

ДЕРЖАВНИЙ АГРОЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
(ДАУ)

На правах рукопису

КУХАРЕЦЬ САВЕЛІЙ МИКОЛАЙОВИЧ

УДК 631.313.6

**ОБҐРУНТУВАННЯ ПРОЦЕСУ РОБОТИ ТА ПАРАМЕТРІВ
РОТАЦІЙНО-ЛОПАТЕВОГО РОБОЧОГО ОРГАНУ
ҐРУНТООБРОБНОГО ЗНАРЯДДЯ**

Спеціальність: 05.05.11

Машини і засоби механізації сільськогосподарського виробництва

Дисертація
на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Науковий керівник:
кандидат технічних наук, доцент
Шелудченко Б.А.

Глеваха - 2004

З М І С Т

ВСТУП.....	4
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ ПИТАННЯ. ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	10
1.1. Агротехнологічні особливості обробітку дерново-підзолистих ґрунтів.....	10
1.2. Аналіз конструкцій ротаційних робочих органів ґрунтообробних машин.....	17
1.3. Аналіз досліджень впливу форми робочої поверхні ґрунтообробних органів на параметри обробітку.....	26
1.4. Задачі досліджень.....	34
РОЗДІЛ 2. ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ВЗАЄМОДІЇ РОТАЦІЙНО-ЛОПАТЕВОГО РОБОЧОГО ОРГАНУ З ҐРУНТОМ.....	35
2.1. Дослідження геометрії робочої поверхні ґрунтообробних органів..	35
2.2. Визначення основних геометричних параметрів ротаційно-лопатевого робочого органу ґрунтообробного знаряддя.....	51
2.3. Обґрунтування конструкції ротаційно-лопатевого робочого органу для ґрунтових умов Полісся України.....	65
2.4. Оптимізація параметрів процесу роботи.....	70
2.5. Тягово-енергетична оцінка ротаційно-лопатевого робочого органу.....	87
Висновки до розділу 2.....	90
РОЗДІЛ 3. ПРОГРАММА ТА МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	92
3.1. Програма експериментальних досліджень.....	92
3.2. Методика модельного дослідження впливу параметрів ротаційно-лопатевого робочого органу на якість обертання оброблюваної скиби ґрунту.....	93

3.3. Методика комп'ютерного дослідження впливу параметрів установки та показників роботи ротаційно-лопатевих робочих органів на агротехнологічні показники обробітку ґрунту.....	99
3.4. Визначення тягово-енергетичних показників ротаційно-лопатевого робочого органу.....	102
3.5. Дослідження агротехнологічних показників якості обробітку ґрунту.....	104
РОЗДІЛ 4. РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ РОТАЦІЙНО-ЛОПАТЕВИХ РОБОЧИХ ОРГАНІВ ТА ЇХ АНАЛІЗ.....	108
4.1. Вплив параметрів ротаційно-лопатевого робочого органу на якість обертання оброблюваної скиби ґрунту.....	108
4.2. Вплив параметрів роботи ротаційно-лопатевого робочого органу на агротехнологічні показники обробітку ґрунту.....	113
4.3. Аналіз результатів дослідження тягового опору ротаційного робочого органу.....	122
4.4. Результати порівняльних досліджень ґрунтообробних знарядь оснащених ротаційними робочими органами.....	117
Висновки до розділу 4.....	129
РОЗДІЛ 5. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ЗАСТОСУВАННЯ ГРУНТООБРОБНИХ ЗНАРЯДЬ ОСНАЩЕНИХ РОТАЦІЙНО-ЛОПАТЕВИМИ РОБОЧИМИ ОРГАНАМИ.....	131
5.1. Розрахунок економічної ефективності знарядь оснащених ротаційно-лопатевиими робочими органами.....	129
5.2. Науково-виробнича перевірка знаряддя оснащеного ротаційно-лопатевиими робочими органами в господарських умовах.....	139
Висновки до розділу 5.....	140
ОСНОВНІ ВИСНОВКИ.....	142
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	144
ДОДАТКИ.....	155

ВСТУП

Обробіток ґрунту один з важливих складників в системі агротехнічних заходів у виробництві продукції рослинництва. Саме цей складник спрямований на покращення всього комплексу умов розвитку рослин. Зміна властивостей орного шару ґрунту, за допомогою механічного обробітку, забезпечує найбільш сприятливі умови для протікання біологічних та фізико-хімічних процесів у ґрунті.

Актуальність теми. В системі основного та передпосівного обробітків ґрунту на Україні, в цілому, та в зоні Полісся, зокрема, широкого застосування набуває обробіток ґрунту знаряддями з ротаційними робочими органами. Найбільш широко використовуються ґрунтообробні знаряддя типу БДН-1,8, БДТ-3, БДТ-7, оснащені сферичними вирізними роторами. Використання цих знарядь забезпечує скорочення термінів підготовки ґрунту до посіву, зниження енерговитрат та витрат праці на 20...25%, в порівнянні, з іншими типами ґрунтообробних машин. Однак, в силу своїх конструкційних особливостей ґрунтообробні знаряддя оснащені серійними робочими органами не повною мірою забезпечують агротехнічні вимоги стосовно заробки добрив, рослинних решток, гербіцидів тощо; а також призводять до часткового руйнування агрономічно цінних структурних формувань ґрунту, особливо малозв'язних дерново-підзолистих ґрунтів. Так, при заробці органічних добрив дисковою бороною в поверхневому шарі ґрунту (0...6 см), залишається до 75% внесених добрив, що значно зменшує ефективність їх використання сільськогосподарськими рослинами. Тому необхідним є обґрунтування робочих процесів ротаційного обробітку спрямованих на покращення показників обертання скиби та розробка конструкцій відповідних робочих органів, що забезпечували б достатню якість обробітку ґрунту за основними агротехнологічними показниками.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Робота виконана у відповідності до комплексної програми "Національна програма

розробки і виробництва технологічних комплексів машин і обладнання сільського господарства, харчової і переробної промисловості”, затвердженої Кабінетом Міністрів України від 7.03.1996р.; в межах держбюджетної теми “Обґрунтувати конструкційно-технологічні параметри, спроектувати та виготовити дослідний зразок мобільної комбінованої ґрунтообробної машини із швидкозмінюваними модулями робочих органів”, номер державної реєстрації №0100U000002 (коди тематичних рубрик 55.57.31). Дисертаційна робота відповідає вимогам паспорту спеціальності 05.05.11 – “Машини і засоби механізації сільськогосподарського виробництва”, який затверджено Президією ВАК України.

Мета роботи. Підвищення якості обробітку кореневмісного шару ґрунту та оптимізація його агротехнологічних властивостей шляхом застосування ґрунтообробних знарядь оснащених ротаційно-лопатевиими робочими органами.

Задачі досліджень.

1. Проаналізувати стан та перспективи застосування ротаційних робочих органів в конкретних ґрунтових умовах та виконати аналіз досліджень впливу форми робочої поверхні ґрунтообробних органів на параметри обробітку.

2. Обґрунтувати процес роботи та конструкційно-технологічні параметри ротаційно-лопатевого робочого органу з поліпшеними характеристиками обертання скиби ґрунту для ґрунтово-кліматичних умов Полісся України.

3. Експериментально визначити вплив параметрів ротаційно-лопатевиих робочих органів на якість обробітку ґрунту та експлуатаційно-енергетичні показники процесу роботи ґрунтообробного знаряддя. Виконати порівняльні дослідження пропонованого робочого органу з серійними ротаційними робочими органами ґрунтообробних знарядь.

4. Визначити техніко-економічну ефективність застосування ґрунтообробних знарядь оснащених ротаційно-лопатевиими робочими органами в умовах Полісся України.

Об'єкт досліджень. Процес роботи, конструкційні та технологічні параметри ротаційно-лопатевих робочих органів адаптованих до ґрунтово-кліматичних умов Полісся України.

Предмет досліджень. Динаміка агротехнологічних показників обробітку кореневмісного шару ґрунту в процесі взаємодії робочого органу з оброблюваним профілем ґрунту.

Методи досліджень. Аналіз робочого процесу та параметрів розробленого ротаційно-лопатевого робочого органу виконувався із застосуванням аналітичних основ землеробської механіки та теоретичних основ пружно-в'язко-пластичного руйнування ґрунтового середовища з урахуванням його напружено-деформованого стану, методів числового-імітаційного та фізичного моделювання, загальної теорії подібності. Експериментальні дослідження виконувались в лабораторно-польових умовах з використанням експериментального обладнання, дослідних зразків ґрунтообробних знарядь оснащених пропонованими робочими органами та спеціально розроблених комп'ютерних програм. Для дослідження тягового опору ротаційно-лопатевого робочого органу застосовувався метод тензометрії. Отримані дані оброблені методами математичного аналізу та ймовірносно-статистичними методами.

Наукова новизна одержаних результатів. Встановлено закономірності, що характеризують взаємодію ротаційно-лопатевого робочого органу з ґрунтом. Аналітично обґрунтовано профіль робочої поверхні ножа-лопати пропонованого ґрунтообробного органу та оптимальну кількість ножів-лопатеїв на одному роторі. Розроблено числові моделі для дослідження показників процесу роботи ротаційно-лопатевого робочого органу та динаміки обертання скиби ґрунту. Запропоновано методики: модельного дослідження процесу роботи ротаційних ґрунтообробних органів з використанням фізичної моделі ґрунту; оцінки якості розподілення рослинних решток та добрив за глибиною. Експериментально визначено агротехнічні та енергетичні показники виконання технологічного процесу обробітку ґрунту знаряддями оснащеними ротаційно-лопатеєвими робочими органами. Розроблено емпіричні моделі впливу

конструкційних та технологічних параметрів ротаційно-лопатевих робочих органів на агротехнологічні показники обробітку ґрунту.

Технічну новизну пропонуваніх ротаційних робочих органів засвідчено патентами України №35997А, №56502А та №56503А.

Практичне значення одержаних результатів. Обґрунтовано раціональні конструкційно-технологічні параметри та розроблено конструкцію ротаційно-лопатевих робочих органів для застосування в зоні Полісся України, що забезпечують підвищення якості обробітку дерново-підзолистих ґрунтів за основними агротехнічними вимогами та покращують тягово-енергетичні показники ґрунтообробного агрегату. Розроблено технічну документацію на ротаційно-лопатевий робочий орган, яку передано підприємству-виробнику – АТ “Будмаш” (м.Житомир). Дослідні зразки знаряддя БДН-1,8РЛ-1 та БДН-1,8РЛ-2, оснащенні розробленими робочими органами, пройшли науково-виробничу перевірку на дослідному полі Житомирського агротехнологічного коледжу та дослідне впровадження в СТОВ “Юрківщина” (с.Ярунь, Новоград-Волинський район, Житомирська обл.).

Особистий внесок здобувача. Основні результати дисертаційної роботи отримані автором самостійно, а саме: проведено аналіз роботи ґрунтообробних робочих органів ротаційного типу; обґрунтовано раціональну геометричну форму робочої поверхні ґрунтообробного органу; визначено основні конструкційні параметри ротаційно-лопатевого робочого органу; виконано конструкційні розрахунки ножа-лопаті ротаційно-лопатевого робочого органу; встановлено параметри процесу роботи пропонуваного робочого органу; розроблено механіко-математичні моделі, які характеризують взаємодію ротаційно-лопатевих робочих органів з орним шаром ґрунту та вплив конструкційно-технологічних параметрів робочих органів на агротехнічні та тягово-енергетичні показники роботи ґрунтообробного знаряддя оснащеного пропонуваними робочими органами; розроблено технічну документацію на нові робочі органи, методику та комп’ютерне програмне забезпечення для визначення конструкційно-технологічних параметрів ротаційно-лопатевих

робочих органів; визначено техніко-економічні показники роботи ґрунтообробного знаряддя з ротаційно-лопатевими робочими органами у порівнянні з серійним (БДН-1,8) знаряддям; розроблено рекомендації для заводів сільськогосподарського машинобудування та господарств АПК.

Апробація результатів досліджень. Розроблені ротаційно-лопатеві робочі органи експонувались на міжнародних виставках: “Екологія 2002, (м. Київ) та АГРО-2002 (м. Київ). Результати роботи доповідались на науково-технічних, науково-практичних конференціях та семінарах: “Міжнародна науково-технічна конференція присвячена 100-чю академіка П.М.Василенка” (м.Київ, 2000), “ХІ Міжнародна науково-технічна конференція “Технічний прогрес у сільськогосподарському виробництві” (Глеваха, 2003), на кафедрі загальнотехнічних дисциплін Державного агроєкологічного університету (Житомир, 2001, 2002, 2003); на секційному засіданні лабораторії агро механіки та агросистемного проектування Поліської молодіжної академії наук (Житомир, 2001, 2002); на міжкафедральному семінарі ДАУ “Сучасні проблеми аграрної механіки” (Житомир, 2003); на семінарі кафедри механіки технічних систем Житомирського інженерно-технологічного інституту (2003); на засіданні лабораторії механізації обробітку ґрунту і посіву ННЦ ІМЕСГ УААН (Глеваха, 2003).

Публікації. Результати роботи опубліковані в 5-ти статтях, що вміщені у фахових виданнях України та 3-х патентах України:

1. Кухарець С.М. Результати випробувань ротаційних робочих органів з гіперболічними ножами лопатями //Міжвідом. темат. наук. зб. Механізація та електрифікація сільського господарства. – 2003 – Вип.87. – С.82-88.

2. Кухарець С.М., Шелудченко Б.А., Забродський П.М. Кінематична модель ротаційного ґрунтообробного знаряддя //Вісник Державного агроєкологічного університету. – Житомир, 2002. – №1. – С.133-137. (Особистий внесок – змодельовано процес роботи батареї ротаційно-лопатевих робочих органів).

3. Модельні дослідження макетів ротаційних робочих органів ґрунтообробних знарядь /С.М.Кухарець, Б.А.Шелудченко, В.О.Шубенко та ін.

/"Механізація сільськогосподарського виробництва": Зб. наук. пр. Нац. аграр. ун-ту. – К., 2000. – №8. – С.199-202. (Особистий внесок – розроблено методику модельного дослідження впливу параметрів ротаційно-лопатевого робочого органу на якість обертання оброблюваної скиби ґрунту, аналіз експериментальних результатів).

4. Надійність роботи ґрунтообробного знаряддя з “кільцевими” ротаційними робочими органами за наявності у них технологічних тріщин /Б.А. Шелудченко, В.О. Шубенко, С.М. Кухарець та ін. //Вісник Державної агроекологічної академії України. – Житомир, 1999. – №1-2. – С.124-129. (Особистий внесок – участь у розробці програми графічного сканування)

5. Шубенко В.О., Шелудченко Б.А., Кухарець С.М. Аналіз результатів показників якості обробітку ґрунту порівняльних випробувань “кільцевих” робочих органів. //Вісник Державної агроекологічної академії України. – Житомир, 2000. – №1. – С.281-284. (Особистий внесок – підготовка та проведення дослідів, аналіз результатів).

6. Патент України 35997А, МКВ А01В21/04. Ґрунтообробний ротаційний робочий орган /Б.А.Шелудченко, А.С.Малиновський, С.М.Кухарець, П.М.Забродський, М.П.Фомін, В.О.Шубенко, О.В.Сітовський, А.М.Можаровський (Україна). – №9908458; заявлено 10.08.1999; опубл.16.04.2001, Бюл.№3. – 2с.

7. Патент України 56502А, МКВ А01В19/02. Ґрунтообробне ротаційне знаряддя /Б.А.Шелудченко, А.С.Малиновський, А.Є.Зоря, М.П.Дідівський, С.М.Кухарець, І.А.Шелудченко, В.О.Шубенко, Н.Б.Шелудченко, Н.О.Пінчук (Україна). – №2002065309; заявлено 27.06.2002; опубл.15.05.2003, Бюл.№5. – 3с.

8. Патент України 56503А, МКА А01В21/04. Ґрунтообробний робочий орган ротаційно-лопатевого типу /С.М.Кухарець, Б.А.Шелудченко, А.С.Малиновський, С.Ф.Кучеров, М.П.Фомін, В.В.Кухарець, В.І.Котков, А.М. Климчук, В.О.Шубенко (Україна). – №2002065310; заявлено 27.06.2002; опубл.15.05.2003, Бюл.№5. – 3с.

РОЗДІЛ 1.
АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ ПИТАННЯ.
ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕНЬ

1.1. Агротехнологічні особливості обробітку дерново-підзолистих ґрунтів

З огляду на те, що ґрунт необхідно розглядати, як важливу складову природновиробничої агроєкосистеми, головним призначенням якої є максимальне нагромадження енергії рослинними організмами [32], продуктивна сталість агроєкосистеми має супроводжуватись розширеним відтворенням загальної маси органічної речовини ґрунту, в тому числі найбільш визначальної щодо агроєкологічних властивостей її частини – гумусу. Інтенсифікація землеробства, в умовах прогресуючої деградації ґрунтового покриву, навпаки, призвела до дегуміфікації дерново-підзолистих ґрунтів. За даними [74], мінімально-допустимий вміст гумусу в дерново-підзолистих ґрунтах: для глинисто-піщаних типів – 1,4...1,6%, а для супіщаних – 1,6...1,8%. Фактично ж, вміст гумусу [32] в розораних ґрунтах центральних районів Полісся варіює в межах 0,6...1% (найнижчий рівень гумусу, в порівнянні з іншими типами ґрунтів), що не є достатнім для оптимізації за агрофізичними та агрохімічними властивостями зони живлення сільськогосподарських рослин.

Аналіз основних типів ґрунтів (додаток А.1, [62, 95]) свідчить, що до 67% площі орних земель на території Полісся, займають дерново-підзолисті ґрунти. Дерново-підзолистим ґрунтам властива відносно низька природна родючість [50]. Вони мають малопотужний орний шар (15...22 см) з підвищеною водопроникністю (до 4мм/хв). Їм властива низька вологоємність (6...15%), та незначна гігроскопічність (1...4%). Маючи низьку ємність вбирання (1,5...8,5 мг-екв на 100г), дерново-підзолисті ґрунти містять незначну кількість основ і поживних речовин. Їх ґрунтовий розчин має кислу реакцію: рН сольове становить 4,2...5,6, а гідролітична кислотність – 1,5...3,5 мг-екв. на 100г ґрунту;

насиченість кальцієм слабка. Рівень вмісту гумусу в орному шарі низький (0,6...1%). Запаси поживних речовин у дерново-підзолистих ґрунтах малі: азоту – 0,05...0,08%, фосфору 0,04...0,09% і калію – 1,0...1,5% сухої речовини ґрунту. Невисокий рівень вмісту мікроелементів: на 1 кг сухого ґрунту запаси кобальту становлять 2 мг, марганцю – 98 мг, цинку – 29 мг, бору 4 мг.

Так, як зона живлення рослин на дерново-підзолистих ґрунтах розташована на незначній глибині (до 12 см) (табл.1.1., [88]), то необхідно першочергово створити оптимальний агрофізичний стан поверхневого шару ґрунту. Одним з найвагоміших та найдоступніших заходів оптимізації агрофізичного стану ґрунту є його обробіток [32, 74], в поєднанні з раціональною системою удобрення та іншими агротехнологічними заходами [21, 23, 32, 50].

Таблиця 1.1

Розподілення кореневої системи польових культур в шарі 0-30 см
дерново-підзолистого супіщаного ґрунту

Культура	0-10 см		10-20 см		20-30 см		Всього коренів ц/га
	ц/га	%	ц/га	%	ц/га	%	
Озиме жито	10,6	63,5	4,7	28,1	1,0	5,0	16,7
Овес	6,5	60,8	3,4	31,7	0,6	5,6	10,7
Суміш віки з вівсом (на сіно)	10,2	62,2	4,3	26,3	1,2	7,3	16,4
Багаторічні трави (конюшина+тимофіївка) на сіно	18,7	48,2	14,9	38,4	3,1	8,0	38,8

Дослідження [23] змін агрохімічних властивостей сірого опідзоленого ґрунту в залежності від способів обробітку та систем удобрення (табл.1.2). показало, що безполицеві обробітки, в порівнянні з традиційним полицевим, сприяють підвищенню рівня гумусу в шарі 0-10см. на 0,11...0,2%, вмісту азоту

лужногідролізованих сполук на 17...34%, рухомих форм фосфору – на 14...36%, обмінного калію на 9...44%.

Таблиця 1.2

Вплив різних способів обробітку та систем удобрення на агрохімічні показники сірого опідзоленого ґрунту (1998-2000 рр.)

Варіант обробітку ґрунту	Насиченість 1 га площі добривами	Шар ґрунту, м	Вміст у ґрунті				рН
			гумус, %	лужногідролізованого азоту	рухомого фосфору	обмінного калію	
Оранка на глибину 20-22 см.	органічними – 11,2г; мінеральними – 188 кг.д.р.	0-10	1,02	84,0	159	87	5,4
		10-20	1,13	86,8	186	63	5,2
		20-30	-	84,8	178	104	5,7
Плоскорізнний обробіток на глибину 20-22 см		0-10	1,22	112,0	216	116	4,9
		10-20	1,12	89,6	183	88	5,4
		20-30	-	72,6	163	67	5,3
Дискування на глибину 10-12 см		0-10	1,14	101,0	183	108	5,0
		10-20	1,08	84,0	172	90	4,7
		20-30	-	61,6	156	59	5,2
Оранка на глибину 20-22 см.	органічними – 18,8г; мінеральними – 94 кг.д.р.	0-10	1,08	95,2	169	90	5,6
		10-20	1,17	89,6	220	78	5,5
		20-30	-	86,8	182	85	5,9
Плоскорізнний обробіток на глибину 20-22 см		0-10	1,27	117,6	230	130	5,4
		10-20	1,16	106,4	200	116	5,1
		20-30	-	75,6	174	85	5,2
Дискування на глибину 10-12 см		0-10	1,19	112,0	206	124	5,1
		10-20	1,10	92,4	191	98	5,0
		20-30	-	64,4	167	62	5,2
Оранка на глибину 20-22 см.	органічними – 28,8г;	0-10	1,13	75,6	146	76	6,1
		10-20	1,23	84,0	177	65	6,0
		20-30	-	84,0	169	73	5,6
Плоскорізнний обробіток на глибину 20-22 см		0-10	1,31	101,0	188	98	5,4
		10-20	1,19	79,6	167	73	5,4
		20-30	-	67,3	151	49	5,6
Дискування на глибину 10-12 см		0-10	1,29	94,2	167	83	5,2
		10-20	1,15	84,0	148	75	5,1
		20-30	-	56,0	146	53	5,7

Дискування на глибину 10...12см сприяє зниженню кислотності до оптимального рівня (pH - 5,1...5,2), у верхніх шарах ґрунту, при використанні підвищених доз органічних добрив. В умовах Полісся при внесенні гною в поверхневий шар ґрунту його ефективність у роки з добрим зволоженням є вищою на 11..14%, в порівнянні з глибоким загортанням [107].

Дослідження [22], щодо впливу глибини заробки сидеральних добрив (зелена маса донника) на ґрунтах з невеликою потужністю біологічно активного шару свідчать, що при зменшенні глибини загортання сидерату з 27 до 16 см, урожайність ярої пшениці збільшилась на 19,5%, що пояснюється інтенсифікацією процесів накопичення вологи та мобілізації доступного фосфору і калію в поверхневому шарі ґрунту.

За даними [97] розкладання рослинних залишків в ґрунті відбувається найінтенсивніше за умов їх заробки на глибину 8...12 см.

Наукова робота [54], свідчить що мінімізація обробітку ґрунту з заробкою рослинних решток в поверхневому шарі ґрунту (0-14 см), підвищує його демпферні властивості щодо техногенного переущільнення.

Дослідження [21] вплив різних систем обробітку дерново-підзолистих суглинкових ґрунтів на урожайність сільськогосподарських культур (табл.1.3) показали, що поверхневий обробіток підвищує урожайність за рахунок створення оптимальних умов приповерхневого розвитку коренів та покращення умов живлення рослин.

Досліди [36] (табл.1.4) показали, що підвищення урожайності при одноразовому дискуванні пояснюється більш раціональним використанням вологи та поліпшенням водно-фізичних властивостей ґрунту.

Загалом перспективність застосування в умовах Полісся України ротаційного обробітку ґрунту, одним із видів якого є обробіток дисковими ґрунтообробними знаряддями підтверджено також роботами [21, 23, 32, 33, 60, 72, 34].

Таблиця 1.3

Урожайність (ц/га) культур в ланці сівозміни за різноманітних способів
основного обробітку ґрунту

Варіант обробітку ґрунту	I – закладення досліду				II – закладення досліду		
	однорічні трави (сіно)	озима пшениця (зерно)	ярий ячмінь (зерно)	коношина (сіно)	однорічні трави (сіно)	озима пшениця (зерно)	ярий ячмінь (зерно)
Прямий посів	26,9	42,8	33,3	69,9	22,8	37,3	30,0
Поверхневий на 8-10 см	27,6	46,7	29,5	71,5	20,2	38,0	39,7
Безполицева різноглибинна	25,4	45,8	29,8	73,2	22,3	37,1	36,6
Комбінована різноглибинна	25,8	45,9	30,8	72,2	24,9	37,9	36,2

Таблиця 1.4

Продуктивність поживних посівів, ц/га
(середня за 1997-1999 рр.)

Способи обробітку ґрунту	Трьохкомпонентна суміш (кукурудза+соя+суданська трава)	Чотирьохкомпонентна суміш (кукурудза+соя+суданська трава+соняшник)
Полицева оранка (контроль)	230	380
Одноразове дискування	410	680
Трьохразове дискування	270	480
Посів без обробітку	290	405

Однак, сучасні дискові борони в силу своїх конструкційних особливостей, мають недостатні обертаючі властивості, що засвідчують дослідження [28, 79] (табл. 1.5).

Таблиця 1.5

Розміщення добрив (%) в орному шарі в залежності від способу заробки

Глибина заробки, см	Спосіб заробки				
	легкою бороною	роторною важкою бороною	важким культиватором	плугом	плугом з передплужником
0...3	98	75	55	11	3
3...6	2	22	21	12	4
6...9	-	3	21	16	12
9...12	-	-	1	16	14
12...15	-	-	-	23	20
15...20	-	-	-	22	47

При заробці дисковою бороною в верхньому шарі залишається 75-97% внесених добрив, що значно зменшує ефективність їх використання (табл. 1.6).

Таблиця. 1.6

Вміст мінеральних речовин (%) і врожайність проса ($\text{кг}/\text{м}^3$) залежно від щільності складення орного шару і глибини внесення *НРК*

Глибина внесення <i>НРК</i>	Оптимальна щільність ($1,15-1,25 \text{ г}/\text{см}^2$)			Маса зерна ($\text{кг}/\text{м}^3$)	Підвищена щільність ($1,35-1,45 \text{ г}/\text{см}^2$)			Маса зерна ($\text{кг}/\text{м}^3$)
	<i>N</i>	<i>P₂O₅</i>	<i>K₂O</i>		<i>N</i>	<i>P₂O₅</i>	<i>K₂O</i>	
0-5	2,11	1,23	2,10	0,77	2,34	1,17	2,03	0,35
0-15	3,01	1,48	3,09	1,41	2,42	1,50	2,21	0,49
25-30	2,92	1,42	2,91	1,08	2,40	1,34	2,25	0,49
0-30	3,06	1,39	2,63	1,20	3,01	1,36	3,01	0,49

Аналогічні результати отримані при дослідженні [110] ефективності дії гербіцидів в залежності від глибини їх загортання, (табл.1.7).

Таблиця. 1.7

Ефективність гербіциду “Трефлан” на посівах ріпаку в залежності від способу його заробки в ґрунт та типу знаряддя.

Варіант дослідю		Кількість бур'янів, через 30 днів після обробітку, шт/м ³	Загибель бур'янів % до:		Урожайність насіння при 12% вологості, ц/га
гербіцид	знаряддя		еталону	контролю	
Трефлан	Без заробки (контроль)	60,4	-	0	19,7
Без гербіциду	Культиватор (еталон)	74,0	0	-	19,9
Трефлан	Культиватор	48,0	35,1	20,5	21,0
Без гербіциду	Дискова борона	69,3	0	-	20,3
Трефлан	Дискова борона	42,9	38,1	29,0	24,2
Без гербіциду	Зубова борона	79,3	0	-	19,1
Трефлан	Зубова борона	50,3	36,6	16,7	19,9
Без гербіциду	ВІП-3,6	78,1	0	-	24,0
Трефлан	ВІП-3,6	32,6	58,3	46,0	26,0

Отже, результати наукових досліджень та вивчення практичного досвіду свідчать про ефективність застосування поверхневих ротаційних обробітків в системах основного та передпосівного обробітку ґрунту в зоні Полісся України. Однак, застосовувані знаряддя з серійними робочими органами не повною мірою задовольняють агротехнічним вимогам щодо заробки добрив, рослинних решток, сидератів, гербіцидів. Тому необхідне обґрунтування робочих процесів спрямованих на покращення заробки та розробка ротаційних органів ґрунтообробних машин відповідно до зазначених ґрунтових умов.

1.2. Аналіз конструкцій ротаційних робочих органів ґрунтообробних машин

Зональність сільськогосподарського виробництва та різноманітні технологічні вимоги, зумовлені конкретними морфологічними, ґрунтовими, геологічними та іншими умовами, спрямованими на покращення сільськогосподарських угідь, оптимізацію водно-повітряного режиму використовуваних земель, а в системах обробітку ґрунту на запобігання водній та вітровій ерозії обумовили, відповідно наявність широкого спектру ґрунтообробних знарядь з ротаційними робочими органами [34, 45, 73].

Ротаційні ґрунтообробні знаряддя можна поділити на два класи: знаряддя з активними робочими органами та знаряддя з пасивними робочими органами. Активні робочі органи ротаційних ґрунтообробних знарядь мають ряд недоліків, які полягають в підвищеній нетехнологічності виготовлення цих знарядь, і як наслідок, великої їх вартості, а також додаткових витратах енергії, пов'язаних з наданням робочим органам примусового обертового руху від джерел енергії (валу відбору потужності трактора), що призводить до підвищення вартості виконання технологічних операцій обробітку ґрунту.

Обробіток ґрунту пасивними ротаційними робочими органами потребує значно менших енерговитрат, не лише в порівнянні з активними роторами, а й з іншими ґрунтообробними знаряддями пасивного типу (табл.1.8, [46, 106]). Згідно прогнозу [45] перспективного співвідношення ґрунтообробних знарядь, які застосовуються в системі основного обробітку ґрунту в умовах України, ротаційному обробітку важкими дисковими боронами відводиться досить значна частка – понад 20% (рис.1.1).

Основні типи дисків та їх конструкційні параметри визначені ОСТ23.2.147-85 [5]. Відповідно до цього стандарту встановлюються такі типи дисків ґрунтообробних машин: тип “А” – плоскі диски з центральним отвором та декількома кріпильними отворами; тип “В” – сферичні диски; тип “С” – сферичні диски з плоским днищем; “D” – сферичні диски з ексцентричним плоским диском та квадратним отвором; тип “Е” – плоск-сферичні диски.

Таблиця.1.8

Експлуатаційні та еколого-технологічні показники способів обробітку ґрунту з використанням ґрунтообробних робочих органів різних типів

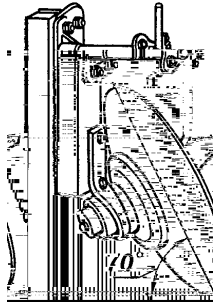
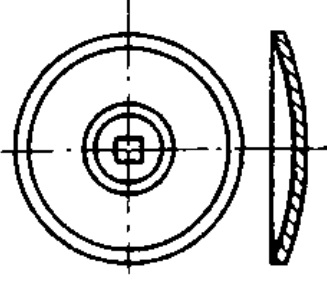
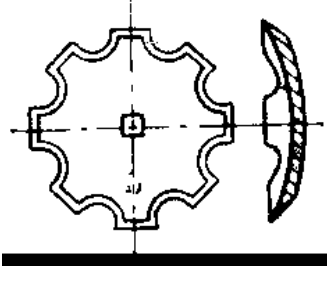
Показник	Спосіб обробітку (робочий орган)			
	полицей обробіток (плужний корпус з полицею культурного типу)	безполицей обробіток (плоскорізьальна лапа глибокорозпушувача)	поверхневий обробіток (ротор активного типу ґрунтообробної фрези)	поверхневий обробіток (сферичний вирізний диск роторної борони)
Енергоємність основного обробітку ґрунту під озиму пшеницю, МДж/га	720...860	670...840	915...1200	200...250
Продуктивність агрегату за 1 годину основного часу, га/год	до 1,2	до 1,8	до 1,6	до 4,9
Середньоквадратичне відхилення поверхні обробленого поля, см	6,5...8,0	4,6...5,0	2,0...3,0	3,0...4,5
Ступінь підрізання коріння бур'янів, %	90..95	80...90	93...97	70...75
Змив ґрунту, м ³ /га	7,1...7,5	0,9...1,2	7,5...9,5	5,1...6,1
Ступінь заробки верхнього шару ґрунту, %	до 100	0...5	25...50	20...25

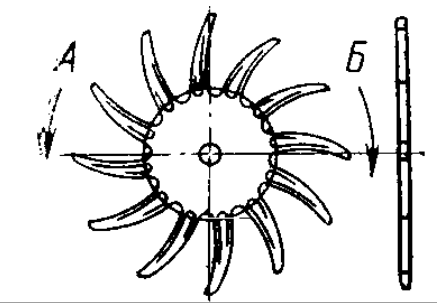
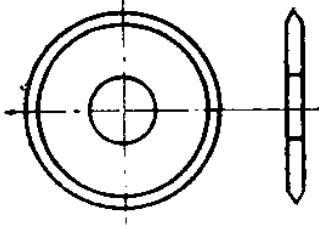
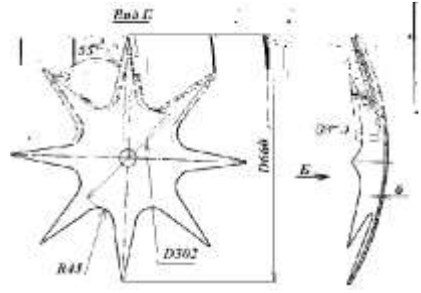
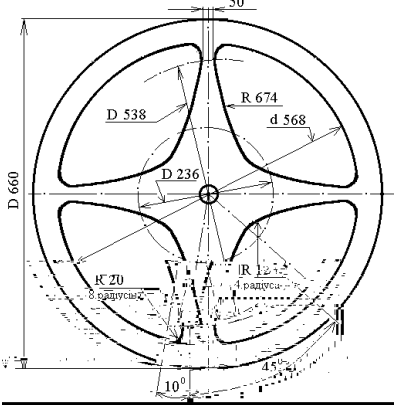
Рис.1.1. Прогноз перспективного співвідношення застосування ґрунтообробних знарядь

Деякі найхарактерніші стандартні ротаційні робочі органи, які встановлюються на секціях ґрунтообробних знарядь, та характеристика розподілення в ґрунті органічних речовин [67, 73] при їх роботі, наведені в табл.1.9

Таблиця 1.9

Ротаційні робочі органи, які встановлюють на секціях ґрунтообробних знарядь

Робочий орган	Основне призначення	Характеристика розподілення органічних речовин
1	2	3
 <p>Сферичний диск 1</p>	<p>Встановлюється на плугах, для оранки важких перезвожених ґрунтів.</p>	<p>Незадовільне розподілення органічних речовин, яке залежить від стану поверхні поля.</p>
 <p>Сферичний диск 2</p>	<p>Встановлюється на лущильниках та боронах, для лущення стерні, розпушування ґрунту</p>	<p>Задовільне розподілення органічних речовин, яке різко зменшується в нижніх шарах профілю, що обробляється</p>
 <p>Вирізний диск</p>	<p>Встановлюється на лущильниках та боронах, для лущення стерні, розпушування ґрунту</p>	<p>Задовільне розподілення органічних речовин, яке різко зменшується в нижніх шарах профілю, що обробляється</p>

1	2	3
 <p data-bbox="263 716 502 750">Голчастий диск</p>	<p data-bbox="638 347 1029 806">Встановлюється на ротаційну мотику, голчасту борону, культиватор, для руйнування ґрунтової кірки (рух за А), розпушування ґрунту, знищення коренів бур'янів (рух за Б)</p>	<p data-bbox="1053 470 1444 683">Обмежене незначною глибиною обробітку та особливостями робочого процесу</p>
 <p data-bbox="279 1086 486 1120">Плоский диск</p>	<p data-bbox="638 896 1029 1052">Використовується в якості дискових ножів на плугах</p>	<p data-bbox="1053 896 1444 1052">Практично відсутня заробка органічних речовин</p>
 <p data-bbox="247 1478 518 1512">“Зірчастий” ротор</p>	<p data-bbox="638 1153 1029 1545">Встановлюється на лущильниках та боронах, для лущення стерні, розпушування ґрунту, з мінімальним рівнем руйнування агрономічно цінної структури ґрунту</p>	<p data-bbox="1053 1243 1444 1456">Незадовільне розподілення органічних речовин, обмежене особливостями процесу роботи</p>
 <p data-bbox="231 2004 534 2038">“Кільцевий” ротор</p>	<p data-bbox="638 1579 1029 2038">Встановлюється на лущильниках та боронах, для лущення стерні, розпушування ґрунту в режимі відриву, з мінімальним рівнем руйнування агрономічно цінної структури ґрунту</p>	<p data-bbox="1053 1702 1444 1915">Незадовільне розподілення органічних речовин, скиба ґрунту практично не обертається</p>

Заслужують на увагу, також, деякі перспективні конструкції ротаційних робочих органів, спрямовані на покращення агротехнологічних показників щодо розподілення органічних речовин.

Так, робочий орган [9] (рис.1.2) складається із закріпленого на осі 1 сферичного диску 2 з ріжучою кромкою 3, виконаного з радіальними трапецеїдальними вікнами 4. Більша основа 5 кожного вікна 4 звернена до ріжучої кромки диску, а бічні ріжучі кромки 6 та 7 кожного вікна відігнуті в протилежні боки відносно робочої поверхні диску. Суміжні вікна 4 диска мають різну висоту. Диски можуть встановлюватись в батареї і бути виконані вирізними по периферії. Обертаючись, диск 2 виконує своєю ріжучою кромкою 3 звичайне дискування ґрунту при цьому отвори 5 за допомогою кромки 7 і 8 частково обертають ґрунт і рівномірно розподіляють його по поверхні поля. Однак, конструкційні особливості такого робочого органу зумовлюють забивання його рослинними рештками та залипання в силу недостатніх геометричних розмірів вікна 5.

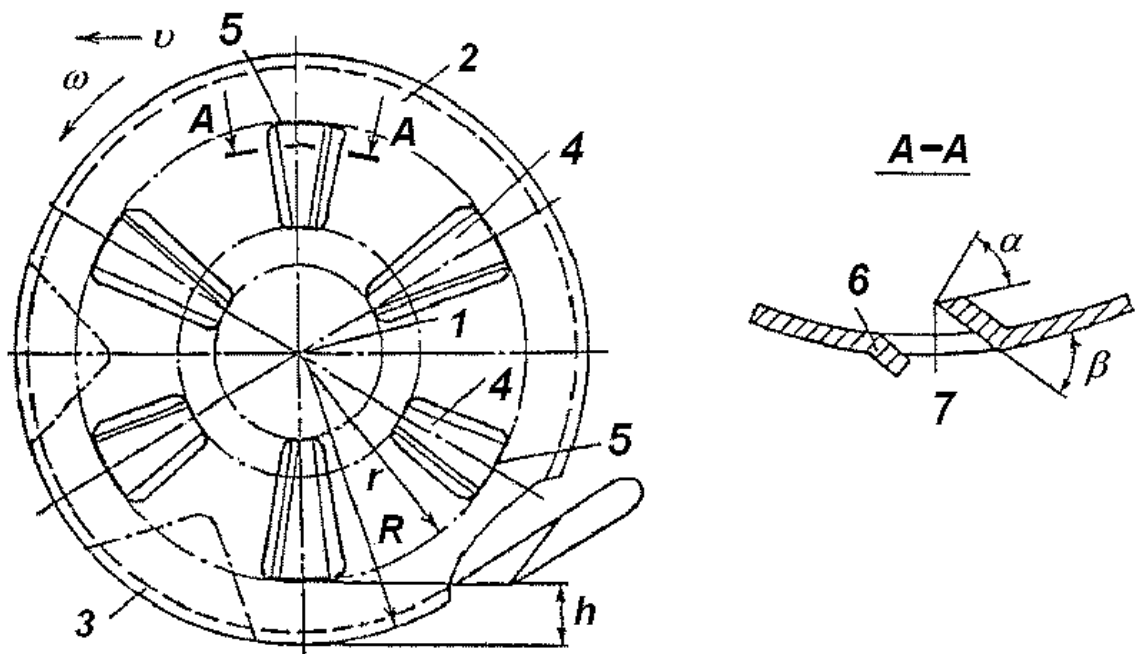


Рис.1.2. Ротаційний робочий орган з вирізами у вигляді радіальних трапецевидних вікон

Ґрунтообробне знаряддя У11] (рис.1.3.) складається з опорних коліс 1 або пруткових котків 2, механізму навіски 3 рами 4 і розміщених в два ряди поперек руху напівсферичних кілець 5 з механізмами 6 та 7 регулювання кута атаки α і кута нахилу β до горизонтальної площини, відповідно. Робочі органи 5, підрізають ґрунтовий пласт, кришать, підіймають його увігнутою сферичною поверхнею, обертають і скидають на дно борозни, однак наявність двох кутів регулювання (α , β) підвищує складність підготовки його до роботи, а знаходження в робочій зоні підшипникового вузла збільшує ймовірність його залипання ґрунтом.

Ротаційно-зубовий робочий орган (рис.1.4) [10] складається з ступиці 1 з квадратним отвором 4, оснащеної зубами 2, які виконані з різальною кромкою 3. Кінці зубів 2 розвернуті відносно поздовжньої осі 5 і відхилені в протилежних напрямках від площини ступиці 1, за рахунок чого в процесі роботи виконується поперечне зміщення ґрунту, що сприяє доброму перемішуванню верхнього шару ґрунту в горизонтальній площині. Відсоток заробки рослинних решток незначний внаслідок невеликої ширини робочої поверхні зубів 2.

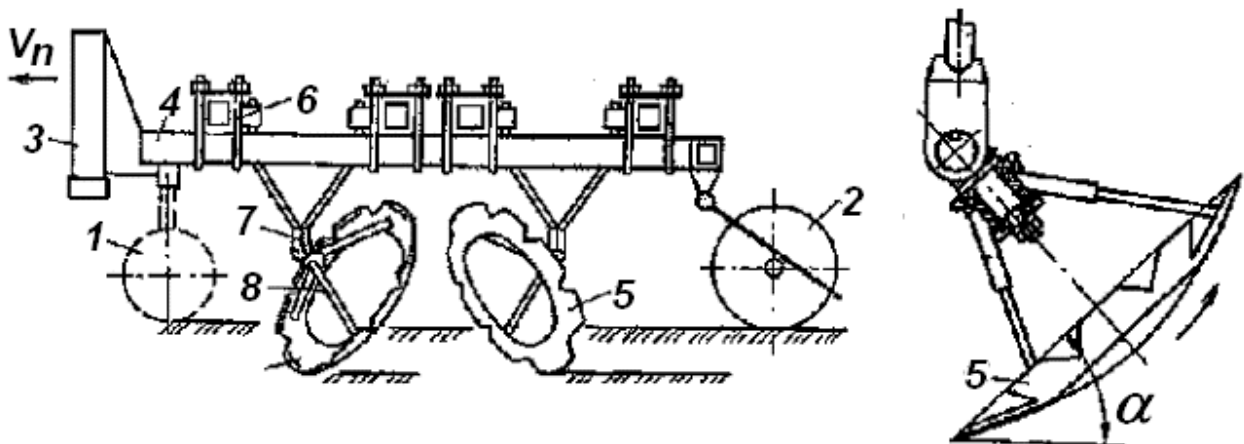


Рис.1.3. Ґрунтообробне знаряддя з двома ступенями регулювання кута встановлення робочих органів

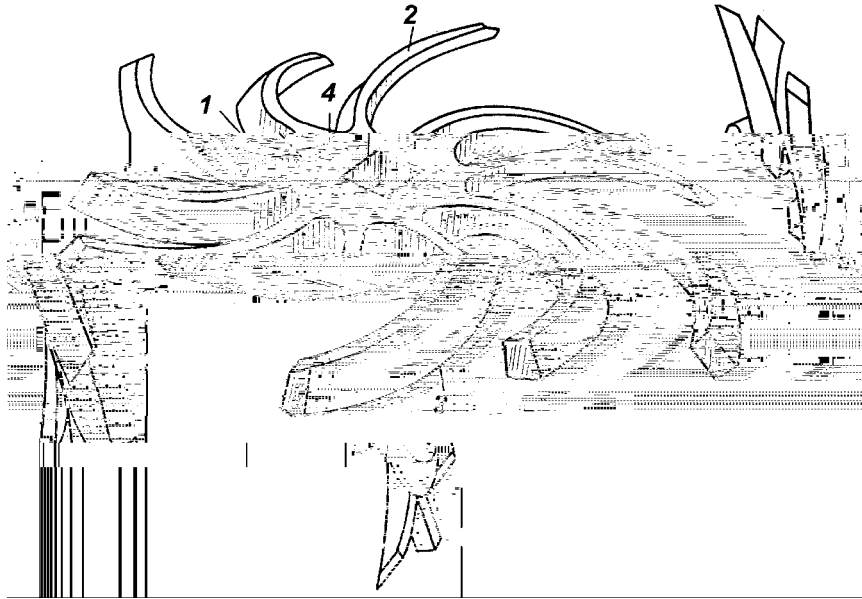


Рис.1.4. Ротаційно-зубовий робочий орган

Відомий робочий орган [14] (рис.1.5), який складається з диску 1 на якому під деяким кутом β до площини обертання даного ротора встановлені зуби 2, які за рахунок гвинтової форми робочої поверхні, обертаючись в шарі ґрунту, розпушують його. В силу конструкційних особливостей (незначна ширина робочої поверхні) такі робочі органи мають невелику загортаючу здатність.

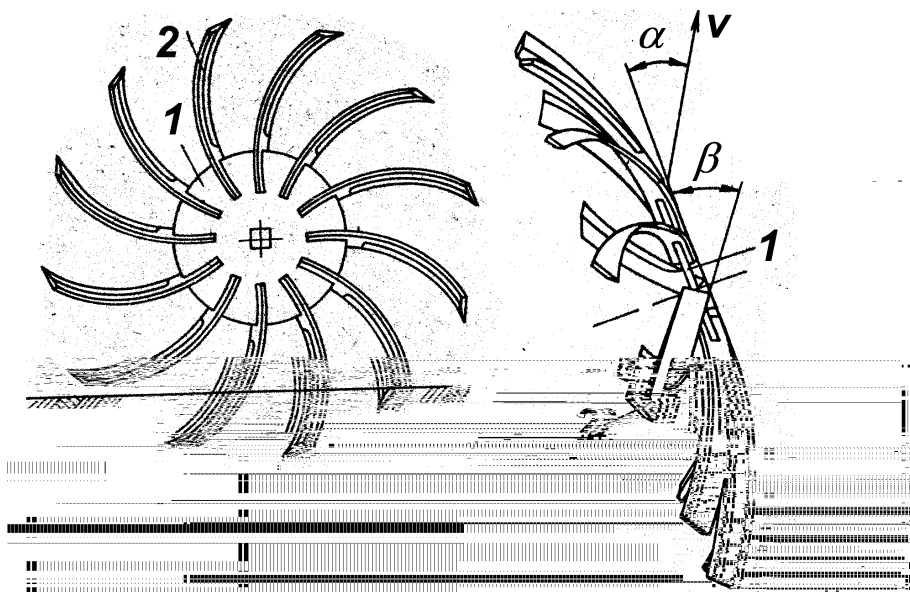


Рис.1.5. Ротаційно-зубовий робочий ґрунтообробний орган

Робочий орган [13] (рис.1.6) ротаційного ґрунтообробного знаряддя містить встановлений на горизонтальній осі несучий елемент 1, в формі циліндра, на поверхні якого під кутом α до площини обертання та під кутом ψ до його твірної закріплено ножі 2, які при виході з ґрунту працюють в режимі відриву, що призводить до зменшення енергомісткості процесу обробітку ґрунту. Недоліком такобо робочого органу є те що при виході ножа 2 з ґрунту відсутнє бічне переміщення скиби і, як наслідок, відбувається неповне загорання добрив та рослинних решток.

