

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ПОЛІСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

**Факультет інженерії та енергетики**

**Кафедра процесів, машин і обладнання в агроінженерії**

Кваліфікаційна робота  
на правах рукопису

**ФОМОВИЧ АНДРІЙ ВІТАЛІЙОВИЧ**

УДК 631.512:631.41

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА  
ОБГРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ РОТАЦІЙНОГО  
ГРУНТООБРОБНОГО ЗНАРЯДДЯ**

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. Фомович

**Керівник роботи**

Заєць М. Л.

кандидат технічних наук, доцент

**Житомир – 2021**

## АНОТАЦІЯ

**Фомович Андрій Віталійович. Обґрунтування параметрів ротаційного ґрунтообробного знаряддя.** – *Кваліфікаційна робота на правах рукопису.*

Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня магістр за спеціальністю 208 Агроінженерія. – Поліський національний університет, Житомир, 2021.

При написанні кваліфікаційної роботи проведено аналіз науково-навчальної та світової літературно-технічних джерел, способів поверхневого обробітку ґрунту та знарядь, які застосовуються для забезпечення ротаційного обробітку поверхонь поля, виконано синтез робочих органів дисково-ротаційних машин. Зроблено дослідження сучасних вітчизняних та зарубіжних аналогів засобів виробництва і способів проектування та розробки ротаційних знарядь.

В процесі проектування встановлено основні переваги та недоліки, з якими зустрічаються на етапі проектування та випробування даних знарядь, та запропоновано власні доробки та гіпотези стосовно розрахунку та виготовлення ротаційних дискових робочих органів.

Виведено теоретичні та графічні залежності конструкційних параметрів ротаційних органів машин. Запропоновано концепцію нової конструкції ротаційного робочого органу. Проведено моделювання раціональних параметрів методом ранжування отриманих значень, диференційного моделювання та проектування роторів. Проведено дослідження запропонованих робочих органів машини для поверхневого обробітку ґрунту.

*Ключові слова: ротаційні знаряддя, кінематичні показники, радіус кривизни сфери, моделювання, раціональні параметри.*

## SUMMARY

**Fomovich A. Substantiation of parameters of rotary tillage tool.** - Qualification work on the rights of the manuscript. Qualifying work for a master's degree in 208 Agroengineering. - Polissya National University, Zhytomyr, 2021.

When writing the qualification work, the analysis of scientific-educational and world literary-technical literature, methods of surface tillage and tools used to ensure rotational tillage of field surfaces, synthesis of working bodies of disk-rotary machines was performed. The research of modern domestic and foreign analogues of means of production and methods of design and development of rotary tools is made.

In the design process, the main advantages and disadvantages encountered at the stage of design and testing of these tools are identified, and own developments and hypotheses regarding the calculation and manufacture of rotary disk working bodies are proposed.

Theoretical and graphical dependences of design parameters of rotating bodies of machines are deduced. The concept of a new design of a rotary working body is offered. Modeling of rational parameters by the method of ranking the obtained values, differential modeling and design of rotors is carried out. A study of the proposed working bodies of the machine for surface tillage.

***Key words: rotary tools, kinematic indicators, radius of curvature of sphere, modeling, rational parameters.***

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
РОЗДІЛ 1	
ОГЛЯД МАШИН ТА РОБОЧИХ ОРГАНІВ РОТАЦІЙНИХ ЗНАРЯДЬ	
1.1 Аналіз конструкцій сучасних ротаційних машин.....	7
1.2 Аналіз конструкційних параметрів ротаційних робочих органів.....	9
Висновки до розділу 1.....	12
РОЗДІЛ 2	
ТЕОРЕТИЧНІ ПЕРЕДУМОВИ ПРОЕКТУВАННЯ РОТАЦІЙНИХ ЗНАРЯДЬ	
2.1 Розрахунок основних параметрів ротаційних робочих органів.....	13
2.2. Використання результатів теоретичного проектування ротаційних робочих органів.....	17
Висновки до розділу 2.....	18
РОЗДІЛ 3	
РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ СПРОЕКТОВАНИХ РОБОЧИХ ОРГАНІВ	
3.1 Обґрунтування конструкційно-технологічних параметрів ротаційних робочих органів.....	20
3.2 Результати досліджень ротаційних робочих органів.....	22
Висновки до розділу 3.....	25
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	26
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	27

## ВСТУП

**Актуальність теми.** Підвищення ефективності шляхом застосування модернізованих механізованих технологічних процесів обробітку ґрунту, і ,як наслідок, системи машин і знарядь для виробничих процесів у рільництві, сприяє розвитку сільськогосподарської галузі в цілому. Використання в сучасних технологіях технічних засобів, які зменшують питомі експлуатаційно-грошові витрати та підвищують якість виконання обробітку з дотриманням агротехнічних зональних умов, високого ступеню якості агротехніки, що позитивно впливає на економічну ефективність їх застосування. У зв'язку з цим тема кваліфікаційної роботи спрямована на підвищення ефективності виробничих процесів поверхневого обробітку ґрунту є актуальною.

**Мета роботи:** підвищення ефективності виробничих процесів поверхневого обробітку ґрунту, шляхом обґрунтування параметрів ротаційних знарядь.

Задачі роботи:

- провести аналіз сучасних машин та робочих органів ротаційних знарядь;
- обґрунтувати оптимальні конструкційно-технічні параметри ротаційних знарядь для поверхневого обробітку ґрунту
- виконати дослідження спроектованих робочих органів, і визначити оптимальні режими їх експлуатації.

*Об'єкт дослідження* - технологічний процес поверхневої обробки ротаційними знарядями.

*Предмет дослідження* – залежність якості обробітку від конструктивно-технологічних параметрів ротаційних знарядь.

**Методи виконання роботи.** Обґрунтування виконувались із застосуванням методів механіко-технологічного моделювання, теорії руху матеріалу по робочих поверхнях, числового розв'язку задач з використанням ПЕОМ.

