений від осі ОХ за годинниковою стрілкою, рад;

l – відстань між дисковими робочими органами в батареї, м;

A, B – параметри, що визначають лінійні координати розташування досліджуваних точок диска робочого органу, м;

α – параметр, що визначає кутові координати розташування досліджуваних точок, град;

n – порядковий номер дискового робочого органу в батареї.

В результаті використання запропонованої комп'ютерної моделі нами було проведено моделювання повноти обробітку ґрунту (рис. 3.9). Встановлено, що при кутах атаки від 20 до 24 град встановлення батареї робочих органів та відстані між робочими органами 0,2 м повнота обробітку відповідає агротехнічним вимогам.

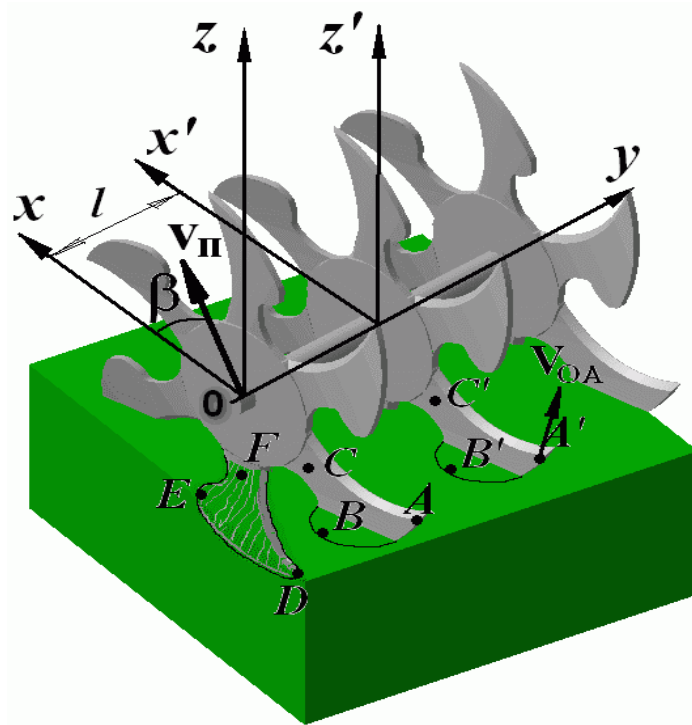


Рис. 3.8. Графічна інтерпретація комп'ютерної моделі батареї дискових робочих органів: А, В, С, D, E, F, А', В' – характерні точки ножів робочих органів.