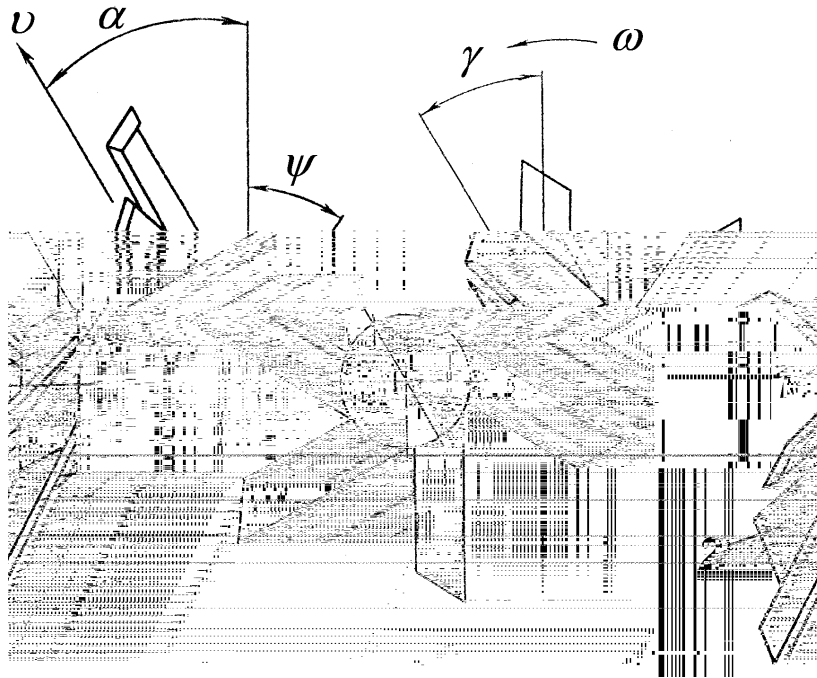


Рис.1.6. Ротаційно-ножовий робочий орган

Відомий ротаційно-ножовий робочий орган [15], який складається з основи 1 у вигляді диску, ножів 2 в яких передні різальні кромки 3 виконано за спіраллю Архімеда (рис.1.7), які подрібнюють великі грудки, вирівнюють поверхню поля і загортають попередньо розкиданні по поверхні поля добрива. Конструкційною особливістю такого робочого органу є зменшення ширини робочої поверхні ножа в напрямку до периметра робочого органу, що призводить до зниження однорідності обробітку ґрунту.

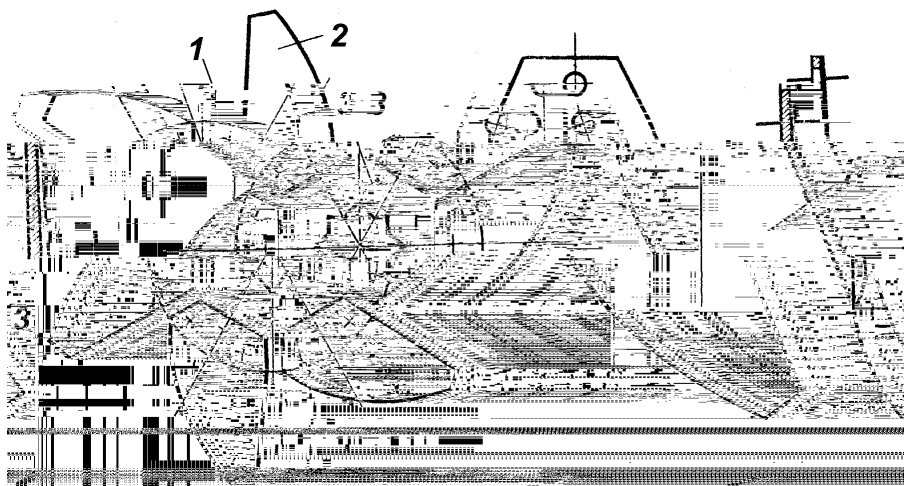


Рис.1.7. Ротаційно-ножовий ґрунтообробний робочий орган

Цікавим, з точки зору виконуваного робочого процесу є також, робочий орган (рис.1.8) ґрунтообробного знаряддя [63], яке складається з встановленої на рамі 1 осі 2 з втулками 3, на яких закріплено диски 4, оснащені трапецеїдальними ножами 5 з кутом растру $\alpha=120^\circ\dots130^\circ$. За рахунок збільшення ширини робочої поверхні ножа 5 в напрямку до периметру, знаряддя забезпечує рівномірність обробітку приповерхневого шару ґрунту, однак, через плоску форму ножів 5 знаряддя має незначний показник заробки.



Рис.1.8. Секція ґрунтообробного знаряддя з ротаційно-ножовим робочим органом

Ґрунтообробний ротаційний робочий орган [126] має робочу поверхню виконану у формі гелікоїда. Такий робочий орган досить добре перемішує ґрунт, переміщуючи його в поздовжньому напрямку. Однак, в силу особливостей процесу роботи він не забезпечує достатнє обертання оброблюваної скиби ґрунту.

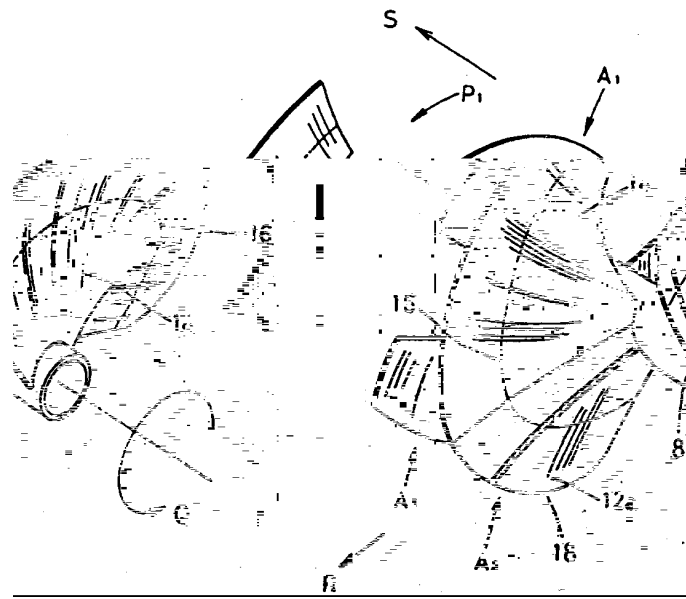


Рис.1.9. Гвинтовий ґрунтообробний робочий орган

Отже на підставі аналізу існуючих конструкцій робочих органів ротаційних ґрунтообробних знарядь та за результатами порівняльних оцінок (табл.1.8, табл.1.9) можна зробити висновок про перспективність використання робочих органів ротаційного типу в зоні Полісся України. Однак, проаналізовані типи конструкцій як серійних машин так і пропонованих ротаційних робочих органів, з огляду на особливості їх робочих процесів, не повною мірою забезпечують агротехнічні вимоги стосовно заробки добрив, рослинних решток, гербіцидів тощо. Тому необхідна розробка конструкції ротаційного робочого органу, яка б забезпечувала достатнє обертання оброблюваної скиби ґрунту, та показники якості щодо заробки в ґрунт на оптимальну глибину стерні, органічних та мінеральних добрив тощо.

1.3. Аналіз досліджень впливу форми робочої поверхні ґрунтообробних органів на параметри обробітку

Відповідно агротехнічних вимог до конструкційних параметрів робочих органів ротаційного типу сформульованих в розділах 1.1 та 1.2, та згідно досліджень [37, 67, 114, 124], одним з найперспективніших методів обґрунтування конструкцій ґрунтообробних робочих органів є оптимізація параметрів напружено-деформованого стану ґрунту.

Так, згідно досліджень [63] в ґрунті спостерігається функціональна залежність напружень і деформацій:

$$\begin{bmatrix} \sigma_x(t) & \tau_{xy}(t) & \tau_{xz}(t) \\ \tau_{xy}(t) & \sigma_y(t) & \tau_{yz}(t) \\ \tau_{xz}(t) & \tau_{zy}(t) & \sigma_z(t) \end{bmatrix} = f \left(\begin{bmatrix} \varepsilon_x(t) & \varepsilon_{xy}(t) & \varepsilon_{xz}(t) \\ \varepsilon_{xy}(t) & \varepsilon_y(t) & \varepsilon_{yz}(t) \\ \varepsilon_{xz}(t) & \varepsilon_{zy}(t) & \varepsilon_z(t) \end{bmatrix} \right) \quad (1.1)$$

де σ_x ; σ_y ; σ_z - нормальні напруження;

τ_{xy} ; τ_{xz} ; τ_{yx} ; τ_{yz} ; τ_{zx} ; τ_{zy} - октаедричні напруження;

ε_x , ε_y , ε_z , ε_{xy} , ε_{xz} , ε_{yx} , ε_{yz} , ε_{zx} , ε_{zy} - відповідні нормальні та октаедричні деформації.

Однак, згідно досліджень [47, 114], подібна залежність можлива лише в області пружних деформацій. Тому (1.1) є специфічним для кожного конкретного ґрунту, визначається теоретично-експериментальними шляхом і не дозволяє аналітично дослідити динаміку структури ґрунту в процесі його в'язко-пластичної течії (деформації).

Дослідження динаміки деформаційних показників ґрунту, як дискретного тіла ближнього порядку, можливе лише за допомогою аналізу його фундаментальних реологічних властивостей, які дозволяють описати реальні біфуркаційні процеси структур в процесі їх деформування [27, 28, 37].

Так в роботах [66, 67] наведено реологічну модель ґрунту, яка описується структуром її механічних властивостей:

$$S = \begin{pmatrix} \frac{\sigma_I}{E} & \sigma\left(\frac{\sigma_I}{E}\right) & m\left(\frac{\sigma_I}{E}\right) \\ \frac{G}{E} & \sigma\left(\frac{G}{E}\right) & m\left(\frac{G}{E}\right) \\ \eta & \sigma(\eta) & m(\eta) \\ \varphi_0 & \sigma(\varphi_0) & m(\varphi_0) \end{pmatrix}; \quad (1.2)$$

де σ_I – I-й інваріант повного тензора напружень;

E – модуль пружності при об'ємних деформаціях;

G – модуль пружності при зсувних деформаціях;

η – коефіцієнт в'язкості;

φ_0 – кут внутрішнього тертя.

Значення структурів для ймовірних станів ґрунту в період його обробітку визначають умови, в яких працюватиме ґрунтообробне знаряддя [113].

Робочий орган, який має головні осі симетрії, представлено в вигляді двох плоских перерізів, після об'єднання яких можна отримати залежності розподілення тисків по поверхні осесиметричного ґрунтообробного робочого органу [67]. Так загальний розв'язок рівняння контактної задачі з наявністю сили тертя, який визначає розподілення тиску по ділянці контакту робочого органу з ґрунтом, описується рівнянням:

$$\left(\frac{\sigma}{\sigma_0} \right) = \frac{\sigma_0}{\sqrt{\sigma_0^2 - \left(\frac{\sigma}{\sigma_0} \right)^2}} \quad (1.3)$$

де $P = \int_{-a}^a P(t)dt$ - стискаюча сила;

γ – коефіцієнт, що залежить від фізико-механічних властивостей ґрунту;

a – коефіцієнт, який характеризує особливості роботи робочого органу.

В роботах [37, 67] знайдено часткові розв'язки рівняння (1.3) для робочих органів (деформаторів ґрунту) плоского, круглого, клиноподібного, еліптичного типів з двома осями симетрії. Розв'язано обернену задачу, щодо знаходження форми робочого органу в залежності від необхідного закону розподілення параметрів напружено-деформованого стану в зоні контакту робочого органу з ґрунтом. Однак, для ґрунтообробних робочих органів передня поверхня яких має одну вісь симетрії, або взагалі її не має, обернений розв'язок задачі (1.3) дещо утруднений з огляду на складність визначення розподілення тисків по поверхні несиметричного робочого органу.

Окремими авторами зроблено спробу аналізу граничних випадків цієї задачі. Дослідження [41] стосовно управління параметрами деформування ґрунту за допомогою зміни кута різання α двогранного клину та його ширини B , та їх впливу на енерговитрати та оптимальність складових деформації ґрунтового середовища показали, що енергомісткість обробітку ґрунту залежить від співвідношення деформації зминання ґрунту, з деформацією сколювання ґрунту. Так в роботі [39] було експериментально досліджено залежності:

$$\begin{cases} \Delta Q = f(B, \alpha); \\ P = f(B, \alpha); \end{cases} \quad (1.4)$$

де ΔQ – об'єм ґрунтового середовища зім'ятого клином,

α – кут різання клину;

P – величина опору ґрунтового середовища при розпушуванні його клином;

B – ширина клина.

Отримані [41] кількісні та якісні показники (рис.1.10) процесу розущільнення супіщаного та суглинкового ґрунтів клином. Дані дослідження можна ефективно використати для обґрунтування кута різання лемешів плоскорізальних робочих органів та визначення технологічної відстані L_{II} між розпушувачем та роторною батареєю [40] (рис.1.11) з огляду на енергомісткість процесу обробітку:

$$L_{II} = 3h_i + Htg\alpha + R, \quad (1.5)$$

де H – глибина обробітку;

α – кут різання стріччатої лапи,

R – радіус ротора.

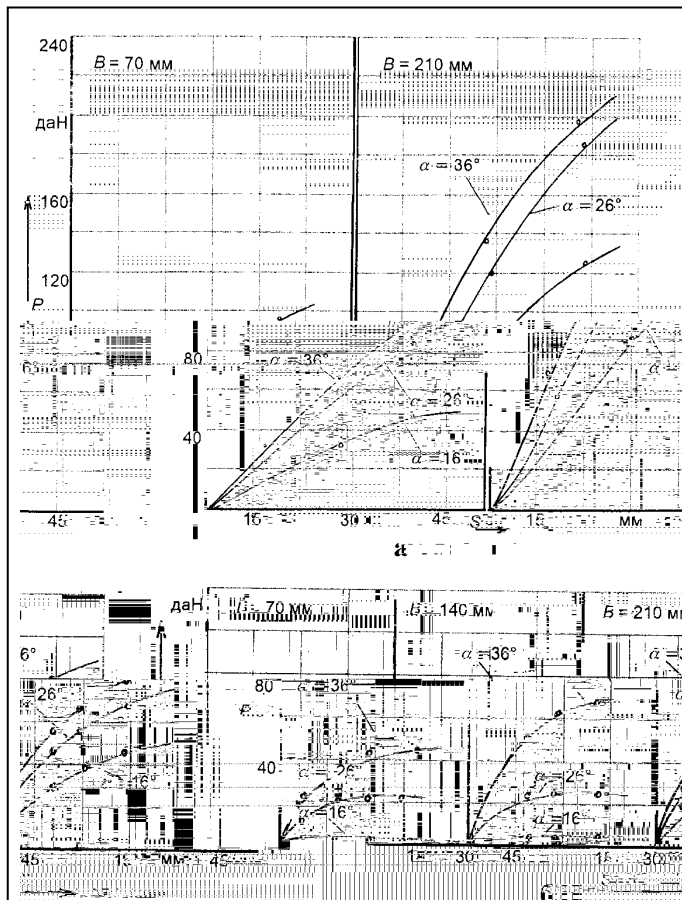


Рис.1.10. Залежність тягового опору P від параметрів клина B , кута різання α та величини переміщення S :

a – суглинок; b - супісок

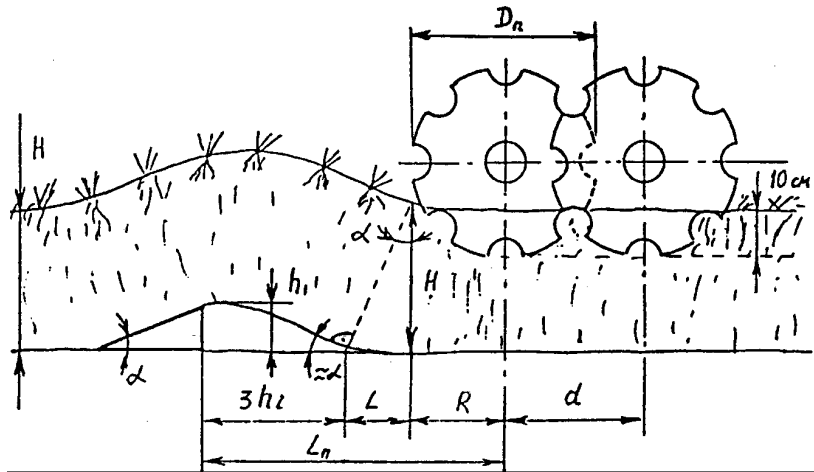


Рис.1.11. Схема до визначення технологічної відстані між розпушувачем та плоскодисковою батареєю

Роботи, [57, 58] присвячені деформуванню ґрунту криволінійними поверхнями показали, що такі робочі поверхні ґрунтообробних органів мають змінні кути деформації і рух ґрунту по такій поверхні відбувається з перемінною швидкістю. Це призводить до руху різних точок скиби ґрунту за різними траєкторіями. В роботі пропонується встановлення відповідності між основними технологічними функціями (підрізання, рихлення та кришення) та основними структурними елементами геометричної моделі робочого органу. Так, для форми поздовжнього перерізу ґрунтообробного робочого органу така функціональна відповідність була встановлена в роботі [89] і описується аналітично (рис.1.12):

$$ax = 5.3tg \frac{\pi(by' - 4,25)}{13,6} - 13,56, \quad (1.6)$$

де a і b – масштабні коефіцієнти.

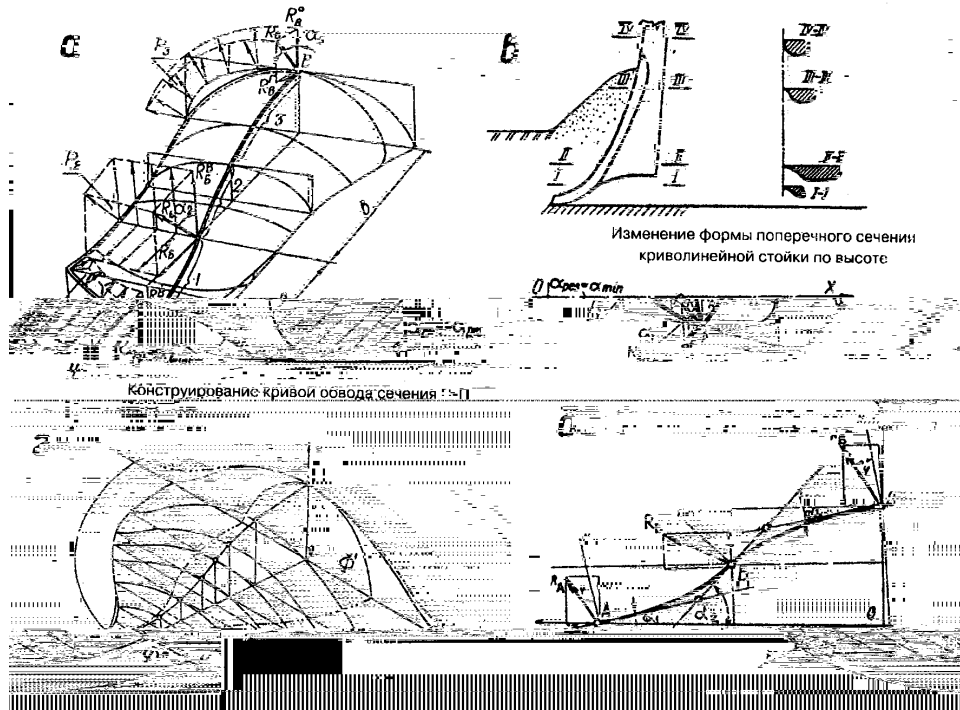


Рис.1.12. Структурні моделі функціонального конструювання криволінійних поверхонь

а, б – геометричні моделі технологічної взаємодії поверхні робочого органу з оброблюваним шаром ґрунту, в, г – форми робочої поверхні малоенергомістких ґрунтообробних робочих органів

В роботах [47, 59, 114, 119] розглянуто обробіток ґрунту з точки зору виникнення і розвитку тріщин і руйнування зв'язків у дискретному середовищі. Досліджено три базові схеми руйнування ґрунтового середовища: схема I – відрив, схема II – поперечний зсув, схема III – поздовжній зсув, з огляду на розподілення напружень та переміщень в вершині тріщини. Також вказано на переваги конкретних типів робочих органів ґрунтообробних знарядь, при використанні яких переважає відрив або поперечний зсув в межах розвитку тріщини ґрунтового напівпростору. Так, в дослідженнях [119] обчисленні рівні напруження текучості структури σ_T , для вищезгаданих схем руйнування ґрунтового середовища, рівень яких зумовлює формування структури ґрунту:

$$\begin{cases} \sigma_{T_I} = \frac{3K_I}{2\sqrt{\pi r}} \cdot \sin \frac{\theta}{2} \cdot \cos \frac{\theta}{2} \cdot \cos \frac{3}{2}\theta; \\ \sigma_{T_{II}} = \frac{3K_{II}}{2\sqrt{\pi r}} \cdot \cos \frac{\theta}{2} \cdot \left(1 - \cos \frac{\theta}{2} \cdot \sin \frac{3}{2}\theta\right); \\ \sigma_{T_{III}} = \frac{3K_{III}}{2\sqrt{\pi r}}; \end{cases} \quad (1.7)$$

де K_I , K_{II} , K_{III} – параметри, які визначають розподілення напружень і деформацій у середовищі елементарного об'єму з розміром r , та кутом θ при вершині тріщини і мають назву відповідно коефіцієнтів інтенсивності напружень, при відриві, поперечному зсуві, поздовжньому зсуві. Встановлено, що конструкційно-технологічні параметри ротаційного-робочого органу мають забезпечувати відрив структурних формувань ґрунту по всьому оброблюваному профілю.

В роботі [59] оптимізовані конструкційні параметри глибокорозпушувача з огляду на мінімізацію дотичних октаедричних напружень.

В [47] отримано розв'язок контактної задачі, щодо визначення напружень в елементарному об'ємі ґрунтового напівпростору, навантаженого двома блоками розподіленого зусилля (рис.1.13) та реалізовано числовий модельно-імітаційний експеримент (рис.1.14) для дослідження напружено-деформованого стану оброблюваного профілю ґрунту з оптимізації геометричних параметрів периферії дискового робочого органу для досягнення максимального рівняння передумов структуротворних процесів ґрунтового середовища.

Однак в наведених вище дослідженнях [47, 59, 114, 119] не достатньо формалізовано зв'язок напружено-деформованого стану ґрунту з переміщенням скиби ґрунту в процесі його обробітку.

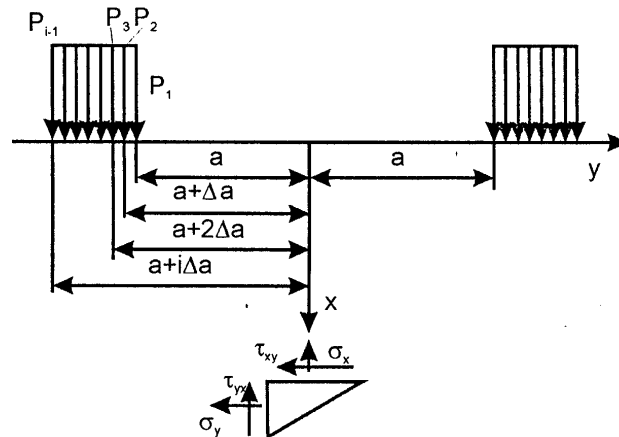


Рис.1.13. Схема визначення напружень в елементарному об'ємі напівпростору, навантаженого двома блоками розподіленого навантаження



Рис.1.14. Епюра розподілення суми головних напружень для ґрунтового профілю отримана за допомогою комп'ютерної модельної програми

Таким чином, враховуючи однозначність функціональних залежностей (1.3...1.7) геометричної форми поверхонь робочих органів ґрунтообробних знарядь від кінематичних чинників та параметрів створеного у ґрунті напружено-деформованого стану, необхідним є подальший розвиток досліджень, щодо розробки методів оптимізації конструкційних параметрів ротаційно-лопатевих робочих органів у відповідності до агротехнологічних вимог виконуваних робочих процесів.

1.4. Задачі досліджень

Отже, у відповідності до поставленої мети та проведеного аналізу можуть бути сформульовані такі задачі досліджень:

1. Проаналізувати стан та перспективи застосування ротаційних робочих органів в конкретних ґрунтових умовах та виконати аналіз досліджень впливу форми робочої поверхні ґрунтообробних органів на параметри обробітку.

2. Обґрунтувати процес роботи та конструкційно-технологічні параметри ротаційно-лопатевого робочого органу з поліпшеними характеристиками обертання скиби ґрунту для умов Полісся України.

3. Експериментально визначити вплив параметрів ротаційно-лопатевого робочого органу на якість обробітку ґрунту та експлуатаційно-енергетичні показники процесу роботи ґрунтообробного знаряддя. Виконати порівняльні дослідження пропонованого робочого органу з серійними ротаційними робочими органами ґрунтообробних знарядь.

4. Визначити техніко-економічну ефективність застосування ґрунтообробних знарядь оснащених ротаційно-лопатево-робочими органами в умовах Полісся України.

РОЗДІЛ 2.

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ВЗАЄМОДІЇ РОТАЦІЙНО-ЛОПАТЕВОГО РОБОЧОГО ОРГАНУ З ҐРУНТОМ

2.1. Дослідження геометрії робочої поверхні ґрунтообробних органів

Геометрія робочої поверхні ґрунтообробних органів є одним з параметрів, які суттєво впливають на характеристику процесу роботи.

Відомо [55, 69], що найбільш часто використовуються при проектуванні робочих поверхонь ґрунтообробних органів призначених для обертання скиби ґрунту, поверхні циліндроїда, коноїда, гіперболічного параболоїда чи гелікоїда. Всі вони є поверхнями другого порядку, загальне рівняння яких має вигляд:

$$a_{11}x^2 + a_{22}y^2 + a_{33}z^2 + 2a_{12}xy + 2a_{13}xz + 2a_{23}yz + 2a_{14}x + 2a_{24}y + 2a_{34}z + a_{44} = 0; \quad (2.1)$$

або в матричній формі:

$$RA_1R^T + 2A_2R^T + a_{44} = 0; \quad (2.2)$$

де:

$$R = (x, y, z), \quad A_1 = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{bmatrix}, \quad (2.3)$$

$$A_2 = (a_{14}, a_{24}, a_{34}), \quad |A_1| \neq 0.$$

Перенос довільної системи координат $xOyz$ (рис.2.1) в точку O' , яка є вершиною робочої поверхні ґрунтообробного органу і утворена перетином різальної кромки $O'x'$ та довільної твірної поверхні m на вектор \vec{r}^* , який

задовольняє умові $A_1 \vec{r}^* = -A_2$, дозволяє представити загальне рівняння (2.1) у вигляді:

$$b_{11}x'^2 + b_{22}y'^2 + b_{33}z'^2 + 2b_{12}x'y' + 2b_{13}x'z' + 2b_{23}y'z' + b_{44} = 0 \quad (2.4)$$

де x' , y' , z' – координати відносно нової системи координат.

Або в матричній формі:

$$R'BR'^T + b_{44} = 0; \quad (2.5)$$

де:

$$R' = (x', y', z'), \quad B = \begin{bmatrix} b_{11} & b_{12} & b_{13} \\ b_{21} & b_{22} & b_{23} \\ b_{31} & b_{32} & b_{33} \end{bmatrix}. \quad (2.6)$$

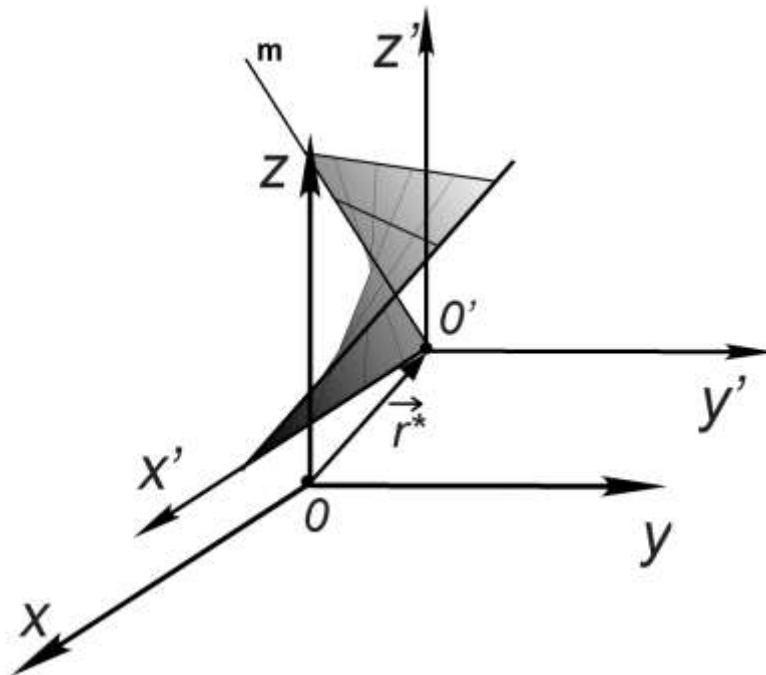


Рис.2.1. Паралельний перенос системи координат

У векторній формі коефіцієнти рівняння (2.4) будуть мати вигляд:

$$\begin{aligned}
b_{11} &= \vec{i} \sigma_x; \quad b_{22} = \vec{j} \sigma_y; \quad b_{33} = \vec{k} \sigma_z; \\
b_{12} &= \vec{i} \times \vec{j} \sigma_{xy}; \quad b_{13} = \vec{i} \times \vec{k} \sigma_{xz}; \quad b_{21} = \vec{j} \times \vec{i} \sigma_{yx}; \\
b_{23} &= \vec{j} \times \vec{k} \sigma_{yz}; \quad b_{31} = \vec{k} \times \vec{i} \sigma_{zx}; \quad b_{32} = \vec{k} \times \vec{j} \sigma_{zy};
\end{aligned} \tag{2.7}$$

де $\vec{i}; \vec{j}; \vec{k}$ - відповідні орти векторів складових нормальних $\sigma_x; \sigma_y; \sigma_z$ та октаедричних $\tau_{xy}; \tau_{xz}; \tau_{yx}; \tau_{yz}; \tau_{zx}; \tau_{zy}$ напружень, які виникають на елементарних октаедричних площинках, орієнтованих по координатних площинах $x'y'; x'z'; y'z'$ переносної системи координат і характеризують повний тензор напружень ґрунту на поверхні робочого органу.

Напружений стан ґрунту [67, 114] на досліджуваній поверхні робочого органу визначається в цьому випадку, з урахуванням умов:

$$\begin{cases} \vec{i} = \vec{j} = \vec{k} = 1; \\ \frac{b_{44}}{R'R'^T} = -T_H; \end{cases} \tag{2.8}$$

як:

$$T_H = \begin{bmatrix} \vec{\sigma}_x & \vec{\tau}_{xy} & \vec{\tau}_{xz} \\ \vec{\tau}_{yx} & \vec{\sigma}_y & \vec{\tau}_{yz} \\ \vec{\tau}_{zx} & \vec{\tau}_{zy} & \vec{\sigma}_z \end{bmatrix}; \tag{2.9}$$

Якщо розглядати руйнування ґрунтового напівпростору з точки зору виникнення і розвитку тріщин [37, 114], оборот деякого об'єму ґрунту можливий при поєднанні деформувань за схемою відриву (рис.2.2,а) та за схемою поперечного (відносно напрямку руху) зсуву, який характеризує деблоковане різання за умов ротаційного обробітку ґрунту [37, 55, 67, 69, 114] (рис.2.2,б).

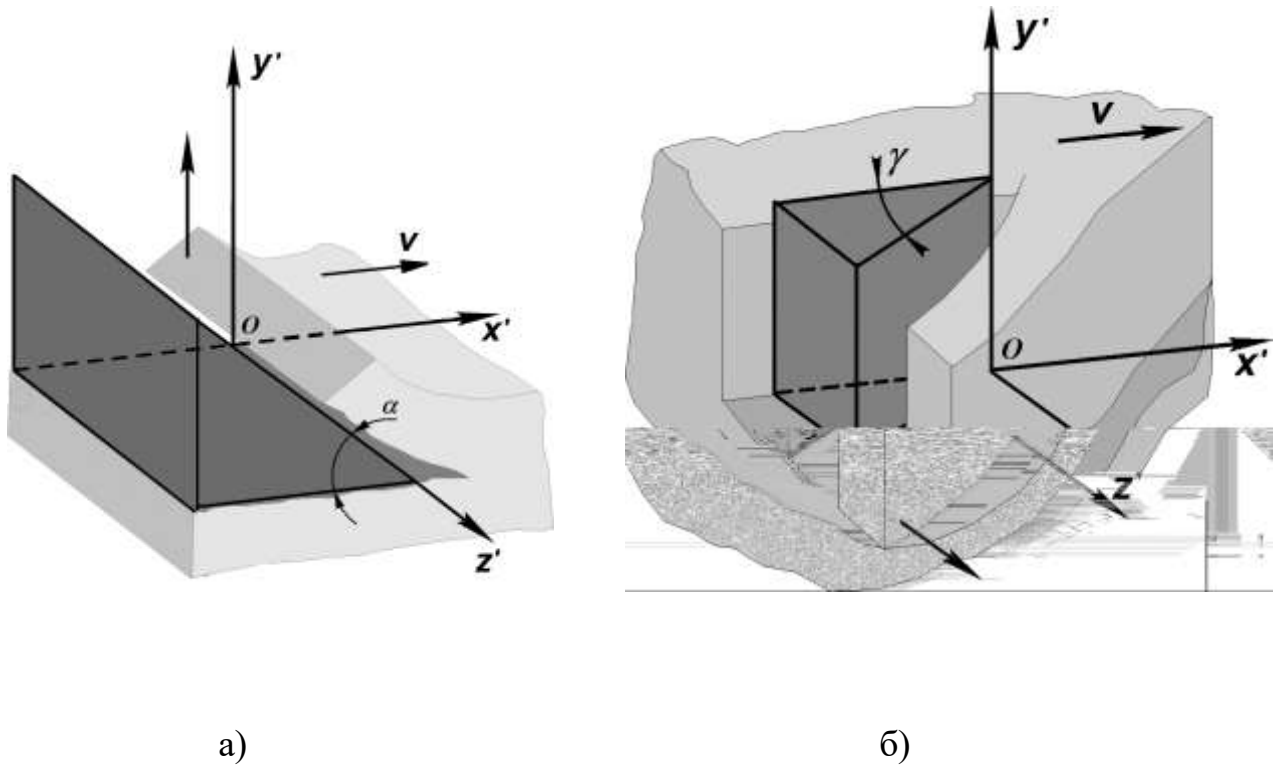


Рис.2.2. Схеми деформування ґрунтового середовища:
а) відривом; б) поперечним зсувом (деблоковане різання)

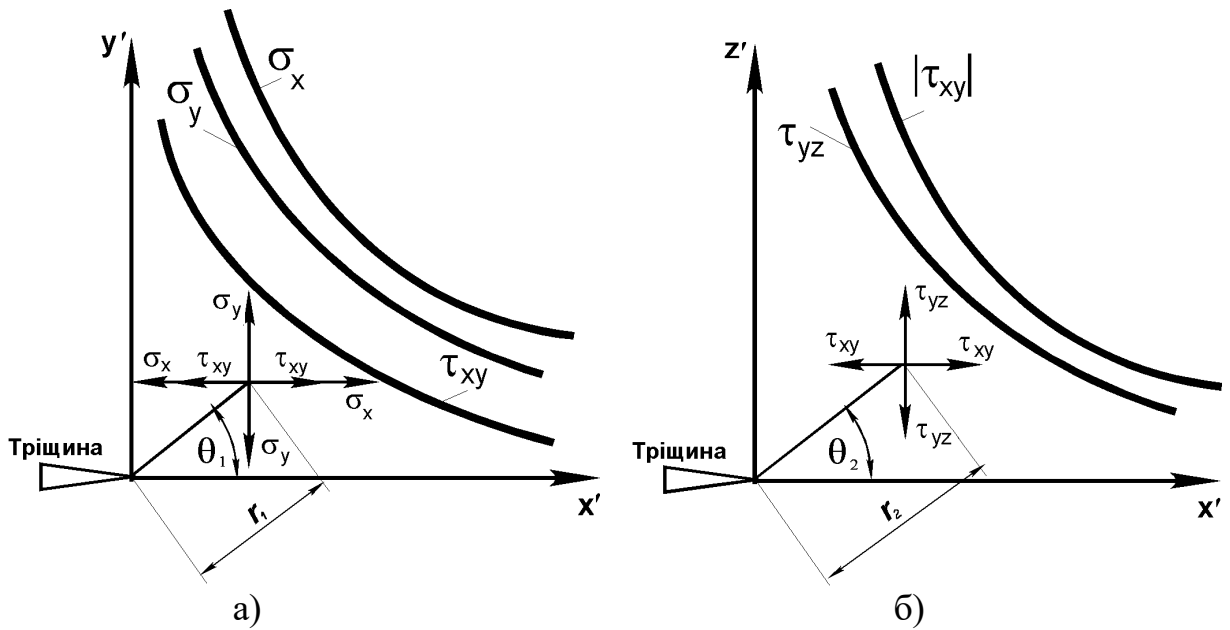


Рис.2.3. Схеми розподілення напружень у вершині тріщини:
а) для схеми відриву; б) для схеми зсуву

Розподілення напружень для схеми відриву (рис.2.2,а) в полярних координатах (рис.2.3,а) описується рівняннями [47, 115, 119]:

$$\begin{cases} \sigma_x = K_I \cdot \cos \frac{\theta_1}{2} \cdot \left(1 - \sin \frac{\theta_1}{2} \cdot \sin \frac{3}{2} \theta_1 \right); \\ \sigma_y = K_I \cdot \cos \frac{\theta_1}{2} \cdot \left(1 + \sin \frac{\theta_1}{2} \cdot \sin \frac{3}{2} \theta_1 \right); \\ \tau_{xy} = K_I \cdot \cos \frac{\theta_1}{2} \cdot \cos \frac{\theta_1}{2} \cdot \cos \frac{3}{2} \theta_1; \\ \sigma_z = \mu (\sigma_x + \sigma_y); \\ \tau_{xz} = \tau_{yz} = 0; \end{cases} \quad (2.10)$$

а для схеми поздовжнього зсуву (рис.2.2,б) розподілення напружень в полярних координатах (рис.2,3б) має вигляд [47, 115, 119]:

$$\begin{cases} \tau_{xy} = -K_{II} \cdot \sin \frac{\theta_2}{2}; \\ \tau_{yz} = K_{II} \cdot \cos \frac{\theta_2}{2}; \\ \sigma_x = \sigma_y = \sigma_z = \tau_{xz} = 0; \end{cases} \quad (2.11)$$

де θ_1, θ_2 – полярні координати вершини тріщини;

μ – коефіцієнт Пуассона;

K_I, K_{II} – коефіцієнти, які визначають розподілення напружень і деформацій у середовищі поблизу тріщин, згідно досліджень [37, 114] визначаються за формулами:

$$\begin{cases} K_I = \frac{\sigma\sqrt{a}}{\sqrt{2r_1}} = f(\sigma_i; a; r_1); \\ K_{II} = \frac{\tau\sqrt{a}}{\sqrt{2r_2}} = f(\sigma_i; a; r_2); \end{cases} \quad (2.12)$$

де r_1, r_2 – полярні координати;

σ, τ – нормальні і дотичні напруження;

a – напівдовжина тріщини

σ_i – інтенсивність напружень, яка визначається за формулою:

$$\sigma_i = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \sqrt{(\sigma_I - \sigma_{II})^2 + (\sigma_{II} - \sigma_{III})^2 + (\sigma_{III} - \sigma_I)^2} \quad (2.13)$$

де $\sigma_I, \sigma_{II}, \sigma_{III}$ - головні напруження.

З урахуванням умов (2.7) і (2.10) матрицю (2.6) для схеми відриву (рис.2.2) можна представити у вигляді:

$$B_B = \begin{bmatrix} b_{11} = \sigma_x & b_{12} = \tau_{xy} & b_{13} = \tau_{xz} = 0 \\ b_{21} = \tau_{yx}; & b_{22} = \sigma_y; & b_{23} = \tau_{yz} = 0 \\ b_{31} = \tau_{zx} = 0; & b_{32} = \tau_{zy} = 0; & b_{33} = \sigma_z \end{bmatrix}; \quad (2.14)$$

а рівняння (2.4) набуде виду:

$$\begin{aligned} & K_I \cos \frac{\theta_1}{2} \left(1 - \sin \frac{\theta_1}{2} \sin \frac{3}{2} \theta_1 \right) x'^2 + K_I \cos \frac{\theta_1}{2} \left(1 + \sin \frac{\theta_1}{2} \sin \frac{3}{2} \theta_1 \right) y'^2 + \\ & 2K_I \mu \cos \frac{\theta_1}{2} z'^2 + 2K_I \sin \frac{\theta_1}{2} \cos \frac{\theta_1}{2} \cos \frac{3}{2} \theta_1 x'y' + b_{44} = 0; \end{aligned} \quad (2.15)$$

Для схеми поперечного зсуву (рис.2.3) матрицю (2.6) з урахуванням умов (2.7) і (2.11) можна представити, як:

$$B_3 = \begin{bmatrix} b_{11} = \sigma_x = 0 & b_{12} = \tau_{xy} & b_{13} = \tau_{xz} = 0 \\ b_{21} = \tau_{yx} & b_{22} = \sigma_y = 0 & b_{23} = \tau_{yz} \\ b_{31} = \tau_{zx} = 0 & b_{32} = \tau_{zy} & b_{33} = \sigma_z = 0 \end{bmatrix}; \quad (2.16)$$

відповідно рівняння (2.4) матиме вигляд:

$$2K_{II} \cos \frac{\theta_2}{2} y'z' - 2K_{II} \sin \frac{\theta_2}{2} x'y' + b_{44} = 0. \quad (2.17)$$

При “чистому” відриві скиби ґрунту в умовах напівблокованого різання, відповідно до (2.10) поперечна деформація скиби ε_z відсутня, а отже коефіцієнт Пуассона в цьому випадку становить:

$$\mu = \frac{\varepsilon_z}{\varepsilon_y} = \frac{0}{\varepsilon_y} = 0 \quad (2.18)$$

тоді для σ_z в системі (2.10) маємо $\lim_{\mu \rightarrow 0} \sigma_z = 0$,

а тензор деформацій (2.9) набуває вигляду:

$$T_H = \begin{bmatrix} \sigma_x & \tau_{xy} & 0 \\ \tau_{yx} & \sigma_y & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} = \sigma_x \begin{vmatrix} \sigma_y & 0 \\ 0 & 0 \end{vmatrix} - \tau_{xy} \begin{vmatrix} \tau_{yx} & 0 \\ 0 & 0 \end{vmatrix} - 0 \begin{vmatrix} \tau_{yx} & \sigma_y \\ 0 & 0 \end{vmatrix} = 0. \quad (2.19)$$

Тому, згідно умові (2.8) $b_{44} = 0$, а рівняння 2.15 виглядає так:

$$\begin{aligned} & \cos \frac{\theta_1}{2} \left(1 - \sin \frac{\theta_1}{2} \sin \frac{3}{2} \theta_1 \right) x'^2 + \cos \frac{\theta_1}{2} \left(1 + \sin \frac{\theta_1}{2} \sin \frac{3}{2} \theta_1 \right) y'^2 + \\ & + 2 \sin \frac{\theta_1}{2} \cos \frac{\theta_1}{2} \cos \frac{3}{2} \theta_1 x'y' = 0; \end{aligned} \quad (2.20)$$

і представляє собою рівняння плоскої кривої лінії розташованої в площині xOy , тобто в площині перпендикулярній площині ґрунту, та паралельній напрямку обробітку (рис.2.4)

При деформації ґрунтового середовища в умовах чистого зсуву нормальні напруження відсутні, тому $T_H = 0$. З урахуванням (2.8) коефіцієнт $b_{44} = 0$, а рівняння (2.17), набуває виду рівняння прямої, розміщеної в площинні xOz (паралельній поверхні ґрунту) (рис.2.4):

$$\cos \frac{\theta_2}{2} z' - \sin \frac{\theta_2}{2} x' = 0, \quad (2.21)$$

або:

$$z' = \operatorname{tg} \frac{\theta_2}{2} x'. \quad (2.22)$$

Рівняння (2.20) і (2.21) можна представити у вигляді системи:

$$\begin{cases} f(x, y) = 0; \\ f(x, z) = 0; \end{cases} \quad (2.23)$$

яка є визначником шуканої поверхні (рис.2.4).

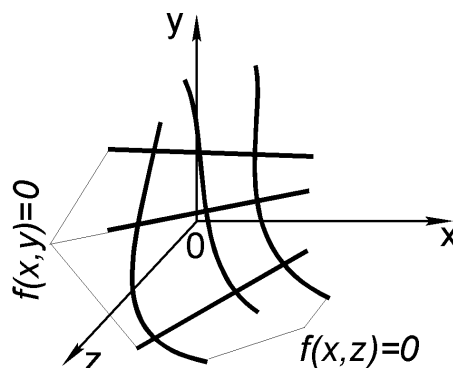


Рис.2.4. Визначник поверхні

Виходячи з розміщення кривих (2.23) (рис.2.4) маємо, що рівняння (2.20) описує сімейство твірних, а рівняння (2.22) – сімейство напрямляючих.

Якщо розв'язок рівняння (2.20) представити у вигляді:

$$x_{1,2} = \frac{-cy \pm \sqrt{(cy)^2 - 4aby^2}}{2a} \quad (2.24)$$

де:

$$c = 2 \sin \frac{\theta_1}{2} \cos \frac{\theta_1}{2} \cos \frac{3}{2} \theta_1;$$

$$a = \cos \frac{\theta_1}{2} \left(1 - \sin \frac{\theta_1}{2} \sin \frac{3}{2} \theta_1 \right);$$

$$b = \cos \frac{\theta_1}{2} \left(1 + \sin \frac{\theta_1}{2} \sin \frac{3}{2} \theta_1 \right);$$

то

$$x_{1,2} = -y \frac{\sin \frac{\theta_1}{2} \cos \frac{3}{2} \theta_1 \mp \sqrt{\sin^2 \theta_1 - 1}}{1 + \sin \frac{\theta_1}{2} \sin \frac{3}{2} \theta_1}. \quad (2.25)$$

З аналізу (2.25) можна зробити висновок, що робота ґрунтообробного органу в режимі чистого відриву можлива лише у випадку коли $\theta_1 = 180^\circ$. А кут нахилу робочої поверхні до горизонтальної площини (вертикальний кут різання) α , (рис.2.5), становить:

$$\alpha = 90 - \psi - \theta_1; \quad (2.26)$$

де ψ – узагальнений кут тертя.

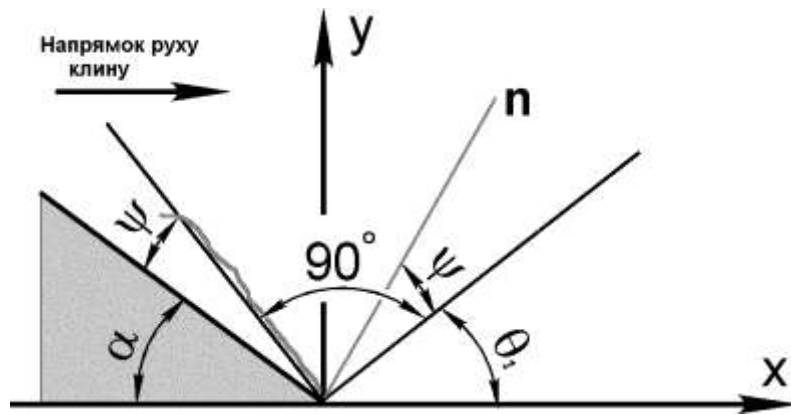


Рис.2.5. Схема визначення кута α

Узагальнений кут тертя ψ відповідно до [61, 114], можна представити, як:

$$(2.27)$$

де

f – коефіцієнт тертя ґрунту об метал;

f_1 – коефіцієнт тертя ґрунту об ґрунт;

З виразів (2.24) та (2.26), випливає:

$$\alpha = -\left(\arctg\left(\frac{f}{(f + f_1)}\right) + 90\right). \quad (2.28)$$

Очевидно, що

$$0 \leq \frac{f}{(f + f_1)} \leq 1; \quad (2.29)$$

тому вертикальний кут різання може набувати значень від -90° до -135° .

При переході від поступального руху клину до обертового (рис.2.6), відповідно до (2.28), кут α набуде додатних значень, і буде характеризувати кут підйому різальної кромки (кут заглиблення, у випадку обертального руху) робочої поверхні ротаційного ґрунтообробного робочого органу.