**Перелік публікацій автора за темою роботи:**

1. Романишин О. Ю. Механіко-технологічне обґрунтування взаємодії ротаційного знаряддя з ґрунтом / О. Ю. Романишин, А. В. Фомович // Наукові читання–2020Б: матеріали науково-практичної конференції факультету інженерії та енергетики, 5-6 березня 2020 р. Житомир: ЖНАЕУ, 2020. С. 183-185.
2. Заєць М. Л. Обґрунтування конструктивно-технологічних параметрів ротаційних робочих органів / М. Л. Заєць, А. В. Фомович // Студентські читання – 2020: Матеріали науково-практичної конференції факультету інженерії та енергетики «Студентські читання – 2020». 26 жовтня 2020 р. Житомир: Поліський національний університет, 2020. С. 458-461.
3. Заєць М. Л. Кінематичний аналіз і технологічний розрахунок ґрунтообробної фрези/ М. Л. Заєць, А. В. Фомович //Збірник тез доповідей науково-практичної конференції І-го туру Всеукраїнського конкурсу студентських наукових робіт з галузей знань і спеціальностей. 18 січня 2021 р. Житомир: Поліський національний університет, 2021. С. 54-57.

**Практичне значення отриманих результатів:**

Обґрунтовано параметри ротаційних знарядь для поверхневого обробітку ґрунту, які відрізняються тим, що мінімально розпилюють ґрунт під час деформації пласта та мають мінімальний вплив на структурність ґрунту. Обґрунтовано раціональні параметри ротаційних знарядь. Визначено кінематичні параметри роботи знаряддя при різних режимах використання.

**Структура та обсяг роботи.** Кваліфікаційна робота складається зі вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел з 16 найменування. Загальний обсяг роботи становить 28 сторінок комп'ютерного тексту, 17 рисунків, 2 таблиці.

## РОЗДІЛ 1

### ОГЛЯД МАШИН ТА РОБОЧИХ ОРГАНІВ РОТАЦІЙНИХ ЗНАРЯДЬ

#### 1.1 Аналіз конструкцій сучасних ротаційних машин

Сучасні машини з ротаційними робочими органами мають досить складну та водночас просту за функціями будову та призначення. Вони використовуються з метою, як поверхневого так і основного обробітку ґрунту. Застосування даного типу знарядь досить широке, оскільки, вони досить уніфіковані для різног виду обробітку(рис. 1.1) [6].

Якість проведення робіт ротаційних знарядь обумовлюється ступенем подрібнення склеєпінь ґрунту підрізання кореневих систем рослин, ротація і деформація ґрунту, висота гребнів на глибині обробітку, залежить від констукційно-технологічних параметрів ротаційних ґрунтообробних знарядь радіус, лінійна сфероподібність дисків, кут входження в ґрунт, крок встановлення роторів та дисків, кута атаки. Обґунтований вибір даних параметрів не може обиратися довільно, а повинені регламентуватись у встановлених діапазонах згідно фізико-механічних та зональних особливостей ґрунтів.

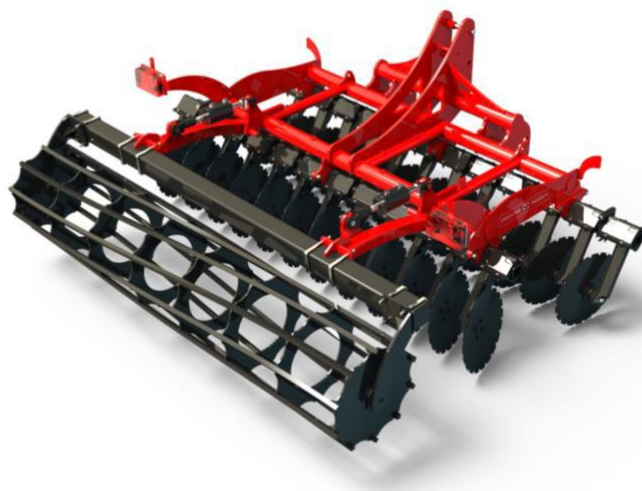


Рис. 1.1. Дісковий ротаційний агрегат GREGOIRE-BESSON Normandie P 510-24

Даний агрегат складається з нескладна рама, транспортна ширина відповідає робочій, 2 ряди мульчуючих зубчастих и вигнутих ротаційних дисків діаметром 510x5мм на стовбі Rabeflex (з діаметром. 460 мм и 560 мм в додаткових опціях). Механічне регулювання робочої глибини відбувається котком або зчіпкою котком. В комплекті стандартні сигнальні вогні.

Даний тип машин виготовляється і в модифікації зі секційною рамою (рис.1.2.), при збільшеній робочій ширині захвату[6].



Рис. 1.2. Ротаційний агрегат GREGOIRE-BESSON Normandie PR 510-32

Машина має гідравлічне вертикальне складання; транспортна ширина 2,5 м механічне регулювання робочої глибини котком • 2 ряди мульчувальних зубчастих сферичних дисків діаметр 510x5мм на стійці Rabeflex герметичні підшипники, які необслуговуються.

Ротаційний дисковий агрегат NORMANDIE SP2 напівначіпна машина агрегується із тракторами потужністю 130-220 к. с. Робочі органи встановлені на індивідуальних стійках, якими регулюється кут атаки, а також глибина обробки ґрунту[6].





Рис. 1.3. Ротаційний дисковий агрегат NORMANDIE SP2

Агрегат має несучий міст з колесами 15 R 22,5 / 65 R 22,5 або 385/65 R 22,5, гідравлічне складання двох секцій, транспортна ширина менш 3,00 м • вал 80x80 мм, втулка 10 отворів; гідравлічне гальмо (опціонально); два ряди ротаційних зубчастих і сферичних дисків діаметром 510x5мм на стійці Rabeflex (діаметром 460мм і 560мм в опціях); гідропідвіска на несучих рушіях; гідравлічне регулювання робочої глибини котком; механічна компенсація сніци; • кільце на конічній втулці або на Ø 45 або 55 мм; рамки для перевезення знарядь.

Основним недоліком даних машин з ротаційними робочими органами є:

- Високий питомий тяговий опір;
- Необхідність агрегування з енергонасиченими тракторами 230-280 к. с.;
- Потреба в значних зусиллях при заглибленні робочих органів;
- Створення недопустимої висоти гребенів на поверхні поля, що потребує встановлення додаткових пристосувань для вирівнювання профілю;
- Висока вартість виготовлення.