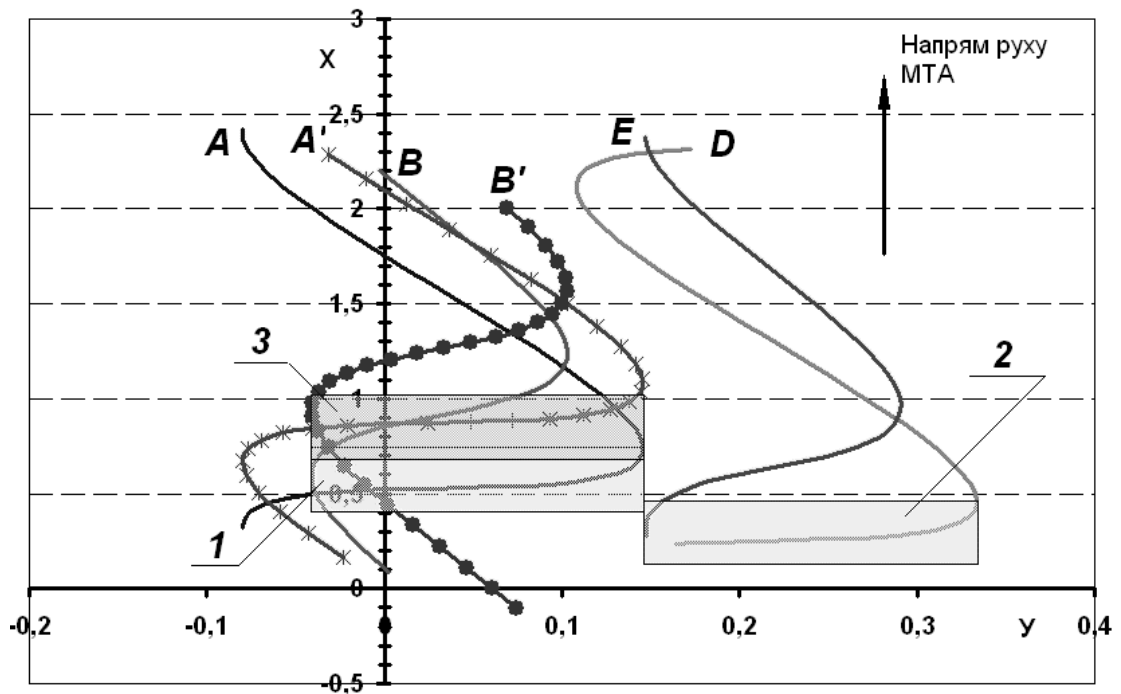


Рис.3.9. Варіант моделювання повноти обробітку ґрунту для кута атаки 20 градус, відстані між дисками 20 см.

Також було змодельована висота гребнів на полі (рис. 3.10).

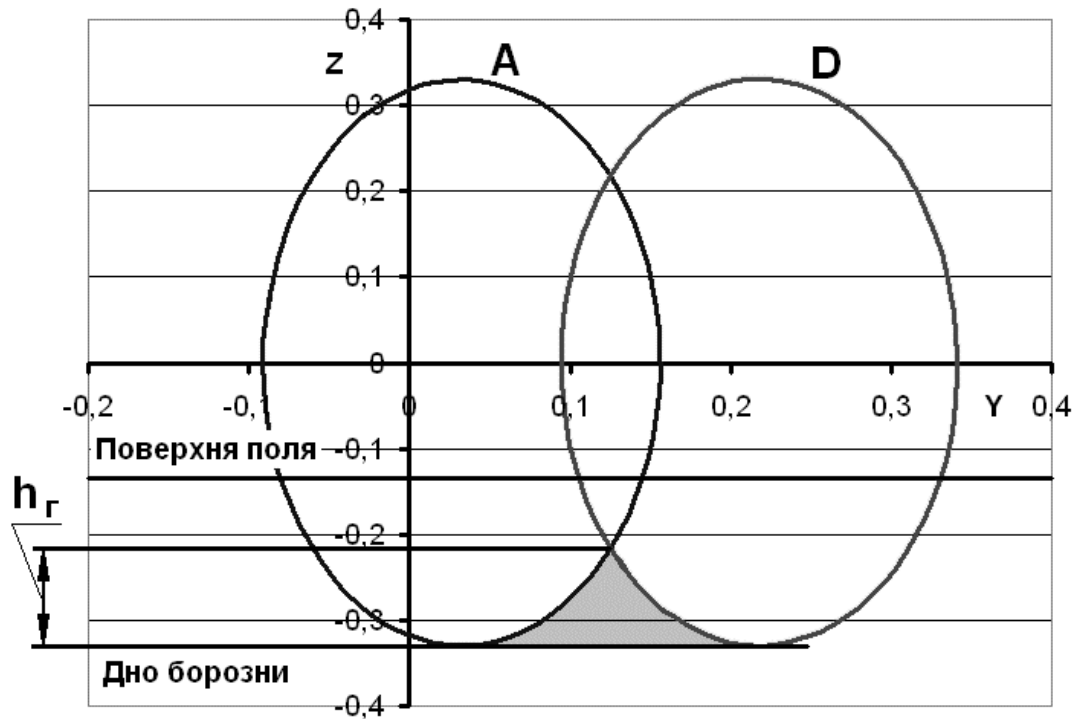


Рис. 3.10. Моделювання висоти гребнів на поверхні поля

Встановлено, що при кутах атаки від 20 до 24 град встановлення батареї робочих органів та відстані між робочими органами 0,2 м висота гребнів на полі відповідає агротехнічним вимогам.

Висновки до розділу

Встановлено, що при кутах атаки від 20 до 24 град встановлення батареї робочих органів та відстані між робочими органами 0,2 м повнота обробітку та висота гребнів поверхні поля відповідає агротехнічним вимогам.

ВИСНОВКИ

Доречним є застосування в умовах Полісся України ротаційних ґрунтообробних знарядь та знарядь оснащених дисковими робочими органами, для виконання комплексу ґрунтообробних операцій, що забезпечують як основний, так і передпосівний обробіток у визначених ланках відповідних сівозмін з метою поліпшення ґрунтових умов для росту сільськогосподарських культур, економії енергетичних ресурсів, та зменшення затрат праці на одиницю продукції.