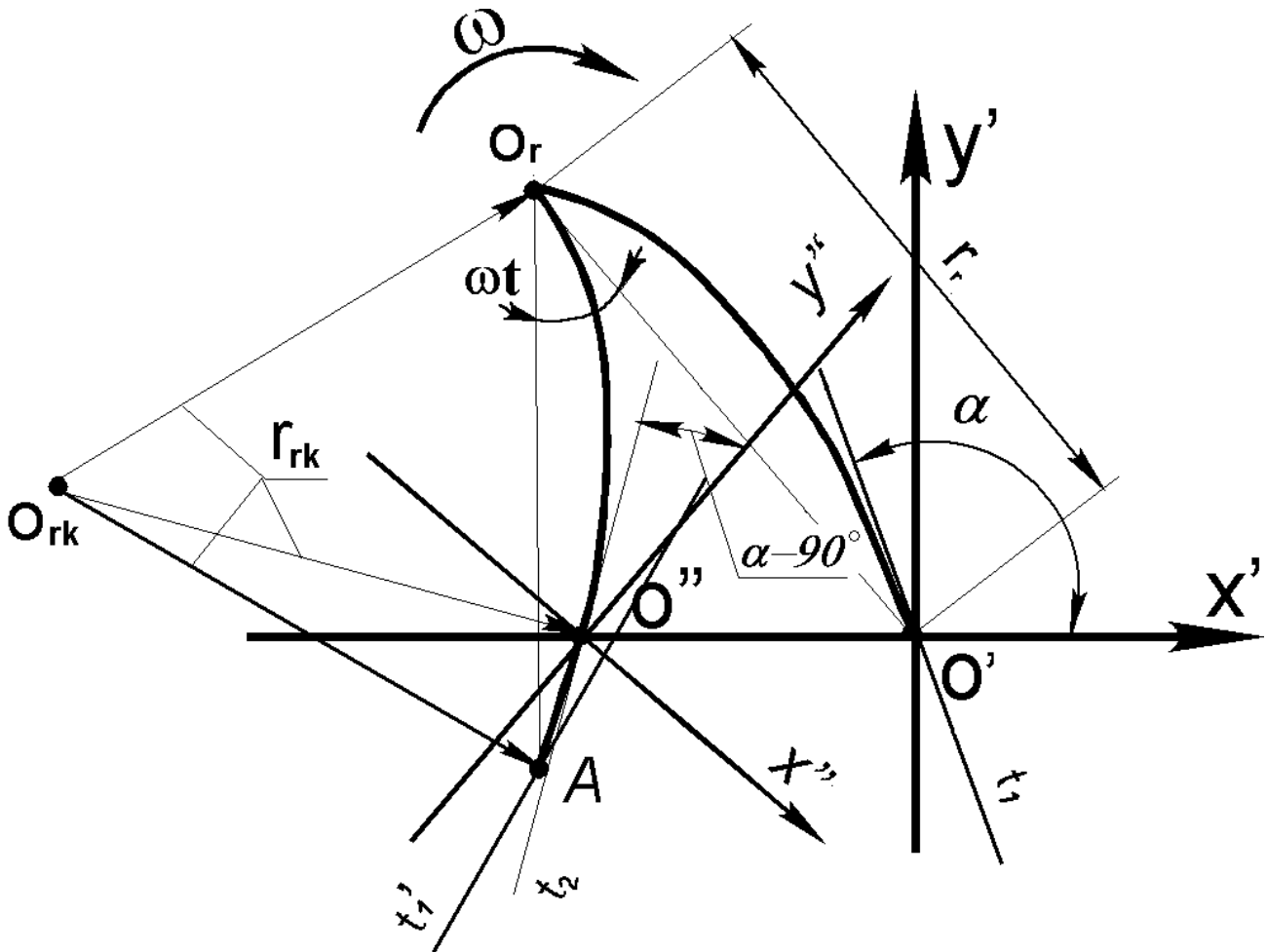


Рис.2.6. Схема переходу до обертального руху

Обертання ротора на деякий кут ωt , відповідає переміщенню вершини різальної кромки з точки O' в точку O'' , ордината якої, відносно системи координат $x'O'y'$, є максимальною глибиною обробітку ґрунту і яка є початком нової системи координат $x''O''y''$, оберненої відносно $x'O'y'$ на кут ωt . Радіус кривизни різальної кромки, можна встановити за результатами розв'язку векторного плану радіусів відносно миттєвого центру швидкостей ротора O_r .

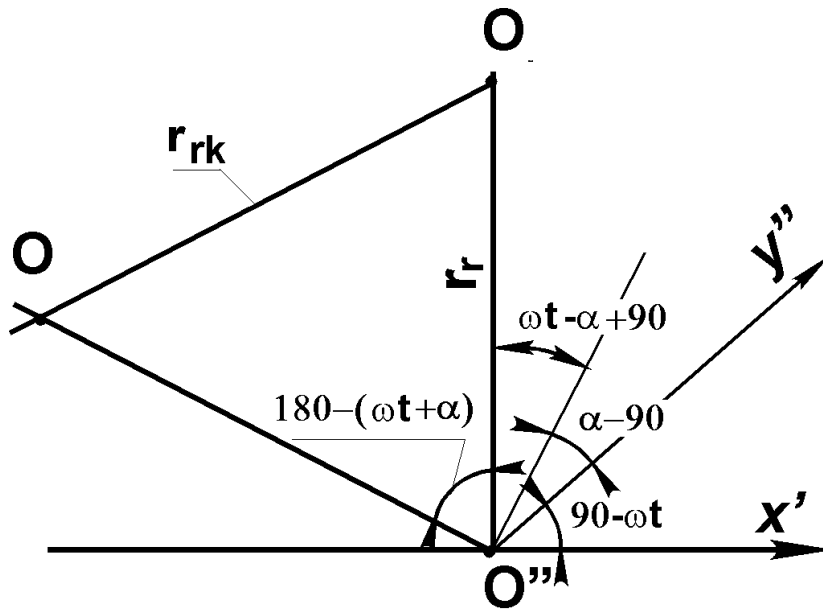


Рис.2.7. Визначення радіуса кривизни різальної кромки

Радіус кривизни різальної кромки r_{rk} (рис.2.6) становить:

$$r_{rk} = \frac{r_r}{2 \cos[180 - (\omega t + \alpha)]}; \quad (2.30)$$

де r_r – радіус ротора;

ωt – кут на який повертається ротор для заглиблення вершини ріжучої кромки на максимальну глибину H обробітку (рис.2.6).

При роботі робочого органу в режимі чистого зсуву коефіцієнт тертя f ґрунту об метал прямує до нуля, тому згідно (2.27) можна записати:

$$\lim_{f \rightarrow 0} \psi = 0. \quad (2.31)$$

А кут θ_2 , згідно (2.26) та (рис.2.5) становить:

$$\theta_2 = 90^\circ - \gamma \quad (2.32)$$

З урахуванням (2.32) рівняння (2.22) можна представити у вигляді:

$$z' = f(y') \cdot \operatorname{tg}\left(\frac{90^\circ - \gamma}{2}\right), \quad (2.33)$$

де γ – кут нахилу робочої поверхні до фронтальної площини (горизонтальний кут різання), який визначається функцією:

$$\gamma = f(y), \quad (2.34)$$

де y – абсциса розміщення твірної лінії робочої поверхні ґрунтообробного знаряддя над горизонтальною площиною xOz , яка відповідає дну борозни [55, 69].

Графічний розв'язок (2.34) у відповідності до [55, 69] представлено на рис.2.8. для випадку поступального руху.

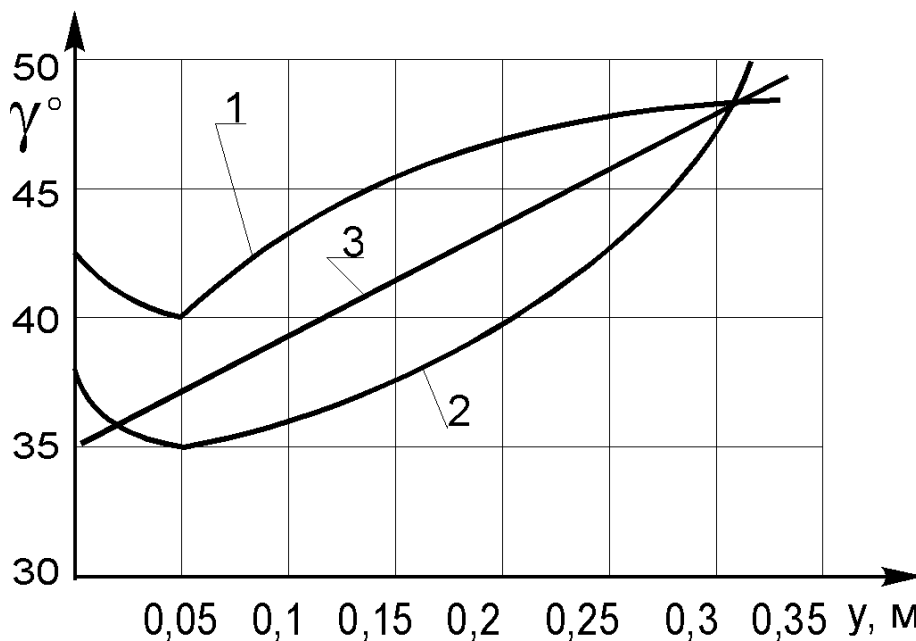


Рис.2.8. Закономірність зміни кута γ в залежності від висоти розміщення утворюючої робочої поверхні: 1- культурної; 2 –напівгвинтової; 3 – гвинтової

Відповідно досліджень [55, 69] найбільш оптимальною, з точки зору поєднання розпушуючої та обертаючої здатності знаряддя є поверхня утворена за третім варіантом розв'язку (2.34) (рис.2.8-3), яка аналітично відповідає системі параметричних рівнянь [26]:

$$\begin{cases} x = r \cos \gamma; \\ y = r \sin \gamma; \\ z = f(r) + p\varphi, \end{cases} \quad (2.35)$$

де r і γ – криволінійні координати;

p – гвинтовий параметр.

Виходячи з цього та з урахуванням (2.22) і (2.32), при переході до обертового руху ротора, та поступального руху в напрямку переміщення машинно-тракторного агрегату, закономірність зміни кута γ_0 розміщення твірної лінії, можна представити у вигляді графічної залежності (рис.2.9). Де y є глибиною H_{max} обробітку ґрунту, на яку розрахований ґрунтообробний робочий орган..

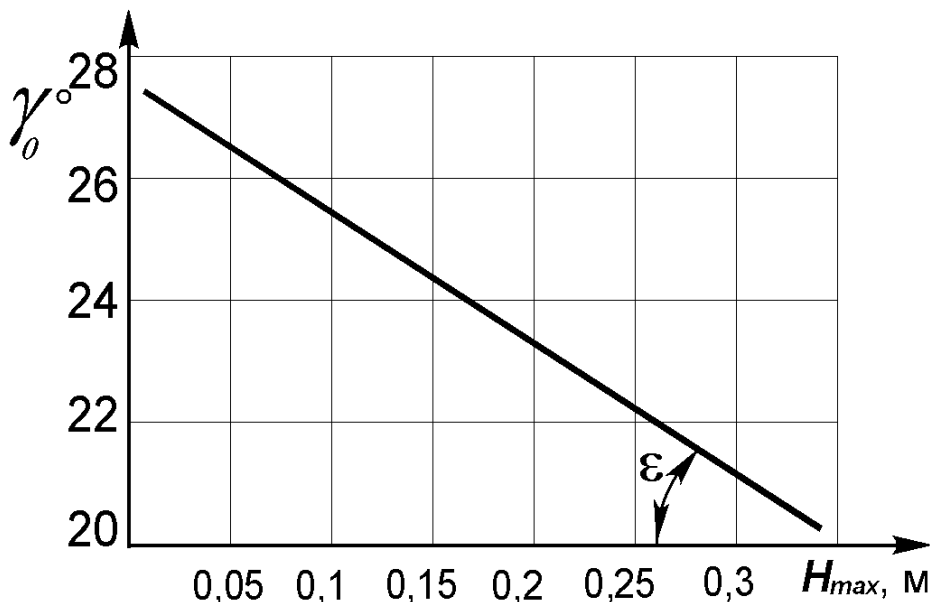


Рис.2.9. Залежність кута повороту твірної лінії від глибини обробітку:
 ε – кут, який характеризує механічні властивості конкретного ґрунтового середовища

В цьому випадку направляючими лініями зазначеної твірної (OO' на рис.2.10) є прямі OA і $O'S$, які перехрещуються. Пряма OA перпендикулярна до площини xOz і співпадає з віссю y координат, а пряма $O'S$ нахилена до осі Ox , під кутом α_0 , який є кутом встановлення різальної кромки до дна борозни, та який визначається згідно (рис.2.6), як:

$$\alpha_0 = \alpha - \omega t; \quad (2.36)$$

Координатна вісь Ox проходить через точку O' (центр переносної системи координат) (рис.2.1) прямої $O'S$. Твірна пряма OO' в початковому положенні співпадає з віссю Ox , а потім при повороті на кут γ_0 та переміщенні по напрямляючих OA і $O'S$ в координату y_c , набуває нового розташування в напрямку AC .

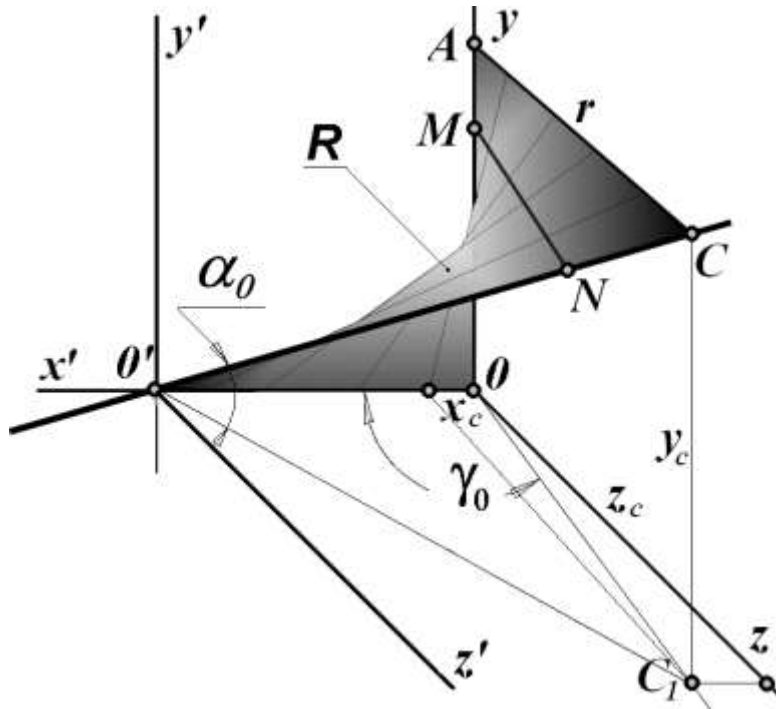


Рис.2.10. Побудова поверхні прямого коноїду (гіперболічного параболоїду)

Для точки C утвореної лінії AC , в параметричній формі маємо:

$$\begin{cases} x = r \cdot \cos \gamma_0; \\ y = k \cdot \operatorname{tg} \gamma_0; \\ z = r \cdot \sin \gamma_0, \end{cases} \quad (2.37)$$

де x, y, z – координати т. C (рис.2.10)

r – відстань точки від осі z ;

γ_0 – кут закручування робочої поверхні ґрунтообробного органу ($\gamma_0 = \frac{\theta_2}{2}$);

k – гвинтовий параметр, який визначається згідно [26, 90] як:

$$k = p \cdot \cos^2 \frac{\theta_2}{2} \quad (2.38)$$

де p – крок повного оберту горизонтальної направляючої.

З урахуванням властивостей поверхні, яка описана системою (2.37), гвинтовий параметр становитиме:

$$k = f(\gamma_0; H_{\max}) = \frac{H_{\max}}{\operatorname{tg} \gamma_0}. \quad (2.39)$$

Кут закручування γ_0 робочої поверхні ґрунтообробного органу (згідно рис.2.9) можна визначити аналітично, як:

$$\gamma_0 = \frac{\pi}{4} - \frac{\gamma}{2} = \gamma_{\max} - H_{\max} \frac{d\gamma_0}{dH}, \quad (2.40)$$

де γ_{\max} – максимальний кут закручування робочої поверхні, для конкретного типу ґрунту;

$\frac{d\gamma_0}{dH}$ – показник, що враховує механічні характеристики ґрунтового середовища.

З врахуванням властивостей дерново-підзолистого ґрунту середньої степені оглеєння ($\frac{d\gamma_0}{dH}=16\dots19$; $\gamma_{\max}=27\dots28^\circ$), кут закручування робочої поверхні $\gamma_0=23\dots25^\circ$.

За результатами розв'язку системи (2.37) з врахуванням (2.39) рівняння робочої поверхні набуває вигляду:

$$x = \frac{H_{\max} \cdot z}{\operatorname{tg} \gamma_0 \cdot y}. \quad (2.41)$$

Поверхня описана рівнянням (2.39) є поверхнею R прямого коноїда (рис.2.10).

2.2. Визначення основних геометричних параметрів ротаційно-лопатевого робочого органу ґрунтообробного знаряддя

Для отримання теоретичного профілю робочого органу необхідно визначити його основні геометричні параметри.

Довжину l (рис.2.11) робочої поверхні ґрунтообробного органу, згідно [101], можна визначити як:

$$l \leq \frac{\sigma_{tm}}{\gamma_{об}} \operatorname{ctg}[\alpha_0 + \psi]; \quad (2.42)$$

де σ_{tm} – тимчасовий опір ґрунту стисканню;

$\gamma_{об}$ – об'ємна маса ґрунту;

α_0 – кут встановлення передньої різальної кромки до дна борозни;

ψ – узагальнений кут тертя.

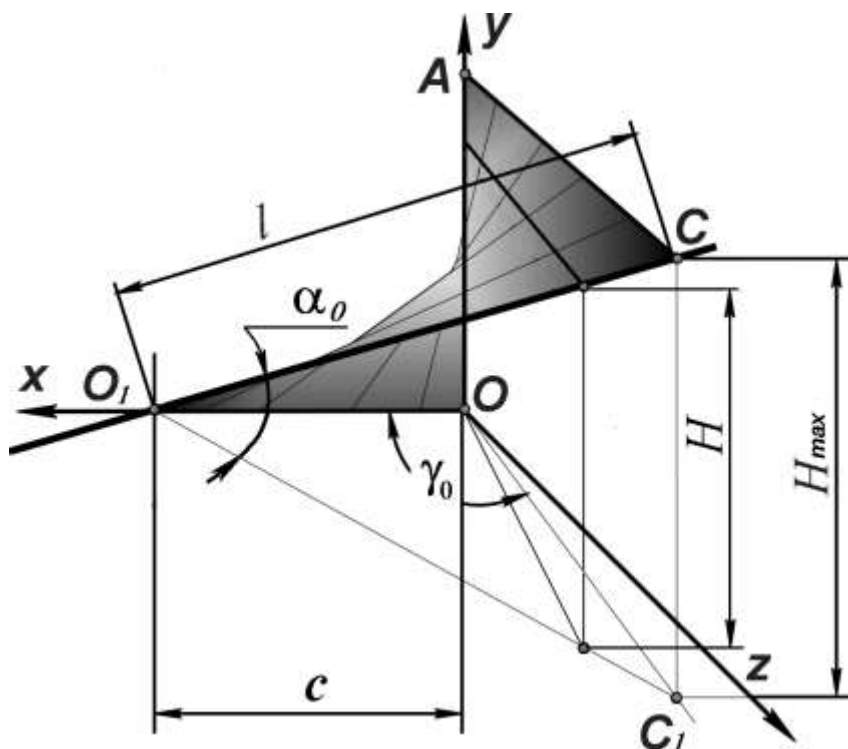


Рис.2.11. Схема до визначення оптимальної ширини робочого органу

Відповідно до побудови робочої поверхні (рис.2.10) маємо:

$$\begin{cases} O_1O = C_1O; \\ \angle O_1C_1C = 90^\circ; \end{cases}$$

тому $O_1C_1 = l \cdot \cos \alpha_0$, а оптимальна ширина c робочої поверхні становить:

$$c \leq \frac{\frac{\sigma_{mm}}{\gamma_{об}} \operatorname{ctg}[\alpha_0 + \psi] \cos \alpha_0}{2 \sin \frac{\gamma_0}{2}}; \quad (2.43)$$

де γ_0 – кут повороту твірної лінії O_1O в положення AC відносно y , (кут закручування робочої поверхні) (рис.2.11).

Однак, з огляду на те, що кут O_1C_1C дорівнює 90° (рис.2.11), та з врахуванням [55] максимальна глибина обробітку H_{\max} буде обмежена:

$$H_{\max} \leq l \sin \alpha_0. \quad (2.44)$$

Кількість ножів-лопатей робочого органу ґрунтообробного знаряддя, згідно (рис 2.12) становитиме:

$$n \leq \frac{2\pi r_r}{s + (c \cos \gamma_0)}; \quad (2.45)$$

де r_r – радіус ротора, разом з встановленими на ньому ножами-лопатями.

s – проекція відстані k між найближчими точками суміжних ножів на площину паралельну площинні обертання ротора.

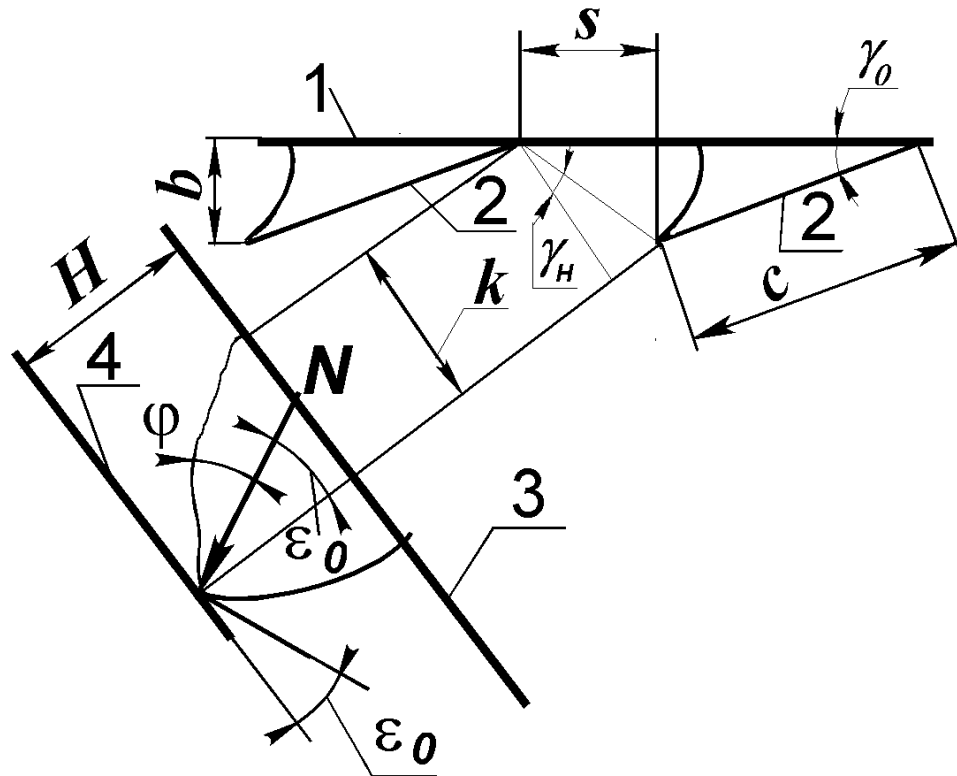


Рис.2.12. Схема до визначення кількості ножів-лопатей на диску та відстані між суміжними ножами ротора:

1 – горизонтальна проекція площини обертання диску; 2 – горизонтальні проекції верхньої різальної кромки суміжних ножів-лопатей 3 – поверхня поля;
4 – дно борозни

Величина зазору k , між крайніми точками сусідніх ножів-лопатей робочого органу, згідно (рис.2.12) буде визначатись за формулою:

$$k = H \cdot \operatorname{tg}(\varepsilon_0 + \varphi); \quad (2.46)$$

А величину s , згідно [69], можна визначити за формулою:

$$s \approx \frac{H \cdot \operatorname{tg}(\varepsilon_0 + \varphi) \cdot \cos\left(\arcsin \frac{c \cdot \sin \gamma_0}{k \cdot \cos \gamma_H}\right)}{\cos \gamma_H}; \quad (2.47)$$

ε_0 – кут між нижньою різальною кромкою ножа-лопаті, та дном борозни (кут встановлення до дна борозни);

φ – кут тертя ґрунту по поверхні робочого органу

γ_H – кут закручування робочої поверхні на номінальній глибині обробітку, який визначається згідно (рис. 2.11), як:

$$\gamma_H = \frac{\gamma_0 H}{H_{\max}} \quad (2.48)$$

Проекцію b ширини захвату робочого органу на вісь обертання ротора, згідно (рис. 2.12) можна представити, як:

$$b = c \cdot \sin \gamma_0. \quad (2.49)$$

Кут ωt заглиблення передньої різальної кромки на максимальну глибину (рис.2.6) буде визначатися, як:

$$\omega t = \frac{360^\circ}{n}; \quad (2.50)$$

На рис.2.13 ε_0 , кут встановлення нижньої різальної кромки до дна борозни, згідно [69], становить $\varepsilon_0 = 20^0 \dots 25^0$. А кут α_0 встановлення передньої різальної кромки до дна борозни α_0 , який визначається згідно (2.36) і становить $\alpha_0 = 30^0 \dots 75^0$. Ордината c_0 розміщення вершини робочої поверхні, дорівнює :

$$c_0 = c \cdot \cos \gamma_0. \quad (2.51)$$

З рис.2.13, пряма 1, є дотичною до радіуса кривизни нижньої різальної кромки r_{nk} , а пряма 2 – дотична до радіуса кривизни передньої різальної кромки r_{rk} .

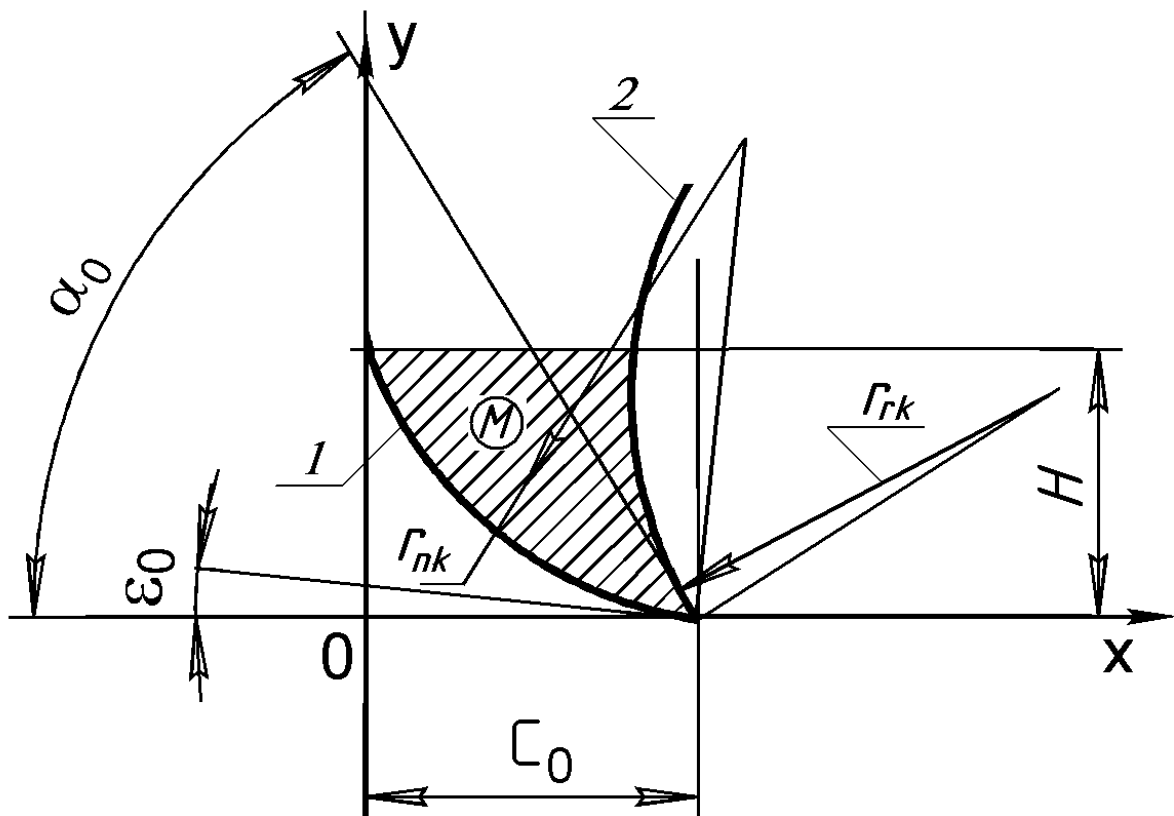
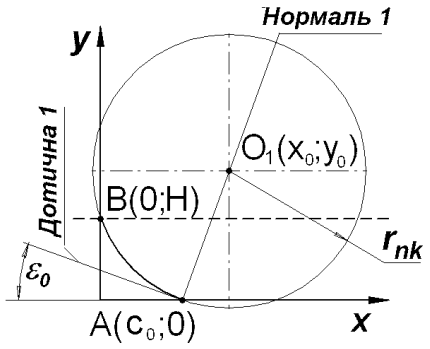
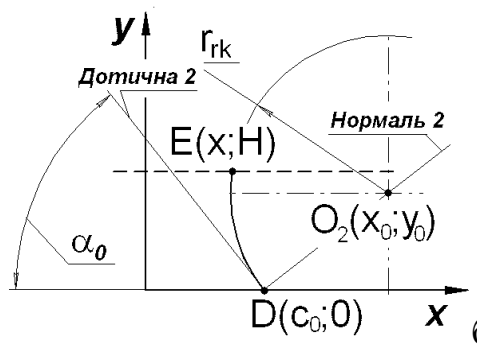


Рис.2.13. Теоретичний профіль робочої частини ножа-лопати:

1 – нижня різальна кромка; 2 – верхня різальна кромка

Розрахунок форми передньої та нижньої різальних кромки, згідно [25] наведений в таблиці 2.1

Розрахунок форми різальних кромки ножа-лопаті
грунтообробного робочого органу.

Нижня кромка	Передня кромка
1	2
 <p style="text-align: right;">а)</p>	 <p style="text-align: right;">б)</p>
<p style="text-align: center;"><i>Рис.2.14. Розрахунок параметрів різальних кромки:</i> а) нижня кромка; б) передня кромка</p>	
Рівняння дотичної	
$y = -(x - c_0) \operatorname{tg} \varepsilon_0 \quad (2.52)$	$y = -(x - c_0) \operatorname{tg} \alpha_0 \quad (2.53)$
Рівняння нормалі	
$y = (x - c_0) \operatorname{ctg} \varepsilon_0 \quad (2.54)$	$y = (x - c_0) \operatorname{ctg} \alpha_0 \quad (2.55)$
Координати центра	
O_1	O_2
$\begin{cases} x_0 = c_0 + r_{nk} \sin \varepsilon_0; \\ y_0 = r_{nk} \cos \varepsilon_0 \end{cases} \quad (2.56)$	$\begin{cases} x_0 = c_0 + r_{rk} \sin \alpha_0; \\ y_0 = r_{rk} \cos \alpha_0 \end{cases} \quad (2.57)$
Рівняння кривої	
$\begin{aligned} &(x - (r_{nk} \sin \varepsilon_0 + c_0))^2 + \\ &+ (y_1 - r_{nk} \cos \varepsilon_0)^2 = r_{nk}^2 \end{aligned} \quad (2.58)$	$\begin{aligned} &(x - (r_{rk} \sin \alpha_0 + c_0))^2 + \\ &+ (y_1 - r_{rk} \cos \alpha_0)^2 = r_{rk}^2 \end{aligned} \quad (2.59)$
Рівняння кривої в параметричній формі	
$\begin{cases} x = c_0 + 2r_{nk} \sin \varepsilon_0; \\ y = 2r_{nk} \cos \varepsilon_0 \end{cases} \quad (2.60)$	$\begin{cases} x = c_0 + 2r_{rk} \sin \alpha_0; \\ y = 2r_{rk} \cos \alpha_0 \end{cases} \quad (2.61)$

Таким чином, проекцію A_{nom} площі взаємодії ножа-лопаті з ґрунтом при номінальній глибині обробітку, на площину обертання ротора (область M на рис.2.13) можна визначити, згідно [25], як:

$$A_{nom} = \int_0^H \left(\sqrt{r_{rk}^2 - (y - r_{rk} \cos \alpha_0)^2} + (r_{rk} \sin \alpha_0 + c) \right) dy - \int_0^H \left(\sqrt{r_{nk}^2 - (y - r_{nk} \cos \varepsilon_0)^2} + (r_{nk} \sin \varepsilon_0 + c) \right) dy, \quad (2.62)$$

Для запобігання забивання ґрунтом, та рослинними рештками проміжків між сусідніми ножами-лопатами встановленими на одному роторі, згідно [101], необхідно виконання умови:

$$A_{np} > A_{nom}, \quad (2.63)$$

де A_{np} – проекція на площину обертання ротора мінімальної необхідної площі проміжку між сусідніми дисками.

Для виконання умови (2.63) площу зони окресленою задньою кромкою ножа-лопаті та передньою різальною кромкою сусіднього ножа-лопаті можна представити, згідно [25], у вигляді:

$$A_{np} = \int_0^{H_{max}} [f(x)_{rk} - f(x)_{zr}] dy, \quad (2.64)$$

де $f(x)_{zr}$ - рівняння форми задньої кромки ножа-лопаті;

$f(x)_{rk}$ - рівняння форми передньої різальної кромки ножа-лопаті;

H_{max} – максимальна глибина обробітку (висота ножа-лопаті).

Ділянка передньої поверхні ножа-лопаті вище номінальної глибини обробітку ґрунту, окреслена (2.61) дугою еліпса E з граничним, відповідно

умові (2.63), радіусом r_{rk} (рис.2.15). В цьому випадку велика вісь еліпса E , з урахуванням (2.64), становитиме , а його площа:

$$A_e = \frac{\pi b_e H_{\max}}{2} > A_{nom}; \quad (2.65)$$

де b_e – мала піввісь еліпсу площі A_{np} .

Величину малої осі еліпса, з урахуванням (2.46), (2.58) та (2.66) можна представити, як:

$$b \approx \frac{H \cdot \operatorname{tg}(\varepsilon_0 + \varphi) \cdot \cos\left(\arcsin \frac{c \cdot \sin \gamma_0}{k \cdot \cos \gamma_H}\right)}{2 \cos \gamma_H} \leq \frac{2A_{nom}}{\pi H_{\max}} \quad (2.67)$$

Радіус r_{np} небезпечного перерізу, можна визначити виходячи з фокальних властивостей еліпсу [25], та побудови теоретичного профілю ґрунтообробного ротаційного робочого органу (рис.2.14), як:

$$r_{np} \approx r_r - \left(c_e + \frac{N_{\max}}{2} \right); \quad (2.68)$$

де c_e – половина фокальної відстані еліпса E (рис.2.15), і визначається згідно [25], як:

$$c_e = \sqrt{\frac{H_{\max}^2}{4} - b_e^2}. \quad (2.69)$$

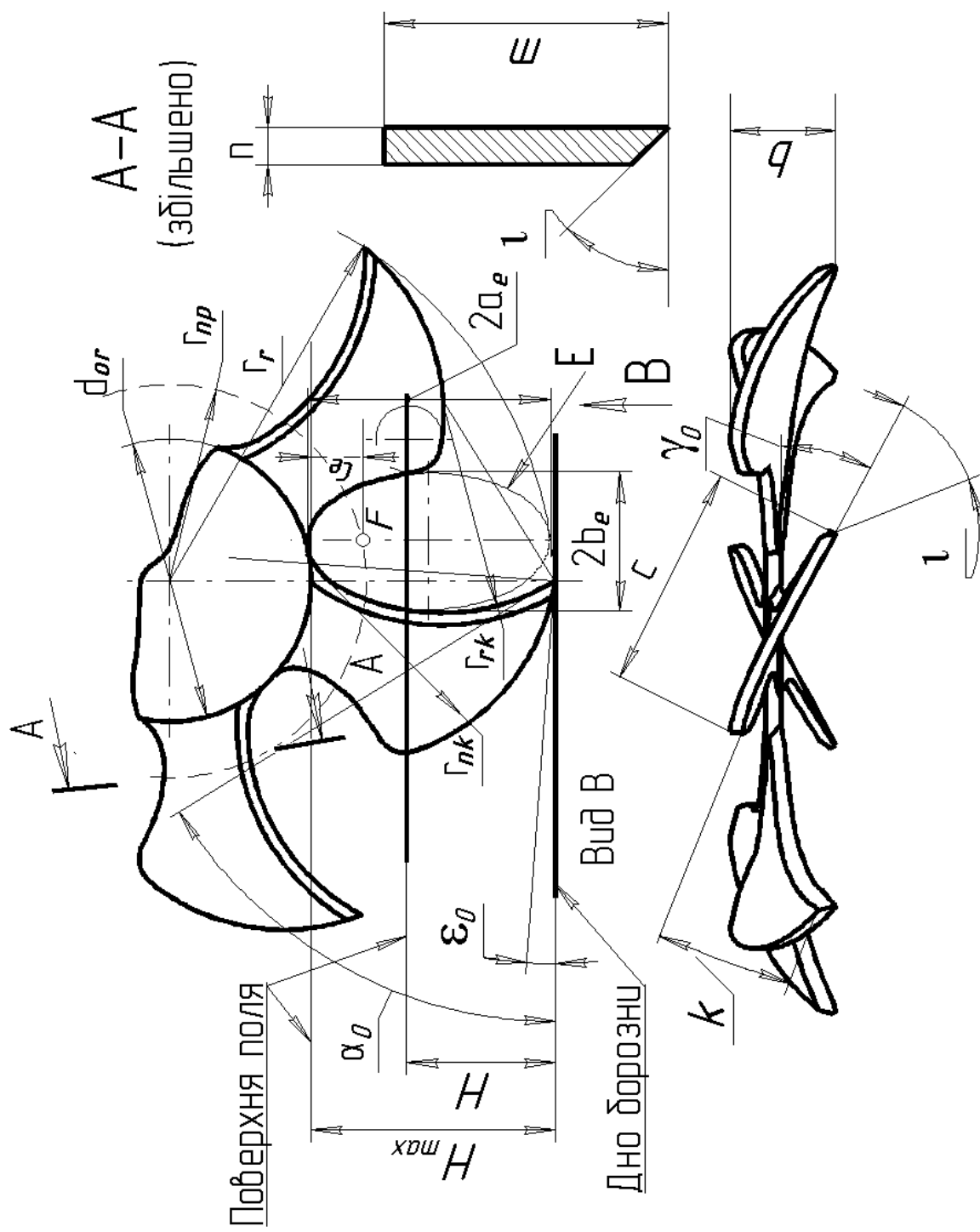


Рис. 2.15. Теоретичний профіль робочого органу

Ширина m ножа-лопаті в небезпечному перерізі (рис.2.15) з урахуванням (2.46), становитиме:

$$m = 2r_{np} \sin \frac{180}{n} - s \quad (2.70)$$

Побудову теоретичного профілю ґрунтообробного ротаційного робочого органу (рис.2.15) можна виконати використовуючи можливі значення конструкційних показників та розрахункові формули представлені в таблиці 2.2

Таблиця 2.2

Алгоритм визначення геометричних параметрів ротаційно-лопатевого ротаційного робочого органу

Назва показника	Позначення	Розмірність	Можливі значення	Формула, джерело
1	2	3	4	5
Вихідні конструкційно-технологічні показники				
Номінальна глибина обробітку	H	м	0,12	[55]
Максимальна глибина обробітку	H_{max}	м	0,2	[55] $H \leq l \sin \alpha_0$
Радіус ротора	r_r	м	0,33	ОСТ 23.2.147-85
Кут встановлення нижньої різальної кромки до dna борозни (рис.2.13)	ε_0	град.	20...25°	[69]
Кут загострення різальних кромок (рис.2.15)	l	град.	20...45°	[69]

Продовження табл.2.2

1	2	3	4	5
Тимчасовий опір ґрунту стисканню	σ_{tm}	Па	$(0,08...0,12) \times 10^6$	[69]
Об'ємна маса ґрунту	$\gamma_{об}$	кг/м ³	1200... ...1400	[101]
Кут тертя ґрунту по поверхні робочого органу	φ	град.	14...35°	[101]
Коефіцієнт тертя ґрунту об метал	f	-	0,01...1	[61, 114]
Коефіцієнт тертя ґрунту об ґрунт	f_1	-	0...1	[61, 114]
Узагальнений кут тертя	ψ	град.	0...45°	$\psi = \arctg\left(\frac{f}{(f + f_1)}\right)$
Розрахунок основних геометричних параметрів				
Кут закручування робочої поверхні ножа лопаті	γ_0	град.	23...25°	$\gamma_0 = \gamma_{max} - Htg\varepsilon,$
Вертикальний кут різання (рис.2.6)	α	град	90°...135°	
			$\alpha = \left(\arctg\left(\frac{f}{(f + f_1)}\right) + 90^0 \right)$	
Кут заглиблення вершини різальної кромки на максимальну глибину (рис.2.6)	ωt	град	60°	$\omega t = \frac{360^0}{n}$
Кут встановлення передньої різальної кромки (рис.2.6 та 2.13)	α_0	град	30...75°	$\alpha_0 = \alpha - \omega t$
Радіус передньої різальної кромки (рис.2.7)	r_{rk}	м	0,17...0,2	
			$r_{rk} = \frac{r_r}{2 \cos[180 - (\omega t + \alpha)]}$	

Продовження табл.2.2

1	2	3	4	5
Довжина робочої поверхні ножа-лопаті (рис.2.11)	l	м	до 0,5	
			$l \leq \frac{\sigma_{mm}}{\gamma_{об}} \operatorname{ctg}[\alpha_0 + \psi]$	
Довжина ножа-лопаті (рис.2.11)	c	м	до 0,3	$c = \frac{l \cos \alpha_0}{2 \sin \frac{\gamma_0}{2}}$
Проекція ширини захвату робочого органу (рис.2.12)	b	м	до 0,3	$b = c \cdot \sin \gamma_0$
Відстань між найближчими точками суміжних ножів-лопатей (рис.2.12)	k	м	0,07...0,33	$k = H \cdot \operatorname{tg}(\varepsilon_0 + \varphi)$
Проекція відстані k на площину обертання диску (рис.2.12)	s	м	0,03...0,25	
		$s \approx \frac{H \cdot \operatorname{tg}(\varepsilon_0 + \varphi) \cdot \cos\left(\arcsin \frac{c \cdot \sin \gamma_0}{k \cdot \cos \gamma_H}\right)}{\cos \gamma_H}$		
Радіус нижньої різальної кромки (рис.2.13)	r_{nk}	м	0,2	(рис. 2.13)
		$(r_{nk} \sin \varepsilon_0 + c_0)^2 + (H - r_{nk} \cos \alpha_0)^2 = r_{nk}^2$		
Діаметр основи ротора (рис.2.15)	d_{or}	м	0,26	$d_{or} = 2(r_r - H_{\max})$
Кількість ножів-лопатей	n		6...8	$n \leq \frac{2\pi r_r}{s + (c \cos \gamma_0)}$
Розрахунок додаткових геометричних показників				
Проекція номінальної площі взаємодії ножа- лопаті з ґрунтом М (рис.2.13)	A_{max}	м ²	1,2×10 ⁻⁴ ...1,5×10 ⁻²	
			$A_{nom} = \int_0^H f(y)_{nk} dy - \int_0^H f(y)_{rk} dy,$	

Продовження табл.2.2

1	2	3	4	5
Проекція мінімальної необхідної площі проміжку, площа еліпса E (рис.2.15)	A_{np}	м ²	$1,2 \times 10^{-4} \dots \dots 1,5 \times 10^{-2}$	$A_{np} > A_{\max}$
Товщина небезпечного перерізу (рис.2.15)	n	м	6×10^{-3}	$h = 0,016r_r$
Радіус небезпечного перерізу (рис.2.15)	r_{np}	м	0,13...0,14	$r_{np} \approx r_r - \left(c_e + \frac{N_{\max}}{2} \right)$
“Великий” радіус еліпса E (рис.2.15)	a_e	м	0,1	$a_e = \frac{H_{\max}}{2}$
“Малий” радіус еліпса (рис.2.15)	b_e	м	0,03...0,95	$b_e = \frac{s}{2} \geq \frac{2A_{nom}}{\pi H_{\max}}$
Фокальний радіус еліпса (рис.2.15)	c_e	м	$8,8 \times 10^{-2} \dots \dots 0,1$	$c_e = \sqrt{\frac{H_{\max}^2}{4} - b_e^2}$
Ширина небезпечного перерізу (рис.2.15)	m	м	$(0,01 \dots 1,1) \times \times 10^{-1}$	$m = 2r_{np} \sin \frac{180}{n} - s$
Координати центру тяжіння проекції M	x_{oc}	м	0,01...0,1	
			$x_{oc} = \frac{\int_0^H [yf(y)_{rk} - yf(y)_{nk}] dy}{A_{nom}} \quad (2.71)$	
	y_{oc}	м	0,05...0,1	
			$y_{oc} = \frac{\int_0^H [f(y)_{rk}^2 - f(y)_{nk}^2] dy}{2A_{nom}} \quad (2.72)$	

Згідно алгоритму наведеного в табл. 2.2. можна розрахувати геометричні параметри ротаційно-лопатевого робочого органу, виходячи з конкретних ґрунтових умов.

2.3. Обґрунтування конструкції ротаційно-лопатевого робочого органу для ґрунтових умов Полісся України

Основні результати конструкційного розрахунку у відповідності до табл.2.2 для супіщаних дерново-підзолистих ґрунтів Полісся України наведені в табл. 2.3.

Таблиця 2.3

Геометричні параметри ротаційно-лопатевого ґрунтообробного робочого органу для ґрунтових умов Полісся

Назва показника	Позначення	Розмірність	Значення
1	2	3	4
Глибина обробітку	H	м	0,10...0,2
Радіус ротора	r_r	м	0,33
Кут встановлення нижньої різальної кромки	ε_0	град.	20°
Кут закручування робочої поверхні ножа лопаті	γ_0	град.	24°
Кут загострення різальних кромок	ι	град.	30°
Кількість ножів-лопатей	n	штук	6
Кут встановлення передньої різальної кромки	α_0	град	60°
Радіус передньої різальної кромки	r_{rk}	м	0,165
Радіус нижньої різальної кромки	r_{nk}	м	0,346
Діаметр основи ротора	d_{or}	м	0,26
Довжина ножа-лопаті	c	м	0,175
Проекція довжини ножа лопаті	c_0	м	0,160
Проекція ширини захвату робочого органу	b	м	$7,1 \times 10^{-2}$
Кут тертя ґрунту по поверхні робочого органу	φ	град.	35
Узагальнений кут тертя	ψ	град.	35
Відстань між найближчими точками суміжних ножів-лопатей	k	м	0,171
Проекція відстані k на площину обертання диску	s	м	0,100
Ширина небезпечного перерізу	t	м	0,86

Для забезпечення роботоздатності конструкції ротаційно-лопатевого робочого органу, необхідно накласти обмеження на конструкцію ротора за міцністю небезпечного перерізу лопаті [29, 93]:

$$\sigma_{екв} \leq [\sigma], \quad (2.73)$$

де $[\sigma]$, допустимі нормальні напруження для матеріалу диску (матеріал диску – сталь 65Г ГОСТ 14959-79 $[\sigma]=196 \text{ МПа}$) [103];

$\sigma_{екв}$ – еквівалентні напруження в небезпечному перерізі.

Перевірочний розрахунок, за умовою (2.73), профілю ножа лопаті, відповідно до рис.2.16, наведений в таблиці 2.4. Розрахунки виконані з урахуванням коефіцієнту динамічності $[n] \geq 3$ [29], та виходячи з міркувань, що кут між еквівалентною силою $P_{екв}$ та дотичною до траєкторії mt переміщення точки прикладання сили $P_{екв}$ (центру ваги робочої поверхні) дорівнює нулю. Максимальна площа A (рис.2.16) контакту ножа-лопаті з ґрунтом, та координати центру мас O_c (точки прикладання еквівалентної сили) визначалась методом комп'ютерного моделювання з використанням спеціальних програмних продуктів [94].

Теоретичний профіль ротаційно-лопатевого ґрунтообробного робочого органу оптимізований для супіщаних дерново-підзолистих ґрунтів наведений на рис. 2.16, а основні розміри, які визначають конструкцію ножа-лопаті, та розміри сил які діють на ніж-лопать, відповідно в табл.2.3 і табл.2.4.

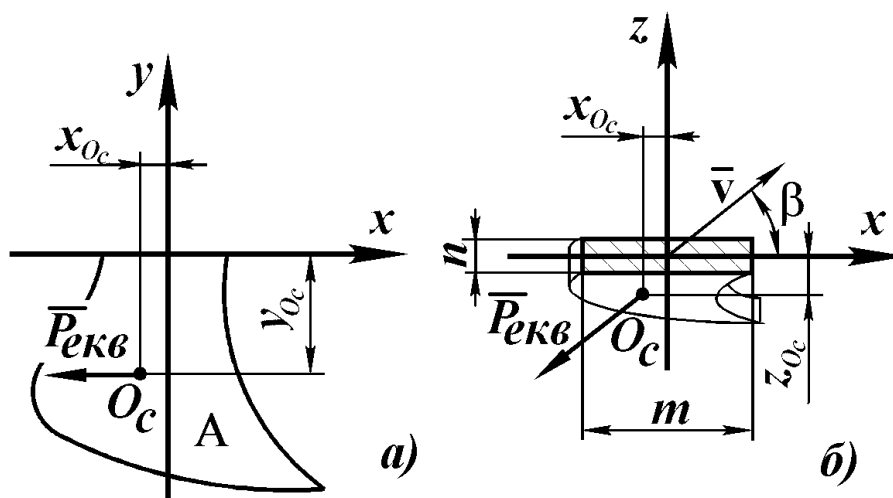


Рис.2.16. Схема силового навантаження ножа лопаті:
а) у вертикальній площині, б) у горизонтальній площині

Таблиця 2.4.