## 1.2 Аналіз конструкційних параметрів ротаційних робочих органів

Всі ротаційні дискові робочі органи (рис.1.4.), в основному, мають наступний профіль: гладкі, зубчасті, лопатеві, біч-диски виготовляються зі

сталей, які пройшли спеціальну термообробку і містять марганець і бор, і є дуже зносостійкими[6].

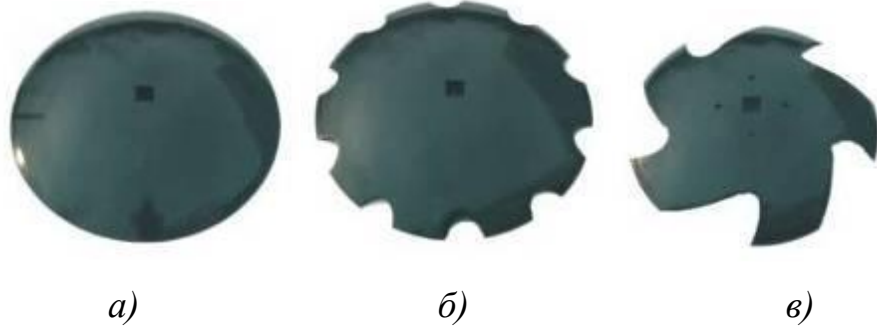


Рис. 1.4. Ротаційні дискові робочі органи:

а) гладенькі; б) зубчасті; в) біч-диски.

В стандартну комплектацію ротаційних машин вносять також протиерозійні, протирозкидні ротаційні типи знарядь (рис. 1.5.)



Рис. 1.5. Протиерозійні протирозкидні ротаційні робочі органи

Одним із недоліків даного типу ротаційних знарядь являється велика відстань відкидання зрізаного шару ґрунту, що вимагає встановлення додаткового обладнання машин, що збільшує вагу машини, і як наслідок тяговий опір. (рис. 1.6.)



Рис. 1.6. Дефлектор обмеження дальності польоту ґрунту

При обмеженні руху масиву ґрунту виникає каскад проблем із забиванням ротаційних знарядь, тому необхідно встановлювати додаткові знаряддя для рішення цієї задачі (рис. 1.7.).



Рис. 1.7. Чистики DM SCRAPPERS на котках Емопак

Необхідна потужність трактора для дискових ротаційних знарядь, зазначених в цьому розділі, розрахована на колісні трактори, що працюють зі швидкістю від 7 до 10 км / год, що свідчить про обмеження швидкісного режиму роботи.

### Висновки до розділу 1

1. Провівши аналіз можна зробити наступні висновки, що ротаційні робочі органи не досить пристосовані для проведення обробітку на високих швидкісних режимах, більших 3 м/с, оскільки зі зростанням швидкості кратно збільшується дальність відкидання ґрунту та утворення недопустимої гребнистості поверхні поля.
2. Основними недоліками машин з ротаційними робочими органами є: високий питомий тяговий опір; необхідність агрегування з енергонасиченими тракторами 230-280 к. с.; потреба в значних зусиллях при заглибленні робочих органів; створення недопустимої висоти гребенів на поверхні поля, що потребує встановлення додаткових пристосувань для вирівнювання профілю; висока вартість виготовлення.
3. При обмеженні руху масиву ґрунту виникає каскад проблем із забиванням ротаційних знарядь, тому необхідно встановлювати додаткові знаряддя для рішення цієї задачі.

## РОЗДІЛ 2

## ТЕОРЕТИЧНІ ПЕРЕДУМОВИ ПРОЕКТУВАННЯ РОТАЦІЙНИХ ЗНАРЯДЬ

## 2.1 Розрахунок основних параметрів ротаційних робочих органів

Робочими органами ротаційних знарядь, як за правило є сферичні дискові поверхні, що встановлюються під кутом до напрямку руху тобто лінії дії тяги трактора (кут атаки  $\alpha=10...35^0$  кут між площиною обертання диска і напрямком руху). В процесі обертання відносно осі встановлення, ротаційні знаряддя підрізають кореневі системи шкідників, деформують і частково обертають шар ґрунту на встановлену глибину. Глибина обробітку даних машин 4...30 см.

Ротаційні робочі органи в меншій мірі піддаються забиванню корневими системами і рослинними рештками, ніж пасивні робочі органи, що рухаються поступально. Але, ротаційні робочі органи погано проводять обертання ґрунту[1,2.].

Недоліком даних ґрунтообробних знарядь є зростаюча реакція опору на різальних кромках, що зумовлює виштовхувальний момент їх з шару ґрунту і потребує прикладання суттєвих зусиль для заглиблення їх на задану глибину обробітку[3,4,5]. Ротаційні робочі органи не досить пристосовані для проведення обробітку на високих швидкісних режимах, більших 3 м/с, оскільки зі зростанням швидкості кратно збільшується дальність відкидання ґрунту та утворення недопустимої гребнистості поверхні поля.

Діаметр твірного кола ротаційного знаряддя (рис. 2.1) визначимо із емпіричної залежності :

$$D = k \cdot a \quad (2.1)$$

де  $k$ - конструкційний коефіцієнт, для ротаційних знарядь  $k = 6...8$ ;

$a$  - глибина обробітку.

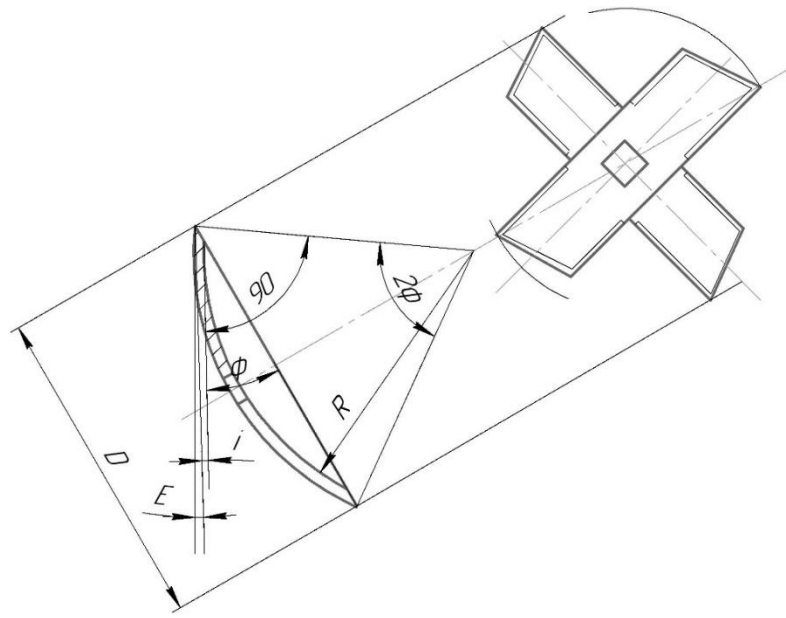


Рис. 2.1. Геометричні параметри сферичного ротаційного робочого органу  
*i* - зовнішній кут загострення різальної кромки;  
*ε* - кут між зовнішньою стороною різучої кромки ротора і стінкою гребня.