Існуючі типи конструкцій дискових ґрунтообробних інструментів не можуть повністю забезпечити закопування органічних залишків та органічних добрив та частково порушують структурність ґрунтового покриву. Крім того, дисковий орбобіток призводить до часткового руйнування важливих структурних ґрунтових формувань. Порушення структурності ґрунту призводить до зниження його мікробіологічної активності, викликає негативні явища дефляції та інші.

В працях учених проаналізовано обробіток ґрунту з огляду на руйнування та порушення структурності ґрунту та встановлено що ґрунтообробні робочі органи, що працюють в режимі чистого відриву ґрунту, або відшарування значно менше порушують структурність ґрунту.

Основою обґрунтування конструкції робочого органу є аналітична модель, яка відображає процес взаємодії робочого органу з ґрунтом з чистим відшаруванням.

В результаті використання запропонованої комп'ютерної моделі нами було проведено моделювання повноти обробітку ґрунту. Встановлено, що при кутах атаки від 20 до 24 град встановлення батареї робочих органів та відстані між робочими органами 0,2 м повнота обробітку відповідає агротехнічним вимогам. Також було змодельована висота гребнів на полі. Встановлено, що при кутах атаки від 20 до 24 град встановлення батареї робочих органів та відстані між робочими органами 0,2 м висота гребнів на полі відповідає агротехнічним вимогам.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Zabrodskyi P., Kukharets S., Zabrodskyi A., Česna J. Determination of the rational profile for the disk working tool when cultivating of sod podzolic soils. Research and Innovation for Bioeconomy, 2019. (<http://doi.org/10.15544/RD.2019.041>).
2. Шикуча, М. К., Балаєв, А. Д., Демиденко, О. В. Роль ґрунту та ґрунтозахисна роль соломи та інших післяжнивних залишків в агроценозах. Вісник сільськогосподарської науки. 2003. №4 с. 27-32.
3. Kukharets S., Golub G., Biletskii V., Medvedskyi O. Substantiation of the parameters of the disk-knife working body and the study of its work. Research in Agricultural Engineering. 2018. Vol. 64, no. 4, pp. 195–201.
4. Kukharets S., Zabrodskyi A., Biletskii V., Chuba V. The substantiation of the tense state of soil under condition of its interaction with wheels. Наукові горизонти (Scientific horizons). № 4 (67). 2018. С. 3-9.
5. Михайленко А. В. Проблематика використання ротаційних робочих органів ґрунтообробних знарядь. Біоенергетичні системи: матеріали IV Міжн. наук.-практ. конф., 29 трав. 2020 р. Житомир : Вид.-во ПНУ, 2020. С. 95–96.
6. Визначення радіусу кочення та ковзання коліс самохідних машин / Г.А. Голуб, С.М. Кухарець, В. В. Чуба, А. П. Забродський. Наукові горизонти (Scientific horizons). 2019. No 9 (82). С. 73-80. doi: 10.33249/2663-2144-2019-82-9-73-80.
7. Забродський П.М. Обґрунтування процесу роботи і параметрів дискових робочих органів ґрунтообробних знарядь Дис. ... канд. техн. наук:05.20.01. – Житомир, 1997. – 199с.
8. Шелудченко Б.А. Агромеханіка ґрунтів. Житомир, Полісся, 1992. – 249с.

9. Михайленко А. В. Особливості обробітку ґрунтів Полісся. Наукові читання–2020: матеріали науково-практичної конференції науково-педагогічних працівників, докторантів, аспірантів та молодих вчених факультету інженерії та енергетики, 5-6 березня 2020 р. Житомир: ЖНАЕУ, 2020. С. 190–192.

10. Golub G.A., Chuba V.V, Kukharets S.M., Tsyvenkova N.M. Yarosh Y.D. Calculation of a track formation process during wheel-ground interaction. INMATEH – Agricultural Engineering. 2019. Vol. 59. No. 3. P. 69–76. DOI: 10.35633/INMATEH-59-08

11. Кухарець С., Бродський Ю., Бушма В., Кухарець В. (2006): Моделювання параметрів роботи обертових робочих органів ґрунтообробних знарядь. Вісник Державного агроєкологічного університету, 2: 224–232.

12. Кухарець С., Шелудченко Б., Забродський П. (2002): Кінематична модель ротаційного ґрунтообробного органу. Вісник Державного агроєкологічного університету, 1: 133-137.