Розрахунок конструкційної міцності небезпечного перерізу

Назва показника	Позначення	Розмірність	Значення	Розрахункові формули
1	2	3	4	5
Вихідні дані для розрахунку				
Кут атаки (рис.2.16)	β	град.	12°-24°	(ГОСТ10267-62)
Питомий опір ґрунту	σ_{Γ}	Па	0,2×10 ⁶	[55]
Площа контакту передньої поверхні ножа-лопаті з ґрунтом	A	м ²	1,77×10 ⁻²	[94]
Межа текучості матеріалу ножа-лопаті (сталі 65Г)	σ_{Γ}	Па	785×10 ⁶	-
Коефіцієнт динамічності робочого процесу	n	-	3	[29, 93]
Товщина небезпечного перерізу	n	м	6×10 ⁻³	(табл.2.3)
Ширина небезпечного перерізу	m	м	8,6×10 ⁻²	(табл.2.3)
Координати точки прикладання еквівалентної сили	x_{Oc}	м	4×10 ⁻³	(рис 2.16)
	y_{Oc}	м	-7,46×10 ⁻²	(рис.2.16)
	z_{Oc}	м	8,3×10 ⁻³	(рис.2.16)
Розрахункові показники				
Допустимі напруження для сталі 65Г	$[\sigma]$	Па	196×10 ⁶	$[\sigma] = \frac{\sigma_{\Gamma}}{n}$
Еквівалентна сила (рис.2.16)	$P_{екв}$	Н	3,54×10 ³	$P_{екв} = A \cdot \sigma_{\Gamma}$
Еквівалентні напруження в небезпечному перерізі	$\sigma_{екв}$	Па	126×10 ⁶	$\sigma_{екв} = \sqrt{\sigma_{\Sigma}^2 + 3\tau_{\Sigma}^2}$, [43]
Сумарні нормальні напруження	σ_{Σ}	Па	112×10 ⁶	$\sigma_{\Sigma} = \sigma_{зз} + \sigma_p$
Напруження згину	$\sigma_{зз}$	Па	112×10 ⁶	$\sigma_{зз} = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_z^2}$
Напруження згину відносно осі x	σ_x	Па	106×10 ⁶	$\sigma_x = \frac{M_x}{W_x}$

Продовження таблиці 2.4

1	2	3	4	5
Напруження згину відносно осі z	σ_z	Па	35×10^6	$\sigma_z = \frac{M_z}{W_z}$
Напруження розтягування	σ_p	Па	0	$\sigma_p = \frac{P_y}{A}$
Сумарні тангенціальні напруження	τ_Σ	Па	34×10^6	$\tau_\Sigma = \tau_{zc} + \tau_{ck}$
Напруження зсуву	τ_{zc}	Па	$0,2 \times 10^6$	$\tau_{zc} = \frac{P_\Sigma}{A}$
Напруження скручування	τ_{ck}	Па	34×10^6	$\tau_{ck} = \frac{T}{W_p}$
Момент опору перерізу відносно осі x	W_x	m^3	$5,16 \times 10^{-7}$	$W_x = \frac{mn^2}{6}$,
Момент опору перерізу відносно осі z	W_z	m^3	$7,40 \times 10^{-6}$	$W_z = \frac{nm^2}{6}$
Момент опору перерізу	W_p	m^3	$7,41 \times 10^{-6}$	$W_p = \frac{\frac{nm^3}{12} + \frac{mn^3}{12}}{\sqrt{\left(\frac{m}{2}\right)^2 + \left(\frac{n}{2}\right)^2}}$
Сумарний згинаючий момент	M_Σ	Н·м	264	$M_\Sigma = \sqrt{M_x^2 + M_z^2}$
Момент сил відносно осі x	M_x	Н·м	-54,9	$M_x = -y_{oc} P_{екв} \sin \beta$
Момент сил відносно осі z	M_z	Н·м	-258,3	$M_z = -y_{oc} P_{екв} \cos \beta$
Скручуючий момент (момент сил відносно осі y)	T	Н·м	-255,4	$T = P_{екв} (x_{oc} \sin \beta - y_{oc} \cos \beta)$
Сумарна поперечна сила	P_Σ	Н	$3,54 \times 10^3$	$P_\Sigma = \sqrt{P_x^2 + P_z^2}$
Проекція еквівалентної сили на вісь x	P_x	Н	$-3,46 \times 10^3$	$P_x = -P_{екв} \cos \beta$
Проекція еквівалентної сили на вісь y	P_y	Н	0	$P_y \rightarrow 0$
Проекція еквівалентної сили на вісь z	P_z	Н	$-0,74 \times 10^3$	$P_z = -P_{екв} \sin \beta$

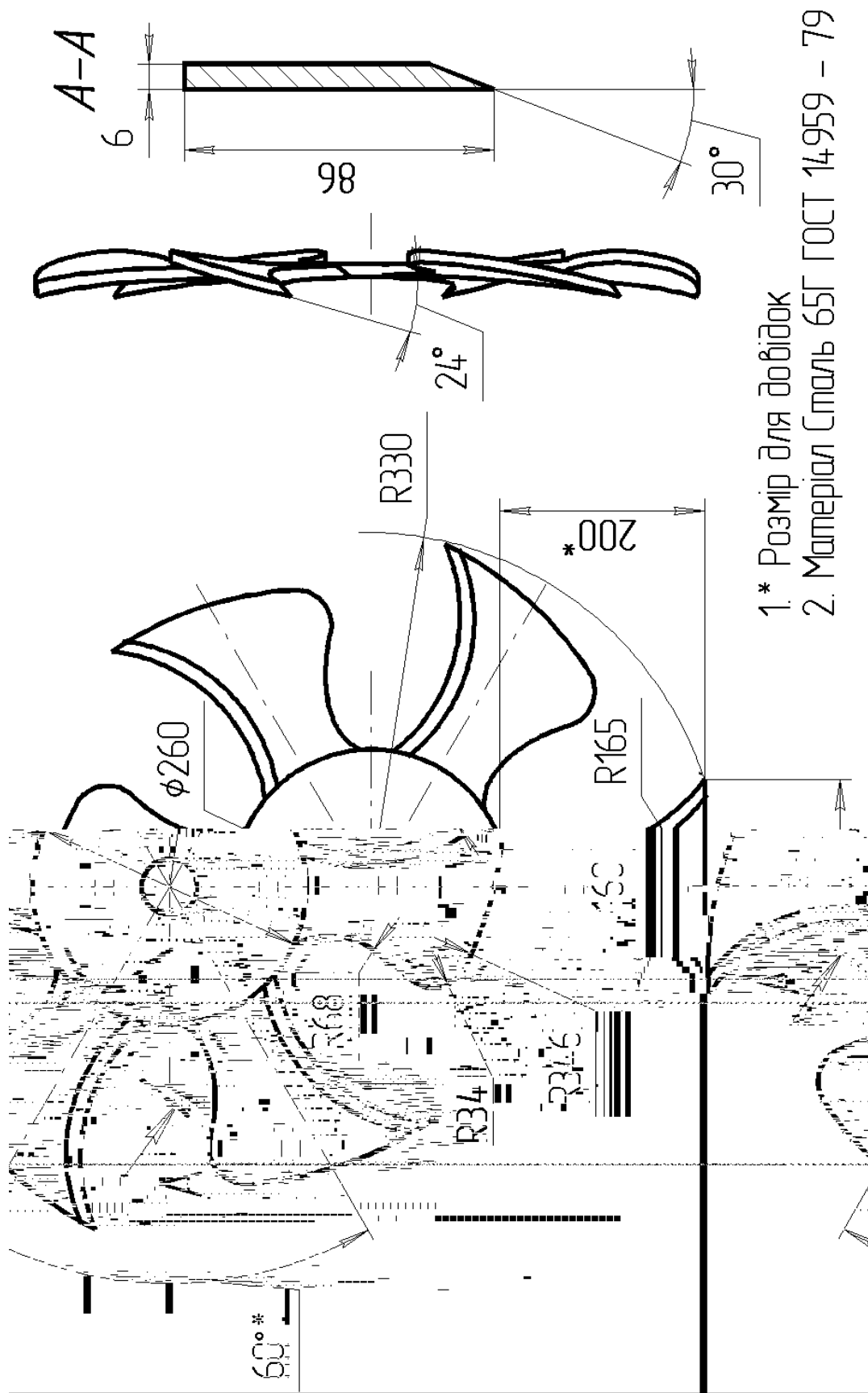


Рис. 2.17. Оптимізований теоретичний профіль ротаційно-лопатевого ґрунтообробного робочого органу

2.4. Оптимізація параметрів процесу роботи

Відстань, між робочими органами в батареї l , визначається теоретичною шириною захвату робочого органу, тобто [55, 69, 101]:

$$l = r_r \sin \beta + b \cos \beta; \quad (2.74)$$

де r_r – радіус ротора;

β – кут атаки ротора,

b – проекція ширини захвату ротора на його вісь обертання (2.49).

З врахуванням умови сколювання ґрунту [55, 69], формула (2.74) набуде вигляду:

$$l = r_r \sin \beta + (b + 2h \cdot \operatorname{tg} \frac{\eta}{2}) \cos \beta; \quad (2.75)$$

де η – кут внутрішнього тертя ґрунту, згідно [55, 69] $\eta=40^\circ \dots 50^\circ$;

h – глибина обробітку.

Значення параметра l розраховане, згідно даних табл.2.3, для різних глибин обробітку, представлено на рис.2.18.

Таким чином, можна зробити висновок, що відстань між роторами в одній батареї пропорційно залежить від кута атаки та глибини обробітку.

З метою характеристики процесу роботи ротаційно-лопатевого робочого органу, оскільки переріз профілю скиби обмежується різальними кромками ножа-лопаті ротора, доцільним буде описати рух характерних точок ножа-лопаті, відносно статичної системи координат xOy за допомогою рівнянь, які описують траєкторію довільної точки ротора розташованого в горизонтальній площині xOy під кутом β до напрямку руху машинно-тракторного агрегату (рис.2.19) [53, 105]:

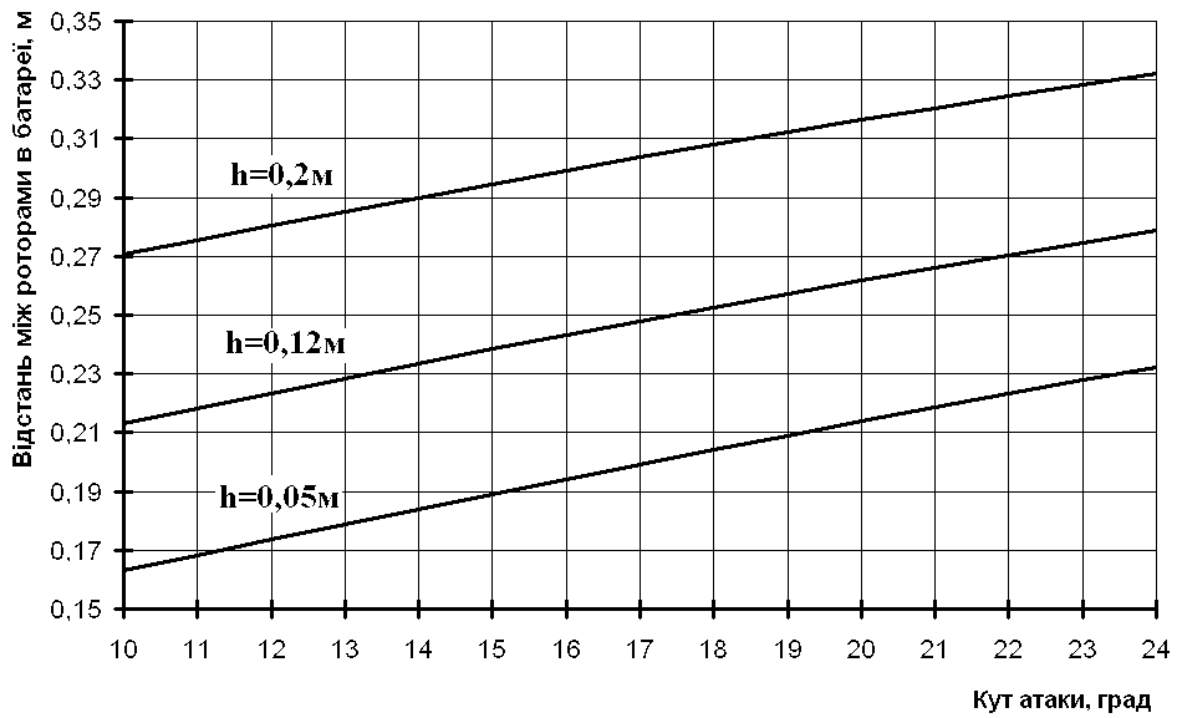


Рис.2.18. Залежність зміни відстані між роторами від кута атаки та глибини обробітку

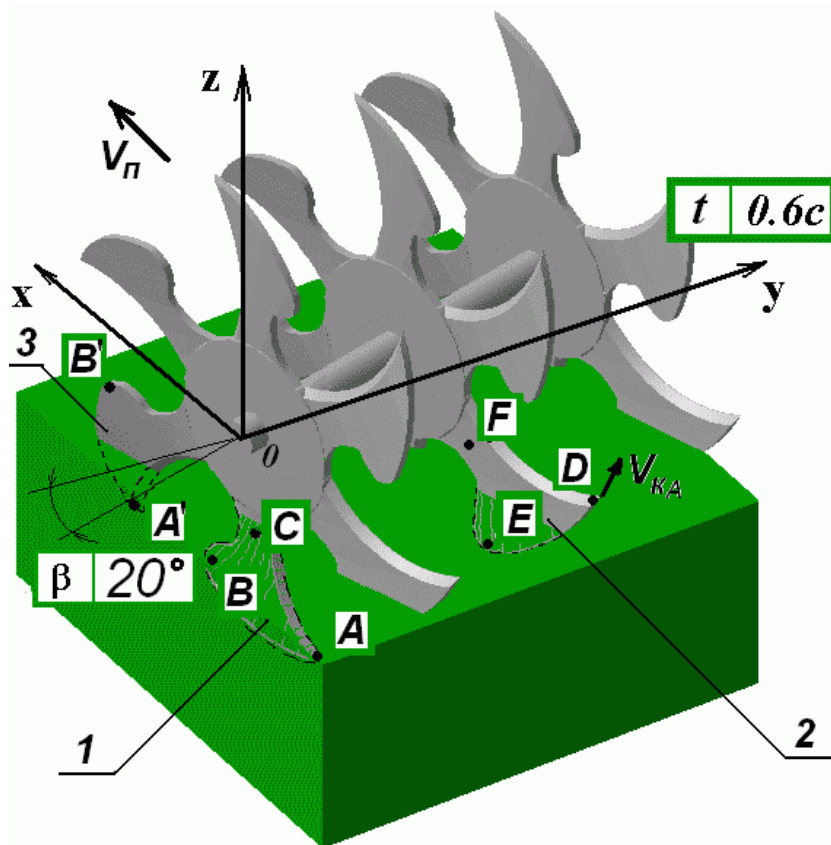


Рис.2.19. Аналітична модель батареї робочих органів

$$\left. \begin{aligned} x &= v_i t + r_r \cos \beta \cos \omega t; \\ y &= -r_r \sin \beta \cos \omega t; \\ z &= -r_r \sin \omega t. \end{aligned} \right\}; \quad (2.76)$$

де v_n - швидкість поступального руху ротора;

t – час руху;

r_r – відстань від осі обертання ротора до розглядуваної точки;

β - кут атаки ротора (кут між віссю Oy і проекцією осі обертання ротора на площину xOy);

ωt – кут повороту ротора відрахований від осі Ox за годинниковою стрілкою.

Система (2.76) справедлива для поверхні робочого органу, яка описується рівнянням 1-го порядку. Для характерних точок розглядуваного ножа-лопаті (поверхня 2-го порядку) буде вірною аналітична модель (рис.2.19), складена з урахуванням комплексу систем кінематичних рівнянь (2.77...2.82).

Для точки A , яка є вершиною передньої робочої поверхні ножа-лопаті I (рис.2.19):

$$\left. \begin{aligned} x_A &= v_n t + r_A \sin \varphi_A \cos \beta \cos \omega t + (r_A - r_A \cos \varphi_A) \sin \beta; \\ y_A &= (r_A - r_A \cos \varphi_A) \cos \beta - r_A \sin \varphi_A \sin \beta \cos \omega t; \\ z_A &= -r_A \sin \varphi_A \sin \omega t. \end{aligned} \right\} \quad (2.77)$$

де r_A – радіус умовної сфери точки A (рис.2.20);

φ_A – кут, між віссю Ox та радіусом r_A , проведеним в точку A .

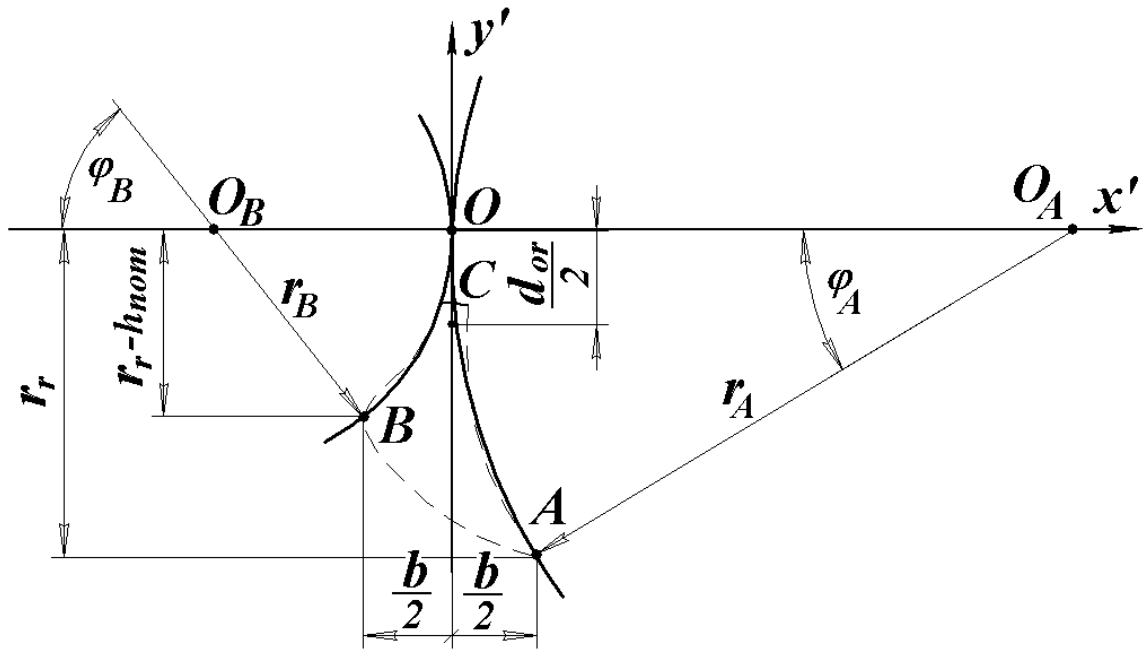


Рис.2.20. Схема визначення умовних радіусів та кутів

Для точки B , яка є крайньою точкою нижньої різальної кромки ножа-лопаті I (рис.2.19):

$$\left. \begin{aligned} x_B &= v_n t + r_B \sin \varphi_B \cos \beta \cos(\omega t - \omega_B) + (r_B - r_B \cos \varphi_B) \sin \beta; \\ y_B &= (r_B - r_B \cos \varphi_B) \cos \beta - r_B \sin \varphi_B \sin \beta \cos(\omega t - \omega_B); \\ z_B &= -r_B \sin \varphi_B \sin(\omega t - \omega_B). \end{aligned} \right\} \quad (2.78)$$

де r_B – радіус умовної сфери точки B (рис.2.20);

φ_B – кут, між віссю Ox та радіусом r_B , проведеним в точку B ;

ω_B – кут, який характеризує розміщення точки B відносно точки A , в площині обертання ротора.

Для точки C , яка відповідає максимальній глибині обробітку ротора:

$$\left. \begin{aligned} x_C &= v_n t + r_C \cos \beta \cos(\omega t - \omega_C); \\ y_C &= -r_C \sin \beta \cos(\omega t - \omega_C); \\ z_C &= -r_C \sin(\omega t - \omega_C). \end{aligned} \right\} \quad (2.79)$$

де r_C – радіус розміщення точки C (рис.2.20);

ω_C – кут, який характеризує розміщення точки C відносно точки A , в площині обертання ротора.

Для точки D , яка відповідає точці A , однак розміщена на суміжному ножі-лопаті 2 (рис.2.19), маємо:

$$\left. \begin{aligned} x_D &= v_n t + r_A \sin \varphi_A \cos \beta \cos\left(\omega t + \frac{\pi}{3}\right) + (r_A - r_A \cos \varphi_A) \sin \beta + l \sin \beta; \\ y_D &= (r_A - r_A \cos \varphi_A) \cos \beta - r_A \sin \varphi_A \sin \beta \cos\left(\omega t + \frac{\pi}{3}\right) + l \cos \beta; \\ z_D &= -r_A \sin \varphi_A \sin\left(\omega t + \frac{\pi}{3}\right). \end{aligned} \right\} \quad (2.80)$$

Для точки E , яка розміщена на ножі 2, і відповідає точці B ножа 1, відповідно:

$$\left. \begin{aligned} x_E &= v_n t + r_B \sin \varphi_B \cos \beta \cos\left(\omega t - \omega_B + \frac{\pi}{3}\right) + (r_B - r_B \cos \varphi_B) \sin \beta + l \sin \beta; \\ y_E &= (r_B - r_B \cos \varphi_B) \cos \beta - r_B \sin \varphi_B \sin \beta \cos\left(\omega t - \omega_B + \frac{\pi}{3}\right) + l \cos \beta; \\ z_E &= -r_B \sin \varphi_B \sin\left(\omega t - \omega_B + \frac{\pi}{3}\right). \end{aligned} \right\} \quad (2.81)$$

Для точки F (ніж-лопатець 2), яка відповідає точці C (ніж-лопатець 3):

$$\left. \begin{aligned} x_F &= v_n t + r_C \cos \beta \cos \left(\omega t - \omega_C + \frac{\pi}{3} \right) + l \sin \beta; \\ y_F &= -r_C \sin \beta \cos \left(\omega t - \omega_C + \frac{\pi}{3} \right) + l \cos \beta; \\ z_F &= -r_C \sin \left(\omega t - \omega_C + \frac{\pi}{3} \right). \end{aligned} \right\} \quad (2.82)$$

Розраховані, відповідно до табл. 2.2 і 2.3. та рис.2.20, значення вищеописаних складників аналітичної моделі (2.77...2.82) наведено в табл. 2.5.

Таблиця 2.5.

Складники аналітичної моделі батареї робочих органів

Назва	Позначення	Розмірність	Значення	Формула
1	2	3	4	5
Радіус умовної сфери (·)А	r_A	м	1,567	$\left\{ \begin{aligned} \left(\frac{b}{2} - x_{O_A} \right)^2 + r_r^2 &= r_A^2; \\ x_{O_A} &= r_A; \end{aligned} \right. \quad (2.83)$ <p>де x_{O_A} – координата центру умовної сфери точки А.</p>
			0,641	
Радіус умовної сфери (·)В	r_B	м	$\left\{ \begin{aligned} \left(\frac{b}{2} - x_{O_B} \right)^2 + (r_r - h_{nom})^2 &= r_B^2; \\ x_{O_B} &= r_B; \end{aligned} \right. \quad (2.84)$ <p>де x_{O_B} – координата центру умовної сфери точки В; h_{nom} – номінальна глибина обробітку.</p>	

Продовження таблиці 2.5

1	2	3	4	5
Радіус розміщення (·)C	r_C	м	0,130	$r_C = \frac{d_{or}}{2};$ (2.85) де d_{or} – діаметр основи ротора
Кут, між віссю Ox та радіусом r_A , проведеним в (·)A	φ_A	град	12°11'	
			$\varphi_B = \arcsin\left(\frac{r_r}{r_A}\right)$	(2.86)
Кут, між віссю Ox та радіусом r_B , проведеним в (·)B	φ_B	град	18°32'	
			$\varphi_B = \arcsin\left(\frac{r_r - h_{nom}}{r_B}\right)$	(2.87)
Кут розміщення (·)B відносно (·)A, в площині обертання ротора	ω_B	град	66°50'	
			$\omega_B = \arctg\left(\frac{c_0}{2H}\right) + \arctg\left(\frac{c_0}{2(H - h_{nom})}\right)$	(2.88) де c_0 – довжина ножа-лопаті H – максимальна глибина обробітку
Кут (·)C відносно (·)A, в площині обертання ротора	ω_C	град	21°50'	
			$\omega_C = \arctg\left(\frac{c_0}{2H}\right)$	(2.89)

Відповідно таблиці 2.5 аналітична модель руху батареї робочих органів наведена в таблиці 2.6.

Таблиця 2.6

Уточнені рівняння руху характерних точок (рис.2.19) батареї робочих органів

Точка	Формула	Позначення
<i>I</i>	2	3
<i>A</i>	$\left. \begin{aligned} x_A &= v_n t + 0,33 \cos \beta \cos \omega t + 0,035 \sin \beta; \\ y_A &= 0,035 \cos \beta - 0,33 \sin \beta \cos \omega t; \\ z_A &= -0,33 \sin \omega t. \end{aligned} \right\}$	(2.90)
<i>B</i>	$\left. \begin{aligned} x_B &= v_n t + 0,21 \cos \beta \cos \left(\omega t - \frac{66,8^\circ \pi}{180} \right) + 0,033 \sin \beta; \\ y_B &= 0,033 \cos \beta - 0,21 \sin \beta \cos \left(\omega t - \frac{66,8^\circ \pi}{180} \right); \\ z_B &= -0,21 \sin \left(\omega t - \frac{66,8^\circ \pi}{180} \right). \end{aligned} \right\}$	(2.91)
<i>C</i>	$\left. \begin{aligned} x_C &= v_n t + 0,13 \cos \beta \cos \left(\omega t - \frac{21,8^\circ \pi}{180} \right); \\ y_C &= -0,13 \sin \beta \cos \left(\omega t - \frac{21,8^\circ \pi}{180} \right); \\ z_C &= -0,13 \sin \left(\omega t - \frac{21,8^\circ \pi}{180} \right). \end{aligned} \right\}$	(2.92)
<i>D</i>	$\left. \begin{aligned} x_D &= v_n t + 0,33 \cos \beta \cos \left(\omega t + \frac{\pi}{3} \right) + 0,035 \sin \beta + l \sin \beta; \\ y_D &= 0,035 \cos \beta - 0,33 \sin \beta \cos \left(\omega t + \frac{\pi}{3} \right) + l \cos \beta; \\ z_D &= -0,33 \sin \left(\omega t + \frac{\pi}{3} \right). \end{aligned} \right\}$	(2.93)

Продовження таблиці 2.6

1	2	3
E	$\left. \begin{aligned} x_E &= v_n t + 0,21 \cos \beta \cos \left(\omega t - \frac{6,8^\circ \pi}{180} \right) + 0,033 \sin \beta + l \sin \beta; \\ y_E &= 0,033 \cos \beta - 0,21 \sin \beta \cos \left(\omega t - \frac{6,8^\circ \pi}{180} \right) + l \cos \beta; \\ z_E &= -0,21 \sin \left(\omega t - \frac{6,8^\circ \pi}{180} \right). \end{aligned} \right\}$	(2.94)
F	$\left. \begin{aligned} x_F &= v_n t + 0,13 \cos \beta \cos \left(\omega t + \frac{38,2^\circ \pi}{180} \right) + l \sin \beta; \\ y_F &= -0,13 \sin \beta \cos \left(\omega t + \frac{38,2^\circ \pi}{180} \right) + l \cos \beta; \\ z_F &= -0,13 \sin \left(\omega t + \frac{38,2^\circ \pi}{180} \right). \end{aligned} \right\}$	(2.95)

Числовий розв'язок систем (2.90-2.95) дозволяє отримати траєкторії руху характерних точок *A*, *B*, *C*, *D*, *E*, *F* та дослідити процес роботи батареї ротаційно-лопатевих ґрунтообробних робочих органів.

Залежність висоти гребенів і глибини усталеного заорювання [69, 101] від кута атаки та відстані між роторами в батареї, згідно з моделлю (2.90-2.95) та з урахуванням умови заклинювання проміжку між робочими органами ґрунтом, можна виразити системою рівнянь:

$$\left\{ \begin{aligned} y_A &= 0,035 \cos \beta - 0,33 \sin \beta \cos \omega t; \\ z_A &= -0,33 \sin \omega t; \\ y_D &= 0,035 \cos \beta - 0,33 \sin \beta \cos \left(\omega t + \frac{\pi}{3} \right) + l \cos \beta; \\ z_D &= -0,33 \sin \left(\omega t + \frac{\pi}{3} \right); \\ l &\geq h \cdot \operatorname{tg}(\varepsilon_0 + \varphi); \end{aligned} \right. \quad (2.96)$$

де перші два рівняння характеризують рух $(\cdot)A$ в площині zOy (перпендикулярній напрямку руху МТА), а наступні два рух т. D в цій же площині, отримаємо значення висоти h_2 гребенів на поверхні поля.

За числовим розв'язком системи (2.96) для значень кута атаки $\beta=17^\circ..26^\circ$ та відстані $l=0,20..0,24\text{м}$ між роторами в батареї можна визначити параметри за яких ґрунтообробне знаряддя забезпечуватиме обробіток ґрунту у відповідності до агротехнічних вимог ($h_2 \leq H$) (рис.2.21, табл.2.6).

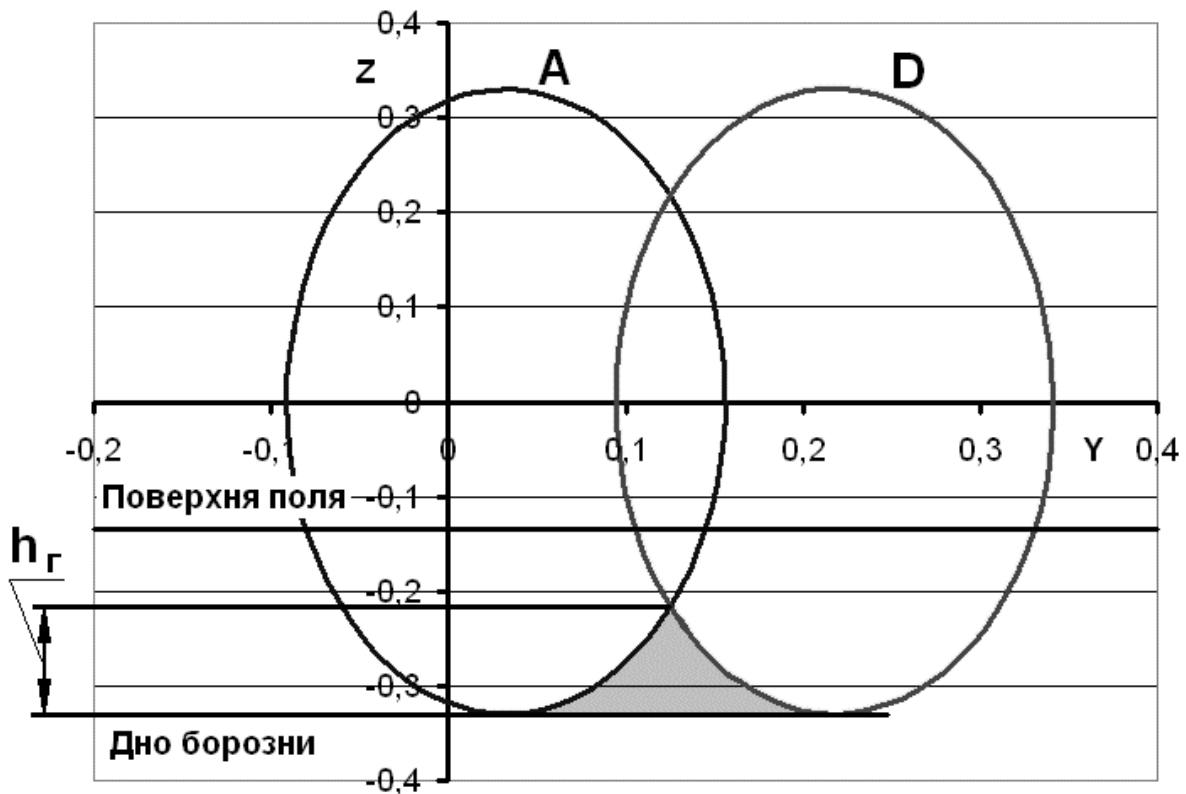


Рис.2.21. Графічне представлення розв'язку системи (2.96) для $\beta = 20^\circ$, $l=0,2\text{м}$:

A – траєкторія руху $(\cdot)A$ в площинні yOz ;

B – траєкторія руху $(\cdot)B$ в площинні yOz

Таблиця 2.6.

Залежність висоти h_2 від кута атаки β , та відстані l між роторами в батареї

Кут атаки β , град	Відстань між роторами l , м		
	0,2	0,22	0,24
17	0,26	-	-
18	0,2	-	-
19	0,17	0,24	-
20	0,15	0,2	0,31
21	0,13	0,17	0,23
22	0,11	0,15	0,18
23	0,1	0,13	0,15
24	0,09	0,11	0,14
25	0,08	0,1	0,13
26	0,08	0,09	0,11

Дані таблиці 2.6. можна представити графічно (рис.2.22)

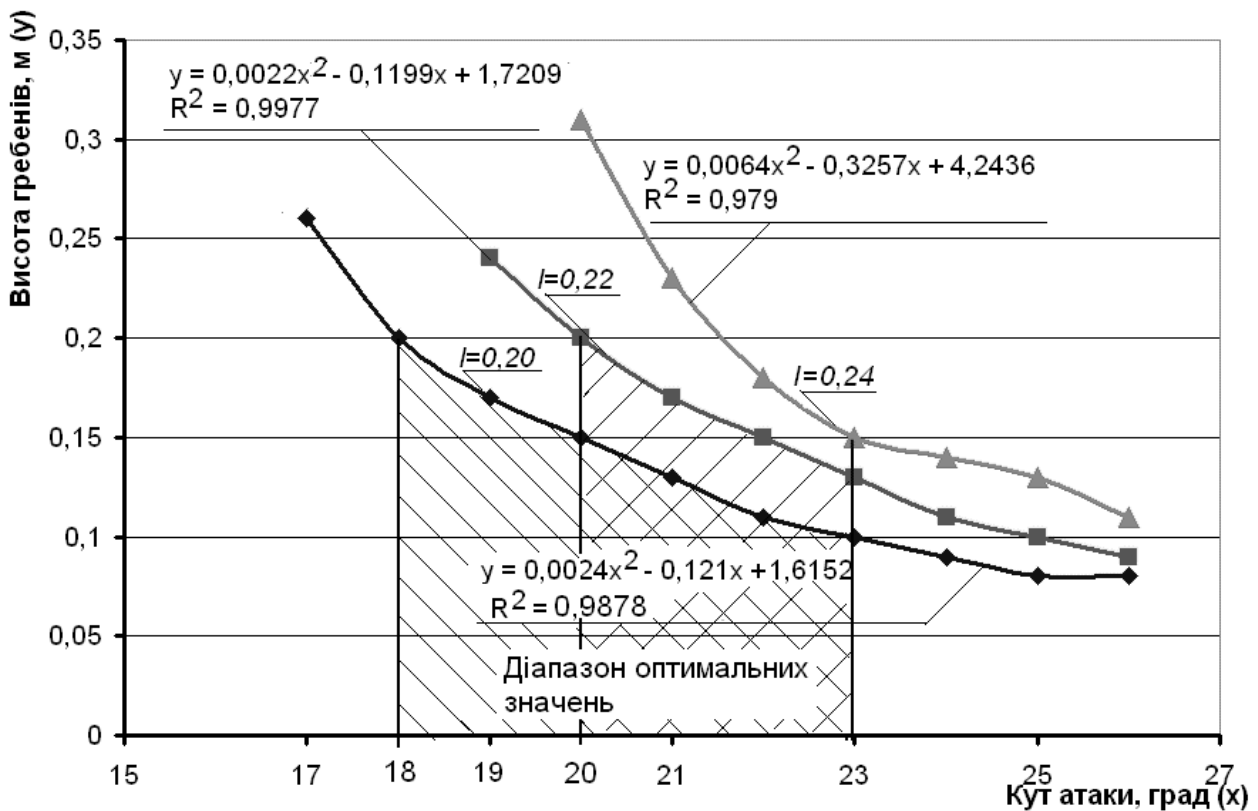


Рис.2.22. Залежність висоти h_2 від кута атаки β , та відстані l між роторами в батареї

Згідно (рис.2.22), можна зробити висновок, що оптимальними з агротехнологічної точки зору будуть: кут атаки $\beta=20^\circ\dots23^\circ$, відстань між роторами в батареї $l=0,20\dots0,22\text{м}$.

Повноту обробітку ґрунту можна охарактеризувати за числовим розв'язком (рис.2.23) системи рівнянь:

$$\left\{ \begin{array}{l} x_A = v_n t + 0,33 \cos \beta \cos \omega t + 0,035 \sin \beta; \\ y_A = 0,035 \cos \beta - 0,33 \sin \beta \cos \omega t; \\ x_B = v_n t + 0,21 \cos \beta \cos \left(\omega t - \frac{66,8^\circ \pi}{180} \right) + 0,033 \sin \beta; \\ y_B = 0,033 \cos \beta - 0,21 \sin \beta \cos \left(\omega t - \frac{66,8^\circ \pi}{180} \right); \\ x_D = v_n t + 0,33 \cos \beta \cos \left(\omega t + \frac{\pi}{3} \right) + 0,035 \sin \beta + l \sin \beta; \\ y_D = 0,035 \cos \beta - 0,33 \sin \beta \cos \left(\omega t + \frac{\pi}{3} \right) + l \cos \beta; \\ x_E = v_n t + 0,21 \cos \beta \cos \left(\omega t - \frac{6,8^\circ \pi}{180} \right) + 0,033 \sin \beta + l \sin \beta; \\ y_E = 0,033 \cos \beta - 0,21 \sin \beta \cos \left(\omega t - \frac{6,8^\circ \pi}{180} \right) + l \cos \beta \\ x_{A'} = v_n t + 0,33 \cos \beta \cos \left(\omega t - \frac{\pi}{3} \right) + 0,035 \sin \beta; \\ y_{A'} = 0,035 \cos \beta - 0,33 \sin \beta \cos \left(\omega t - \frac{\pi}{3} \right); \\ x_{B'} = v_n t + 0,21 \cos \beta \cos \left(\omega t - \frac{126,8^\circ \pi}{180} \right) + 0,033 \sin \beta; \\ y_{B'} = 0,033 \cos \beta - 0,21 \sin \beta \cos \left(\omega t - \frac{126,8^\circ \pi}{180} \right); \end{array} \right. \quad (2.97)$$

де окремі рівняння характеризують рух в горизонтальній площинні xOy характерних точок (рис.2.19): A ножа-лопаті 1 (перше і друге рівняння); B ножа-лопаті 1 (третє і четверте); D ножа 2 (п'яте і шосте); E ножа 2 (сьоме і восьме); A' ножа 3 (дев'яте, десяте); B' ножа 3 (одинадцяте, дванадцяте).

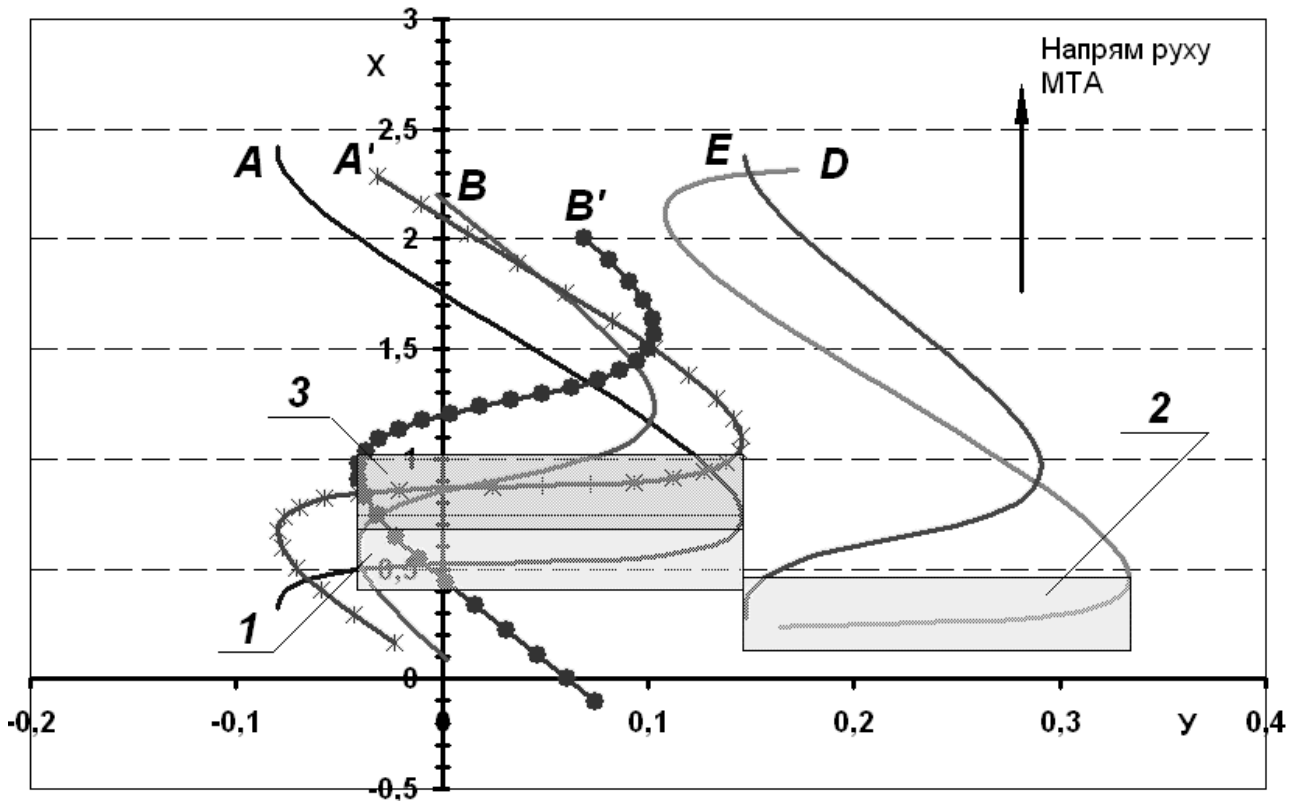


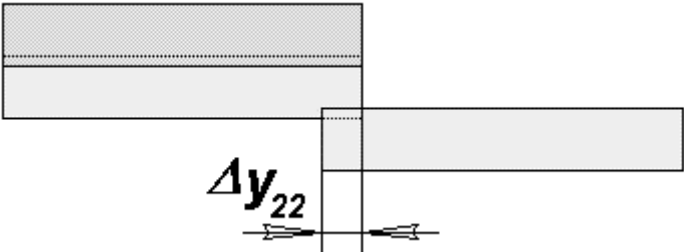
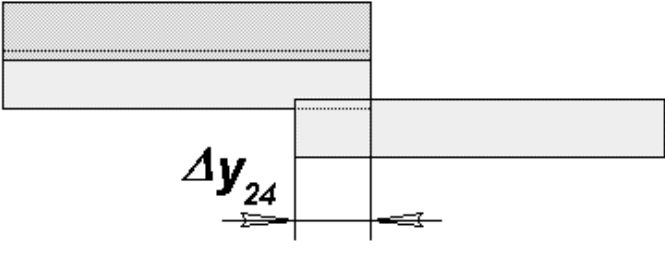
Рис.2.23. Графічне представлення розв'язку системи (2.97) для $\beta = 20^\circ$, $l=0,2$ м
 A – траєкторія руху $(\cdot)A$ в площинні xOy ; A' – траєкторія руху $(\cdot)A'$;
 B – траєкторія руху $(\cdot)B$; B' – траєкторія руху $(\cdot)B'$; D – траєкторія руху $(\cdot)D$;
 E – траєкторія руху $(\cdot)E$;
 1 – зона обробки першого ножа-лопаті ротора 1 (рис.2.19) за один оберт батареї робочих органів; 2 - зона обробки першого ножа-лопаті ротора 2;
 3 – зона обробки другого ножа-лопаті ротора 1

З рис.2.23 походить, що дотримання мінімально-граничного значення величини Δy перекриття зон обробки сусідніх роторів батареї, можливе за

умови, коли $\beta = 20^\circ$. Величину зон перекриття при значеннях кута атаки $\beta > 20^\circ$, наведено в табл. 2.7.

Таблиця 2.7

Величини зон перекриття, в залежності від кута атаки

Кут атаки β , град	Значення перекриття Δy , м	Графічне зображення величини перекриття
21	0,012	
22	0,023	
23	0,035	
24	0,052	

Тому можна зробити висновок, що при кутах атаки $\beta = 20^\circ \dots 24^\circ$ повнота обробітку відповідає агротехнологічним вимогам [55, 69].

Для визначення повноти обертання оброблюваного шару ґрунту необхідно проаналізувати динаміку скиби в характерних точках (A , B , C , рис.2.19) її перерізу.

Відрив частинок ґрунту відбувається при повному виході ножа-лопаті з ґрунту[53, 105]. Причому, точка A , відносно осі $0x$ (рис.2.19), повернеться на кут π , точка B – повернеться на кут $0,63\pi$, а точка C – на кут $0,88\pi$ (табл.2.6, додаток В.2)

Згідно з [122] диференціальні рівняння руху тіла в площині паралельній напрямку руху МТА, під дією сили тяжіння G , матимуть вигляд:

$$\begin{cases} m \frac{dx^2}{d_2t} = \sum X_i = 0; \\ m \frac{dz^2}{d_2t} = \sum Z_i = -G = -mg \end{cases} \quad (2.98)$$

де m – маса тіла;

X_i, Z_i – проекції рівнодіючої сил на осі x і z ;

G – сила тяжіння.

Після відповідних перетворень та інтегрування за dt отримуємо:

$$\begin{cases} x = C_1 t + C_2; \\ z = -\frac{gt^2}{2} + C_3 t + C_4 \end{cases} \quad (2.99)$$

де C_1, C_2, C_3, C_4 – сталі інтегрування.

Згідно з [122], за початковими умовами руху (відрив пласта від ножа-лопаті в момент часу $t_0 = 0,85$ с, швидкість переміщення МТА $v_{II} = 5$ км/год, додаток В.2) відповідно аналітичній моделі (2.90-2.92) руху характерних точок ротора, сталі інтегрування набудуть значень наведених в таблиці 2.8.

Таблиця 2.8

Значення сталих інтегрування для траєкторій руху характерних точок
оброблюваного прошарку ґрунту

Стал а	Точка		
	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>
C_1	1,39	$1,39 - 0,8 \cos \beta$	$1,39 - 0,21 \cos \beta$
C_2	$1,04 - 0,33 \cos \beta + 0,04 \sin \beta$	$1,04 - 0,08 \cos \beta + 0,03 \sin \beta$	$1,04 - 0,12 \cos \beta$
C_3	1,39	0,34	0,5
C_4	0	-0,19	-0,05

За даними таблиці 2.8 рівняння руху характерних точок *A*, *B*, *C* оброблюваного шару ґрунту, після його сходження з ножа лопаті наведені в таблиці 2.9.

Таблиця 2.9

Аналітична модель руху характерних точок скиби ґрунту після сходження з
ножа-лопаті

Точка	Формула	Позначення
<i>A</i>	$\begin{cases} x_A = 1,39t + 1,04 - 0,33 \cos \beta + 0,04 \sin \beta; \\ z_A = -\frac{gt^2}{2} + 1,39t. \end{cases}$	(2.100)
<i>B</i>	$\begin{cases} x_B = 1,39t - 0,8t \cos \beta + 1,04 - 0,08 \cos \beta + 0,03 \sin \beta; \\ z_B = -\frac{gt^2}{2} + 0,34t - 0,19. \end{cases}$	(2.101)
<i>C</i>	$\begin{cases} x_C = 1,39t - 0,21t \cos \beta + 1,04 - 0,12 \cos \beta; \\ z_C = -\frac{gt^2}{2} + 0,5t - 0,05. \end{cases}$	(2.102)

Якщо, до моменту відокремлення скиби від ножа-лопати, рух її характерних точок описується рівняннями (2.90...2.92), а після – рівняннями (2.100-2.102), то можна графічно визначити опорні положення скиби (рис.2.24).

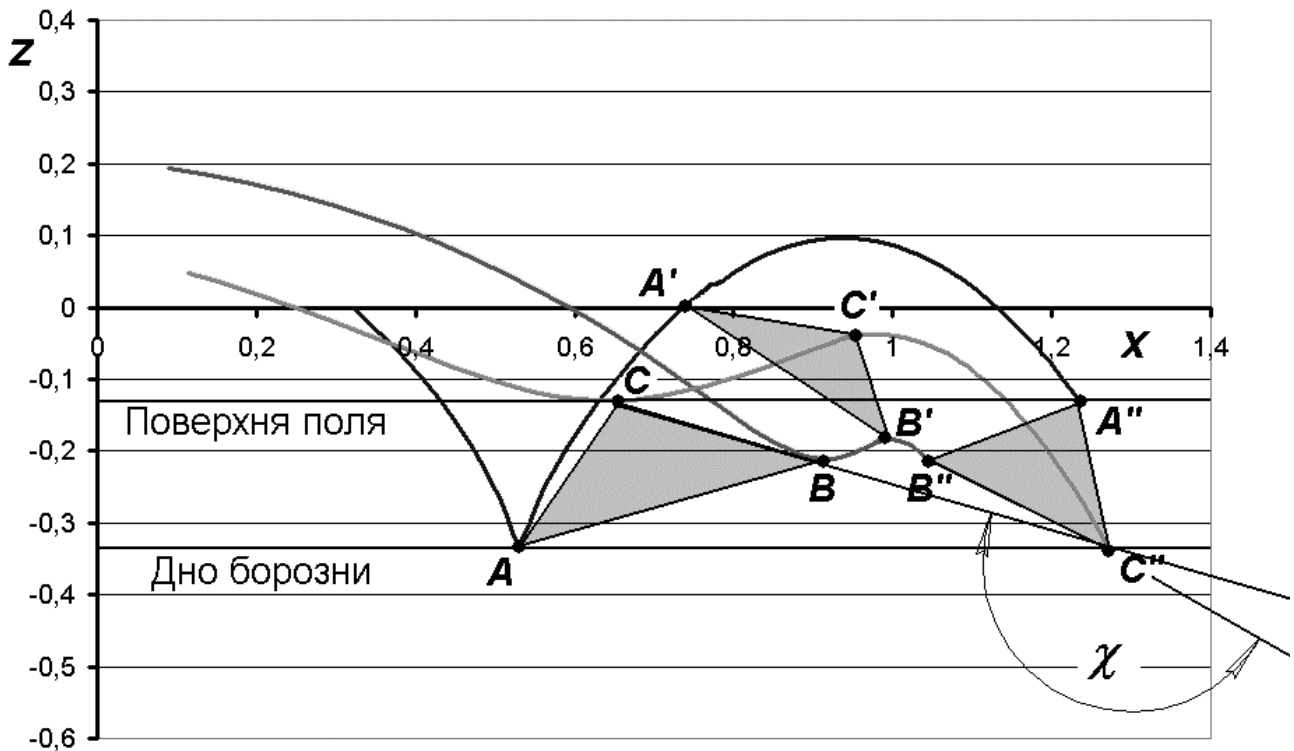


Рис.2.24. Графоаналітичне дослідження руху скиби ґрунту в процесі обробітку:

A, B, C – розміщення характерних точок оброблюваної скиби в момент відриву від дна борозни, A', B', C' - розміщення характерних точок скиби в момент відриву від робочої поверхні ножа-лопати; A'', B'', C'' - розміщення характерних точок після обертання скиби

За результатами графічного аналізу моделі (2.100...2.102) встановлено, що кут обертання скиби становить:

$$\chi = 180^\circ + \operatorname{arctg}\left(\frac{z_{C'} - z_{B'}}{x_{C'} - x_{B'}}\right) - \operatorname{arctg}\left(\frac{z_C - z_B}{x_C - x_B}\right); \quad (2.103)$$

де $x_C, x_B, z_C, z_B, x_{C'}, x_{B'}, z_{C'}, z_{B'}$ - координати відповідних точок.