Обираючи коефіцієнт  $k$  необхідно враховувати довжину валу ротора, здатність знаряддя копіювати рельєф поверхні ґрунту, розмірні параметри розпірних бонок і підшипників, засміченість поверхні поля пожнивних решток і бур'янів, оскільки дані фактори суттєво впливають на забивання ґрунту між робочими органами. Тобто зі зростанням важкості умов роботи, коефіцієнт  $k$  необхідно обирати більшим [3, ст.86, 5, ст. 124].

При проектуванні ротаційних знарядь потрібно враховувати, що зі збільшенням габаритних розмірів роторів, зокрема діаметра диска, різко зростає опір заглиблення знаряддя, що негативно впливає на момент заглиблення їх в ґрунт [4, ст. 143, 5, ст. 69].

Зазор між дисковими роторами на валу секції розраховується з умови не забивання ґрунту між ними, згідно нерівності (2.2) (рис. 2.2.).

$$l \geq 1,5 \cdot a, \quad (2.2)$$

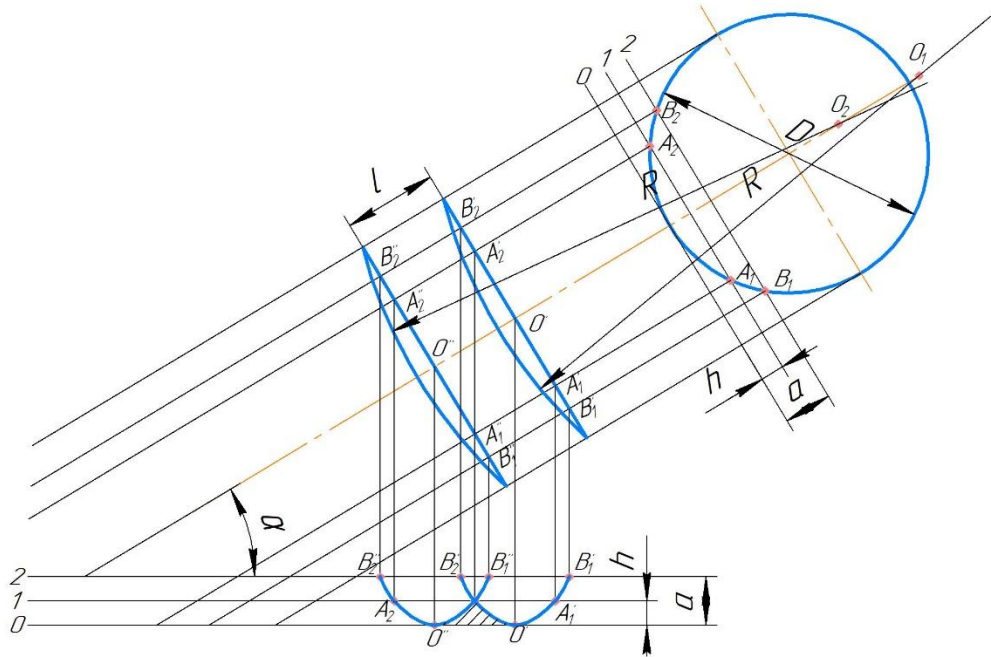


Рис. 2.2. Схема утворення гребеня між суміжними ротаційними робочими органами на валу секції

Розраховуючи діаметр диска ротора  $D$  і відстань між ними  $b$  на валу секції необхідно забезпечити не тільки умову не забивання ротаційних органів машини, а з дотримання на глибині обробітку допустиму по агротехнічних вимогах висоту гребнів  $c \leq 0,5a$  (рис. 2.2.). Якщо  $c > 0,5a$ , то не відбувається якісний процес зрізання рослин та їхніх кореневих систем та шкідників[3, ст.92, 5, ст. 126].

Допустима гребнистість  $c$  залежить від діаметра твірного кола ротора  $D$ , зазорах між ротаційними робочими органами на валу секції, кута атаки  $\alpha$ . Враховуючи всі перелічені фактори відстань між роторами на осі обертання обчислимо за залежністю[3, ст.88, 5, ст. 129]:

$$L = 2\sqrt{c(D - c)} \cdot \operatorname{tg} \alpha, \quad (2.3)$$

де  $c$ - допустима гребнистість дна борозни;  $c \leq 0,5a$ ;

$D$ - діаметр твірного кола ротора;

$\alpha$ - кут атаки.

Визначення радіуса сфери диска  $R$  (рис.2.2) відбувається із співвідношення [3, ст.95,]:

$$R = \frac{D}{2 \sin \varphi} \quad (2.4)$$

де  $\varphi$  - кут розкриття сектора сфери.

Кут  $\varphi$  отримаємо з виразу:

$$\varphi = \alpha - i - \varepsilon, \quad (2.5)$$

де  $i$  - зовнішній кут загострення різальної кромки  $i=8...15^0$ );

$\varepsilon$  - кут між зовнішньою стороною різучої кромки ротора і стінкою гребня,  $\varepsilon = 4...6^0$ ).

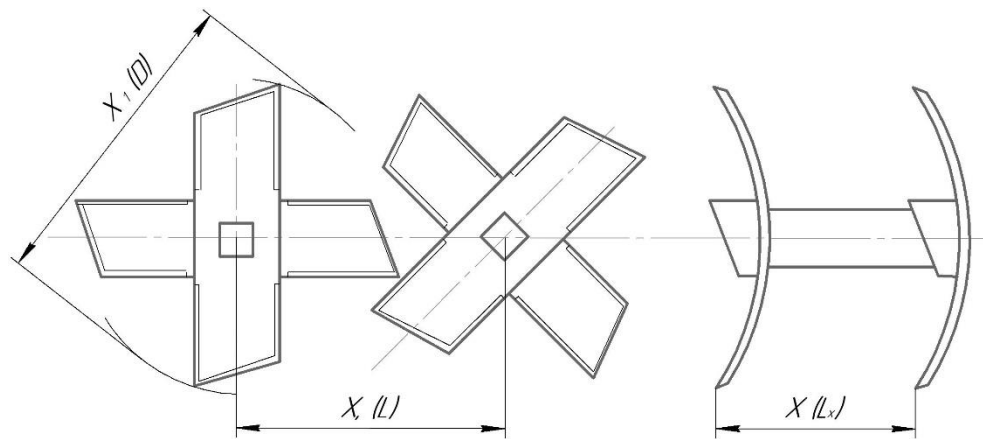


Рис. 2.3. Схема сферичного ротаційного диска з основними параметрами

Радіус кривизни сфери  $R$  не бажано приймати більшим за розрахунковий, отриманого з виразу (2.4), оскільки це призведе до зменшення ступеня кришіння і мікшування ґрунту, і менший теж, що приведе до негативних наслідків занурення ротаційних знарядь у ґрунт, в наслідок створення від'ємного значення кута  $\varepsilon$  [14, 15, 16.].

Товщина тіла ротаційних робочих органів  $\delta$  визначається за емпіричною залежністю[4, ст.195.]:

$$\delta = 0,008D + 0,0005R + 0,0412a \quad (2.6)$$



## 2.2. Використання результатів теоретичного проектування ротаційних робочих органів

Аналіз результатів теоретичних досліджень, що стосується розробки сферичних ротаційних робочих органів, можна провести на прикладі застосування методики побудови модельної характеристики для реального робочого органу за раціональними факторами, отриманими в результаті розрахунків для глибини обробітку ґрунту  $a = 15$  см.

Використавши дану методику, отримаємо характеристики ротаційного робочого органу (рис. 2.4).

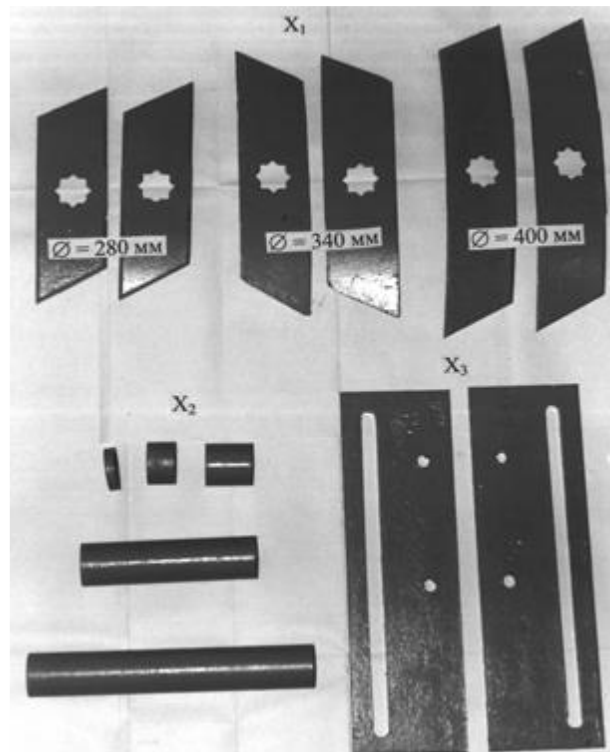


Рис. 2.4. Досліджувані параметри ротаційних робочих органів

Реакції від горизонтально прикладеного навантаження силою тяги трактора:

– у горизонтальній площині –  $R_x = 2365,5 \cdot X_1 + 75646,4 \cdot X_2^2$ ;

– у вертикальній площині –  $R_y = 42548,45 \cdot Y + 2138,09 \cdot 10^6 \cdot Y^2$ .

Побудуємо графічні залежності на фактичних значеннях (рис. 2.5., 2.6.).

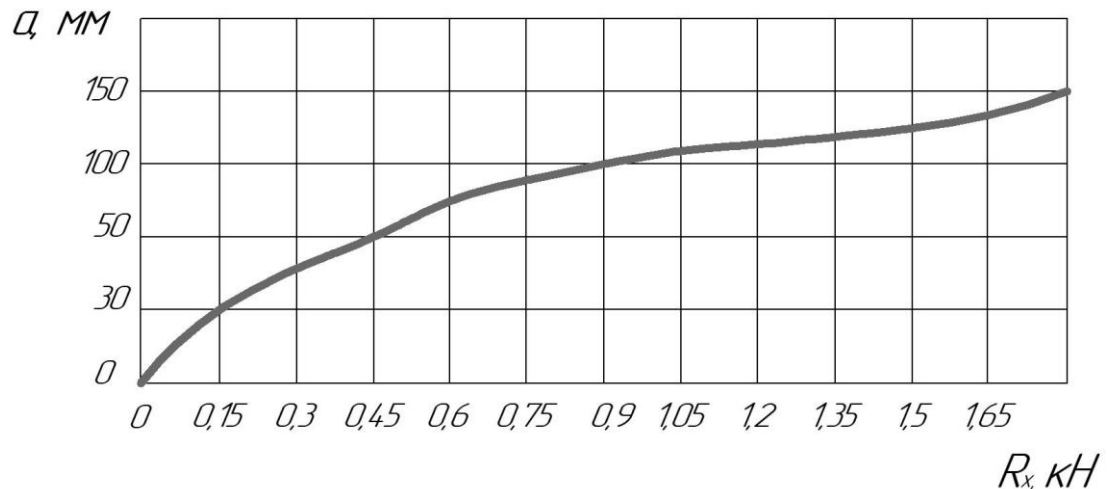


Рис. 2.5. Графічна залежність опору ротаційного робочого органу від глибини обробітку у горизонтальній площині