Або за визначеними основними установками: $\beta=20^\circ$, $l=0,20$ та швидкості переміщення МТА $v_{\Pi} = 5 \text{ км/год}$, кут обертання скиби становитиме $\chi=172^\circ$.

За рахунок інерційності скиби $\chi > 172^\circ$ і при значеннях $v_{\Pi} > 5 \text{ км/год}$ досягається повний оберт скиби.

2.5. Тягово-енергетична оцінка ротаційно-лопатевого робочого органу

Силіві характеристики ротаційних робочих органів визначаються силами опору ґрунту, які діють на лезо, передню робочу та задню поверхні роторів. Застосування того чи іншого типу конструкцій ротаційних робочих органів зумовлює превалювання певного виду деформації ґрунтового пласта. Отже, згідно [55, 101, 119] сила опору ґрунту, або тяговий опір робочого органу в напрямку руху МТА, буде визначатись через питомий опір ґрунту:

$$P_x = kA_n; \quad (2.104)$$

де k – питомий опір ґрунту, $k=(20\dots130)$, кПа [55, 101];

A_n – площа поперечного перерізу пласта.

Величину A_n , можна виразити через кут атаки β та площу контакту передньої поверхні ножа-лопаті з ґрунтом A (табл.2.4):

$$P_x = knA \sin \beta \quad (2.105)$$

де n – кількість корпусів одночасно заглиблених в ґрунт, згідно конструкційних особливостей ротора, за максимальної глибини обробітку $H_{max}=0,2\text{м}$, $n=2$ (для

стандартного робочого органу площу контакту робочого органу з ґрунтом можна виразити, як площу сегменту із стрілкою, яка дорівнює H_{max}).

З врахуванням технологічних властивостей ґрунту може бути визначена і бічна складова тягового опору [55]:

$$P_Y = knA \cdot \sin \beta \cdot ctg(\gamma + \varphi), \quad (2.106)$$

де γ – кут між передньою робочою поверхнею та стінкою борозни,

φ – кут тертя ґрунту по робочій поверхні ножа-лопаті, згідно [101] та табл.2.3 $\varphi=35^\circ$.

Кут γ можна представити, як:

$$\gamma = \gamma_0 + \beta \quad (2.106)$$

де γ_0 - кут закручування робочої поверхні ножа лопаті, згідно табл.2.2 $\gamma_0=24^\circ$ (для стандартного робочого органу $\gamma_0=0$ [53, 105]).

Результати аналітичного визначення тягового опору пропонованого та серійного ротаційних робочих органів наведені на рис.2.25 та рис.2.26.

Аналіз залежностей (рис.2.25, рис.2.26) свідчить про те, що лінійний тяговий опір пропонованого та серійного ротаційних робочих органів при глибині обробітку $H=20\text{см}$ в межах кута атаки $\beta=18^\circ \dots 25^\circ$ зростає лінійно, при цьому опір пропонованого ротаційно-лопатевого робочого органу знаходиться в межах $P_X=0,28 \dots 0,38\text{кН}$, і на 55% менший за тяговий опір серійного робочого органу, який змінюється в межах $P_X=0,62 \dots 0,85\text{кН}$.

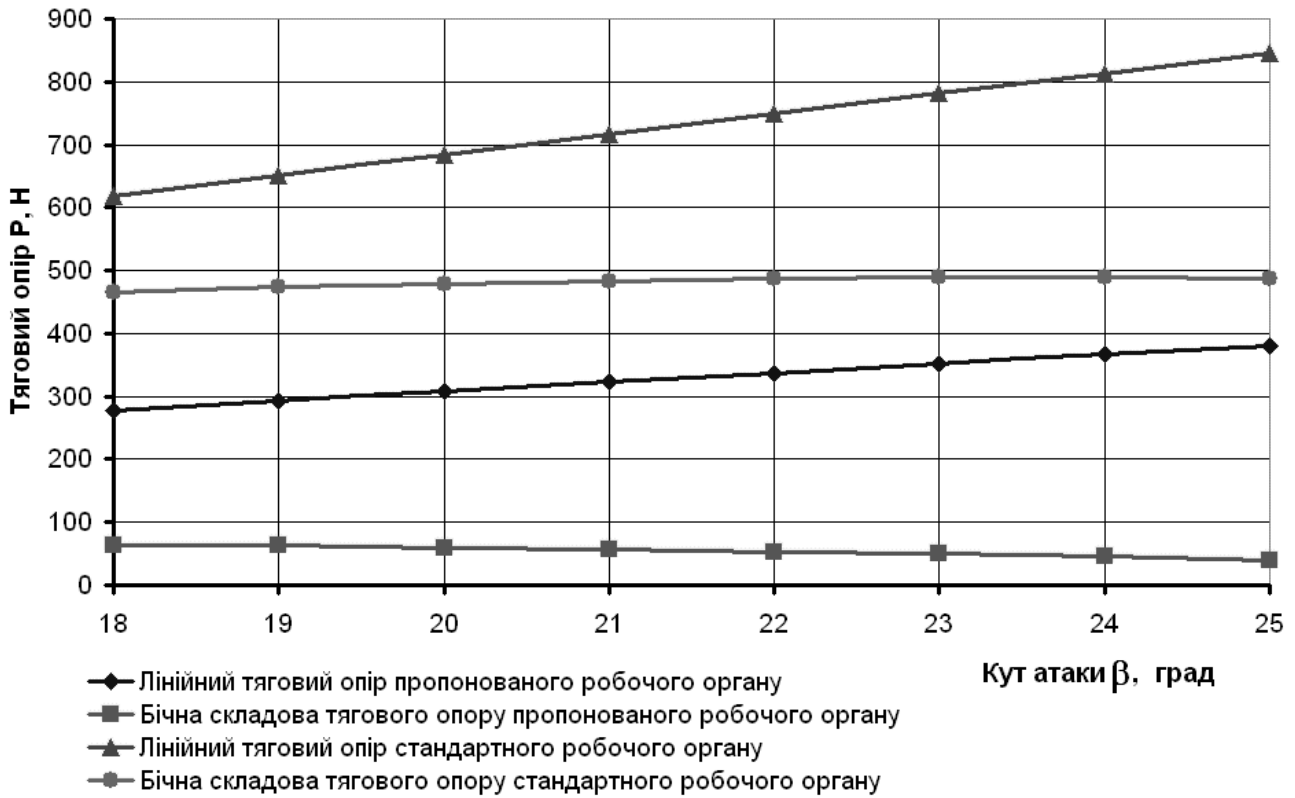


Рис.2.25 Графіки залежності тягового опору ротаційних робочих органів від кута атаки β , при $H=20\text{см}$, $k=25\text{кПа}$

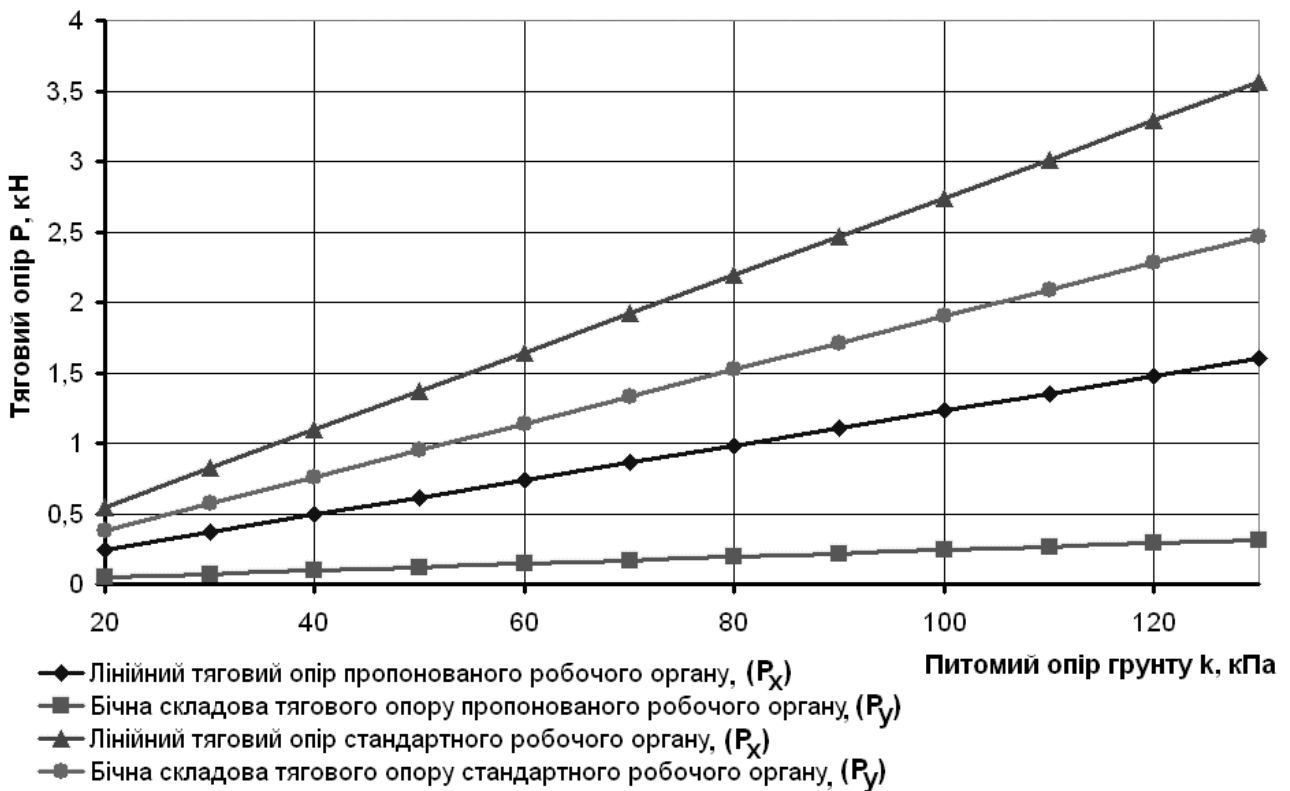


Рис.2.26. Графік залежності тягового опору ротаційних робочих органів від питомого опору ґрунту k , при $\beta=20^\circ$ та $H=20\text{см}$

Бічна складова тягового опору для пропонованого робочого органу на проміжку $\beta=18^\circ\dots25^\circ$ зменшується, що пояснюється закручуванням передньої робочої поверхні (рис.2.10), і знаходиться в межах $P_y=0,06\dots0,04кН$. Для стандартного робочого органу бічна складова тягового опору незначно зростає $P_y=0,47\dots0,49кН$, і більша за відповідний показник ротаційно-лопатевого робочого органу на 86%...92%.

Висновки до розділу 2

В результаті аналітичних досліджень процесу роботи і параметрів пропонованого ротаційно-лопатевого робочого органу:

1. Розроблено механіко-математичну модель робочого процесу взаємодії ротаційно-лопатевого робочого органу з ґрунтом та виконано її аналіз.

2. Встановлено, що з огляду на покращення обертаючої здатності ротаційного робочого органу, виходячи з параметрів створюваного ним у ґрунті напружено-деформованого стану найбільш оптимальною, є робоча поверхня у формі прямого коноїда (гіперболічного параболоїду).

3. Розроблено експериментальний зразок пропонованого ротаційно-лопатевого робочого органу, параметри якого наведено в таблиці 2.3. та визначено основні параметри робочої поверхні:

- максимальна довжина полиці $c=0,175м$;

- кут закручування $\gamma_0=24^\circ$.

4. За умовою міцності встановлено геометричні розміри небезпечного перерізу ножа-лопаті:

- ширина $m=0,86м$;

- товщина $n=0,06м$.

5. Встановлені оптимальні межі варіювання кута атаки $\beta=20^\circ\dots23^\circ$, та відстань між роторами в батареї $l=0,20\dots0,22м$.

6. Дотримання мінімально-граничного значення величини Δu перекриття зон обробітку сусідніх роторів батареї, можливе за умови, коли $\beta \geq 20^\circ$.

7. За визначеними основними установками: $\beta=20^\circ$, $l=0,20$ та швидкості переміщення МТА $v_{II} = 5 \text{ км/год}$, кут обертання скиби становитиме $\chi=172^\circ$. За рахунок інерційності скиби $\chi > 172^\circ$ і при значеннях $v_{II} > 5 \text{ км/год}$ досягається повний оберт скиби.

8. Тяговий опір пропонованого ротаційно-лопатевого робочого органу знаходиться в межах $P_\chi=0,28\dots0,38\text{кН}$, і на 55% менший за тяговий опір серійного робочого органу. Бічна складова тягового опору для пропонованого робочого органу на проміжку $\beta=18^\circ\dots25^\circ$ зменшується, що пояснюється закручуванням передньої робочої поверхні (рис.2.10), і знаходиться в межах $P_y=0,06\dots0,04\text{кН}$.

З метою перевірки та підтвердження результатів аналітичних досліджень необхідно виконати експериментальні дослідження:

- визначити вплив конструкційних параметрів та технологічних показників ротаційно-лопатевого робочого органу на якість обертання оброблюваної скиби ґрунту;
- визначити вплив параметрів роботи ротаційно-лопатевого робочого органу на агротехнологічні показники обробітку ґрунту;
- провести порівняльні дослідження тягового опору пропонованого та стандартного ротаційних робочих органів;
- провести порівняльні випробування конструкції пропонованого ротаційно-лопатевого робочого органу з його серійним аналогом, за показниками якості обробітку та фізико-механічними властивостями ґрунту.

РОЗДІЛ 3.

ПРОГРАММА ТА МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1. Програма експериментальних досліджень

Мета експериментальних досліджень полягає в перевірці основних положень та висновків аналітичних досліджень:

- по обґрунтуванню конструкційних параметрів (кута закручування γ_0 та довжини c робочої поверхні) пропонованого ротаційно-лопатевого робочого органу, технологічних параметрів установки (кута атаки β та відстані l між роторами в одній батареї), щодо впливу їх на агротехнологічні показники обробітку (показник заробки k_z та висоту гребенів дна борозни h_z);

- по тягово-енергетичній оцінці ротаційно-лопатевого робочого органу (визначення тягового опору P в залежності від кута атаки β та глибини обробітку h);

- визначенні механічних властивостей ґрунту (коефіцієнту структурності, твердості та щільності ґрунту), показників якості обробітку ґрунту (повнота заробки, рельєф поверхні поля) в порівнянні з базовим знаряддям (БДН-1,8), оснащеним серійними робочими органами відповідними до [84], за номінальної глибини обробітку ($h_{nom}=0,12m$), та кути атаки ($\beta=20^\circ$).

Відповідно до наведеної мети, програма експериментальних досліджень передбачає:

1. Визначити значення кута закручування γ_0 та довжини c робочої поверхні пропонованого ротаційно-лопатевого робочого органу, за яких показник заробки k_z (якість обертання оброблюваної скиби ґрунту) набуває максимальних значень.

2. При оптимальних значення кута закручування γ_0 та довжини c робочої поверхні визначити зону оптимальних значень кута установки (атаки) β .

3. Встановити зону оптимальних значень кута атаки β та відстані l між роторами в одній батареї, за яких значення висоти гребенів дна борозни h_z відповідає агротехнологічним вимогам.

5. Визначити діапазон оптимальних швидкостей v_n лінійного переміщення робочого органу, за яких забезпечується обертання скиби ґрунту.

4. Визначити тяговий опір P ротаційно-лопатевого робочого органу в межах зміни кута атаки $\beta=18^\circ..24^\circ$.

5. Визначити основні показники якості обробітку ґрунту: коефіцієнт структурності, твердість ґрунту, щільність ґрунту, вологість ґрунту, показник заробки (якість обертання оброблюваної скиби ґрунту), рельєф поверхні поля.

3.2. Методика модельного дослідження впливу параметрів ротаційно-лопатевого робочого органу на якість обертання оброблюваної скиби ґрунту

Перевірка та уточнення конструкційних (кута закручування γ_0 та довжини s робочої поверхні) та технологічних (кут установки β) параметрів проводились з використанням моделі-імітатора ґрунтового каналу (рис.3.1).

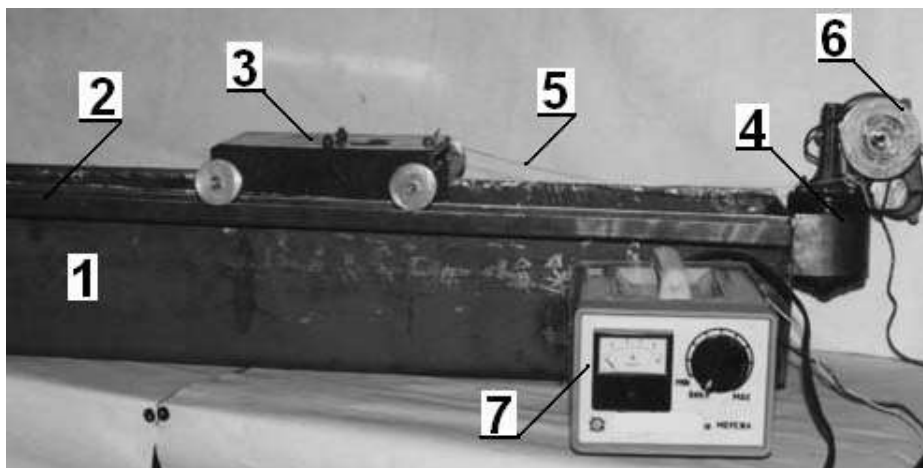


Рис.3.1. Модель-імітатор ґрунтового каналу:

1 – жолоб; 2 – напрямні; 3- візок; 4 – електродвигун з редуктором;
5 – тяга; 6 – блок; 7 – пульт керування (блок живлення)

Модель-імітатор виконано у вигляді жолобу 1 з розміщеною в ньому реологічною моделлю ґрунту. Над жолобом на двох направляючих 2 встановлено візок 3 з підвіскою на якій встановлюються два досліджувані макети робочих органів виконаних в масштабі 1:5. Візок приводиться в рух електродвигуном 4 за допомогою тяги 5.

Дослідження робочих органів на моделі-імітаторі, з точки зору взаємодії з ґрунтом, становить певну складність з огляду вибору матеріалу для

реологічної моделі ґрунту. З усієї різноманітності відомих в наш час моделей реологічних властивостей ґрунту найбільш задовільно його поведінка описується в умовах пружно-в'язко-пластичного релаксуючого руйнування моделлю Шведова (рис.3.2а) [37] та реологічною моделлю ґрунту для деформацій зсуву, яка запропонована А.С. Кушнар'євим (рис.3.2б) [66, 67], реологічні формули яких відповідно мають вигляд:

$$Schw = H - (M | StV); \quad (3.1)$$

$$Ku = M - (M | StV); \quad (3.2)$$

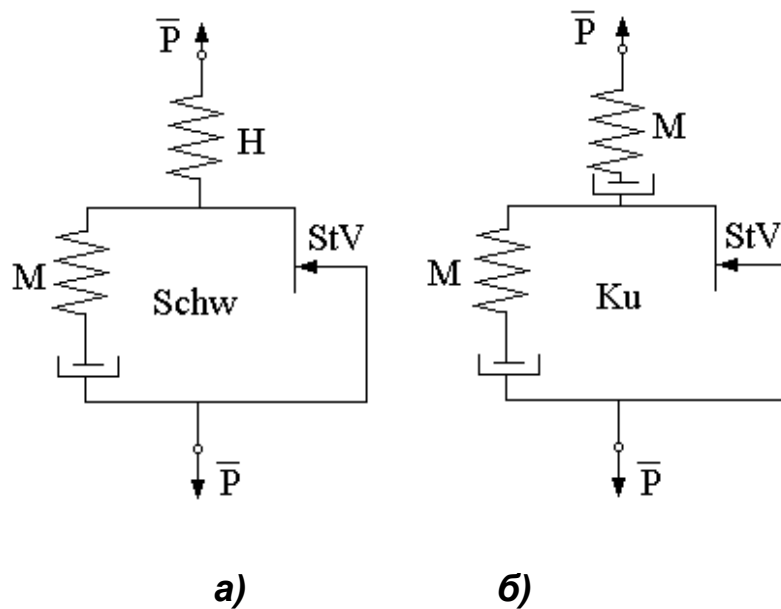


Рис.3.2 а) Реологічна модель пружнов'язкого тіла Шведова,

б) Узагальнена реологічна модель ґрунту для зсувних деформацій {Кушнар'єв}

Діаграма переміщень ϵ , в залежності від зсувних напружень τ , для моделі Шведова представлено на рис.3.3а, а для моделі запропонованої Кушнар'євим на рис.3.3б.

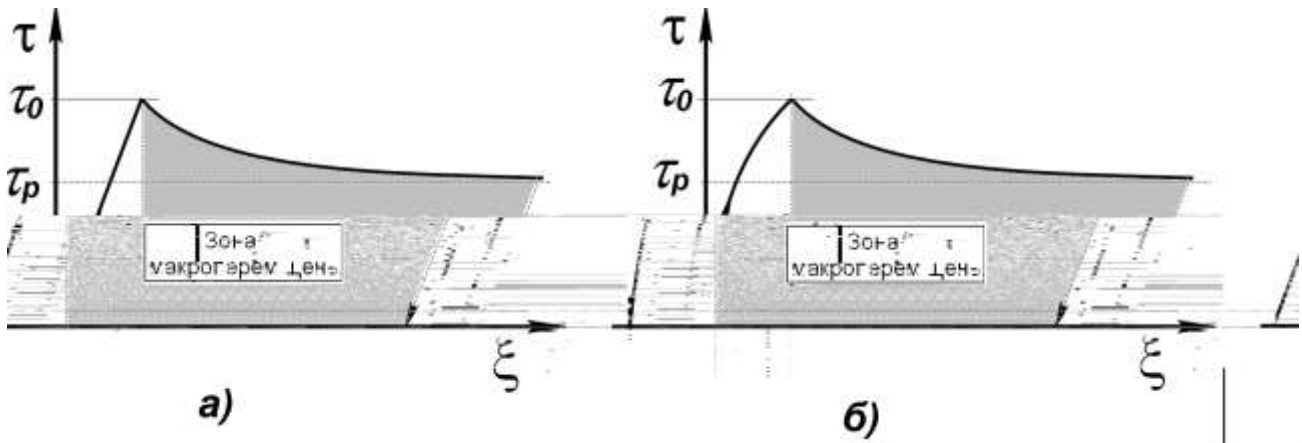


Рис.3.3. Діаграми переміщень (τ_0 – початкове граничне напруження зсуву при миттєвому навантаженні; τ_p – межа релаксації напружень):

а – для моделі Шведова, б – для моделі Кушнарєва

При виборі матеріалу, для виготовлення моделі ґрунту, виходячи з розд.2.1., необхідно змоделювати властивості ґрунтового середовища в період макропереміщення структури, яка згідно [47, 63, 67] визначається релаксаційною ділянкою (зона макропереміщень на рис.3.3). При цьому реологічною характеристикою ґрунту є напруження релаксації τ_p .

Граничні початкові напруження τ_0 для ґрунту визначались за методом Ребіндера (рис.3.4) зануренням в середовище стандартного конуса під дією певного навантаження [37, 114, 115] (табл.3.1)

Таблиця 3.1
Визначення граничних початкових напружень за Ребіндером

	$\tau_0 = k_a \frac{P_H}{h_2^2} \quad (3.3)$
<p>де k_a – коефіцієнт, що враховує величину кута при вершині конуса (при $\alpha_6=30^\circ$, $k_a=1,108$; при $\alpha_6=45^\circ$, $k_a=0,658$; при $\alpha_6=60^\circ$, $k_a=0,413$; при $\alpha_6=90^\circ$, $k_a=0,159$); P_H – величина прикладеного навантаження, Н; h_2 – глибина занурення конуса в ґрунт, м</p>	

Згідно досліджень [119], граничні початкові напруження для дерново-підзолистих ґрунтів середньої степені оглеювання варіюють в межах: $\tau_0=0,10\dots0,17$ МПа.

Величину межі релаксації напружень можна визначити [64] за формулою:

$$\tau_p = k_p \cdot \tau_0; \quad (3.4)$$

де k_p – коефіцієнт релаксації (згідно з [114, 115] для зсувних деформацій ґрунту модельний коефіцієнт релаксації лежить в межах: $k_p=0,65\dots0,7$).

Найбільш повно ділянка деформаційної кривої на рівні τ_p описується за допомогою моделі Прандтля (рис.3.4) [37, 43]:

$$Pr = H - StV; \quad (3.5)$$

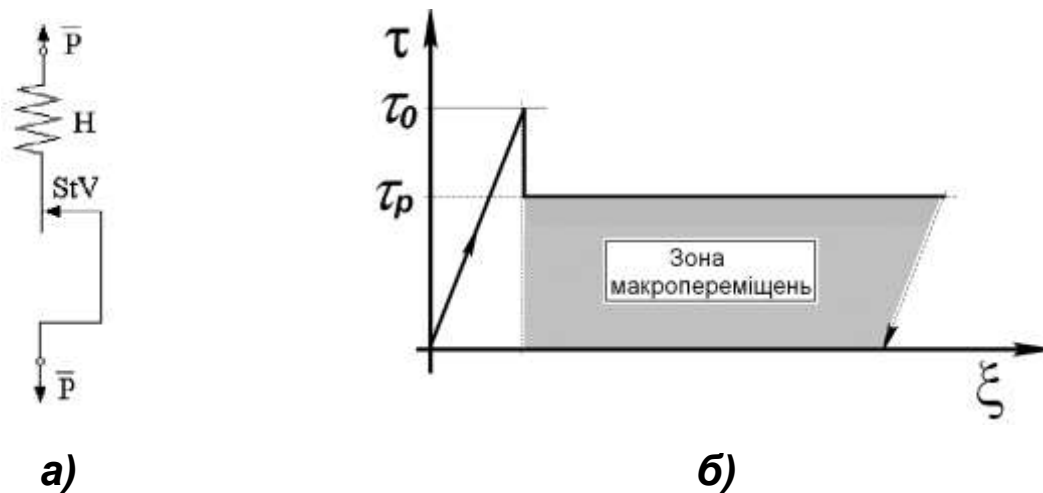


Рис. 3.4. а) Модель пружно-пластичного тіла Прандтля;
б) діаграма переміщень

Згідно з моделлю Прандтля (рис.3.4), для адекватного імітування роботи пропонованого ґрунтообробного ротаційного робочого органу для моделі ґрунту необхідно підібрати матеріал з $\tau_p=\tau_{0m}=0,07\dots0,12$ МПа, який повинен відповідати діаграмі на рис.3.5.



Рис. 3.5. Діаграма переміщень моделі реологічного тіла (середовища)

Для вибору матеріалу моделі вивчались властивості парафіну змішаного з різноманітними наповнювачами (піском, глиною, гліцерином, олією, масляною фарбою) при різних температурах. Для подальших експериментів було обрано суміш парафіну з олією (в пропорції 1,5:1, відповідно) з $t=35^{\circ}\dots40^{\circ}$, та величиною межі напруження релаксації $\tau_p=\tau_{0m}=0,09\dots0,10$ МПа, визначеною за Ребіндером (3.3) [37, 115].

Швидкість руху візка обиралася за теорією подібності [75] з використанням критерію Рейнольдса:

$$Re = \frac{S}{V}; \quad (3.6)$$

де S – визначаючий розмір (в даному випадку глибина обробітку ґрунту);

V – визначаюча швидкість (лінійна швидкість руху ротора).

Згідно з (3.6), швидкість візка становила 0,3-0,5 м/с, що відповідає робочим швидкостям 5-10 км/год. Регулювання швидкості виконувалося двома способами: дискретно – за допомогою зміни радіусу приводного блока б (рис.3.1) і плавно – за допомогою зміни напруги живлення електродвигуна. Експерименти виконувались з використанням методу “заморожування” досліджуваного середовища [111].

Схема виконання досліду: модель ґрунтових шарів підфарбовується масляними фарбами різних кольорів, що дозволяє після охолодження парафіну сфотографувати результати дослідів в поздовжньому і поперечному перерізах ґрунтового каналу, а також дослідити переміщення шарів ґрунту під впливом моделі робочого органу. Після підігрівання парафіну ($t \approx 30 \dots 40^\circ\text{C}$) виконується прохід робочих органів; фотографується поверхня моделі ґрунту, а після охолодження парафіну модель ґрунту виймається і фотографується поздовжній і поперечний переріз каналу. Результати досліду опрацьовуються на комп'ютері методом числового аналізу візуальної інформації за допомогою спеціально розробленої комп'ютерної програми [83] (додаток Б.1). Після сканування отриманого фотознімку візуальна інформація перетворюється в числовий масив за ознаками інтенсивності і кольору з роздільною здатністю 72 піксели/см. Описаний числовий масив після відповідної статистичної обробки та узагальнення інформації про стан поверхні моделі-імітатора дозволяє визначити показник повноти заробки (додаток Б.2), як відношення площі поверхні з повною заробкою верхнього шару до всієї площі обробленої поверхні.

Експериментальна перевірка визначених теоретично оптимальних значень агротехнологічного показника повноти заробки k_z виконувалась методами планування екстремального експерименту [72, 82, 87, 98, 99] за планом 2^2 .

3.3. Методика комп'ютерного дослідження впливу параметрів установки та показників роботи ротаційно-лопатевих робочих органів на агротехнологічні показники обробітку ґрунту

Діапазон оптимальних значень кута атаки β та відстані l між роторами в одній батареї, за яких значення висоти гребенів дна борозни h_z відповідає агротехнологічним вимогам, встановлювався за допомогою числово-імітаційного комп'ютерного моделювання процесу роботи ротаційно-

лопатевого робочого органу (п.2.4, рис.2.19). Числове-імітаційне моделювання виконувалось відповідно до (2.90...2.97) за алгоритмом наведеним на рис.3.6.

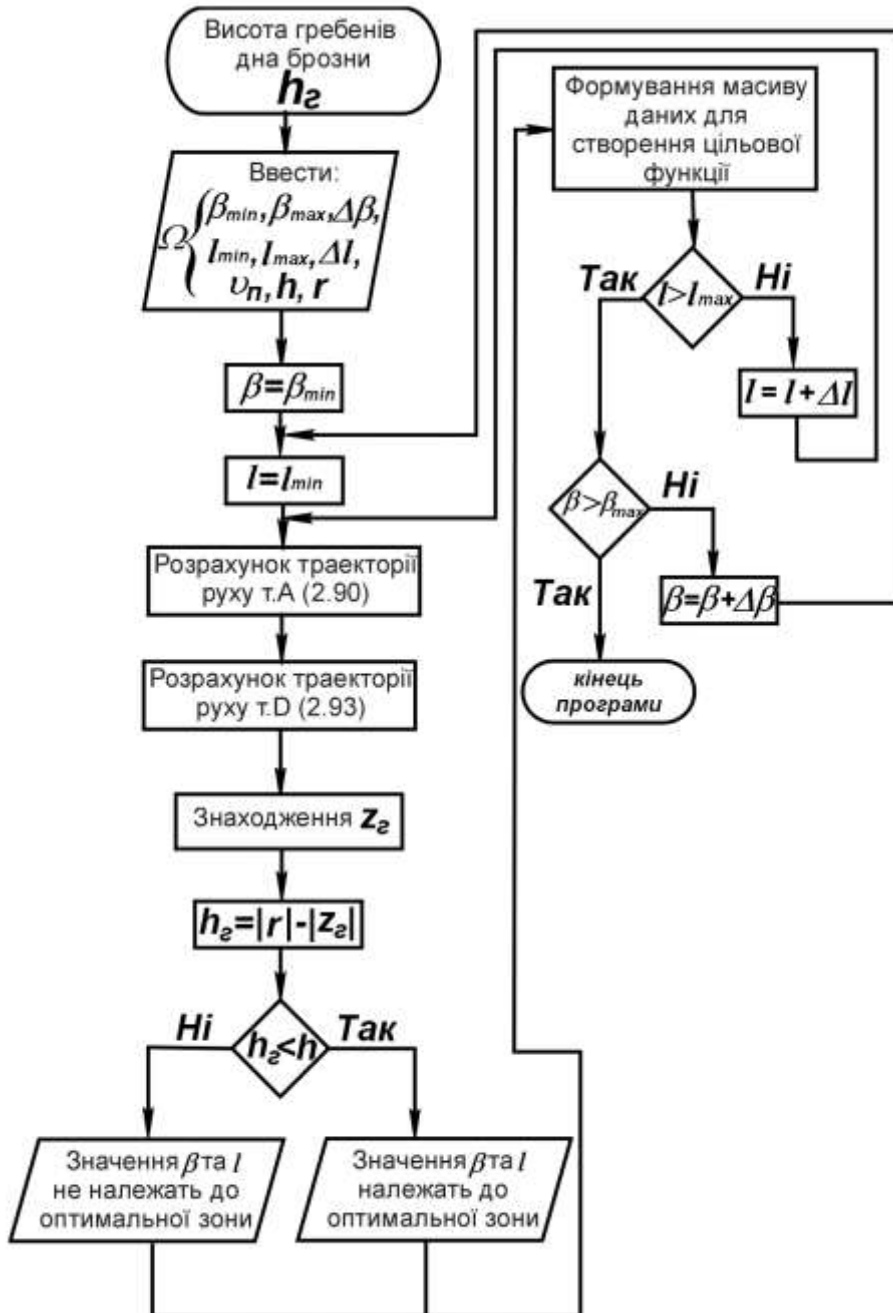


Рис.3.6. Алгоритм визначення діапазону оптимальних значень кута атаки β та відстані l між роторами в одній батареї:

β_{min} , β_{max} , $\Delta\beta$ – мінімальне, максимальне значення та приріст кута атаки, відповідно; l_{min} , l_{max} , Δl - мінімальне, максимальне значення та приріст відстані між роторами, відповідно; r – радіус ротора; h – глибина обробітку; z_2 – координата точки перетину траєкторій т. А і D

В числову модель визначення висоти гребенів dna борозни, необхідно ввести змінюваний числовий масив даних Ω . Операційні функції (2.90...2.93), через порівняння h_z , визначають приналежність β та l до зони їх оптимальних значень, після чого формується цільова функція в числовому вигляді. Після формування цільової функції, через послідовне порівняння змінних значень l і β , отримані числові значення використовуються для побудови поверхні відгуку висоти гребенів dna борозни h_z , в залежності від кута атаки β та відстані l між робочими органами, та номограми для визначення кута атаки β та відстані l між робочими органами в залежності від висоти гребенів dna борозни.

Перевірка визначених значень кута атаки β та відстані l між роторами в одній батареї, за яких значення висоти гребенів dna борозни h_z прямує до мінімуму, виконувалась методами планування екстремального експерименту [72, 82, 87, 98, 99] за планом 2^2 .

Визначення діапазону оптимальних швидкостей v_n лінійного переміщення робочого органу, за яких забезпечується обертання оброблюваної скиби ґрунту, виконувалось за допомогою комп'ютерного моделювання руху характерних точок A , B , C оброблюваної скиби ґрунту (п.2.4, 2.90...2.92 та 2.100...2.102) за алгоритмом наведеним на рис.3.7

В числову модель визначення кута обороту скиби χ необхідно ввести змінюваний числовий маси Ψ . Операційні функції (2.90...2.92) та (2.100...2.102) визначають положення характерних точок A , B , C оброблюваної скиби ґрунту з моменту входження ножа-лопаті в ґрунт до моменту закінчення руху скиби. Після цього формується масив даних за яким виконується побудова траєкторії руху характерних точок оброблюваної скиби. За траєкторією визначається кут обороту скиби χ , після чого визначається завершеність події повного оберту скиби.

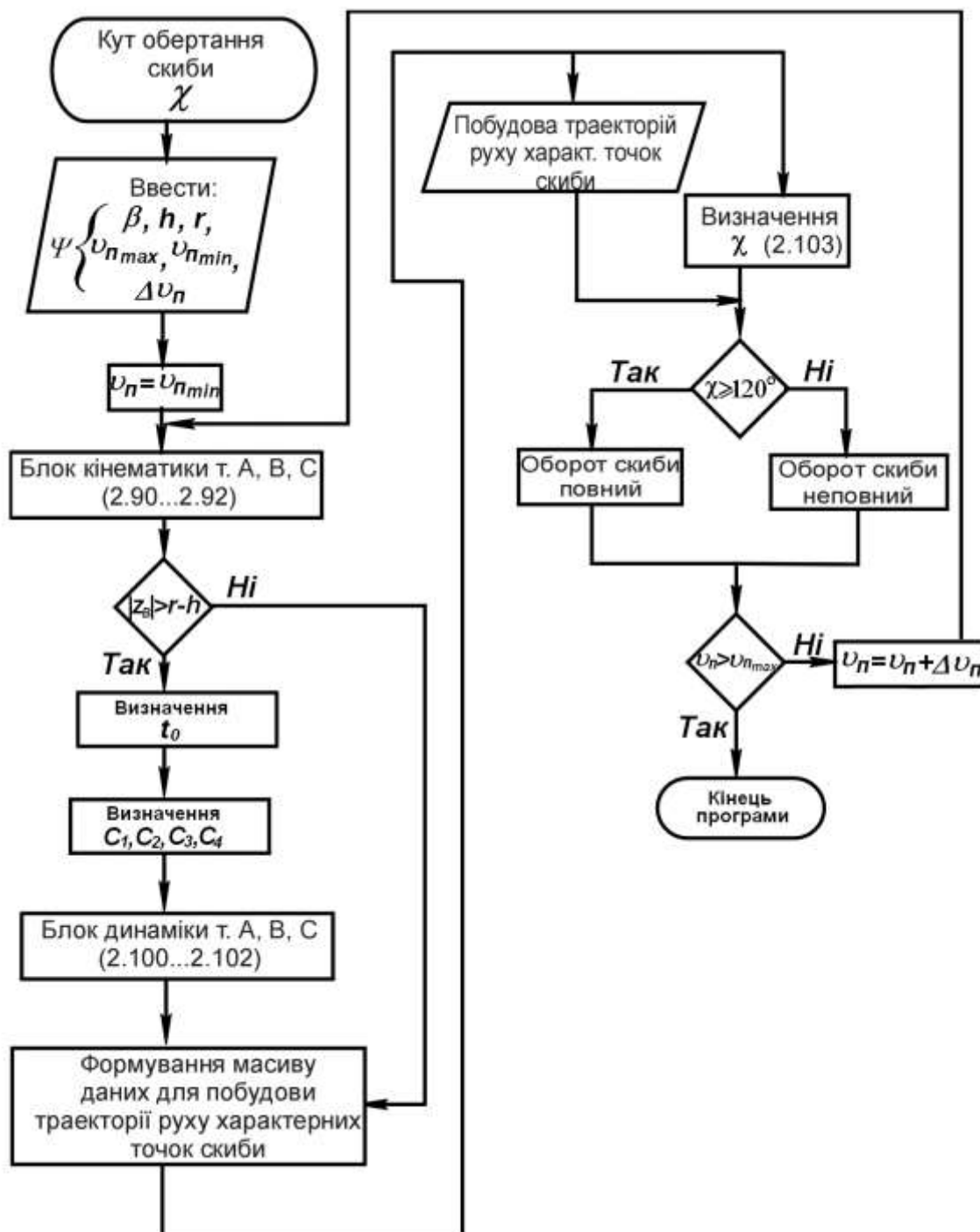


Рис.3.7. Алгоритм визначення оптимального діапазону лінійної швидкості v_n ротаційно-лопатевого робочого органу:

v_{min} , v_{max} Δv - мінімальне, максимальне значення та приріст лінійної швидкості, відповідно; r - радіус ротора; h - глибина обробітку; β - кут атаки; C_1 , C_2 , C_3 , C_4 - сталі інтегрування, t_0 - час відриву скиби від ножа-лопати, χ - кут обороту скиби

3.4. Визначення тягово-енергетичних показників ротаційно-лопатевого робочого органу

Визначення тягового опору (рис.3.8) пропонованого ротаційно-лопатевого робочого органу (1) проводилось в ґрунтовому каналі (2) розмірами $2,5 \times 23$ м (довжина контрольного відрізка $l_k = 15$ м, швидкість руху самохідного візка (3) становила $v_e = 0,36$ м/с) методом тензометрування [56, 108, 119], при цьому, фіксувалась та вимірювалась горизонтальна складова P_x сил опору в залежності від кута атаки β та глибини обробітку H , що змінювались за рахунок зміни довжини регульованої тензоланки (додаток Г.1, рис.3.9) та зміни маси m_b баласту.

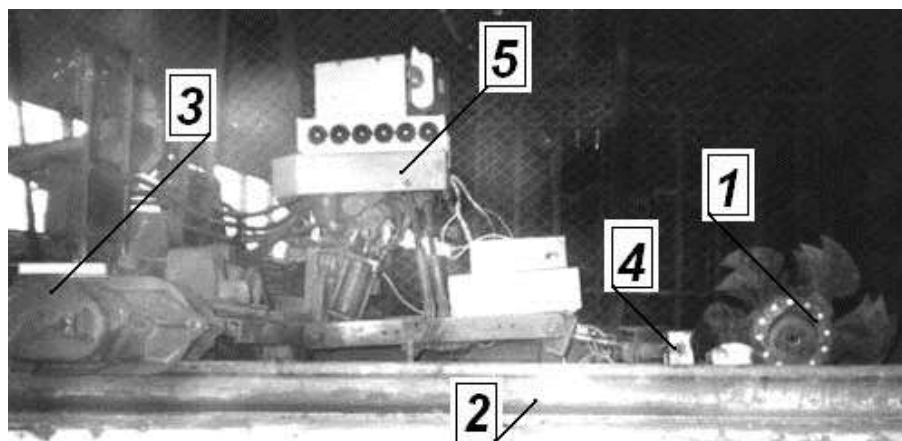


Рис.3.8. Загальний вигляд установки визначення тягового опору:
 1 – ротаційно-лопатевий робочий орган; 2 – ґрунтовий канал;
 3 – самохідний візок; 4 – тензонавіска; 5 – тензостанція

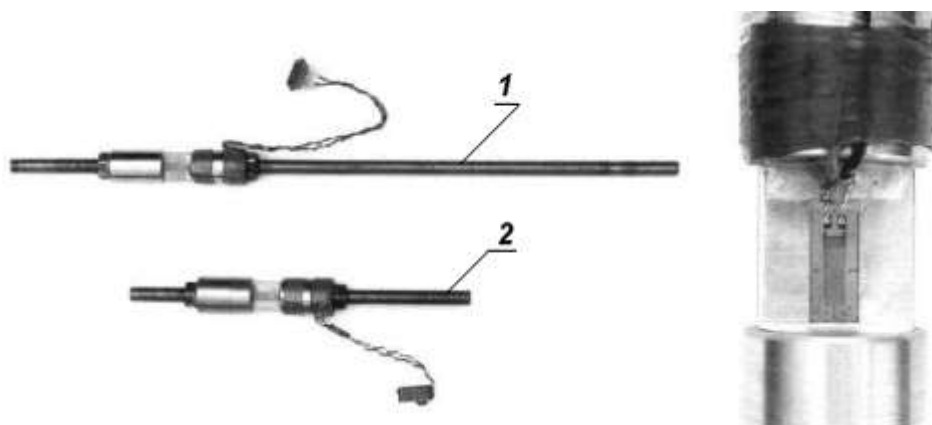


Рис.3.9. Тензоланки (електродинамографи):
 1 – регульований; 2 – нерегульований

Величина тягового опору визначалась за допомогою тензостанції (рис.3.10), при цьому сигнал з тензоланок (електродинамографів) по двох каналах надходив на підсилювач (1), а потім фіксувався шлейфовим осцилографом “Н-700” (2) на фотоплівку.

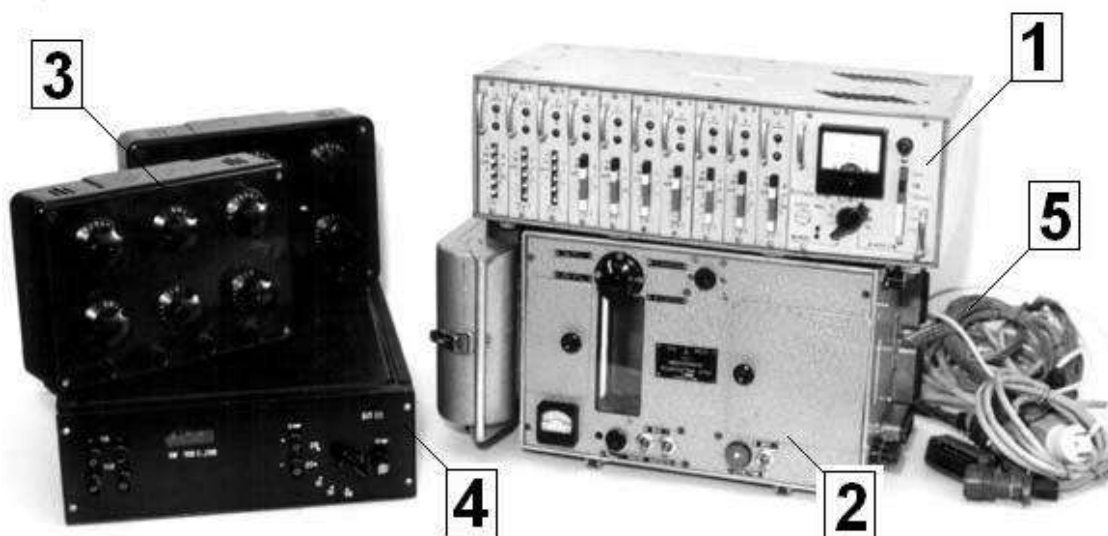


Рис.3.10. Загальний вигляд тензостанції:

1 – підсилювач; 2 – осцилограф “Н-700”; 3 – магазин опорів; 4 – блок живлення; 5 – з’єднувальні кабелі

Відповідно до [56, 108], для виміру лінійної складової тягового опору (осьова деформація шпильок), тензодатчики (рис.3.9) було увімкнено за мостовою схемою (рис.3.11) послідовно, з розташуванням їх на діаметрально протилежних сторонах стержнів тензоланок.

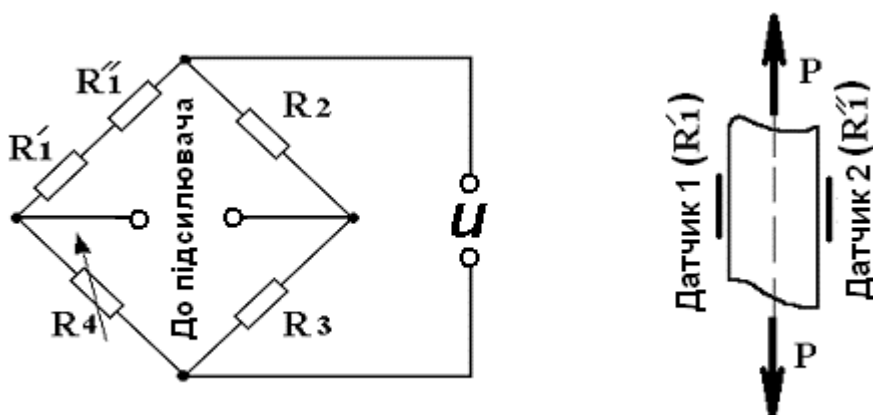


Рис.3.11. Схема включення тензодатчиків для вимірювання тягового опору робочих органів

Конструкції тензоланок було розраховано згідно методики, описаної в [119], з урахуванням осьового навантаження за умовами міцності та жорсткості. При цьому, було розраховано такі основні геометричні параметри тензоланок (додаток Г.1): діаметр шпильки $d_{ш}=22\text{мм}$; довжина регульованої частини шпильки $l_{up}=400\text{мм}$; довжина $l_n=25\text{мм}$ та площа поперечного перерізу чутливої полиці $A_n=90\text{мм}^2$ (місце розташування тензодатчиків).

Тарування тензоланок з апаратурою проводилось після попереднього зрівноваження моста, при навантаженні по черзі для кожної тензоланки на розривній машині “МР-100” [108]. За результатами тарування динамографів побудовані залежності величини сили від відхилення променя вібратора $P'_x = f(X)$ (додаток Г.2).

Перед проведенням кожного етапу експерименту самохідний візок з тензонавіскою був розташований в крайньому правому положенні, ґрунт в каналі попередньо готувався за показаннями твердоміру.

3.5. Дослідження агротехнологічних показників якості обробітку ґрунту

Показники якості обробітку ґрунту визначались, відповідно до [30], по чотирьох варіантах: контроль-основний – агрофон: стерня зернових; контроль-порівнювальний як базовий варіант обробітку - виконувався стандартними дисками, відповідними до ОСТ23.2.147-85; порівнюваний варіант: схема 1 – обробіток ґрунтообробним знаряддям з пропонованими ротаційними робочими органами (встановлені на задню батарею борони БДН-1,8); порівнюваний варіант: схема 2 – обробіток ґрунтообробним знаряддям з пропонованими ротаційними робочими органами (встановлені на передню батарею). Ґрунти досліду – дерново-підзолисті супіщані глеюваті на водольодникових відкладеннях, як найтипівіші ґрунти Полісся України. Термін виконання – березень-квітень 2002 року.

Дослідження показників якості обробітку ґрунту визначенні у відповідності до ГОСТ20915-75 “Сельскохозяйственная техника. Методы

определения условий испытаний” та ОСТ 70.4.2.1.-80 “Испытания сельскохозяйственной техники. Машины и орудия для поверхностной обработки почвы”. Для оцінки рівня агроцінності структури ґрунту, відповідно ОСТ 70.4.2.-80, додатково визначався коефіцієнт структурності ґрунту.

Показники структурного стану ґрунту оцінено за коефіцієнтом структурності K [30]:

$$K = \frac{A_A}{B_A}; \quad (3.7)$$

де A_A – сума макроагрегатів з розмірами 0,25...10,0 мм;

B_A – сума агрегатів з розміром < 0,25 мм та грудок з розміром > 10 мм.

Значення A_A та B_A визначались методом фракціонування зразків ґрунту у повітряно-сухому стані на установці наведеній на рис.3.12 [59, 119] розділенням на фракції: >10; 10...7; 7...5; 5...3; 3...2; 2...1; 1...0,5; 0,5...0,25; <0,25 мм.

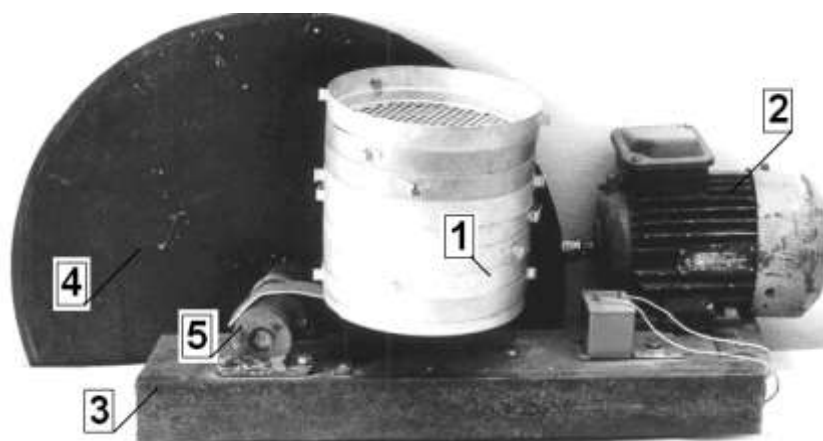


Рис.3.12. Установка для визначення структурно-агрегатного складу ґрунту:

1 – набір решіт; 2 – електродвигун; 3 – платформа;

4 – маховик; 5 – кулачковий механізм

У відповідності з ГОСТ 20915-75 за допомогою твердоміру (рис.3.13) визначена твердість ґрунту P та коефіцієнт об’ємного зминання q як:

$$P = \frac{c y_{cp}}{A_{III}}; \quad (3.8)$$

де c – жорсткість пружини, Н/м;

y_{cp} – середня ордината діаграми на обраній глибині, м;

A_{III} – площа поперечного перерізу плунжера, м².

$$q = \frac{P_{\Gamma}}{V} = \frac{c y_A}{A_{III} \lambda_{np}}; \quad (3.9)$$

де P_{Γ} – сила опору ґрунту, яка відповідає межі пропорційності, Н;

V – об'єм зім'ятого ґрунту, який відповідає межі пропорційності, см³;

y_A – ордината, що відповідає межі пропорційності, м;

λ_{np} – деформація, що відповідає межі пропорційності, м.



Рис.3.13 Визначення твердості ґрунту за допомогою твердоміру

Відбір проб для визначення стану ґрунту проводився за допомогою приладів польової лабораторії Литвинова ПЛЛ-9.

Абсолютна вологість W ґрунту визначалась за формулою:

$$W = \frac{a_6}{b_2} \cdot 100\% \quad (3.10)$$

де a_6 – маса вологи, що випарувалась, г;

b_2 – маса абсолютно сухого зразка ґрунту, г.

Щільність ґрунту визначалась за формулою:

$$d_V = \frac{M_\Gamma}{V_\Gamma}; \quad (3.11)$$

де M_Γ – маса абсолютно сухого ґрунту в певному об'ємі досліджуваної зразка, г;

V_Γ – об'єм досліджуваного зразка, см³.

Профілювання поверхні обробленого ґрунту та дна борозни виконувалось за допомогою координатної рейки методом графічного копіювання рельєфу.

Показник розподілення рослинних решток за глибиною обробітку k_r визначався за формулою:

$$k_r = \frac{M_{5..20}}{M_n} \times 100\%; \quad (3.11)$$

де M_n – маса рослинних решток на поверхні поля до проходу ґрунтообробного знаряддя;

$M_{5..20}$ – маса рослинних решток в прошарку ґрунту 5...20 см після проходу знаряддя.

Розподіл рослинних решток в прошарках ґрунту 0...5см, 5..10см та 10...20см, визначався відповідно до [1, 23], відмиванням моноліту ґрунту площею 0,1м², відповідної товщини, через решета з діаметром отворів 3,1мм та 0,25мм. Відбір монолітів проводився за методом Станкова [23].

РОЗДІЛ 4

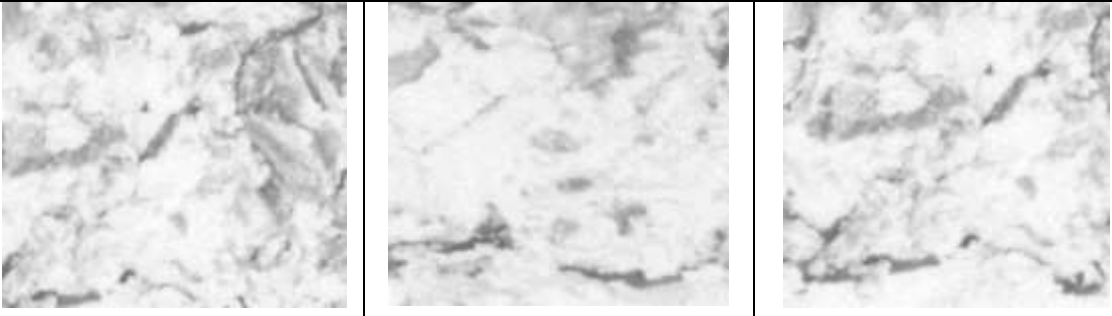
РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ
РОТАЦІЙНО-ЛОПАТЕВИХ РОБОЧИХ ОРГАНІВ ТА ЇХ АНАЛІЗ

4.1. Вплив параметрів ротаційно-лопатевого робочого органу на якість обертання оброблюваної скиби ґрунту

За результатами досліджень моделі-імітатора (п.3.2) отримано візуальні данні у вигляді серії фотознімків (табл.4.1, додаток Б.2) з характеристиками просторового розташування окремих частин оброблюваного шару ґрунту за глибинами 0...2, 2...10, 10...20 см. Після математичного обробітку результатів комп'ютерного аналізу фотографій модельної поверхні ґрунту, побудовано експериментальні залежності показника заробки k_z ротаційно-лопатевиx робочих органів: від довжини c ножа-лопаті (рис.4.1), від кута закручування γ_0 робочої поверхні ножа-лопаті (рис.4.2) та кута атаки β (рис.4.3).

Таблиця.4.1

Графічне представлення модельної поверхні ґрунту

Картинка	Повторність досліду при $c=35\text{мм}$; $\gamma_0=24^\circ$; $\beta=20^\circ$		
	№1	№2	№3
			
k_z	84,7	86,6	83,6

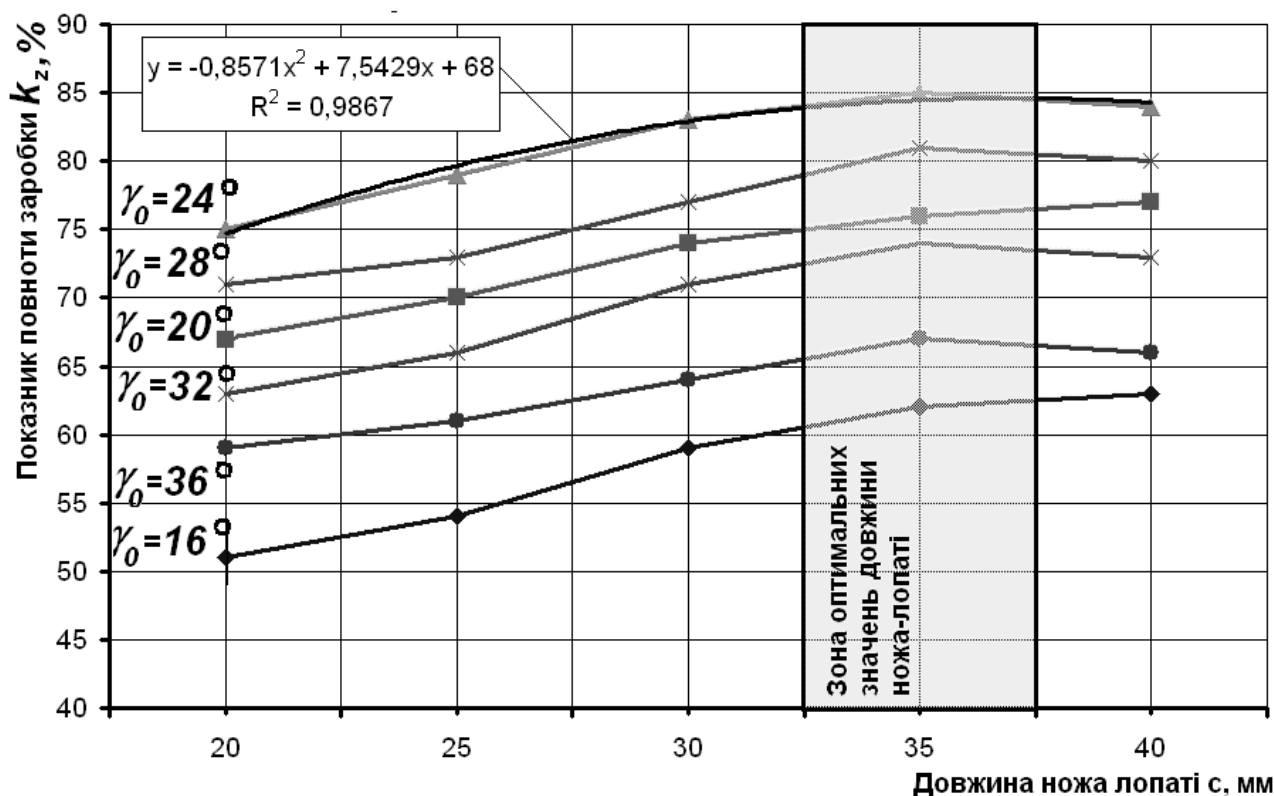


Рис.4.1. Графіки залежностей показника заробки від довжини ножа-лопаті та кута закручування робочої поверхні

Аналіз залежностей (рис.4.1) свідчить про те, що показник заробки пропонованого робочого органу зі збільшенням довжини ножа-лопаті з 20мм до 35мм збільшується майже лінійно, а зі збільшенням довжини до 40 мм зменшується, що можна пояснити залипанням проміжку між робочими органами та, як наслідок, погіршенням агротехнічних показників обробітку. Максимальний показник заробки досягається при використанні робочих органів з кутом закручування робочої поверхні 24° , і його визначено, з коефіцієнтом детермінації $R^2 = 0,987$, за допомогою поліному:

$$k_{24^\circ} = -0,8571c^2 + 7,5429c + 68. \quad (4.1)$$

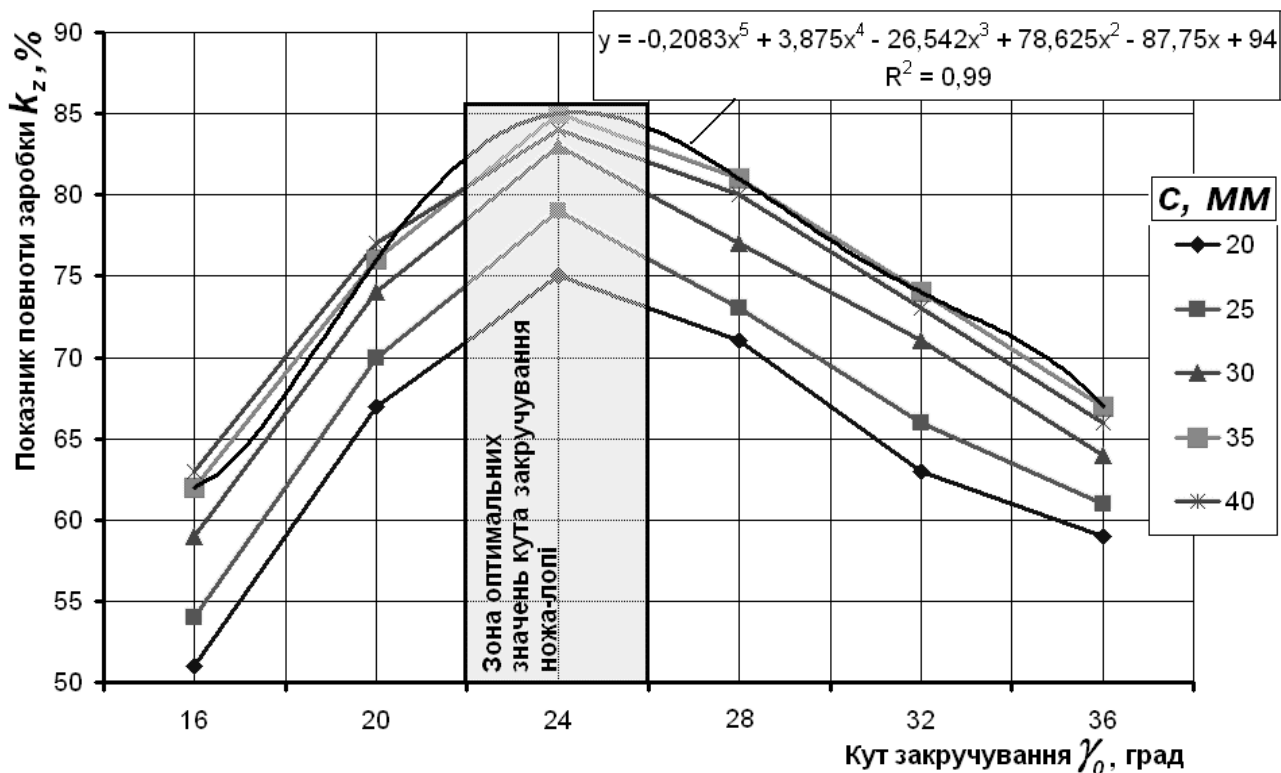


Рис.4.2. Графіки залежностей показника заробки від кута закручування робочої поверхні ножа-лопаті та довжини ножа-лопаті

За результатами аналізу залежності показника заробки від кута γ_0 (рис.4.2) можна зробити висновок, що при збільшенні кута закручування з 16° до 24° показник заробки зростає і становить 85%, при подальшому збільшенні кута до 36° закручування відбувається зменшення значення показника заробки. Отже, при куті закручуванні ножа-лопаті ($\gamma_0 = 24$) профіль передньої поверхні є найоптимальнішим з точки зору як розпушуючої (рівняння 2.37 та 2.39) так і обертаючої здатності знаряддя. Крім того, необхідно зауважити, що максимальний показник заробки досягається за довжини ножа-лопаті, яка становить 35 мм і визначений, з коефіцієнтом детермінації $R^2 = 0,99$, поліномом:

$$k_{35} = -0,2083\gamma_0^5 + 3,875\gamma_0^4 - 26,542\gamma_0^3 + 78,625\gamma_0^2 - 87,75\gamma_0 + 94. \quad (4.2)$$

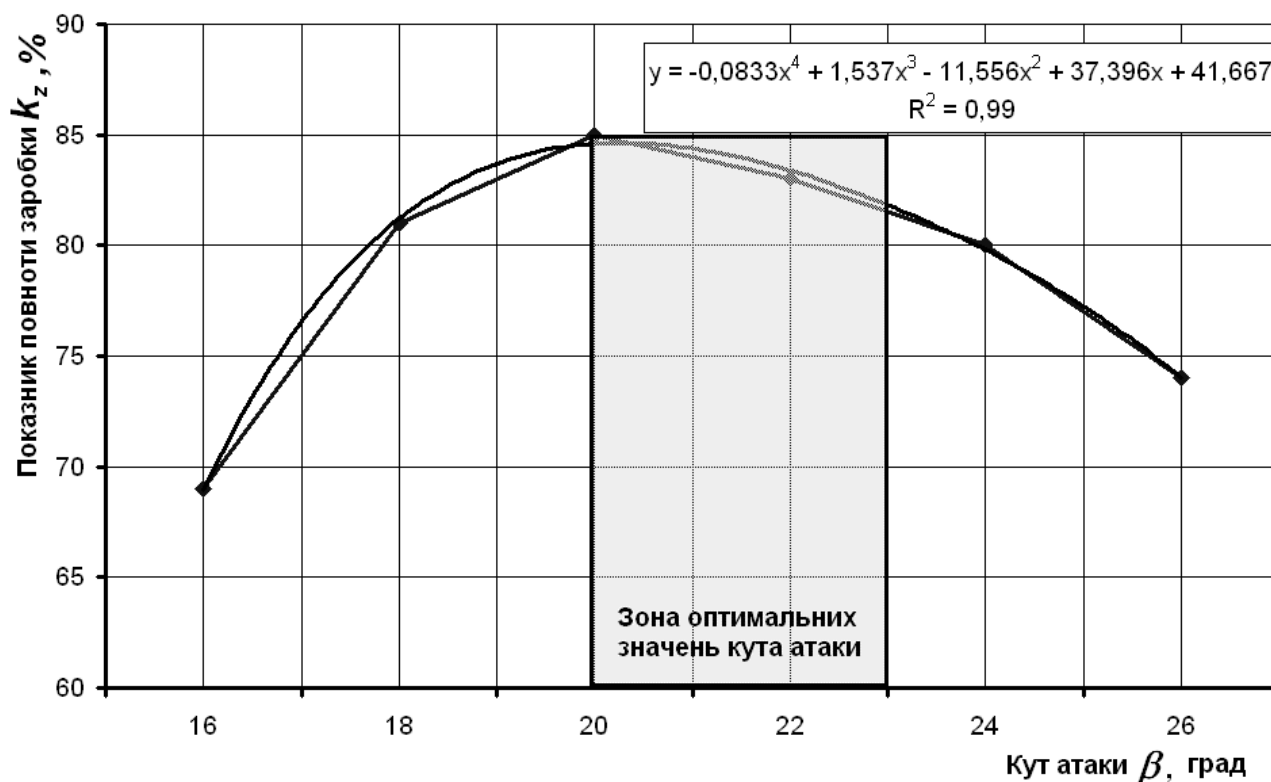


Рис.4.3. Графік залежності показника заробки від кута атаки батареї робочих органів при $c=35\text{мм}$, $\gamma_0=24^\circ$

За викладеним вище аналізом результатів модельного експерименту визначено кут β установки робочих органів (рис.4.3). З аналізу залежності (рис.4.3) показника заробки k_z від кута атаки β при оптимальних значеннях довжини $c = 35\text{мм}$ та кута закручування $\gamma_0 = 24^\circ$ робочої поверхні ножа-лопаті впливає, що найбільше значення показник заробки має при кутах атаки в межах $20^\circ..23^\circ$. При куті $\beta = 20^\circ$, згідно з (2.97), перекриття зон обробітку сусідніх роторів батареї набуває мінімально-граничного значення (табл.2.7), а при подальшому збільшенні кута атаки відбувається зниження значення показника заробки. Таким чином, залежність показника заробки і кута атаки батареї робочих органів можна виразити з коефіцієнтом детермінації $R^2 = 0,99$, за допомогою поліному:

$$k_z = -0,0833\beta^4 + 1,537\beta^3 - 11,556\beta^2 + 37,396\beta + 41,667. \quad (4.3)$$

Повний регресивний аналіз результатів експериментів з оптимізації конструкційних параметрів ножів-лопатей (довжини c та кута закручування γ_0 робочої поверхні), відповідно до плану двофакторного експерименту 2^2 , дозволив визначити коефіцієнти регресії відповідного рівняння:

$$k_z = -89,278 + 2,027 \cdot c + 9,984 \cdot \gamma_0 - 2,2 \times 10^{-2} \cdot c^2 - 7 \times 10^{-3} \cdot c \cdot \gamma_0 + 1,86 \times 10^{-1} \cdot \gamma_0^2 \quad (4.4)$$

Визначенні коефіцієнти регресії рівняння (4.4) дозволяють графічно окреслити поверхню відгуку (рис.4.4).

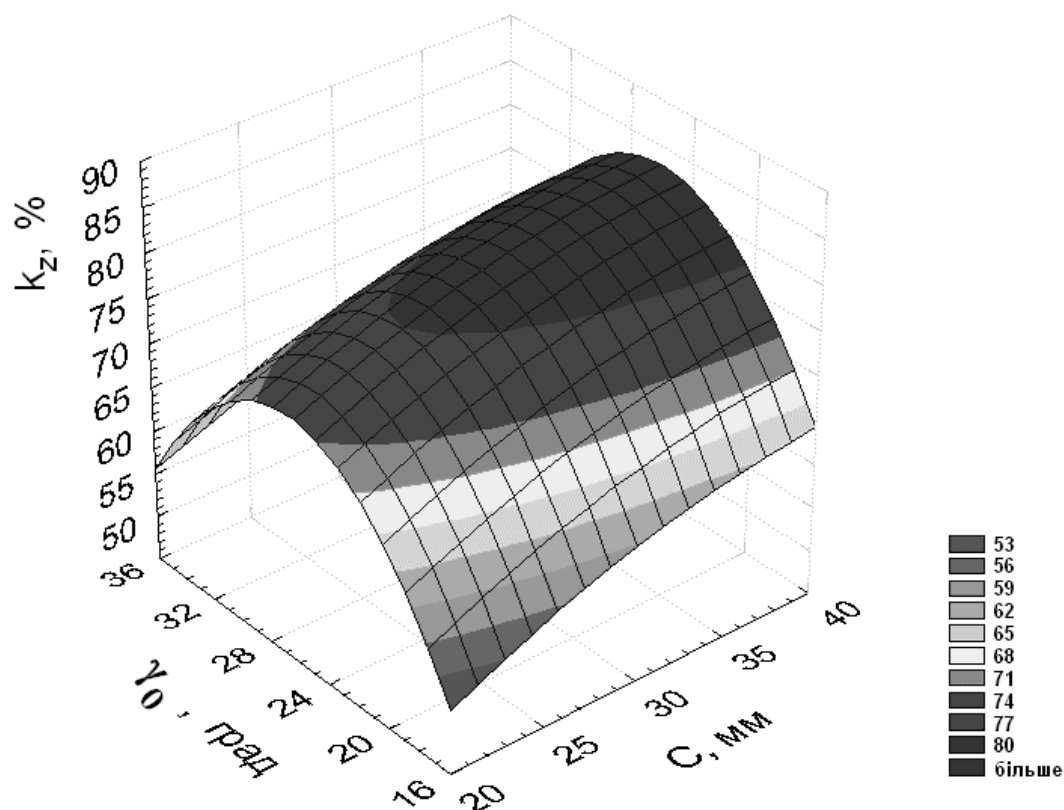


Рис.4.4. Поверхня відгуку показника повноти обробітку k_z в залежності від ширини c та кута закручування γ_0 робочої поверхні ножа-лопаті

Дослідження рівняння (4.4) на екстремум дозволяє, з показником детермінації 98,7%...99%, остаточно встановити такі параметри робочого органу:

- довжина робочої поверхні ножа лопаті $c = 35\text{мм}$ (з урахуванням масштабного коефіцієнту $\mu = 5$, довжина робочої поверхні ножа-лопаті становить 175мм);

- кут закручування передньої робочої поверхні $\gamma_0 = 24^0$;

- кут атаки батареї робочих органів становить $\beta = 20^\circ$.

Ці параметри забезпечують показник заробки k_z на рівні 85%.

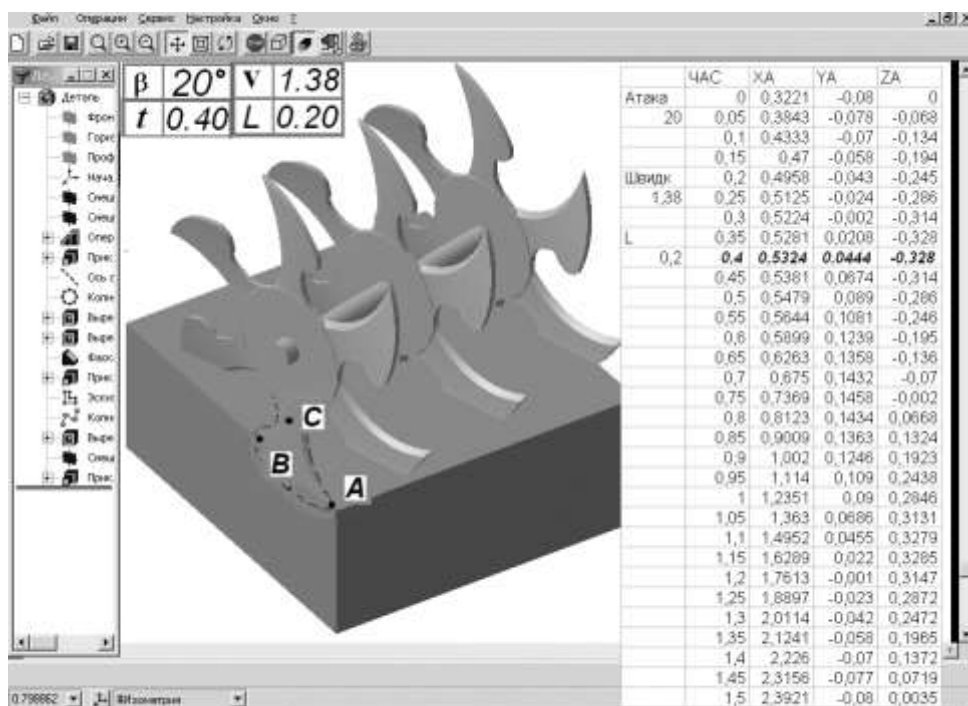
4.2. Вплив параметрів роботи ротаційно-лопатевого робочого органу на агротехнологічні показники обробітку ґрунту

Повний регресивний аналіз результатів комп'ютерного моделювання (рис.4.5, додаток В.1) впливу кута атаки β батареї робочих органів та відстані l між робочими органами в батареї на висоту гребенів h_2 dna борозни, відповідно до плану двофакторного експерименту 2^2 , дозволив визначити, з детермінацією $R^2 = 0,985$, коефіцієнти регресії відповідного рівняння:

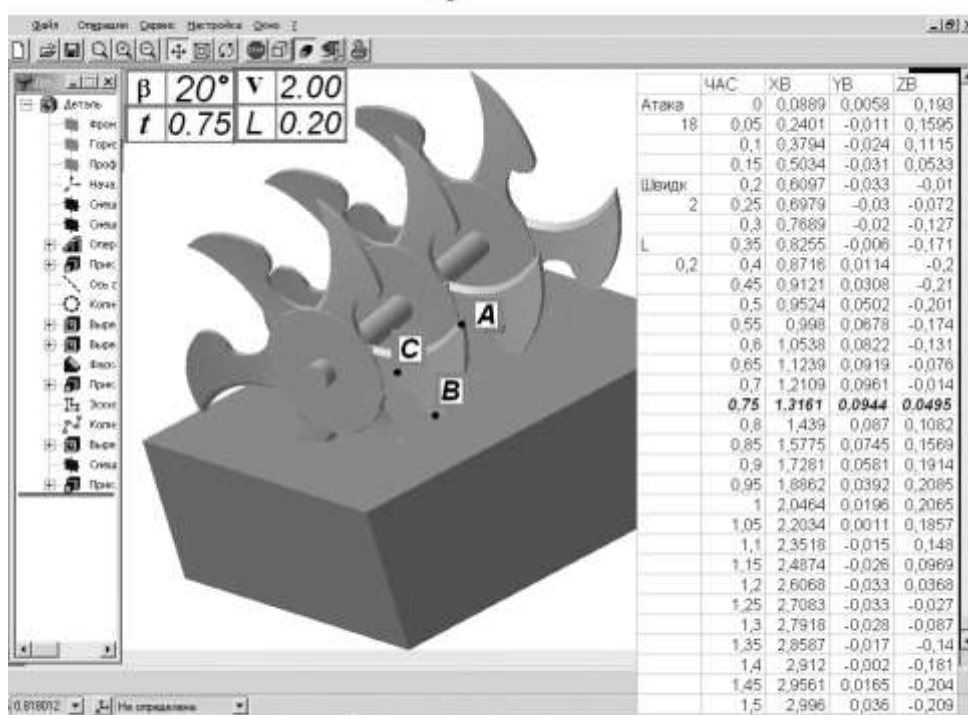
$$h_2 = -0,141 - 2,7 \times 10^{-2} \cdot \beta + 5,731 \cdot l + 2 \times 10^{-3} \cdot \beta^2 - 3,5 \times 10^{-2} \cdot \beta \cdot l + 9,434 \cdot l^2 \quad (4.5)$$

Визначенні коефіцієнти регресії рівняння (4.5) дозволяють графічно окреслити поверхню відгуку (рис.4.6).

Дослідження поверхні відгуку (рис.4.6) на екстремум дозволяє побудувати номограму для визначення кута атаки β та відстані l між робочими органами в залежності від висоти гребенів dna борозни (рис.4.7).



а)



б)

Рис. 4.5. Числова-імітаційна модель батареї робочих органів ($\beta=20^\circ$, $l=0,2\text{м}$):

а) дослідження кінематичних параметрів точки А ; б) дослідження

кінематичних параметрів точки В

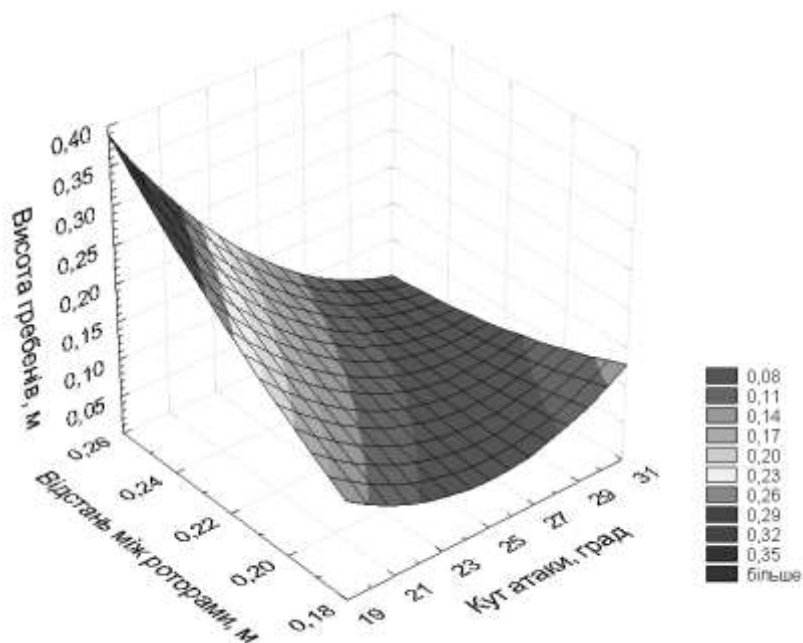


Рис.4.6. Поверхня відгуку висоти гребенів dna борозни h_2 в залежності від кута атаки β та відстані l між робочими органами

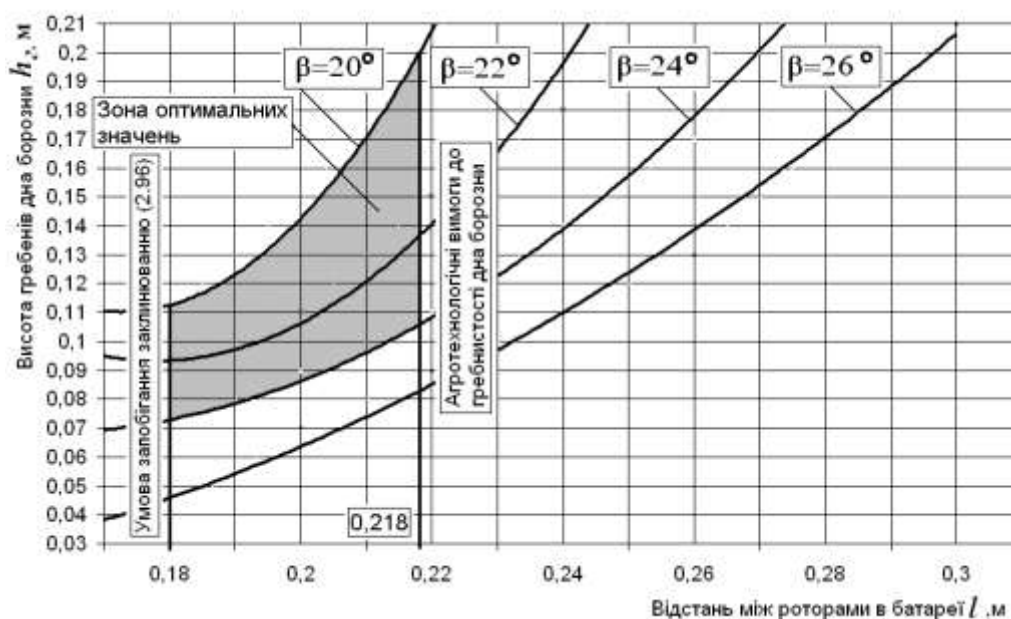


Рис.4.7. Номограма для визначення кута атаки β та відстані l між робочими органами в залежності від висоти гребенів dna борозни

Аналіз номограми (рис.4.7), з врахуванням умови (2.75) сколювання ґрунту та динаміки зміни показника заробки (рис.4.3), дозволяє остаточно встановити такі параметри установки робочих органів:

- кут атаки батареї робочих органів: $\beta=20^\circ \dots 24^\circ$ ($\beta_{opt}=20^\circ$ (4.3));
- відстань між робочими органами в батареї: $l=0,18 \dots 0,218$ м.

Дослідження динаміки скиби в характерних точках з використанням комп'ютерного моделювання (рис.4.5) за різних швидкостей переміщення машинно-тракторного агрегату (додаток В.3), при сталому куті атаки $\beta_{opt}=20^\circ$, дозволило встановити, з рівнем довірчої ймовірності $R^2 = 0,969$ залежність кута обертання скиби χ від лінійної швидкості руху робочого органу (рис.4.8) та, для швидкостей $v_n \geq 2$ км/год, описати цю залежність поліномом:

$$\chi = -2,542 \cdot v_n^2 + 35,805 \cdot v_n + 57,143 \quad (4.6)$$

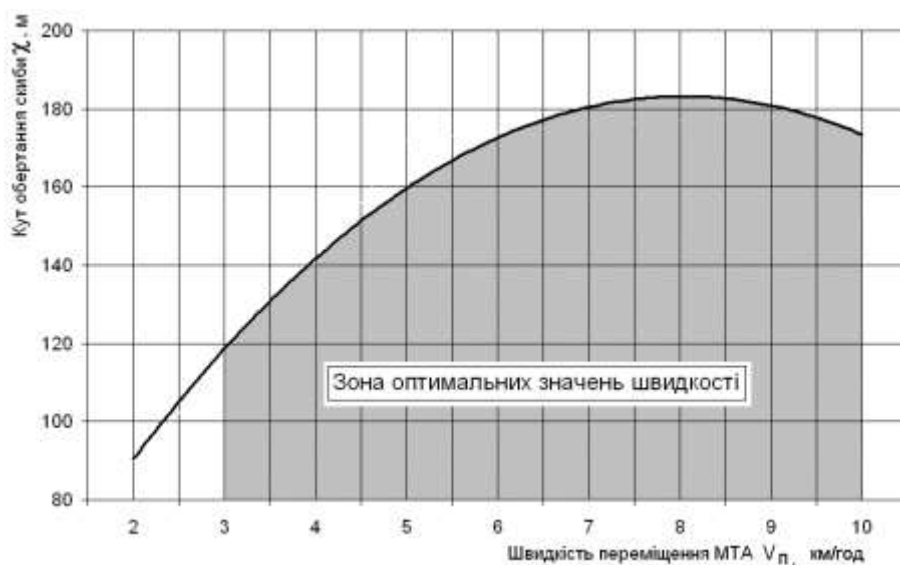


Рис.4.8. Графік залежності кута χ обертання скиби від лінійної швидкості v_n переміщення ротаційного робочого органу

Аналіз залежності (рис.4.8) дозволяє зробити висновок, що зона оптимальних значень швидкості руху машинно-тракторного агрегату лежить в межах: $v_n = 3 \dots 10$ км/год, так як за цих швидкостей $\chi \geq 120^\circ$, що згідно з [45], забезпечує усталене заорювання. Збільшення швидкості понад 10 км/год призводить до інтенсивного розпорушення агрономічно цінної структури ґрунту [28, 114, 119].

4.3. Аналіз результатів дослідження тягового опору ротаційного робочого органу

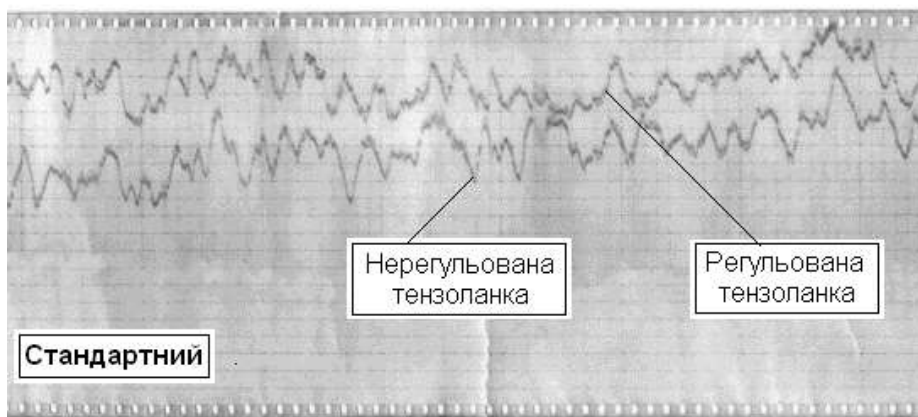
За результатами тензометричних досліджень в ґрунтовому каналі стандартних [5] робочих органів, як бази порівняння (рис.4.9) та пропонуваного ротаційно-лопатевого робочого органу (рис.4.10) отримано осцилограми тягового опору (рис.4.11) зазначених знарядь.



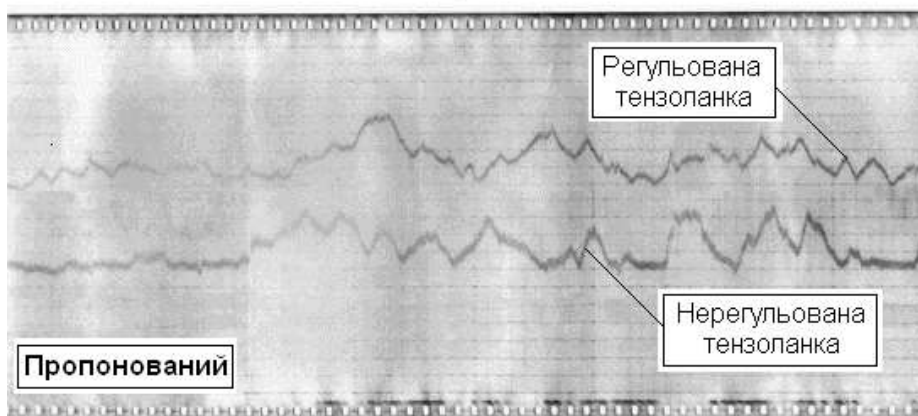
Рис.4.9. Визначення тягового опору стандартного робочого органу відповідного до [84]



Рис.4.10. Визначення тягового опору ротаційно-лопатевого робочого органу



а)



б)

Рис.4.11 Осцилограми до визначення тягового опору ротаційних робочих органів ($h=0,2\text{м}$, $\beta=24^\circ$):

а) стандартного; б) пропонованого

Після відповідного опрацювання осцилограм (рис.4.11) [56, 108] (додаток Г.3), побудовано експериментальні залежності тягового опору стандартного (рис.4.12) та пропонованого (рис.4.13) ротаційних робочих органів від глибини обробітку та кута установки.

За результатами аналізу залежностей (рис.4.12) встановлено, що тяговий опір P стандартного робочого органу для номінальної $h=0,12\text{м}$ та максимально можливої $h=0,2\text{м}$ глибин обробітку при граничних кутах установки $\beta=18^\circ\dots 24^\circ$ зростає лінійно з 420,1Н до 750,3Н, в першому випадку; та з 310,4Н до 470,1Н, в другому випадку.

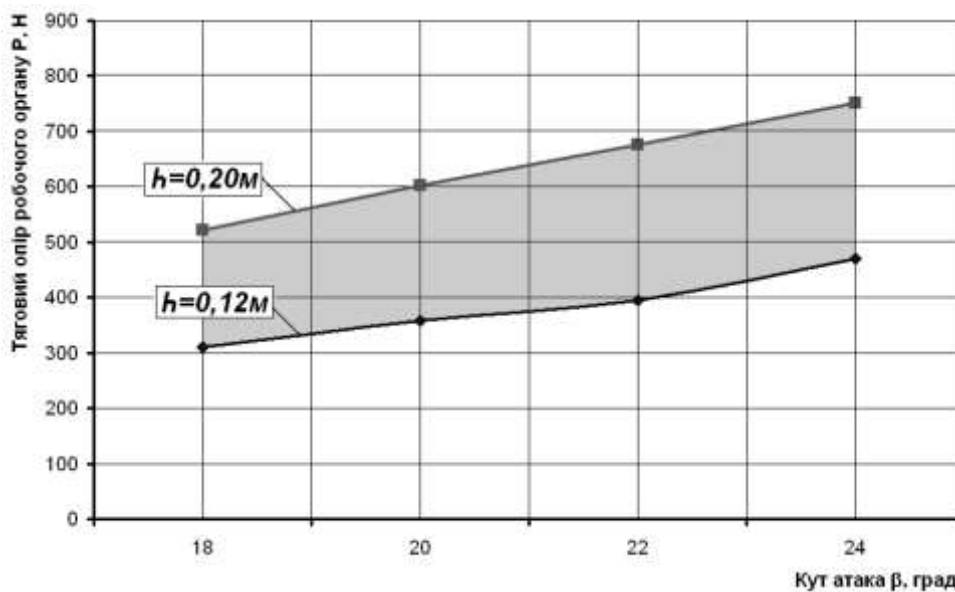


Рис.4.12. Графіки залежностей тягового опору стандартного ротаційного робочого органу від глибини обробітку h та кута атаки β

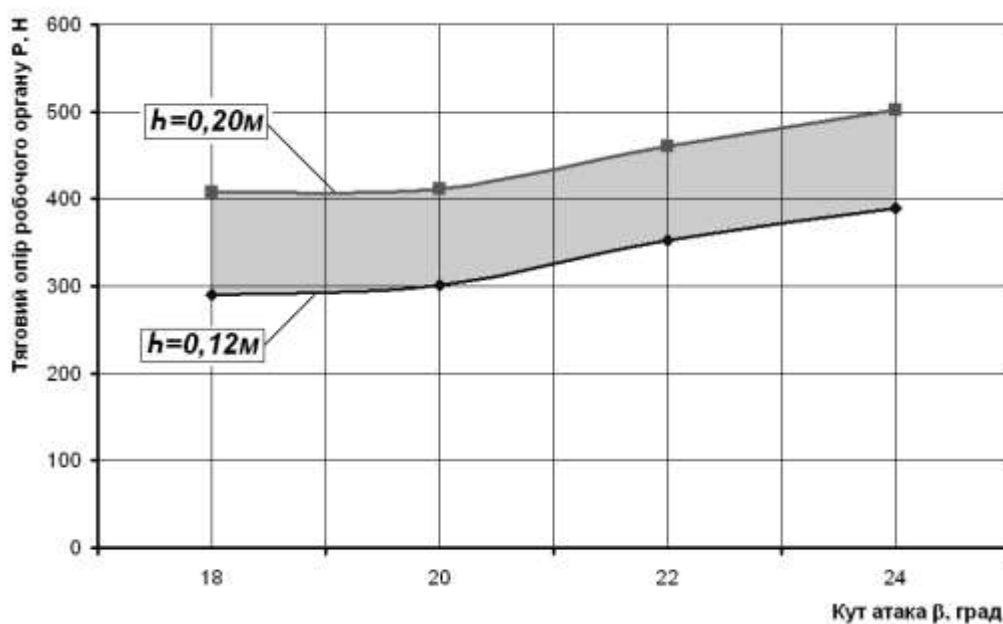


Рис.4.13. Графік залежності тягового опору пропонованого ротаційно-лопатевого робочого органу від глибини обробітку h та кута атаки β

Аналіз залежностей (рис.4.13) свідчить, що для пропонованого робочого органу для глибин обробітку $h=0,12\text{м}$ та $h=0,2\text{м}$ тяговий опір в межах $\beta=18^\circ\dots 20^\circ$ зростає повільно, а при подальшому збільшенні кута установки β , тяговий опір зростає інтенсивніше і при $\beta=24^\circ$ досягає значень $P=389,1\text{Н}$ за номінальної глибини обробітку $h=0,12\text{м}$ та $P=501,8\text{Н}$ за максимальної глибини

обробітку $h=0,2\text{м}$. Повільна зміна тягового опору в межах $\beta=18^\circ\dots20^\circ$ відбувається тому, що за рахунок геометричних особливостей робочої поверхні (п.2.1) зростання площі контакту задньої поверхні ротора зі стінкою борозни незначне ($\Delta A=0,11\times10^{-2}\text{м}^2$).

Як походить за результатами експериментальних досліджень (рис.4.12, рис.4.13), тяговий опір пропонованого ротаційно-лопатевого робочого органу менший в середньому на 21,6%...33,1% від тягового опору стандартного робочого органу в залежності від кута установки робочих органів $\beta=18^\circ\dots24^\circ$ (рис.4.14) та глибини обробітку ґрунту $h=0,12\dots0,2\text{м}$. При цьому, рівень довірчої ймовірності результатів експерименту, оцінений за критерієм Стьюдента, становить 97%.

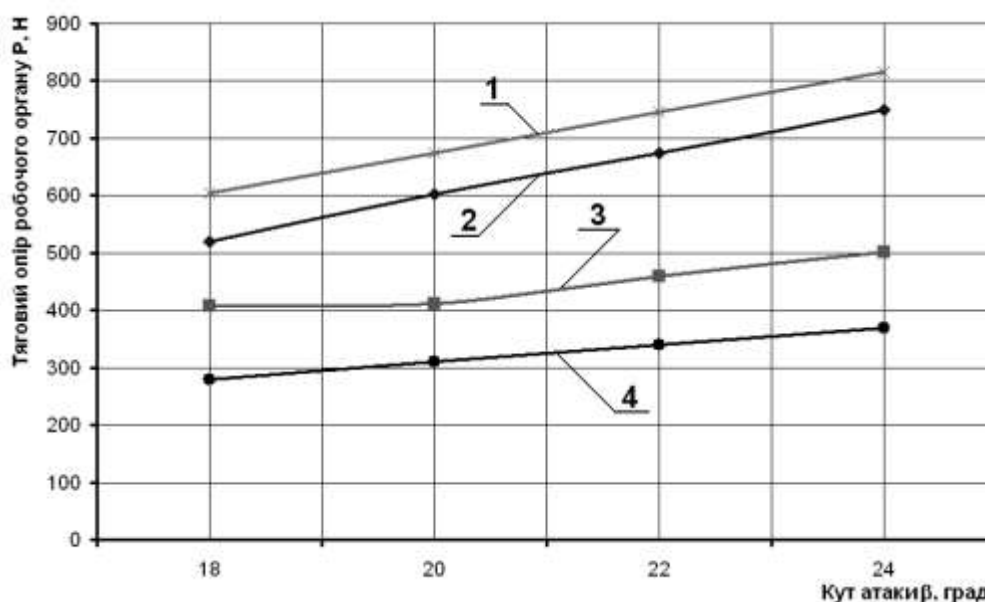


Рис.4.14. Графік порівняльних залежностей тягового опору стандартного та пропонованого ротаційних робочих органів від кута атаки β при глибині обробітку $h=0,2\text{м}$ (питомий опір ґрунту $k=25\text{кПа}$):

- 1 – теоретично визначений тяговий опір стандартного робочого органу;
- 2 – експериментально визначений тяговий опір стандартного робочого органу;
- 3 – експериментально визначений тяговий опір пропонованого робочого органу;
- 4 – теоретично визначений тяговий опір пропонованого робочого органу

З рис.4.1.4 очевидно, що динаміка зміни тягового опору, в залежності від зміни кута атаки, відповідає результатам аналітичних досліджень (п.2.5).