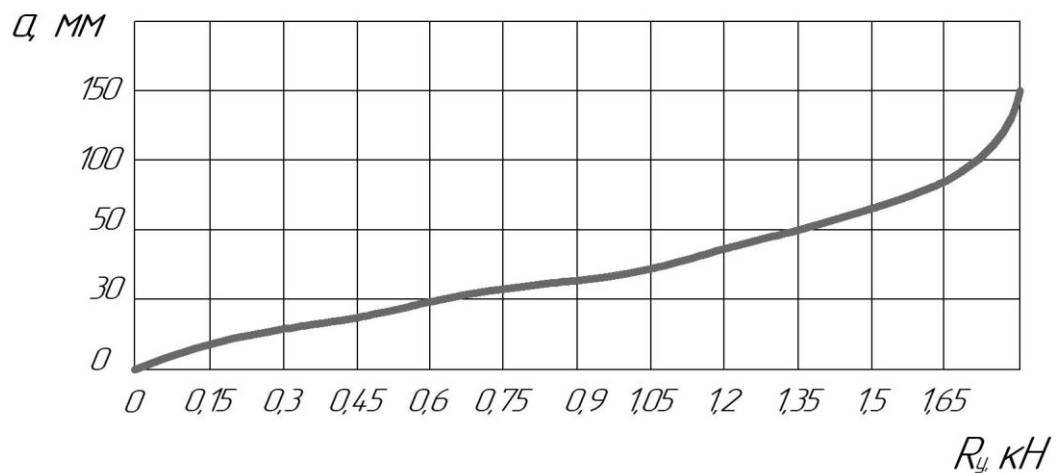


Рис. 2.6. Графічна залежність опору ротаційного робочого органу від глибини обробітку у вертикальній площині

## Висновки до розділу 2

1. Отримано механіко-математичні моделі, що дозволяють характеризувати процес взаємодії ротаційного знаряддя з ґрунтом. Побудовано методику розрахунку конструкційно-технологічних параметрів ротаційних робочих органів, що регламентують їхню роботу в допустимих за агротехнічними й вимогами відхилення глибини обробітку у заданому діапазоні, за умови мінімально-допустимої гребнистості дна борозни  $c \leq 0,5a$ .

Використання дано методики при проектуванні ротаційних робочих органів, дасть можливість оцінити якість виконання технологічного процесу поверхневого обробітку.

2. Теоретично встановлено характеристики ротаційного знаряддя на етапі розробки та проектування машин. Визначено раціональні параметри робочих органів для виконання поверхневого обробітку на глибину до 15 см.

## РОЗДІЛ 3

## РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ СПРОЕКТОВАНИХ РОБОЧИХ ОРГАНІВ

## 3.1 Обґрунтування конструкційно-технологічних параметрів ротаційних робочих органів

За результатами випробувань різних заводів [7, 8, 9.] і проведеними теоретичними обрахунками отримано фактори, що в найбільший вплив на проведення обробітку ротаційних робочих органів є: діаметр твірного кола ротаційного знаряддя –  $d$  ( $x_1$ ); між осьова відстань встановлення –  $l$  ( $x_2$ ); зазор між суміжними роторами на валу секції –  $l_x$  ( $x_3$ ).

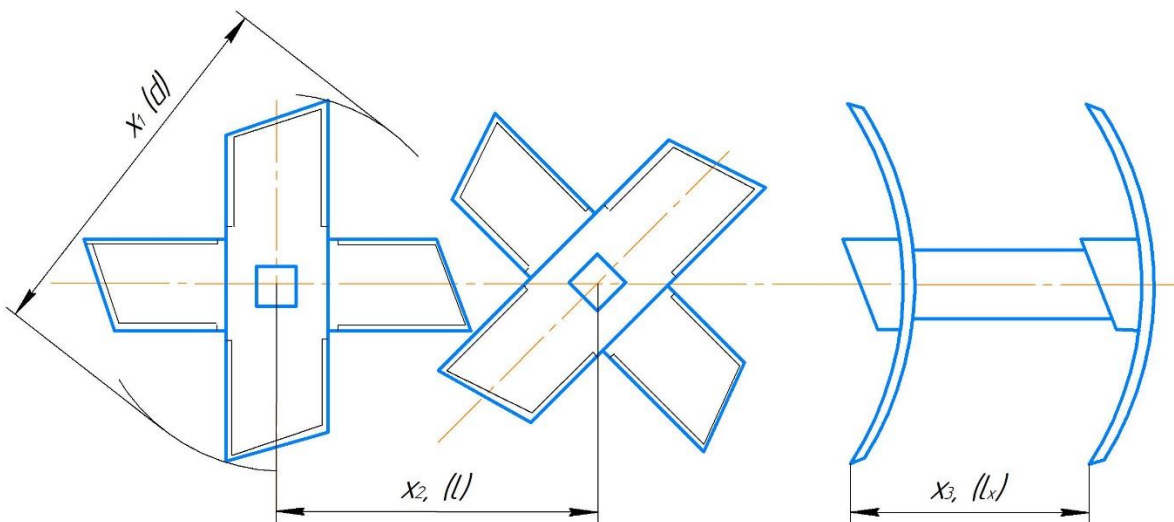


Рис. 3.1. Схема розташування і параметри ротаційних робочих органів на машині

При обробці масиву даних параметрів досліджень використовували стандартний критеріальний план 1-го порядку для трьох факторів [12, 13]. Параметри робочих органів досліджувались згідно ДСТУ 2258–93 “Випробування сільськогосподарської техніки. Машини та знаряддя для поверхневого і передпосівного обробітку ґрунту”.

За раціональний параметр у дослідженнях був обраний ступінь подрібнення ґрунту « $I$ » на глибину від 0 до 12 см (відсоткове співвідношення загального об'єму масиву ґрунту до об'єму агрегатного стану розміром не менше 20 мм).

Ротаційні робочі органи та машина для проведення досліджень (рис. 3.2.) виготовлена в умовах приватного сільськогосподарського підприємства ПСП «Очередько» та СТОВ «Старокотельнянське» (с. Стара Котельня Андрушівського району Житмирської області). Рівні варіювання значущих факторів в експерименті наведено в табл. 3.1.

Таблиця 3.1.