Регресивний аналіз результатів залежності тягового опору від кута установки (атаки) β та глибини обробітку h (додаток Г.3), дозволив визначити коефіцієнти відповідного рівняння:

$$P = 616,518 + 4,538 \cdot \beta - 84,197 \cdot h + 0,694 \cdot \beta^2 - 0,856 \cdot \beta \cdot h + 3,669 \cdot h^2 \quad (4.7)$$

Визначенні коефіцієнти регресії рівняння (4.6) дозволяють графічно окреслити поверхню відгуку (рис.4.15).

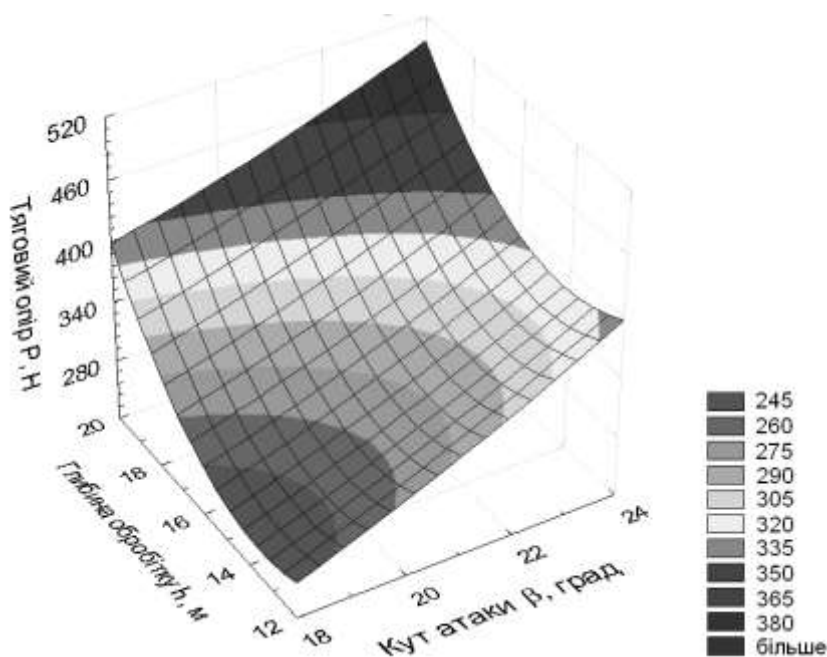


Рис.4.15. Поверхня відгуку тягового опору P пропонованого ротаційно-лопатевого робочого органу від глибини обробітку h та кута атаки β

На основі проведених експериментальних досліджень, можна зробити висновок, про те, що за рахунок зменшення площі контакту з ґрунтом та за рахунок коноїдальної форми робочої поверхні пропонована конструкція ротаційно-лопатевого робочого органу дозволяє знизити величину тягового опору на 15,7% при оптимальному значенні кута атаки $\beta=20^\circ$ та номінальній глибині обробітку $h=0,12\text{м}$.

4.4. Результати порівняльних досліджень ґрунтообробних знарядь оснащених ротаційними робочими органами

За результатами попередніх аналітичних досліджень розроблено та виготовлено ґрунтообробний ротаційно-лопатевий робочий орган, уніфікований до борін БДН-1,8, БДВ-3, БДВ-7 (рис.4.16, 4.17). Агротехнологічна ефективність запропонованої розробки оцінювалась за покращенням основних показників якості обробітку ґрунту (п.3.5).

Результати порівняльних польових випробувань представлені в табл.4.2.

Таблиця 4.2

Результати порівняльних випробувань ротаційного знаряддя БДН-1,8

Показники якості обробітку ґрунту	Варіант - агрофон	Варіант - базовий	Варіант - запропонований	
			схема 1	схема 2
Значення коефіцієнта структурності	0,94	1,48	1,70	1,57
Площа поверхні поля з повною заробкою рослинних решток, %	-	72	82	75
Величина опору зминання ґрунту (твердість), кН/м ²	87,4	59,0	49,8	55,7
Величина коефіцієнта об'ємного зминання ґрунту, Н/см ³	1,4	0,7	0,7	0,7
Абсолютна вологість ґрунту, %	22,0	17,3	18,4	17,9
Щільність ґрунту, г/см ³	1,90	1,28	1,20	1,23
Мікрорельєф поверхні поля, см	-	0...5,3	0...5,6	0...5,2



*Рис.4.16. Характер обробітку ґрунтообробним агрегатом у складі ПМЗ–
БАЛ+БДН-1,8РЛ-1 (заднє розміщення пропонованих робочих органів)*



*Рис.4.17 – Характер обробітку ґрунтообробним агрегатом у складі ПМЗ–
БАЛ+БДН-1,8РЛ-2 (переднє розміщення пропонованих робочих органів)*

За результатами дослідження структурно-агрегатного складу ґрунту встановлено, що кількість агрегатів ґрунту ($d < 0,25\text{мм}$ і $d > 10\text{мм}$), які не відповідають агрономічним з точки зору ерозійної стійкості, у пропонуваніх варіантах №1 та №2 зменшилась на 28,1% і 24,6%, до фону та на 7,0% і 2,5% (додаток Д.1) відповідно, до базового варіанту (рис.4.18), а коефіцієнт структурності в порівнянні з базовим варіантом збільшився на 12,9% (варіант 1) та 5,7% (варіант 2) рази.

Попередня оцінка ефективності заробки рослинних решток виконувалась методом числового аналізу візуальної інформації за допомогою спеціально розробленої комп'ютерної програми [83]. Показник заробки в порівнянні з базовим варіантом збільшився в 1,14 разів для першої схеми пропонуваного варіанту та в 1,04 разів для схеми 2 пропонуваного варіанту (рис.4.19, рис.4.20).

Абсолютна вологість ґрунту у шарі 0...20 см при обробітку ґрунтообробним знаряддям з пропонуваніми робочими органами в порівнянні з базовим варіантом була вищою на 5,9% та 3,4%, для пропонуваніх варіантів 1 та 2 і відповідала агротехнічним вимогам. Щільність обробленого ґрунту знаряддям з пропонуваніми робочими органами за варіантами 1 та 2 відповідає агрономічним і становить відповідно $1,20\text{ г/см}^3$ та $1,23\text{ г/см}^3$, що на 6,2% та 3,4% менше ніж для базового варіанту і на 36,8% та 35,3% менше у порівнянні з агрофоном (рис.4.20). Встановлено, що при обробітку за пропонуваніми схемами 1 та 2 величина опору зминання ґрунту мінімальна і становить $49,8\text{ кН/м}^2$ та $51,7\text{ кН/м}^2$, що менше на 15,7% і 5,6% у порівнянні з базовим обробітком та на 43,0% і 36,2% менше у порівнянні з фоном. Коефіцієнт об'ємного зминання пропонуваного варіанту на 51,4% менший у порівнянні з фоном (рис.4.20) та стандартним значенням, яке варіює в межах $1...2\text{ Н/см}^3$ (для зораного поля) [55].

Поверхня поля оброблена в 2 сліди (попередник – просапні), пропонуваніми ротаційними ґрунтообробними органами відповідає вимогам до сівби сільськогосподарських зернових культур без виконання додаткових технологічних переходів.

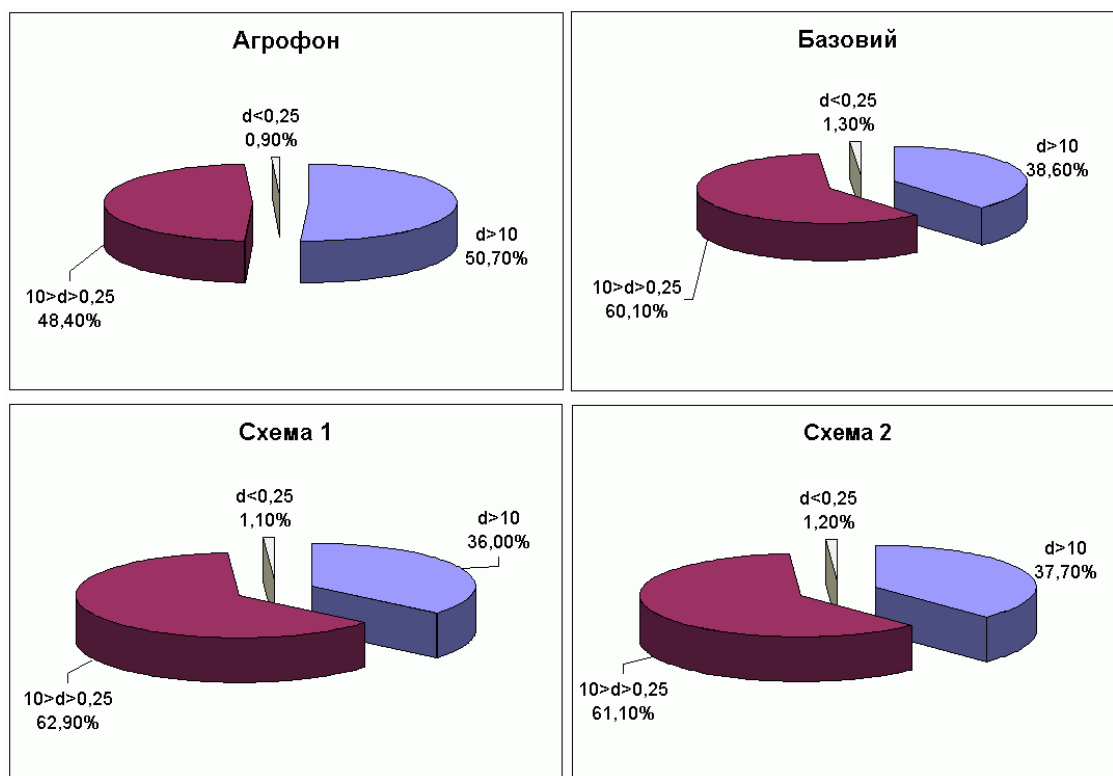


Рис.4.18. Розподіл ґрунтових агрегатів за гранулометричним складом у шарі ґрунту 0...20 см.

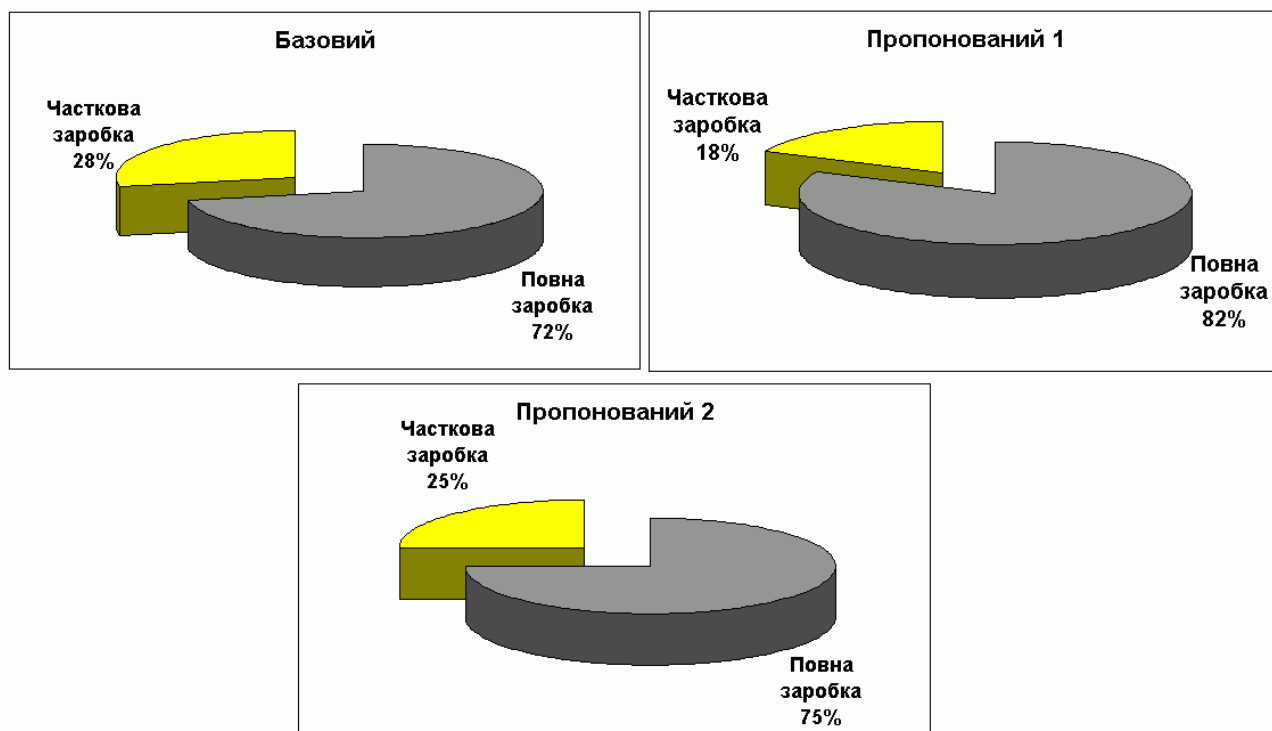


Рис.4.19. Показник зробки рослинних решток

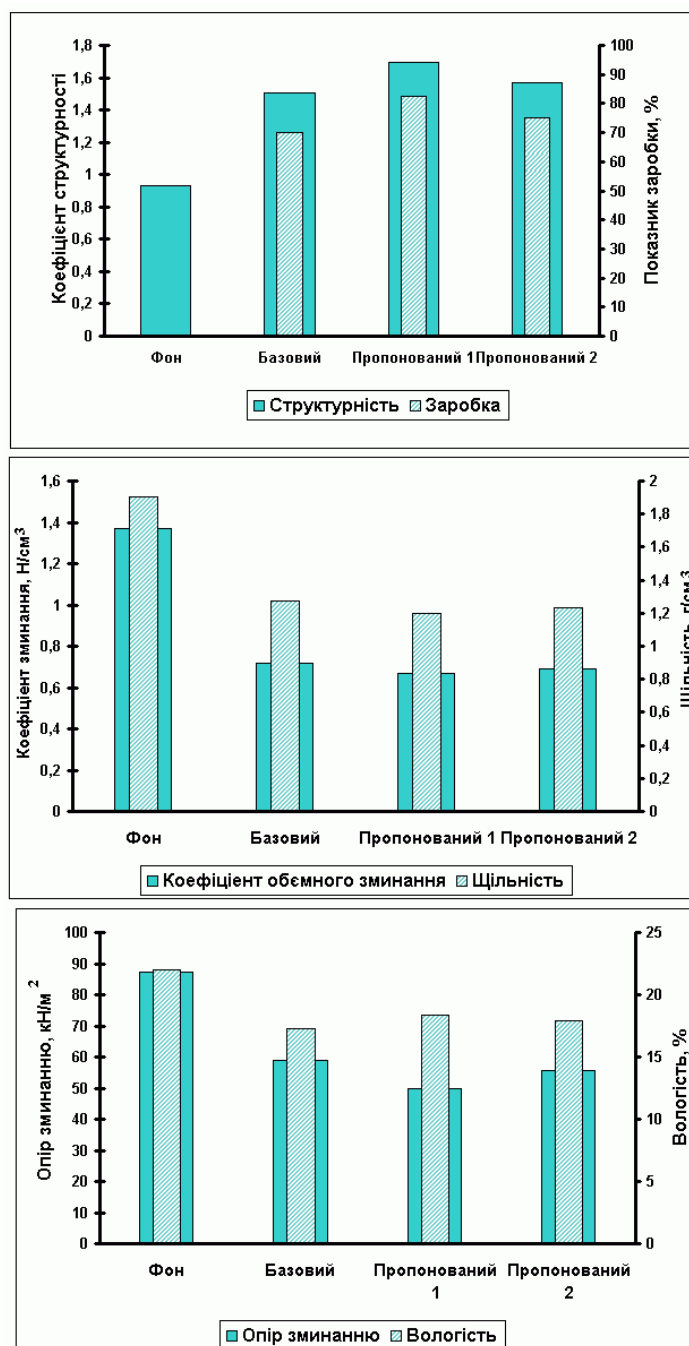


Рис.4.20. Показники якості обробітку ґрунту (коефіцієнт структурності, вологість, щільність, твердість, коефіцієнт об'ємного змінання, показник заробки)

Аналіз, отриманих за результатами виробничої перевірки, показників якості обробітку ґрунту дозволяє зробити висновок про позитивний вплив на структурний та агротехнологічний стан ґрунту ротаційно-лопатевого ґрунтообробного робочого органу, в порівнянні з стандартними ротаційними робочими органами дискової борони, виготовленими, відповідно до ОСТ 23.2.147-85, при встановленні пропонованих робочих органів за схемою 1 (заднє розташування).

Розподілення рослинних решток (за шарами) ґрунтообробними знаряддями, які оснащені стандартними вирізними дисками (базовий варіант), та пропонованими ротаційно-лопатевими робочими органами, встановленими за схемою 1 (пропонований варіант), наведено в таблиці 4.3.

Таблиця 4.3.

Розподілення рослинних решток

Кут атаки, град	Всього рослинних решток, кг/м ²	Базовий варіант						Пропонований варіант					
		вміст рослинних решток в шарі ґрунту, %				показник розподілення, %	показник заробки, %	вміст рослинних решток в шарі ґрунту, %				показник розподілення, %	показник заробки, %
		0...5мм	5...10мм	10...15мм	15...20мм			0...5мм	5...10мм	10...15мм	15...20мм		
12	0,5	52	32	14	2	48	67	38	32	24	6	62	70
16		39	38	18	5	61	72	32	34	27	7	68	74
20		42	36	17	5	58	70	24	36	33	7	76	82
24		54	34	12	-	46	63	28	35	32	5	72	78

За даними експериментальних досліджень визначений показник розподілення рослинних решток для пропонованого варіанту (рис.4.21), який можна описати поліномом 3-го степеню, з коефіцієнтом детермінації $R^2 = 0,99$:

$$k_z = -2,333\beta^3 + 15\beta^2 - 22,667\beta + 72. \quad (4.8)$$

За кута $\beta = 20^\circ$, згідно з (2.97), перекриття зон обробітку сусідніх роторів батареї набуває мінімально-граничного значення (табл.2.7), і подальше зменшення кута атаки призводить до появи необроблених ділянок поля. При подальшому збільшенні кута атаки відбувається зменшення ефективності розподілення рослинних решток через погіршення обертаючої здатності ротаційно-лопатєвого робочого органу.

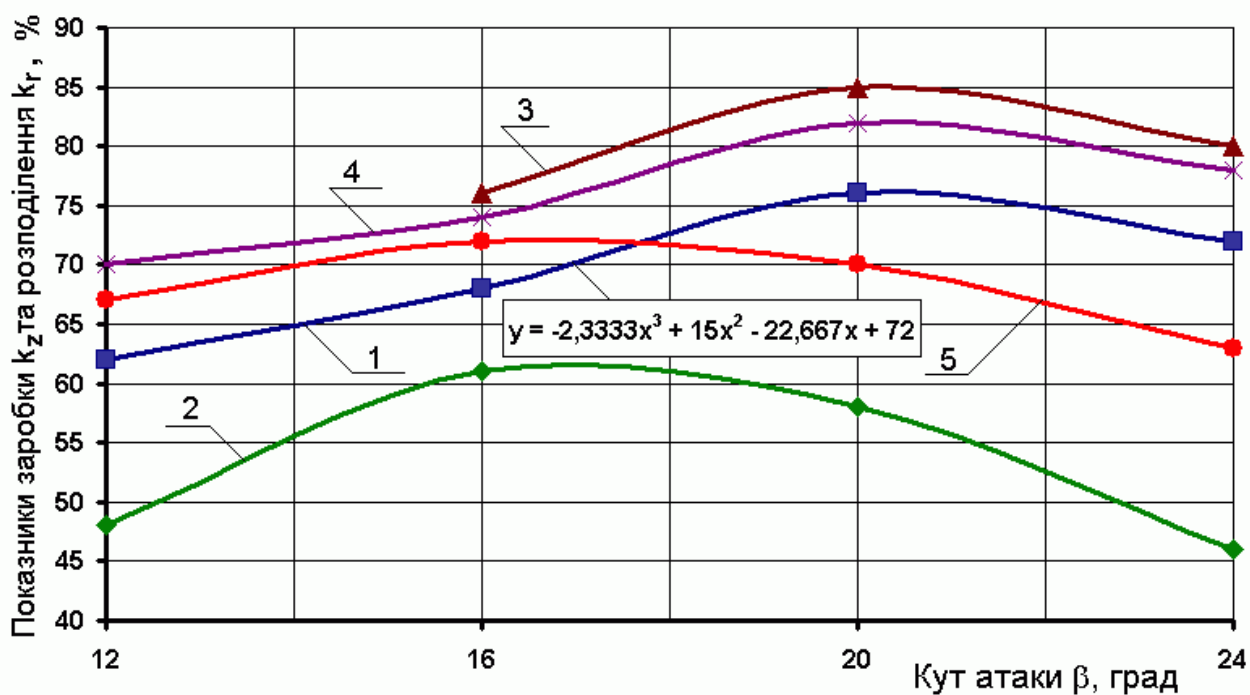


Рис.4.21. Графік порівняльних залежностей показника заробки в залежності від кута атаки:

1 – показник розподілення, визначений за допомогою польового експерименту для пропонованого варіанту; 2 - показник розподілення, визначений за допомогою польового експерименту для базового варіанту; 3 - показник заробки, визначений за допомогою модельного експерименту для ротаційно-лопатевого робочого органу; 4 – показник заробки, визначений за допомогою польового експерименту для пропонованого варіанту; 5 - показник заробки, визначений за допомогою польового експерименту для базового варіанту

Таким чином максимальний показник розподілення для пропонованого варіанту досягається за кута атаки, і становить 76%, що на 15% більше ніж для базового варіанту ($\beta = 16^\circ$). Значення показника заробки, отримані за допомогою польового експерименту, відповідають значенням отриманим за модельним експериментом та відрізняються менше ніж на 5% (з коефіцієнтом кореляції $R=0,995$).

Висновки до розділу 4

За результатами експериментальних досліджень процесу роботи пропонованих ротаційно-лопатових робочих органів, встановлено:

1. При куті закручуванні ножа-лопаті $\gamma_0 = 24$, довжині полиці ножа-лопаті $c_e = 35$ мм (з урахуванням масштабного коефіцієнта $\mu = 5$, відповідає теоретично визначеній довжині полиці ножа-лопаті $c = 0,175$ м) та куті атаки батареї робочих органів $\beta = 20^\circ$, досягається максимальний показник заробки, який становить 0,85.

2. Комп'ютерний аналіз процесу роботи батареї робочих органів дозволяє остаточно встановити такі параметри установки робочих органів:

- діапазон варіювання оптимальних значень кута атаки батареї пропонованих ротаційних робочих органів визначено в межах $\beta = 20^\circ \dots 24^\circ$ (при цьому для дерново-підзолистих супіщаних ґрунтів $\beta_{opt} = 20^\circ$);

- відстань між робочими органами в батареї: $l = 0,18 \dots 0,218$ м.

- зона оптимальних значень швидкості руху машинно-тракторного агрегату лежить в межах: $v_n = 3 \dots 10$ км/год (при цьому значення $v_{n_{opt}} = 10$ км/год обмежено експлуатаційними характеристиками МТА в складі ПМЗ-6АЛ+БДН-1,8-РЛ-1), так як за цих швидкостей кут обороту скиби $\chi \geq 120^\circ$, що забезпечує усталене заорювання.

3. За рахунок зменшення площі контакту з ґрунтом та оптимізації геометричної форми робочої поверхні пропонована конструкція ротаційно-лопатового робочого органу дозволяє знизити величину тягового опору на 15,7%, в порівнянні з стандартними вирізними дисками, при оптимальному значенні кута атаки $\beta = 20^\circ$ та номінальній глибині обробітку $h = 0,12$ м.

4. За результатами польових випробовувань дискової борони БДН-1,8, оснащеною пропонованими робочими органами (1 схема установки), встановлено:

- кількість агрегатів ґрунту, які не відповідають агрономогам з точки зору ерозійної стійкості, зменшилась на 28,1% до фону, та на 7,0% до базового

варіанту (дискова борона БДН-1,8 оснащена робочими органами за ОСТ 23.2.147-85);

- коефіцієнт структурності в порівнянні з базовим варіантом збільшився на 12,9%;

- абсолютна вологість ґрунту у шарі 0...20 см при обробітку ґрунтообробним знаряддям з пропонованими робочими органами в порівнянні з базовим варіантом була вищою на 5,9%;

- щільність обробленого ґрунту знаряддям з пропонованими робочими органами відповідає агровимогам і становить 1,2 г/см³, що на 6,2% менше ніж для базового варіанту і на 36,8% менше у порівнянні з агрофоном;

- величина опору зминання ґрунту мінімальна і становить 49,8 кН/м², що менше на 15,7% у порівнянні з базовим обробітком та на 43% менше у порівнянні з фоном;

- показник заробки для пропонованого варіанту, за кута атаки $\beta = 20^\circ$, становить 82%, що на 10% більше ніж для базового варіанту;

- показник розподілення рослинних решток для пропонованого варіанту становить 76% ($\beta = 20^\circ$), що на 15% більше ніж для базового варіанту.

РОЗДІЛ 5.

ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ЗАСТОСУВАННЯ
ГРУНТООБРОБНИХ ЗНАРЯДЬ ОСНАЩЕНИХ РОТАЦІЙНО-ЛОПАТЕВИМИ
РОБОЧИМИ ОРГАНАМИ

5.1. Розрахунок економічної ефективності знаряддя з ротаційно-лопатевиими робочими органами

Для визначення економічної ефективності застосування у виробництві пропонувані ротаційно-лопатевиими робочими органів за базу обрано борону БДН-1,8, оснащену вирізними дисками відповідними до [5].

Річний економічний ефект (грн/рік) від застосування розроблених робочих органів визначався відповідно до ГОСТ 24056-88 “Техника сельскохозяйственная. Методы эксплуатационно-технологической оценки” та ГОСТ 23728-88 “Техника сельскохозяйственная. Методы экономической оценки”, і розрахований за формулою:

$$E = (C_{\bar{o}} + E_n \cdot K_{\bar{o}}) \cdot \frac{B_n}{B_{\bar{o}}} \cdot \left(\frac{P_{\bar{o}} + E_n}{P_n + E_n} \right) + \frac{(I_{\bar{o}}^1 - I_n^1) - E_n \cdot (K_n^1 - K_{\bar{o}}^1)}{P_n + E_n} - A_n \cdot (C_n + E_n \cdot K_n); \quad (5.1)$$

де C_n , $C_{\bar{o}}$ – вартість одиниці продукції за базовим і новим (пропонуваним) варіантах, грн/ц;

K_n , $K_{\bar{o}}$ – питомі капітальні вкладення в розрахунку на одиницю продукції в базовому і новому варіантах, грн/ц;

$\frac{B_n}{B_{\bar{o}}}$ – коефіцієнт урахування зростання продуктивності одиниці нового

засобу в порівнянні з базовим;

$B_n, B_{\bar{o}}$ – річні обсяги роботи, виконувані при використанні базового і нового засобів праці в натуральних одиницях, га

$\frac{P_{\bar{o}} + E_n}{P_n + E_n}$ - коефіцієнт урахування зміни термінів служби нового засобу праці

в порівнянні з базовим;

$P_{\bar{o}}, P_n$ – частки відрахувань від балансової вартості на повне поновлення (реновацію) базового і нового засобів праці ($P_{\bar{o}}=P_n$);

$\frac{(I_{\bar{o}}^1 - I_n^1) - E_n \cdot (K_n^1 - K_{\bar{o}}^1)}{P_n + E_n}$ – економія користувача на поточних

експлуатаційних витратах від супутніх капітальних вкладень нового засобу праці в порівнянні з базовим, грн;

$I_{\bar{o}}^1; I_n^1$ – річні експлуатаційні витрати, при використанні базового і нового засобів праці, в розрахунку на обсяг продукції, отримуваної за допомогою нового засобу праці (в цих витратах враховується лише частка амортизації, призначена на капітальний ремонт засобу праці), грн;

$K_n^1; K_{\bar{o}}^1$ – супутні капітальні вкладення користувача (капітальні вкладення без урахування вартості розглядуваних засобів праці) при використанні базового та нового засобів праці в розрахунку на обсяг продукції, отримуваної за допомогою нового засобу праці, грн;

A_n – річний обсяг продукції, отримуваної за допомогою нового засобу праці, (річне завантаження знаряддя) ц;

E_n – нормативний коефіцієнт ефективності капітальних вкладень, $E_n=0,15$.

Вихідні данні для визначення економічної ефективності ґрунтообробного знаряддя з пропонованими ротаційно-лопатевими робочими органами наведено в таблиці 5.1.

Таблиця 5.1

Вихідні дані для визначення економічної ефективності
пропонованої розробки

№ з/п	Найменування параметрів	Значення параметрів	
		базовий варіант	пропонований варіант
1	2	3	4
1	Склад агрегату: - трактор - машина	ПМЗ-6АЛ БДН-1,8	ПМЗ-6АЛ БДН-1,8РЛ-1
2	Конструкційна ширина захвату агрегату, м	1,8	1,8
3	Коефіцієнт використання ширини захвату	0,96	0,96
4	Робоча ширина захвату, м	1,728	1,728
5	Робоча швидкість, км/год	9	10
6	Вага трактора, кН	33	33
7	Вага знаряддя, кН	6,4	5,8
8	Тяговий опір агрегату, кН	11,2	9,4
9	Коефіцієнт використання змінного часу	0,81	0,81
10	Оптова ціна, грн - трактора - машини	57000 2500	57000 2600
11	Річне завантаження, год - трактора - машини	1350 180	1350 180
12	Амортизаційні відрахування, % - трактора - машини	16,1 14,2	16,1 14,2

Продовження табл.5.1

1	2	3	4
13	Відрахування на поточний ремонт і технічне обслуговування, % - трактора - машини	9,9 9	9,9 9
14	Тарифна ставка обслуговуючого персоналу, грн.	4,60	4,60
15	Кількість обслуговуючого персоналу, чол.	1	1
16	Ціна пального, грн/кг	1,5	1,5
17	Нормативний коефіцієнт капіталовкладень	0,15	0,15

Розрахунок амортизаційних відрахувань, відрахувань на поточний ремонт і технічне обслуговування, затрат на заробітну плату проводився відповідно до [2].

Затрати коштів на паливо (грн/рік) при обробітку ґрунту ротаційним ґрунтообробним знаряддям БДН-1,8 оснащеного базовими та пропонованими, відповідно, робочими органами визначались, як:

$$E_{\text{баз}} = A_3 \cdot e_{\text{баз}}; \quad (5.2)$$

де $e_{\text{баз}}$ – витрати коштів на паливо, на гектар обробітку ґрунту ротаційною бороною БДН-1,8 оснащеної базовими ротаційними робочими органами, грн/га.

$$E_{\text{нр}} = A_3 \cdot e_{\text{нр}}; \quad (5.3)$$

де $e_{\text{нр}}$ – витрати коштів на паливо, на гектар обробітку ґрунту ротаційним знаряддям оснащеним пропонованими ротаційними робочими органами, грн/га.

$$A_3 = A_2 \cdot T_p; \quad (5.4)$$

де A_2 – годинна продуктивність машинно-тракторного агрегату, га/год;

T_p – річне завантаження ротаційного знаряддя, год/рік [121].

$$A_2 = 0,1 \cdot B_p \cdot v_n \cdot \tau; \quad (5.5)$$

де B_p – робоча ширина захвату знаряддя, м

v_n – робоча швидкість машинно-тракторного агрегату, км/год;

τ – коефіцієнт використання змінного часу ($\tau=0,81$) [76];

$$B_p = B_k \cdot \beta_w; \quad (5.6)$$

де B_k – конструкційна ширина захвату знаряддя ($B_k=1,8$ м);

β_w – коефіцієнт використання ширини захвату машинно-тракторного агрегату ($\beta_w=0,96$) [44].

$$e_{\text{баз}} = g_{\text{баз}} \cdot \text{Ц}_n; \quad (5.7)$$

де $g_{\text{баз}}$ – витрата палива на одиницю виконаної роботи машинно-тракторним агрегатом у складі ПМЗ-6АЛ+БДН-1,8, кг/га;

Ц_n – вартість палива, грн/кг.

$$e_{\text{нр}} = g_{\text{нрз}} \cdot \text{Ц}_n; \quad (5.8)$$

де $g_{\text{нр}}$ – витрата палива на одиницю виконаної роботи машинно-тракторним агрегатом у складі ПМЗ-6АЛ+БДН-1,8РЛ-1, кг/га;

$$g_{\text{баз}} = \frac{G_p^{\text{баз}}}{A_2} \cdot \left[1 + \frac{1}{G_p^{\text{баз}} \cdot \tau} \cdot (G_x \cdot \tau_x + G_3 \cdot \tau_3) \right]; \quad (5.9)$$

де $G_p^{\text{баз}}$ – годинна витрата палива в робочому режимі трактора при обробітку ґрунту ротаційною бороною БДН-1,8 оснащеної базовими ротаційними робочими органами, кг/год.

G_x, G_3 – годинна витрата палива відповідно в холостому режимі роботи двигуна при зупинках МТА, кг/год [109].

τ_x, τ_3 – відповідно, коефіцієнти холостого руху та зупинок.

$$g_{\text{np}} = \frac{G_p^{\text{np}}}{A_2} \cdot \left[1 + \frac{1}{G_p^{\text{np}} \cdot \tau} \cdot (G_x \cdot \tau_x + G_3 \cdot \tau_3) \right]; \quad (5.10)$$

де G_p^{np} – годинна витрата палива в робочому режимі трактора при обробітку ґрунту ротаційним знаряддям оснащеним пропонованими ротаційно-лопатевими робочими органами, кг/год.

$$\tau_x = \frac{T_x}{T_{\text{зм}}}; \quad (5.11)$$

де $T_{\text{зм}}$ – тривалість зміни, год;

T_x – тривалість холостого руху машинно-тракторного агрегату [121], год.

$$\tau_3 = \frac{T_3}{T_{\text{зм}}}; \quad (5.12)$$

де T_3 – тривалість зупинок машинно-тракторного агрегату при працюючому двигуні трактора [121], год.

Тягове зусилля $P_{кр}$, робоча передача i_n та годинна витрата палива G_p в робочому режимі трактора визначались виходячи з величини тягового опору R_A машинно-тракторного агрегату:

$$R_A = P \cdot n + Q_A \cdot i_M; \quad (5.13)$$

де P – тяговий опір робочих органів (п.4.3, додаток Г.3), Н;

n – кількість робочих органів БДН-1,8 ($n=18$);

Q_A – вага ротаційного знаряддя, Н;

i_M – коефіцієнт, який враховує підйом місцевості ($i_M=0,02...0,05$).

Перевірка правильного вибору робочої передачі трактора проводилась за коефіцієнтом використання нормального тягового зусилля трактора ($\eta_g^i = 0,85...0,95$):

$$\eta_g^i = \frac{R_A}{P_{кр}^i - P_\alpha}; \quad (5.14)$$

де $P_{кр}^i$ – нормальне (визначене) тягове зусилля трактора на робочій передачі, кН;

P_α – зусилля трактора на подолання підйому, кН.

$$\boxed{\phantom{Q_{тр}}}; \quad (5.15)$$

де $Q_{тр}$ – вага трактора, кН.

Результати розрахунків річного економічного ефекту від впровадження ротаційного ґрунтообробного знаряддя з пропонованими ротаційно-лопатевими робочими органами наведено в табл.5.2.

Таблиця 5.2

Результати розрахунків річного економічного ефекту знаряддя з пропонованими ротаційно-лопатевими робочими органами

№ п/п	Показник	Значення показників	
		базовий	пропонований
1	Продуктивність, га/год:		
	- за годину основної роботи	1,55	1,73
	- за годину експлуатаційного часу	1,26	1,4
2	Витрати палива МТА, кг/га	11,90	8,80
3	Затрати коштів на паливо:		
	- на одиницю виконаної роботи, грн/га	17,85	13,20
	- річні, грн/рік	4980,15	4110,48
4	Затрати на заробітну плату, грн/га	2,97	2,66
5	Відрахування на амортизацію, грн/га:		
	- трактора	4,82	4,32
	- машини	1,40	1,35
6	Відрахування на поточний ремонт та технічне обслуговування, грн/га:		
	- трактора	2,97	2,66
	- машини	0,89	0,86
7	Сумарні затрати, грн/га	30,90	25,05
8	Питомі капіталовкладення		
	- трактора	29,96	26,85
	- машини	9,86	9,54
9	Приведені витрати, грн/га	36,87	30,51
10	Річний економічний ефект, грн		1774,13

За результатами проведених економічних розрахунків встановлено:

- продуктивність машинно-тракторного агрегату, в складі ПМЗ-6АЛ+БДН-1,8РЛ-1, оснащеного ротаційно-лопатовими робочими органами за схемою 1 (п.3.5) на 10% більша ніж при використанні борони БДН-1,8, оснащеної серійними робочими органами;

- зменшення витрат на паливо для пропонованого агрегату склало 18,1%, в порівнянні з бороною оснащеною серійними робочими органами;

- а річний економічний ефект від застосування машинно-тракторного агрегату в складі МТЗ-80+БДН-1,8РЛ-1, становить 1774 грн. на машину.

5.2. Науково-виробнича перевірка знаряддя оснащеного ротаційно-лопатовими робочими органами в господарських умовах

За результатами виконаних досліджень розроблено робочу документацію на виготовлення уніфікованої ротаційної ґрунтообробної машини на базі БДН-1,8, яка оснащена ротаційно-лопатовими робочими органами. Документація передана підприємству-виробнику АТ “Будмаш” м. Житомир. В 2001 році виготовлено експериментально-дослідний зразок машини, який в 2001...2002 роках пройшов виробничо-господарську перевірку на полях Житомирського агротехнологічного коледжу - 23 га, та СТОВ “Юрківщина” (с. Ярунь, Новоград-Волинський район, Житомирська обл.) – 156 га.

Умови господарських випробувань: ґрунти дослідю – дерново-підзолисті супіщані глеюваті на воднольодникових відкладах (найтипівіші ґрунти Полісся України (додаток А); на момент проведення дослідів основні фізико-механічні властивості ґрунту були такі: абсолютна вологість 22,0%, щільність 1,90 г/см³, коефіцієнт структурності 0,94, твердість ґрунту 87,4кН/м².

Результати перевірки засвідчують ефективність використання пропонованої розробки. Підвищення якості обробітку ґрунту підтверджено покращенням його основних фізико-механічних характеристик в середньому в

1,2...1,6 разів (табл.4.2). Так, щільність обробленого ґрунту становить – $1,20\text{г}/\text{см}^3$; коефіцієнт структурності – 1,66; твердість ґрунту – $49,8\text{кН}/\text{м}^2$.

Ґрунтообробне знаряддя оснащене ротаційно-лопатевими робочими органами (рис.5.1) пройшло перевірку по таких технологічних операціях:

- основний обробіток в два сліди (попередник – озима пшениця) з підготовкою поля під посів;
- основний обробіток в два сліди (попередник – цукрові буряки) з підготовкою поля під посів;
- передпосівний обробіток в два сліди (розробка пласта після оранки на зяб) з виключенням передпосівної культивуації та боронування.



Рис.5.1. Експериментальний зразок пропонованого ротаційно-лопатєвого робочого органу

Висновки до розділу 5

1. Продуктивність роботи машинно-тракторного агрегату, в складі ПМЗ-6АЛ+БДН-1,8РЛ-1, оснащеного ротаційно-лопатєвими робочими органами за схемою 1, на 10% більша ніж при використанні борони БДН-1,8, яка оснащена серійними робочими органами за ОСТ 23.2.147-85.

2. Зменшення витрат палива для пропонованого агрегату склало 18,1%, в порівнянні з бороною оснащеною серійними робочими органами.

3. Річний економічний ефект від застосування машинно-тракторного агрегату в складі МТЗ-80+БДН-1,8РЛ-1 становить $E=1774$ грн. на машину.

4. Підвищення якості обробітку ґрунту підтверджено покращенням його основних фізико-механічних характеристик в середньому в 1,2...1,6 разів. Щільність обробленого ґрунту становить – $1,29\text{г/см}^3$; коефіцієнт структурності – 1,66; твердість ґрунту – $49,8\text{кН/м}^2$.

ОСНОВНІ ВИСНОВКИ

1. Результати аналізу наукових досліджень та практичного досвіду свідчать, що застосування ротаційних ґрунтообробних знарядь в системі основного та передпосівного обробітків ґрунту в умовах зони Полісся України зменшує кількість технологічних операцій при підготовці ґрунту до посіву, забезпечує зниження енергетичних (до 40%) та трудових (до 25%) витрат.

2. Встановлено, що застосування ґрунтообробного знаряддя оснащеного ротаційно-лопатевими робочими органами дозволяє зменшити кількість ерозійно-небезпечних агрегатів ґрунту на 28,1% в порівнянні з агрофоном та на 7,0% відносно базового варіанту порівняння (дискова борона БДН-1,8 оснащена стандартними сферичними вирізними дисками); коефіцієнт структурності в порівнянні з базовим варіантом збільшився на 12,9%; абсолютна вологість ґрунту у шарі 0...20 см в порівнянні з базовим варіантом була вищою на 5,6%; щільність обробленого ґрунту знаряддям з пропонованими робочими органами відповідає агровимогам і становить $1,20 \text{ г/см}^3$, що на 6,2% менше ніж для базового варіанту і на 37,0% менше у порівнянні з агрофоном; величина опору зминання ґрунту (твердість) становить $49,8 \text{ кН/м}^2$, що менше на 15,7% у порівнянні з базовим обробітком та на 43,0% менше у порівнянні з фоном.

3. Показник заробки добрив та рослинних решток, в порівнянні з базовим варіантом, збільшився в 1,14 разів і становить 82%. Показник розподілення рослинних решток становить 76%, що на 15% більше ніж для базового варіанту. Максимальна гребнистість мікрорельєфу профілю обробленої поверхні поля за обробітку знаряддям, що оснащене пропонованими ґрунтообробними робочими органами, не перевищує 5,6 см.

4. Основні конструкційні параметри робочої поверхні ножа-лопати робочого органу становлять: геометрична форма – прямий коноїд (гіперболічний параболоїд); висота (відповідає максимальній глибині обробітку і вимірюється за хордою передньої різальної кромки) $h=0,2 \text{ м}$; довжина полиці ножа лопаті $c=0,175 \text{ м}$; кут закручування твірної $\gamma_0=24^\circ$; радіус передньої

різальної кромки $r_{rk}=0,165$ м; радіус нижньої кромки $r_{nk}=0,346$ м; форма задньої кромки описана частиною еліпсу з радіусами кривизни $a_e=0,1$ м та $b_e=0,06$ м. Кількість ножів-лопатей ротора $n=6$.

5. Діапазон варіювання оптимальних значень кута атаки батареї пропонованих ротаційних робочих органів визначено в межах $\beta=20^\circ\dots24^\circ$ (при цьому для дерново-підзолистих супіщаних ґрунтів $\beta_{opt}=20^\circ$); відстань між робочими органами в батареї $l=0,18\dots0,218$ м. Зона оптимальних значень швидкості руху машинно-тракторного агрегату варіює $v_n=3\dots10$ км/год

6. Пропонована методика імітаційного моделювання динаміки взаємодії робочих органів з реологічними моделями ґрунту та відповідне експериментальне обладнання можуть бути використаними для дослідження широкого спектру ґрунтообробних ротаційних робочих органів.

7. Розроблена методика моделювання процесу роботи ротаційно-лопатевого робочого органу, що реалізована у вигляді пакету прикладних машинних програм для комплексного аналізу робочого процесу батареї ротаційно-лопатевого ґрунтообробних органів, дозволяє дослідити вплив конструкційно-технологічних параметрів та параметрів установки широкого спектру ротаційних робочих органів на основні агротехнологічні показники обробітку ґрунту (висоту гребенів дна борозни, суцільність обробітку, оборот оброблюваної скиби ґрунту).

8. Встановлено, що тяговий опір ротаційно-лопатевого робочого органу (при оптимальному значенні кута атаки $\beta=20^\circ$ та номінальній глибині обробітку $h=0,12$ м) становить $P=301,4$ Н, що на 15,7% менше в порівнянні з стандартним вирізним диском.

9. Розрахунковий річний економічний ефект від застосування машинно-тракторного агрегату в складі ПМЗ-6АЛ+БДН-1,8РЛ-1 (в порівнянні з агрегатом у складі трактора ПМЗ-6АЛ та борони БДН-1,8, що оснащена стандартними вирізними дисками) становить $E=1774$ грн/агрегат.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. ГОСТ 20915-75. Сельскохозяйственная техника. Методы определения условий испытаний. – М.: Госкомсельхозтехника СССР. 1975. – 34с.
2. ГОСТ 23728-88. Техника сельскохозяйственная. Методы экономической оценки. – М.: Изд-во стандартов. 1988. – 24 с.
3. ГОСТ 24056-88. Техника сельскохозяйственная. Методы эксплуатационно-технологической оценки. – М.: Изд-во стандартов. 1988. – 45с.
4. ОСТ 102.1-80. Испытания сельскохозяйственной техники. Техническая экспертиза. – М.: Изд-во стандартов, 1982. – 101с.
5. ОСТ 23.2.147-85. Детали сельскохозяйственных машин. Диски. Общие технические условия. – М.: Изд-во стандартов, 1985.
6. ОСТ 70.2.18-73. – ОСТ 70.2.20-73. Испытания сельскохозяйственной техники. Методы экономической оценки. – М.: Изд-во стандартов, 1974.
7. ОСТ 70.4.2-80. Испытания сельскохозяйственной техники. Машины и орудия для поверхностной обработки почвы. Программа и методы испытаний. М.: Госкомсельхозтехника СССР. 1981. – 153с.
8. ТУ 23.2.800-75, ТУ 23.2.599-83, ТУ 23.2.799-85, Бороны дисковые технические условия
9. А. с. 1358798 СССР. Дисковый рабочий орган / Л.Э. Попов, О.С. Марченко, В.В. Бычков и др. – 2 с. ил.
10. А. с. 1463143 СССР. Ротационный диск / И.Ф.Буханов, К.С.Козюра, П.Е.Орлов и др. – 2с. ил.
11. А. с. 1496651 СССР. Почвообрабатывающее орудие / Л.Э. Попов, О.С. Марченко, В.В. Бычков и др. – 2 с. ил.
12. А. с. 1535395 СССР. Ротационное почвообрабатывающее орудие / А.Н.Коперин. – 2с. ил.

13. А. с. 1568905 СССР. Рабочий орган ротационного почвообрабатывающего орудия / А.И.Воронин, В.С.Стягов. – 3с. ил.
14. А.с. 897130 СССР Рабочий орган ротационного культиватора / В.Я.Шатин, А.С.Буряков, Р.Б.Иорданский и др. – 4с.ил.
15. А.с. 929023 СССР. Почвообрабатывающее орудие / Н.К.Мазитов, В.П.Петров, А.Н.Сердечный – 3с. ил.
16. Агрэкологія /Под ред. В.А. Черникова. – М.:Колос, 2000, 536 с.
17. Бабков В.Ф., Безрук В.М. Основы грунтоведения и механики грунтов. – М.: Высшая школа, 1986. – 240с.
18. Бать М.И., Джанелидзе Г.Ю., Кельзон А.С. Теоретическая механика в примерах и задачах: в 3-х т. Статика и кинематика - Т. I. – М.: Наука, 1990. – 672с.
19. Бать М.И., Джанелидзе Г.Ю., Кельзон А.С. Теоретическая механика в примерах и задачах: в 3-х т. Динамика – Т. II. – М.: Наука, 1991. – 640с.
20. Безручко И.Н., Мильчевская Л.Я., Москаленко В.Н., и др. Справочник по почвозащитному земледелию. – К.: Урожай, 1990. – 280с.
21. Безуглов В.Г., Гафуров Р.М. Минимальная обработка почвы // Земледелие 2002. - №4. - С.21-22.
22. Берзин А.М., Шпедт А.А. Зеленое удобрение в Красноярском крае // Земледелие. – 2001. - №2. – С.13
23. Білявський Ю.А. Агроеологічна ефективність добрив та способів основного обробітку сірих опідзолених ґрунтів в умовах Полісся. Автореф.дис.канд.наук – К.:2002
24. Блэк К.А. Растение и почва. М.: Колос. 1973. – 250 с.
25. Бронштейн И.Н., Семендяев К.А. Справочник по математике для инженеров и учащихся втузов. – 13-е изд., испр. – М.: Наука, 1986. – 544с.
26. Бубенников А.В. Начертательная геометрия: Учебник для втузов. –

- М.:Высш.шк., 1985. – 288с.
27. Булгаков В.М., Цурпал І.А., Шелудченко Б.А. Факторно технологічна модель динаміки ґрунтових структур та її аналіз // Наук. вісник НАУ. – 1998. - №3. – с. 139-143.
 28. Булгаков В.М., Шелудченко Б.А. Самоорганізація ґрунтових структур. – Київ: Видавництво НАУ, 1998. – 58с.
 29. Булгаков В.М., Шубенко В.О., Обґрунтування міцності конструкцій ротаційного кільцевого робочого органу // Збірник наукових праць Національного аграрного університету “Механізація сільськогосподарського виробництва”. Том V. “Сучасні проблеми механізації сільського господарства”. – К.:НАУ, 1999. – с.356-359
 30. Вадюнина А.Ф., Корчагина З.А. Методы исследования физических свойств почв. – М.: Агропромиздат, 1986. – 416с.
 31. Вентцель Е.С. Теория вероятностей. – М.:Гос.изд.физ.-мат.лит., 1962. – 563с.
 32. Відтворення гумусу в агроекосистемах Полісся / В.П.Стрельченко, А.М.Бовсуновський, О.П.Стецюк // Вісник аграрної науки. – 2000. - №7. – С.9-11
 33. Відтворення родючості ґрунтів у ґрунтозахисному землеробстві. Наукова монографія /Національний аграрний університет. Під редакцією Н.К.Шикули. Київ, ПФ “Оранта”, 1998 – 680с.
 34. Войтюк Д.Г., Гаврилюк Г.Р. Сільськогосподарські машини. – К.:Урожай, 1994. – 448с.
 35. Волобуев В.Р. Введение в энергетику почвообразования. – М.: Наука, 1974. – 128 с.
 36. Гаврилов А.М., Чамурлиев О.Г., Невежин Д.В. Эффективность пожнивного выращивания многокомпонентных смесей культур при орошении // Земледелие. – 2001. - №1. – С.5-6
 37. Гольдштейн М.Н., Механические свойства ґрунтов. – М.: Издательство литературы по строительству, 1971. – 368с.