Рівні варіювання значущих факторів

Фактори		Рівні варіювання			Інтервал (-+)
		-1	0	+1	
діаметр твірного кола ротаційного знаряддя – $d$	( $x1$ )	280	340	400	60
між осьова відстань встановлення – $l$	( $x2$ )	250	400	550	150
зазор між суміжними роторами на валу секції– $l_x$	( $x3$ )	150	200	250	50

Дослідження відбувались на трьох швидкісних режимах руху 8,4 км/год (2,33 м/с), 11, 2 км/год (3,11 м/с), 12,8 км/год (3,55 м/с).

### 3.2 Результати досліджень ротаційних робочих органів

Ротаційні робочі органи та знаряддя створенні з метою різання, кришіння, часткового обертання та розпушення поверхневого шару ґрунту з рослинними або поживними рештками на глибину до 150 мм.



Рис. 3.2. Ротаційні робочі органи та машина для проведення досліджень

Отримавши масив числових значень параметрів якості, та ступеня подрібнення ґрунту «П» та після х обробки за допомогою ПОЕМ виведено рівняння, які в достатній мірі описують регресію прийнятого критерія оптимізації, за різних швидкісних режимах руху машино-тракторного агрегату.

8,4 км/Год (2,33 м/с),

$$\pi = 88.54 - 0.12X_1 - 0.85X_2 - 0.125X_3 - 0.895X_1 \cdot X_2 - 0.798X_1X_3 + 0.0032X_2X_3 - 6.566X_1^2 - 3.0005X_2^2 - 1.354X_3^2 - 1.145X_1X_2X_3$$

11, 2 км/год ( 3,11 м/с):

$$\pi = 78.58 - 0.22X_1 - 0.66X_2 - 0.2X_3 - 0.12X_1 \cdot X_2 - 0.95X_1X_3 + 0.0056X_2X_3 - 5.932X_1^2 - 2.45X_2^2 - 0.863X_3^2 - 1.35X_1X_2X_3$$

12,8 км/Год (3,55 м/с):

$$\pi = 83.21 - 0.16X_1 - 0.75X_2 - 0.185X_3 - 0.995X_1 \cdot X_2 - 0.956X_1X_3 + 0.0125X_2X_3 - 7.254X_1^2 - 2.986X_2^2 - 1.256X_3^2 - 1.632X_1X_2X_3$$

діаметр твірного кола ротаційного знаряддя –  $d$  ( $x1$ ); між осьова відстань встановлення –  $l$  ( $x2$ ); зазор між суміжними роторами на валу секції–  $l_x$  ( $x3$ ).

Отримано поверхню відгуку залежності ступеня подрібнення ґрунту та його перемішування від конструкційно технологічних параметрів ротаційного знаряддя рис. 3.3.

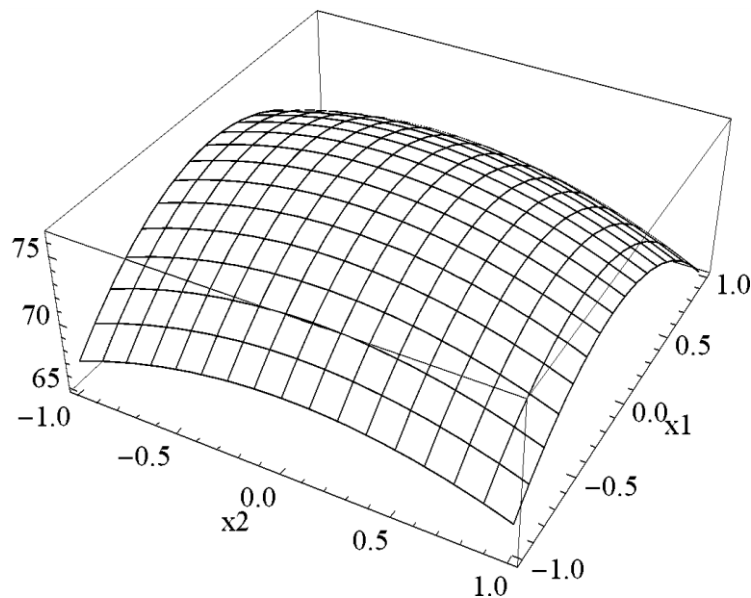


Рис. 3.3. Графічна залежність критерію оптимізації від параметрів ротаційних робочих органів

Розраховано раціональні значення результатів розрахунків (табл. 3.2.) на 3-х режимах роботи, за умови  $\Pi \leq$  значенню АТВ, та побудовано графічну залежність оптимальних конструкційних параметрів ротаційних робочих органів (рис. 3.4.)

Таблиця 3.2.

Раціональні значення результатів розрахунків роторних робочих органів

фактори	Параметри робочих органів		
	8,4 км/год (2,33 м/с)	11,2 км/год (3,11 м/с)	12,8 км/год (3,55 м/с)
діаметр твірного кола ротаційного знаряддя – $d$ (x1)	400,3	380	349
між осьова відстань встановлення – $l$ (x2)	356	395,5	408
зазор між суміжними роторами на валу секції – $l_x$ (x3)	165	183	220

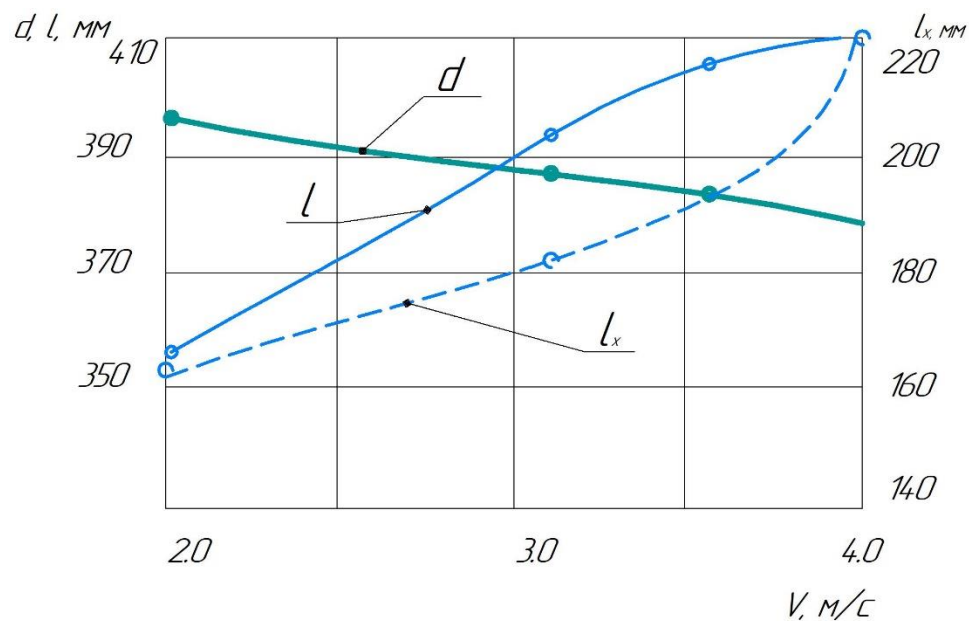


Рис. 3.4. Графічна залежність оптимальних конструкційних параметрів ротаційних робочих органів



Отримано оптимальні значення конструкційних параметрів батареї ротаційно-планчастих робочих знарядь, які застосовуються для поверхневого обробітку ґрунту в залежності від швидкісного режиму роботи агрегату.

#### Висновки до розділу 3

1. Ротаційні робочі органи створенні з метою різання, кришіння, часткового обертання та розпушення поверхневого шару ґрунту з рослинними або пожнивними рештками на глибину до 150 мм.
2. Розраховано раціональні значення результатів розрахунків (табл. 3.2.) на 3-х режимах роботи, за умови  $\Pi \leq$  значенню АТВ, та побудовано графічну залежність оптимальних конструкційних параметрів ротаційних робочих органів (рис. 3.4.)
3. Знайдено оптимальні значення конструкційних параметрів батареї ротаційно-планчастих робочих знарядь, які застосовуються для поверхневого обробітку ґрунту в залежності від швидкісного режиму роботи агрегату, що становлять для тракторів тягового класу 14 кН при швидкості 8,4 км/год (2,33 м/с)  $d=400$  мм,  $l=356$  мм,  $l_x = 16$  мм, при яких ступінь кришіння ґрунту є достатнім та задовольняє агротехнічні вимоги.

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Провівши аналіз можна зробити наступні висновки, що ротаційні робочі органи не досить пристосовані для проведення обробітку на високих швидкісних режимах, більших 3 м/с, оскільки зі зростанням швидкості кратно збільшується дальність відкидання ґрунту та утворення недопустимої гребенистості поверхні поля.

Основними недоліками машин з ротаційними робочими органами є: високий питомий тяговий опір; необхідність агрегування з енергонасиченими тракторами 230-280 к. с.; потреба в значних зусиллях при заглибленні робочих органів; створення недопустимої висоти гребенів на поверхні поля.

2. Отримано механіко-математичні моделі, що дозволяють характеризувати процес взаємодії ротаційного знаряддя з ґрунтом. Побудовано методику розрахунку конструкційно-технологічних параметрів ротаційних робочих органів, що регламентують їхню роботу в допустимих за агротехнічними й вимогами відхилення глибини обробітку у заданому діапазоні, за умови мінімально-допустимої гребнистості дна борозни  $c \leq 0,5a$ . Використання даної методики при проектуванні ротаційних робочих органів, дасть можливість оцінити якість виконання технологічного процесу поверхневого обробітку.

3. Розраховано раціональні значення результатів розрахунків (табл. 3.2.) на 3-х режимах роботи, за умови  $\Pi \leq$  значенню АТВ, знайдено оптимальні значення конструкційних параметрів батареї ротаційно-планчастих робочих знарядь, які застосовуються для поверхневого обробітку ґрунту в залежності від швидкісного режиму роботи агрегату, що становлять для тракторів тягового класу 14 кН при швидкості 8,4 км/год (2,33 м/с)  $d=400$  мм,  $l=356$  мм,  $lx=16$  мм, при яких ступінь кришіння ґрунту є достатнім та задовольняє агротехнічні вимоги.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Войтюк Д.Г., Гаврилюк Г.Р. Сільськогосподарські машини. Підручник. 2-е вид. – К: Каравела, 2008.- 552с.
2. Сільськогосподарські машини. Основи теорії та розрахунку.: Підручник / Д.Г. Войтюк, В.М. Барановський, В.М. Булгаков та ін.; за ред. Д.Г. Войтюка. – К.: Вища освіта, 2005. – 464 с.
3. Сисолін П.В. та ін. Сільськогосподарські машини: теоретичні основи конструкція, проектування: Підручник для студентів вищих навчальних закладів із спеціальності «Машини та обладнання с.г. виробництва» (За ред. М.Г. Черновола). – Кн.1. К.: Урожай, 2001.-384с.
4. Кленин Н.И., Саун В.А. Сельскохозяйственные и мелиоративные машины. - М.: Колос, 1994. – 751с.
5. Сельскохозяйственные и мелиоративные машины./ Г.Е. Листопад, Г.К. Демидов, Б.Д. Зонов и др.; Под общ. ред. Г.Е. Листопада. – М.: Агропромиздат, 1986. – 688с.
6. [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу:<https://www.gregoire-besson.com/ru/machines/normandie>.
7. Сайт компанії Kverneland [Електронний ресурс] – Режим постійного доступу: <http://www.kverneland.com>.
8. Сайт компанії Rau [Електронний ресурс] – Режим постійного доступу: <http://www.rau.com>.
9. Сайт компанії Lemken [Електронний ресурс] – Режим постійного доступу: <http://www.lemken.com>.
10. Сайт компанії Krause [Електронний ресурс] – Режим постійного доступу: <http://www.krauseco.com>.
11. Сайт компанії Kongskilde [Електронний ресурс] – Режим постійного доступу: <http://www.kongskilde.com>.

12. Красовський Г. М., Филаретов Г. Ф. Планування експеримента. - Мн .: Вид-во БГУ, 1982. - 302 с.
13. Крижачковський М. Л. Моделювання та оптимізація технічних і технологічних процесів в землеробстві: Монографія. - Варшава, 1999. - 123 с.
14. 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.
15. Синеоков Г. Н. Дисковые рабочие органы почвообрабатывающих машин. – М.: ВИСХОМ, 1989. – 88 с.
16. Синеоков Г. Н., Панов И. М. Теория и расчет почвообрабатывающих машин. – М.: Машиностроение, 1977. – 328 с.