38. Горячкин В.П. Собрание сочинений.: в 3 т. М.: Колос, 1968.
39. Гуков Я.С. Обробіток ґрунту: технологія і техніка. – К.:Нора-принт,1999. – 279с.
40. Гуков Я.С. Обґрунтування деяких параметрів розпушувачів ґрунту // Механізація та електрифікація сільського господарства. – К.2000. – Вип.83. С.84-88
41. Гуков Я.С. Обґрунтування кута різання робочих органів культиваторів-розпушувачів // Вісник аграрної науки. – 1998. - №11. – С.54-57
42. Гуков Я.С. Підвищення ефективності використання ґрунтообробної техніки // Вісник аграрної науки. – 1998. - №6 С.55-59
43. Дарков А.В., Шпиро Г.С. Сопротивление материалов. – М.: Высш.шк., 1989. – 624с.
44. Діденко М.К. Експлуатація машинно-тракторного парку. – К:Вища школа, 1983. – 441с.
45. Дубровін В.О., Гуков Я.С., Єсепчук М.І. Напрямки розвитку механізації рослинництва // Вісник аграрної науки. – 2000. - №1 С.58-62
46. Енергетична оцінка агроєкосистем: навчальний посібник / О.Ф.Смаглій, А.С.Малиновський, А.Т.Кардашов, І.В.Шудренко, М.Ф.Рибак; За ред. О.Ф. Смаглія . Ж.:ДАУ, 2002, 160с.
47. Забродський П.М. Обґрунтування процесу роботи і параметрів дискових робочих органів ґрунтообробних знарядь Дис. ... канд. техн. наук:05.20.01. – Житомир, 1997. – 199с.
48. Зеленин А.Н. Основы разрушения грунтов механическими способами. – М.: Машиностроение, 1968. – 375с.
49. Земледелие. Под ред. С.А. Воробьева. – М.: Агропомиздат, 1991. – 527с.
50. Землеробство: Підручник / М.С.Кравченко, Ю.А.Злобін, О.М.Царенко; За ред. М.С.Кравченка. – К.:Либідь, 2002, 496с.

51. Иосилевич Г.Б. Прикладная механика. – М.: Машиностроение, 1985. – 567с.
52. Інженерна та комп'ютерна графіка: Підручник /В.Є.Михайленко, В.М.Найдиш, А.М.Підкоритов, І.А.Скидан; За ред. В.Є.Михайленка. – К.:Вища шк., 2000. – 342с.
53. Канарев Ф.М. Ротационные почвообрабатывающие машины и орудия. – М.: Машиностроение, 1983. – 142с.
54. Картамышев Н.И., Тарасов А.А. Оптимизация физических свойств почвы // Земледелие. – 1993. - №7. – С.13
55. Кленин Н.И., Сакур В.А. Сельскохозяйственные и мелиоративные машины. – М.: Колос, 1980. – 671с.
56. Козлов И.А., Баженов В.Г., Матвеев В.В., Лещенко В.М. Исследование прочности деталей машин при помощи тензодатчиков сопротивления. – К.:Техника, 1967. – 203с.
57. Корабельский В.И., Кравчук В.И, Павлоцкая В.А. Техническое обоснование и использование в экологической почвообработке поверхностей знакопеременного воздействия // Техника АПК. – 2001. - №7-9. – С.24-26
58. Корабельський В.І., Іванов О.М., Павлоцька В.А. Моделювання і проектування технологічного процесу ґрунтообробної скоби // Труды Таврической государственной агротехнической академии. Вып.4, том 2, - Мелитополь, - 1998. – С.96-99
59. Котков В.І. Обґрунтування процесу роботи та параметрів робочого органу для обробітку ґрунту в міжряддях хмільників: Дис. ... канд. техн. наук:05.20.01. – Житомир, 1998. – 168с.
60. Кравчук М.М. Особливості накопичення рослинних решток в орному шарі ґрунтів Полісся // Засади сталого розвитку аграрної галузі: матеріали конференції. К.:2002. – С.8...9
61. Кривицкий Г.Н. Обоснование путей совершенствования плужных канавокопателей // Вопросы сельскохозяйственной механики / т.19. –

- Минск: Урожай, 1970. – С.114-150
62. Крикунов В.Г. Грунти і їх родючість: Підручник. – К.:Вища школа., 1993. – 287с.
63. Кулен А., Куиперс Х. Современная земледельческая механика. Пер. – с англ. А.Э. Габриэляна. Под ред. Ю.А. Смирнова. – М.: Агропромиздат, 1986. – 249с.
64. Кухарець С.М. Проблеми відповідальності: надія чи технокатастрофа // “Людина і космос – 99” Зб. наук. пр. – К.МАУП,1999. – С.78...80
65. Кухарець С.М., Шелудченко Б.А., Забродський П.М. Кінематична модель ротаційного ґрунтообробного знаряддя // Вісник Державної агроекологічної академії України. – Ж.:ДАУ,2002. – №1. – С.133-137.
66. Кушнарєв А.С. Механика почв: Задачи и состояние работ // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 1987. - №3. – С.9-13
67. Кушнарєв А.С., Кочев В.И. Механико-технологические основы обработки почвы. – К.: Урожай, 1989. – 144с.
68. Липець Е., Медведєв В.В., Линдіна Т.Є. Вплив щільності ґрунту на засвоєння сільськогосподарськими культурами поживних елементів // Вісник аграрної науки. – 2002. - №5. – С.11-14
69. Листопад Г.Е., Демидов Г.К., Зонов Б.Д., и др. Сельскохозяйственные и мелиоративные машины. / Под общ. ред. Листопада Г.Е. -М.: Агропромиздат, 1986. - 688с
70. Лінник М.К., Гуков Я.С. Проблеми енергозбереження за механізованого обробітку ґрунту // Вісник аграрної науки. – 2000. - №1 С.47-49
71. Лісовий М.П. Методологія та основи концепції захисту рослин в Україні // Вісник аграрної науки. – 2002. - №9. – С.27-29
72. Львовский Е.Н. Статистические методы построения эмпирических

- формул. – М.:Висшая школа, 1982. – 224с.
73. Мазитов Н.К. Машины почвоводоохранного земледелия. – М.: Россельхозиздат, 1987. – 96с.
74. Мазур Г.А. Екологічні проблеми розширеного відтворення родючості дерново-підзолистих ґрунтів Полісся // Матеріали конференції “Екологія Полісся: проблеми, сучасність, майбутнє”. – Харків – Луцьк, 1993. – Ч.1. – С.16-22
75. Мацепуро В.М. Исследование сопротивлений почв и ґрунтов методами теории подобия // Вопросы земледельческой механики / т.19. – Минск:Урожай, 1970. – с.3-52.
76. Машиновикористання в землеробстві /Під. ред. В.Ю.Ільченко. – К.:Урожай, 1991. – 382с.
77. Медведев В.В. Оптимизация агрофизических свойств черноземов. – М.: Агропромиздат. 1988. – 160с
78. Медведев В.В., Линдіна Т.Є. Наукові передумови мінімізації основного обробітку ґрунту і перспективи його розвитку в Україні // Вісник аграрної науки. – 2001. - №7 С.5-8
79. Минеев В.Г. Агрохимия: Учебник. – М.:Изд-во МГУ, 1990. – 486с.
80. Модельні дослідження макетів ротаційних робочих органів ґрунтообробних знарядь /С.М.Кухарець, Б.А.Шелудченко, В.О.Шубенко та ін. //“Механізація сільськогосподарського виробництва”: Зб. наук. пр. Нац. аграр. ун-ту. – К.:НАУ,2000. – №8. – С.199-202.
81. Моргун Ф.Т., Шикула Н.К., Тарарико А.Г. Почвозащитное земледелие. – Київ: Урожай, 1983. – 240с.
82. Мытков А.Л., Кардашевский С.В. Статистические методы в сельхозмашиностроении. – М.:Машиностроение, 1978. – 360с.
83. Надійність роботи ґрунтообробного знаряддя з “кільцевими” ротаційними робочими органами за наявності у них технологічних тріщин /Б.А. Шелудченко, В.О. Шубенко , С..М. Кухарець та ін. //

Вісник Державної агроекологічної академії України. – Ж.:ДААУ,1999. – №1-2. – С.124-129.

84. Никифоров С.Н. Теория упругости и пластичности. – М.: Государственное издательство литературы по строительству и архитектуре, 1955. – 284с.
85. Нормативно-справочный материал для экономической оценки сельскохозяйственной техники. – М.: ЦНИИТЭИ, 1980. – 297с.
86. Обработка почвы при интенсивном возделывании полевых культур. Под ред. А.С. Кушнарера. – М.: Агропромиздат, 1986. – 128с.
87. Оптимизация рабочих процессов и параметров строительных и мелиоративных машин: Учеб. пособие / Э.А.Сухарев, С.Ф.Медвидь. – К.:УМК ВО, 1992. – 92с.
88. Органическое вещество почв и методы его исследований. Сб.науч.тр. /Гл. ред. В.Н.Ефимов. – Л.:ЛСХИ, 1990. – 123с.
89. Павлов А.В., Корабельский В.И., Павлоцкий А.С. Геометрическое обоснование формы поверхности, совмещающей рациональное резание пласта почвы с его деформацией. // Сб. прикл. и инж. граф. Вып. 19. – Киев. – Будівельник, - 1975. – С.124-127
90. Павлова А.А. Начертательная геометрия: Учебник. – М.:ВЛАДОС, 1999. – 304с.
91. Патент України 35997А, МКВ А01В21/04. Грунтообробний ротаційний робочий орган /Б.А.Шелудченко, А.С.Малиновський, С.М.Кухарець та ін. – 2с.іл.
92. Пейсахович Ю.А. Движение почвенного пласта по поверхностям рабочих органов произвольной формы // Механизация и электрификация – 2001. №2 с.23,24.
93. Писаренко Г.С., Квітка О.Л., Уманський Е.С. Опір матеріалів / за ред. Г.С.Писаренка. – К.:Вища школа, 1993. – 665.
94. Потемкин В.О. Система компьютерного проектирования «Компас». СПб.: Аскон, 2001 450с.

95. Почвы Украины и повышение их плодородия. Продуктивность почв пути ее повышения, мелиорация, защита почв от эрозии и управление плодородием. Под ред. Б.С. Носко, В.В. Медведева, Р.С. Трускавецкого, Г.Я. Чесняка. – К.: Урожай, 1988. – 176с. – Т. II.
96. Почвы Украины и повышение их плодородия. Экология режимы и процессы, классификация и генетико-производственные аспекты. Под ред. Н.И. Полупана. – К.: Урожай, 1988. – 296с. – Т. I.
97. Прямоточная технология внесения соломы на удобрение // Земледелие. – 2002. - №1. – С.16-17
98. Реклейтис Г., Рейвиндран А., Регсдел К. Оптимизация в технике: В 2-х кн. Кн.1.Пер.с англ. – М.:Мир,1986. – 349с.
99. Реклейтис Г., Рейвиндран А., Регсдел К. Оптимизация в технике: В 2-х кн. Кн.2.Пер.с англ. – М.:Мир,1986. – 320с.
100. Рывкин А.А., Рывкин А.З., Хренов Л.С. Справочник по математике. – М.: Высшая школа, 1987. – 480с.
101. Синеоков Г.Н., Панов И.М. Теория и расчет почвообрабатывающих машин. М., «Машиностроение», 1977 – 328с.
102. Сковородин В.Я., Тишкин Л.В. Справочная книга по надежности сельскохозяйственной техники. – Л.: Лениздат, 1985. – 204с.
103. Скороходов Е.А., Законников В.П., Пакнис А.Б. и др. Общетехнический справочник. – М.: Машиностроение, 1990. – 469с.
104. Солодун В.И., Архипкин В.М. Оптимизация систем земледелия Прибайкалья // Земледелие. – 2002. - №5. – С.20-21
105. Стрельбицкий В.Ф. Дисковые почвообрабатывающие машины. – М.: Машиностроение, 1978. – 135с.
106. Тарарико А.Г. Агроэкологические основы почвозащитного земледелия. – К.:Урожай, 1990. – 184с.
107. Тарарико Н.И., Гавриленко В.Н. Эффективность навоза при различных способах заделки в почву в условиях Полесья УССР // Агрехимия. – 1985. - №3. – С.65-70

108. Тензометрия в машиностроении /Р.А. Макаров, А.Б.Ренский, Г.Х.Боркунский, М.И.Этингоф /Под. ред. Р.А.Макарова. – М.:Машиностроение, 1975. – 288с.
109. Типові норми виробітку і витрачання палива на механізовані польові роботи. – К.:Урожай,1991. – 472с.
110. Трузина Л.А., Коровина Л.М. Каким орудием лучше заделывать Трефлан // Земледелие. – 2001. - №1. – С.35
111. Хамова-Малькова Р.И. Методика исследования напряжений поляризованно-оптическим методами. – М.:Наука, 1970. – 115с.
112. Чернилевский М.С. Изучение способов обработки почвы в Полесье Украины // Земледелие. – 1986. - №12. – с. 35.
113. Числові імітаційні моделі в агротехнологічній механіці ґрунтів. За ред. Б.А.Шелудченка. – Житомир: ПМАН, 1996. – 89с.
114. Шелудченко Б.А. Агромеханіка ґрунтів. – Житомир, Полісся, 1992. – 249с.
115. Шелудченко Б.А. Обоснование рабочего процесса и параметров глубокорихлящих рабочих органов объемного типа: Дис. ... канд. техн. наук:05.20.01. – Глеваха, 1990. – 207с.
116. Шелудченко Б.А., Забродський П.М. Використання критеріальних методів в проектуванні агротехнічних ґрунтообробних систем. – Житомир, 1993. – 45с.
117. Шершнев Е.С., Ионенесян С.Л. Почвозащитные технологии в США: масштабы и эффективность // Земледелие. – 1993. - №8. – С.44-45
118. Шикун Н.К. Почвозащитная бесплужная обработка полей. – М.: Знание, 1990. – 64с.
119. Шубенко В.О. Обґрунтування процесу роботи та параметрів кільцевого робочого органу дискової борони: Дис. ... канд. техн. наук:05.05.11. – Житомир, 2002. – 168с.
120. Шубенко В.О., Шелудченко Б.А., Кухарець С.М. Аналіз результатів показників якості обробітку ґрунту порівняльних випробувань

“кільцевих” робочих органів. // Вісник Державної агроекологічної академії України. – Ж.:ДААУ,2000. – №1. – С.281-284.

121. Эксплуатация машинно-тракторного парка. /Ляхов А.П., Новиков А.В., Будько Ю.В. и др. – Минск:Ураджай, 1991. – 336с.
122. Яблонский А.А. Курс теоретической механики. Ч. II. Динамика: Учебник для тех. вузов. – М.:Высш.шк., 1984. – 423 с., ил.
123. David F. Rogers, J. Alan Adams. Mathematical elements for computer graphics. McGraw-Hill Publishing Company. New York, 1990. 604p.
124. Prakash Sh. Soil dynamics. – McGraw-Hill Book Company, 1983. 414p.
125. Simens John C. Tillage practices – yesterday, today and tomorrow. SAE Techn. Pap. Ser. 1986 №860741, 310p.
126. The patent of Japan, international classification A01B33/10, №64-8962, is declared 15.02.1989

ДОДАТКИ

Додаток А.1

Основні типи ґрунтів, що переважають в структурі ґрунтового покриву сільськогосподарських угідь Полісся та Лісостепу України.

Ґрунти	Сільськогосподарські угіддя				Рілля			
	Всього тис. га	Відсоток %			Всього тис. га	Відсоток %		
		від загальної площі	від загальної площі в зоні			від загальної площі	від загальної площі в зоні	
			Полісся	Лісостеп			Полісся	Лісостеп
Дерново-підзолисті	2319,3	11,51	48,0	1,6	1907,9	11,78	59,4	1,5
Світло-сірі і лісові	2081,8	10,33	9,4	10,6	1890,4	11,67	13,2	11,4
Темно-сірі опідзолені і чорноземи опідзолені	1220,1	20,94	4,5	25,4	3849,3	23,77	6,5	27,5
Чорноземи типові	7464,2	37,05	–	47,1	6963,3	43,01	–	52,2
Інші типи чорноземів	593,4	2,94	0,4	3,6	415,1	3,04	0,6	12,6
Дернові та інші типи дернових	953	4,72	18,2	1,1	459,1	2,83	13,8	0,5
Лучні та інші типи лучних	1778,4	8,81	7,0	8,4	448,3	2,76	3,2	2,5
Торф'яно-болотні	559,4	2,77	6,0	1,3	82,7	0,5	1,4	0,2

Додаток А.2

Основні типи знарядь, що застосовуються в системі ґрунтозахисного обробітку польової сівозміни Полісся

Номер поля і культура сівозміни	Обробіток ґрунту					
	Пожнивне рихлення (глибина обробітку)	Напівпаровий обробіток (глибина обробітку)	Основний обробіток (глибина обробітку)	Передпосівний обробіток (глибина обробітку)	Заробка добрив (глибина обробітку)	Сівба
1. Люпин на зелену масу	КПГ-2,2, БИГ-3, БДТ-7, ЛДГ-15 (10-12 _{см})	КПС-4 (8-10 _{см})	КПГ-2,2 (18-20 _{см})	КПС-4 (4-5 _{см})		СЗ-3,6
2. Озиме жито	БДТ-7, ЛДГ-10 (10-12 _{см})	КПС-4 (5-6 _{см})		КПС-4 (5-6 _{см})		СЗП-3,6
3. Картопля	КПГ-2,2, БИГ-3, , БДТ-3, ЛДГ-15 (10-12 _{см})	КПС-4 (5-6 _{см})	КПГ-2,2 (23-25 _{см})	КПС-4 (12-14 _{см})	БДТ-7, БДТ-3, (10-12 _{см})	СКС-4
4. Овес з підсівом багаторічних трав	КПГ-2,2, БИГ-3, БДТ-3, ЛДГ-10 (10-12 _{см})		КПГ-2,2 (18-20 _{см})	КПС-4 (5-6 _{см})		СЗ-3,6
5. Багаторічні трави	підкормка добривами					
6. Озима пшениця	БДТ-7, ЛДГ-15 (8-12 _{см})	КПС-4 (5-6 _{см})		КПС-4 (5-6 _{см})		СЗП-3,6
7. Льон-довгунець	КПГ-2,2, БИГ-3, БДТ-7, ЛДГ-10 (10-12 _{см})	КПС-4 (5-6 _{см})	КПГ-2,2 (18-20 _{см})	КПС-4 + ЗККШ- 6 (5-7 _{см})		СЗЛ-3,6
8. Кукурудза на силос	КПГ-2,2, БИГ-3, БДТ-7, ЛДГ-10 (10-12 _{см})		КПГ-2,2 (23-25 _{см})	КПС-4 (6-8 _{см})	БДТ-7, БДТ-3 (10-12 _{см})	СКНК-8
9. Озиме жито	БДТ-7, ЛДГ-10, БДТ-3 (10-12 _{см})			КПС-4 (5-7 _{см})	БДТ-7, БДТ-3 (10-12 _{см})	СЗП-3,6

Додаток Б.1

Машинна програма графічного сканування об'єктів.

```

unit mainwin;
interface

uses
  Windows, Messages, SysUtils, Classes, Graphics, Controls, Forms, Dialogs,
  ExtCtrls, ToolWin, ComCtrls, Menus, ExtDlgs, StdCtrls, TeEngine, Series,
  TeeProcs, Chart;

type
  TMainWindow = class(TForm)
  CoolBar: TCoolBar;
  ToolBar: TToolBar;
  OpenBtn: TToolButton;
  ImageList1: TImageList;
  ImageList2: TImageList;
  SetupBtn: TToolButton;
  ToolButton3: TToolButton;
  ExitBtn: TToolButton;
  MainMenu1: TMainMenu;
  N1: TMenuItem;
  N2: TMenuItem;
  N3: TMenuItem;
  N4: TMenuItem;
  StatusBar: TStatusBar;
  SourceImage: TImage;
  OpenPictureDialog: TOpenPictureDialog;
  PieChart: TChart;
  PersentSerie: TPieSeries;
  ToolBar2: TToolBar;
  PieBtn: TToolButton;
  LineBtn: TToolButton;
  BarBtn: TToolButton;
  TextBtn: TToolButton;
  ToolButton6: TToolButton;
  ReturnBtn: TToolButton;
  BarChart: TChart;
  BarSerie: THorizBarSeries;
  GraphChart: TChart;
  LineSerie: TLineSeries;
  ResultTxt: TMemo;
  procedure OpenBtnClick(Sender: TObject);
  procedure ExitBtnClick(Sender: TObject);
  procedure FormShow(Sender: TObject);
  procedure SourceImageMouseDown(Sender: TObject; Button: TMouseButton;
  Shift: TShiftState; X, Y: Integer);
  procedure SourceImageMouseMove(Sender: TObject; Shift: TShiftState; X,
  Y: Integer);
  procedure SourceImageMouseUp(Sender: TObject; Button: TMouseButton;
  Shift: TShiftState; X, Y: Integer);
  procedure SetupBtnClick(Sender: TObject);
  procedure FormCreate(Sender: TObject);
  procedure FormDestroy(Sender: TObject);
  procedure ToolButton6Click(Sender: TObject);
  procedure ReturnBtnClick(Sender: TObject);
  procedure PieBtnClick(Sender: TObject);
  procedure BarBtnClick(Sender: TObject);
  procedure LineBtnClick(Sender: TObject);
  procedure TextBtnClick(Sender: TObject);
  private

```

Продовження додатку Б.1

```

RadioBtns:TList;
CurrentChart:TControl;
StartPoint,EndPoint:TPoint;
Selecting:boolean;
SelectionColor:TColor;
Width,Height:Integer;
TargetSquare:Cardinal;
procedure Redraw;
procedure DrawPie;
procedure StartAnalyze;
function GetPixelValue(X,Y:Integer):TColor;
public
GroupedSearch:boolean;
end;
var
MainWindow: TMainWindow;
implementation
uses OptWnd, StrAnalyze, datamd1, Globals, Inifiles;
{$R *.DFM}
procedure TMainWindow.OpenBtnClick(Sender: TObject);
begin
if OpenPictureDialog.Execute then begin
with SourceImage do begin
Enabled:=True;
Picture.LoadFromFile(OpenPictureDialog.FileName);
Visible:=True;
if not GroupedSearch and
(Picture.Bitmap.PixelFormat<>pf1bit) and
(Picture.Bitmap.PixelFormat<>pf4bit) then
begin
Application.MessageBox('Ваше зображення має палитру більшу ніж 16 кольорів. Треба вказати діапазони
кольорів.',
'Помилка',MB_OK);
Visible:=False;
Picture.Bitmap.ReleaseHandle;
Enabled:=False;
end else
Caption:='Image Color Analizator '+OpenPictureDialog.FileName;
if GroupedSearch then Picture.Bitmap.PixelFormat:=pf24bit;
end;
Refresh;
end;
end;
procedure TMainWindow.ExitBtnClick(Sender: TObject);
begin
Close;
end;
procedure TMainWindow.FormShow(Sender: TObject);
begin
StatusBar.Panels[0].Text:='Готов';
StatusBar.Panels[3].Text:='0';
StatusBar.Panels[4].Text:='0';
SelectionColor:=clRed;
end;
procedure TMainWindow.SourceImageMouseDown(Sender: TObject;
Button: TMouseButton; Shift: TShiftState; X, Y: Integer);
begin
if Button=mbLeft then
begin
Selecting:=true;
StartPoint.X:=X;

```

Продовження додатку Б.1

```

EndPoint.Y:=Y;
Redraw;
end;
end;
procedure TMainWindow.Redraw;
begin
Refresh;
with Canvas do
begin
Brush.Style:=bsClear;
Pen.Color:=SelectionColor;
with SourceImage do
Rectangle(StartPoint.X-1+BoundsRect.Left,
StartPoint.Y-1+BoundsRect.Top,
EndPoint.X+1+BoundsRect.Left,
EndPoint.Y+1+BoundsRect.Top);
end;
end;
procedure TMainWindow.SourceImageMouseMove(Sender: TObject;
Shift: TShiftState; X, Y: Integer);
var S:String;
begin
if Selecting then
begin
EndPoint.X:=X;
EndPoint.Y:=Y;
Redraw;
Str(Abs(StartPoint.X-EndPoint.X),S);
StatusBar.Panels[3].Text:=S;
Str(Abs(StartPoint.Y-EndPoint.Y),S);
StatusBar.Panels[4].Text:=S;
end;
Str(X,S);
StatusBar.Panels[1].Text:=S;
Str(Y,S);
StatusBar.Panels[2].Text:=S;
end;
procedure TMainWindow.SourceImageMouseUp(Sender: TObject;
Button: TMouseButton; Shift: TShiftState; X, Y: Integer);
begin
if Button=mbLeft then
begin
Selecting:=False;
EndPoint.X:=X;
EndPoint.Y:=Y;
Redraw;
StartAnalyze;
end;
end;
procedure TMainWindow.SetupBtnClick(Sender: TObject);
begin
Application.CreateForm(TOptionsWindow,OptionsWindow);
OptionsWindow.ShowModal;
GroupedSearch:=OptionsWindow.GroupSearch.Checked;
OptionsWindow.Destroy;
end;
procedure TMainWindow.StartAnalyze;
var Test,x,y,i:Integer;
CName:String;
AColor:TColor;

```


Продовження додатку Б.1

```

P:^TColorGroup;
m:boolean;
Temp:TColor;
begin
Cursor:=crHourGlass;
StatusBar.Panels[0].Text:='Аналіз';
Application.CreateForm(TAnalyzeForm,AnalyzeForm);
AnalyzeForm.Show;
Width:=Abs(StartPoint.X-EndPoint.X);
Height:=Abs(StartPoint.Y-EndPoint.Y);
TargetSquare:=Height*Width;
if StartPoint.X>EndPoint.X then
begin
Temp:=EndPoint.X;
EndPoint.X:=StartPoint.X;
StartPoint.X:=Temp;
end;
if StartPoint.Y>EndPoint.Y then
begin
Temp:=EndPoint.Y;
EndPoint.Y:=StartPoint.y;
StartPoint.Y:=Temp;
end;
AnalyzeForm.Gauge.MaxValue:=TargetSquare;
with DBDataModule.DataTable do
begin
if RecordCount>0 then EmptyTable;
if GroupedSearch then
for Temp:=0 to ColorGroupList.Count-1 do
begin
Append;
FieldValues['NAME']:=TColorGroup(ColorGroupList.List[Temp]^).Name;
FieldValues['STRTC']:=TColorGroup(ColorGroupList.List[Temp]^).StartColor;
FieldValues['ENDCL']:=TColorGroup(ColorGroupList.List[Temp]^).EndColor;
FieldValues['COUNT']:=0;
FieldValues['COLOR']:=TColorGroup(ColorGroupList.List[Temp]^).EndColor-1;
Post;
end;
end;
try
for y:=0 to Height do
for x:=0 to Width do begin
Temp:=GetPixelValue(StartPoint.X+X,StartPoint.Y+Y);
Test := Temp shr 24;
if Test = $0F then continue;
if (not GroupedSearch) and
((SourceImage.Picture.Bitmap.PixelFormat=pf1bit) or
(SourceImage.Picture.Bitmap.PixelFormat=pf4bit)) then begin
with DBDataModule.DataTable do begin
with SourceImage.Picture.Bitmap do begin
if PixelFormat=pf1bit then
case Temp of
0:begin AColor:=clBlack;CName:='Чорний';end;
1:begin AColor:=clWhite;CName:='Б лий'; end;
end else
case Temp of
0:begin AColor:=clBlack;CName:='Чорний'; end;
1:begin AColor:=clNavy; CName:='Син й'; end;
2:begin AColor:=clGreen;CName:='Зелений';end;
3:begin AColor:=clTeal; CName:='Блакитний';end;
4:begin AColor:=clRed; CName:='Червоний' ;end;

```

Продовження додатку Б.1

```

6:begin AColor:=clMaroon;CName:='Коричньовий'; end;
7:begin AColor:=clSilver;CName:='Св тло-с рий';end;
8:begin AColor:=clDkGray;CName:='Темно-с рий'; end;
9:begin AColor:=clBlue; CName:='Св тло-син й';end;
10:begin AColor:=clLime; CName:='Салатовий';end;
11:begin AColor:=clAqua; CName:='Яскраво-блакитний';end;
12:begin AColor:=clOlive; CName:='Яскраво-червоний';end;
13:begin AColor:=clPurple;CName:='Ф олетовий';end;
14:begin AColor:=clYellow;CName:='Жовтий';end;
15:begin AColor:=clWhite; CName:='Б лий';end;
end;
end;
SetKey;
FieldName('NAME').AsString:=CName;
if not GotoKey then begin
Append;
FieldValues['NAME'] := CName;
FieldValueq['COLOR']:= AColor;
FieldValues['COUNT']:= 1;
Post;
end else begin
Edit;
FieldValues['COUNT']:=FieldValues['COUNT']+1;
Post;
end;
end;
end else begin
for i:=0 to ColorGroupList.Count-1 do
if (Temp>=TColorGroup(ColorGroupList.List[i]^).StartColor) and
(Temp<=TColorGroup(ColorGroupList.List[i]^).EndColor) then
with DBDataModule.DataTable do begin
SetKey;
FieldName('NAME').AsString:=TColorGroup(ColorGroupList.List[i]^).Name;
m:=GotoKey;
Edit;
FieldValues['COUNT']:=FieldValues['COUNT']+1;
Post;
end;
end;
with AnalyzeForm.Gauge do Progress:=Progress+1;
end;
finally
DBDataModule.DataTable.CommitUpdates;
end;
AnalyzeForm.Destroy;
StatusBar.Panels[0].Text:='Готов';
Cursor:=crDefault;
end;
procedure TMainWindow.FormCreate(Sender: TObject);
var INI:TINIFile;
begin
ColorGroupList:=TList.Create;
RadioBtns:=TList.Create;
INI:=TINIFile.Create('ICA.INI');
GroupedSearch:=INI.ReadBool('options','GroupedSearch',False);
INI.Free;
with RadioBtns do begin
Add(PieBtn);
Add(LineBtn);
Add(BarBtn);
Add(TextBtn);

```

Продовження додатку Б.1

```

end;
function TMainWindow.GetPixelValue(X,Y:integer):TColor;
var ScanLine:PByteArray;
XByteIdx,Temp:Integer;
XBitIdx:Byte;
Reslt:Integer;
begin
with SourceImage do
if (x>Left+Width) or (y>Top+Height) then
begin
GetPixelValue:=$0F000000;
Exit;
end;
ScanLine:=SourceImage.Picture.Bitmap.ScanLine[Y];
Reslt:=0;
case SourceImage.Picture.Bitmap.PixelFormat of
pf1bit :begin
XByteIdx:= x div 8;
XBitIdx := x mod 8;
Temp:=ScanLine[XByteIdx];
Temp:=(Temp shr XBitIdx) and 1;
if Temp=1 then Reslt:=clWhite
else Reslt:=clBlack;
end;
pf4bit :begin
XByteIdx := x div 2;
if (x mod 2)= 0 then XBitIdx:=0
else XBitIdx:=4;
Temp:=ScanLine[XByteIdx];
Temp:=(Temp shr XBitIdx) and 15;
Reslt:=Temp;
end;
pf24bit:begin
XByteIdx := x * 3;
Temp:=0;
Temp:=Temp or ScanLine[XByteIdx];
Temp:=Temp shl 16;
Reslt:=Temp;
Temp:=0;
Temp:=(Temp or ScanLine[XByteIdx+1] shl 8) and $FF00;
Reslt:=Reslt or Temp;
reslt:=Reslt or ScanLine[XByteIdx+2];
end;
else Reslt:=0;
end;
GetPixelValue:=Reslt;
end;
procedure TMainWindow.FormDestroy(Sender: TObject);
var INI:TINIFile;
begin
INI:=TINIFile.Create('ICA.INI');
INI.WriteBool('options','GroupedSearch',GroupedSearch);
INI.Free;
end;
procedure TMainWindow.ToolButton6Click(Sender: TObject);
begin
CoolBar.Bands[0].Visible:=False;
CoolBar.Bands[1].Visible:=True;
SourceImage.Visible:=False;
CurrentChart:=PieChart;

```

Продовження додатку Б.1

```

end;
procedure TMainWindow.DrawPie;
var i:byte;
AColor:TColor;
begin
for i:=0 to 3 do
TToolButton(RadioBtns.List[i]).Down:=False;
PieBtn.Down:=True;
CurrentChart.Visible:=False;
CurrentChart:=PieChart;
CurrentChart.Visible:=True;
CurrentChart.Align:=alClient;
TChart(CurrentChart).Series[0].Clear;
with DBDataModule.DataTable do begin
First;
for i:=1 to RecordCount do begin
AColor:=FieldValues['COLOR'];
PersentSerie.AddPie(FieldValues['COUNT'],FieldValues['NAME'],AColor);
Next;
end;
end;
end;
procedure TMainWindow.ReturnBtnClick(Sender: TObject);
begin
CoolBar.Bands[1].Visible:=False;
CoolBar.Bands[0].Visible:=True;
CurrentChart.Visible:=False;
SourceImage.Visible:=True;
end;
procedure TMainWindow.PieBtnClick(Sender: TObject);
begin
DrawPie;
end;
procedure TMainWindow.BarBtnClick(Sender: TObject);
var i:integer;
AColor:TColor;
begin
for i:=0 to 3 do
TToolButton(RadioBtns.List[i]).Down:=False;
BarBtn.Down:=True;
CurrentChart.Visible:=False;
CurrentChart:=BarChart;
CurrentChart.Visible:=True;
CurrentChart.Align:=alClient;
TChart(CurrentChart).Series[0].Clear;
with DBDataModule.DataTable do begin
First;
for i:=1 to RecordCount do begin
AColor:=FieldValues['COLOR'];
BarSerie.AddBar(FieldValues['COUNT'],FieldValues['NAME'],AColor);
Next;
end;
end;
end;
end;
procedure TMainWindow.LineBtnClick(Sender: TObject);
var i:byte;
AColor:TColor;
begin
for i:=0 to 3 do
TToolButton(RadioBtns.List[i]).Down:=False;
LineBtn.Down:=True;

```


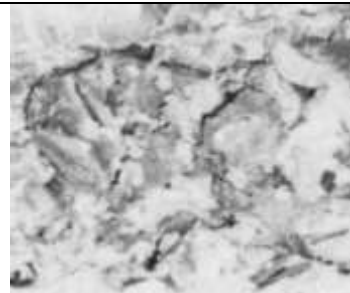
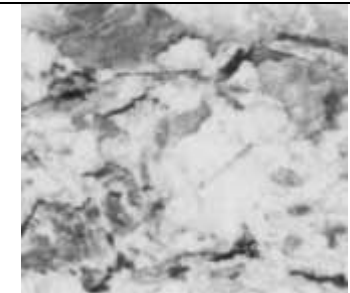


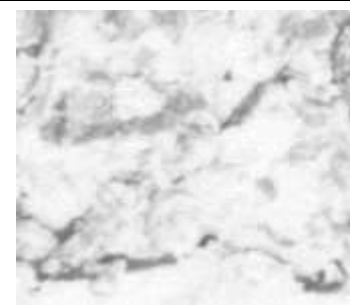
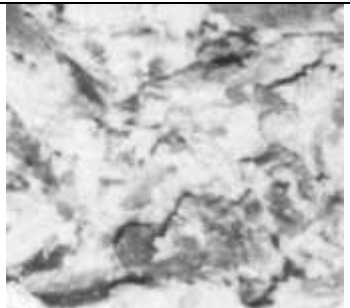
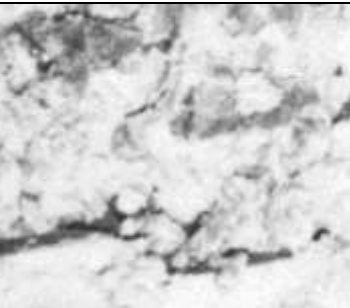
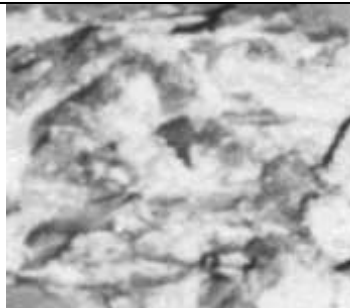
Продовження додатку Б.1

```

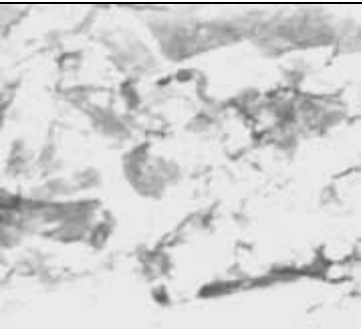
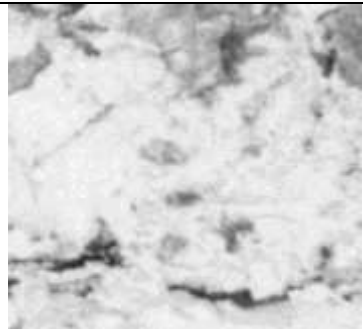
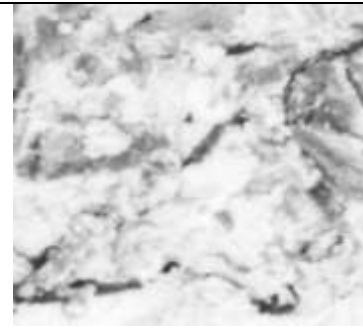

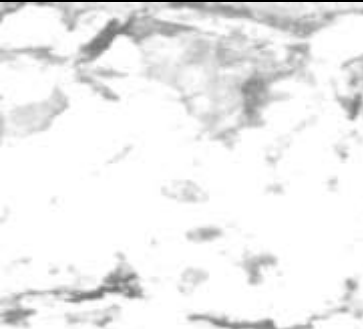
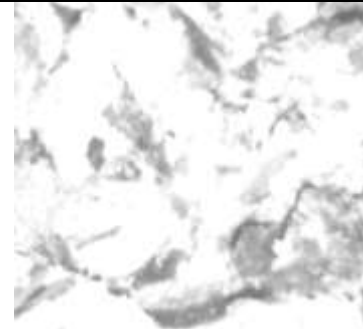
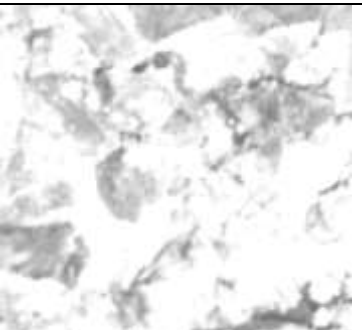
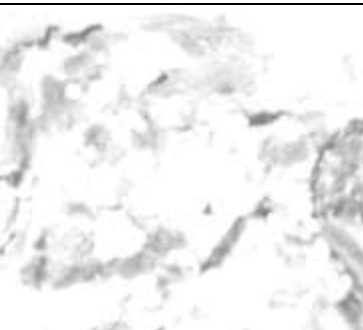
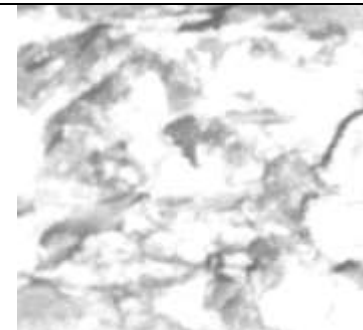
CurrentChart:=GraphChart;
CurrentChart.Visible:=True;
CurrentChart.Align:=alClient;
TChart(CurrentChart).Series[0].Clear;
with DBDataModule.DataTable do begin
First;
for i:=1 to RecordCount do begin
AColor:=FieldValues['COLOR'];
LineSerie.AddY(FieldValues['COUNT'],FieldValues['NAME'],AColor);
Next;
end;
end;
end;
procedure TMainWindow.TextBtnClick(Sender: TObject);
var i,Total:integer;
A,B,C:String;
begin
for i:=0 to 3 do
TToolButton(RadioBtns.List[i]).Down:=False;
TextBtn.Down:=True;
CurrentChart.Visible:=False;
CurrentChart:=ResultTxt;
CurrentChart.Visible:=True;
CurrentChart.Align:=alClient;
TMemo(CurrentChart).Lines.Clear;
TMemo(CurrentChart).Lines.Add('Результати аналізу файлу:');
with DBDataModule.DataTable do begin
Total:=0;
First;
for i:=1 to RecordCount do begin
Total:=FieldValues['COUNT']+Total;
Next;
end;
First;
for i:=1 to RecordCount do begin
Str((Integer(FieldValues['COUNT'])/Total*100):3:1,C);
A:=FieldValues['NAME'];
Str(Integer(FieldValues['COUNT']),B);
TMemo(CurrentChart).Lines.Add(A+' - '+C+'%'+' ('+B+') ');
Next;
end;
Str(Total,A);
TMemo(CurrentChart).Lines.Add('Загальна площа '+A);
end;
end;
end.

```

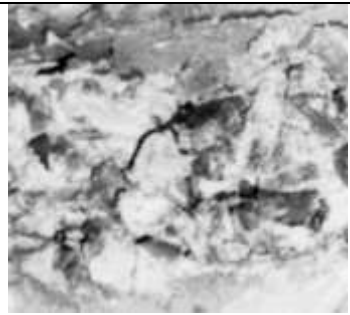
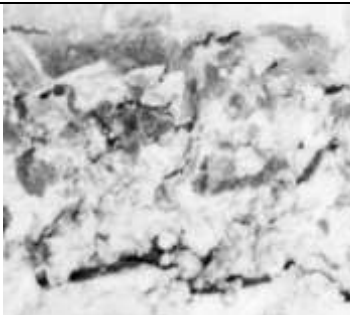
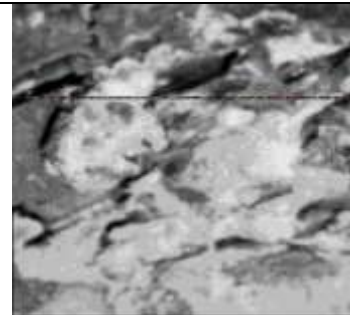


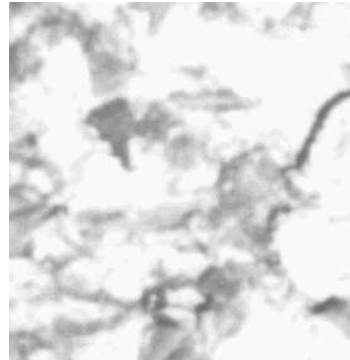

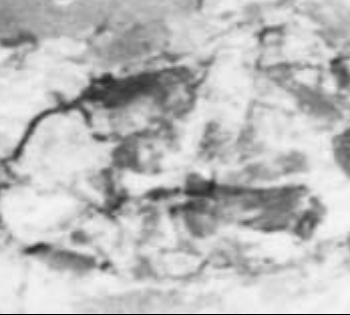
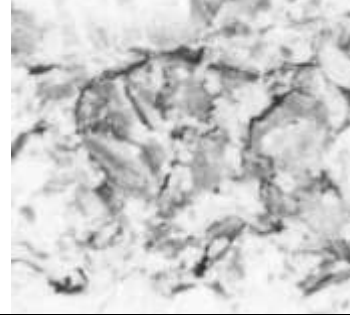
Додаток Б.2
Графічне представлення модельної поверхні ґрунту

Повторність дослідів при $c=35\text{мм}$; $\gamma_0=20^\circ$; $\beta=20^\circ$			
Картинка	№1	№2	№3
			
$k_z, \%$	78,6	75,5	78,5
Повторність дослідів при $c=35\text{мм}$; $\gamma_0=24^\circ$; $\beta=20^\circ$			
Картинка	№1	№2	№3
			
$k_z, \%$	84,7	86,6	83,6
Повторність дослідів при $c=35\text{мм}$; $\gamma_0=28^\circ$; $\beta=20^\circ$			
Картинка	№1	№2	№3
			
$k_z, \%$	76,2	84,6	75,9

Продовження додатку Б.2
Графічне представлення модельної поверхні ґрунту

Картинка	Повторність дослідів при $c=20\text{мм}$; $\gamma_0=24^\circ$; $\beta=20^\circ$		
	№1	№2	№3
			
$k_z, \%$	74,9	75,2	76,7
Картинка	Повторність дослідів при $c=30\text{мм}$; $\gamma_0=24^\circ$; $\beta=20^\circ$		
	№1	№2	№3
			
$k_z, \%$	84,5	83,0	81,4
Картинка	Повторність дослідів при $c=40\text{мм}$; $\gamma_0=24^\circ$; $\beta=20^\circ$		
	№1	№2	№3
			
$k_z, \%$	84,7	83,6	81,4

Продовження додатку Б.2
Графічне представлення модельної поверхні ґрунту

Повторність дослідів при $c=35\text{мм}$; $\gamma_0=24^\circ$; $\beta=16^\circ$			
Картинка	№1	№2	№3
			
$k_z, \%$	69,1	70,5	66,2
Повторність дослідів при $c=35\text{мм}$; $\gamma_0=24^\circ$; $\beta=22^\circ$			
Картинка	№1	№2	№3
			
$k_z, \%$	82,0	83,1	81,2
Повторність дослідів при $c=35\text{мм}$; $\gamma_0=24^\circ$; $\beta=26^\circ$			
Картинка	№1	№2	№3
			
$k_z, \%$	74,0	72,7	74,4

Додаток В.1

Значення гребнистості h_z dna борозни в залежності від кута атаки β та відстані l між роторами в батареї отриманні в результаті комп'ютерного модельного експерименту

Кут атаки, град	Відстань між роторами, м	Висота гребенів, м	Кут атаки, град	Відстань між роторами, м	Висота гребенів, м
16	0,18	0,21	24	0,18	0,07
17	0,18	0,19	24	0,2	0,09
17	0,2	0,26	24	0,22	0,11
18	0,18	0,17	24	0,24	0,14
18	0,2	0,2	24	0,26	0,17
19	0,18	0,13	24	0,28	0,23
19	0,2	0,17	25	0,18	0,06
19	0,22	0,24	25	0,2	0,08
20	0,18	0,11	25	0,22	0,1
20	0,2	0,15	25	0,24	0,13
20	0,22	0,2	25	0,26	0,15
20	0,24	0,31	25	0,28	0,19
21	0,18	0,1	25	0,3	0,27
21	0,2	0,13	26	0,18	0,04
21	0,22	0,17	26	0,2	0,07
21	0,24	0,23	26	0,22	0,09
22	0,18	0,09	26	0,24	0,11
22	0,2	0,11	26	0,26	0,13
22	0,22	0,15	26	0,28	0,17
22	0,24	0,18	26	0,3	0,21
22	0,26	0,28			
23	0,18	0,08			
23	0,2	0,1			
23	0,22	0,13			
23	0,24	0,15			
23	0,26	0,2			
23	0,28	0,3			

Додаток В.2

Аналітична модель руху характерних точок ножа-лопаті 1 (рис.2.19),

для $\beta=20^\circ$, $l=0,20$ м, $v_n=1,39$ м/с

Час t	Значення координат для характерних точок								
	X_A	Y_A	Z_A	X_B	Y_B	Z_B	X_C	Y_C	Z_C
0	0,322069	-0,07998	0	0,089025	0,002715	0,193018	0,113424	-0,04128	0,048278
0,05	0,384315	-0,07752	-0,0685	0,193981	-0,01037	0,171643	0,18937	-0,04381	0,022172
0,1	0,433348	-0,07025	-0,13401	0,293984	-0,02166	0,14279	0,260073	-0,04443	-0,0049
0,15	0,470036	-0,05849	-0,19369	0,387684	-0,03065	0,107718	0,325459	-0,04312	-0,03176
0,2	0,495788	-0,04275	-0,24493	0,474005	-0,03695	0,067953	0,385684	-0,03992	-0,05723
0,25	0,512488	-0,02371	-0,2855	0,552193	-0,04029	0,025228	0,441132	-0,03499	-0,08021
0,3	0,522413	-0,00221	-0,31363	0,621847	-0,04053	-0,0186	0,492392	-0,02853	-0,0997
0,35	0,528137	0,020818	-0,32811	0,682939	-0,03765	-0,06161	0,540237	-0,02083	-0,11485
0,4	0,532417	0,044374	-0,32829	0,735813	-0,03178	-0,10194	0,585589	-0,01223	-0,12499
0,45	0,538071	0,06743	-0,31417	0,781172	-0,02318	-0,13783	0,629478	-0,00309	-0,12969
0,5	0,547859	0,088981	-0,28636	0,820045	-0,01221	-0,16771	0,672998	0,006188	-0,12987
0,55	0,564359	0,10809	-0,24608	0,853746	0,000633	-0,19029	0,717258	0,015193	-0,12218
0,6	0,58986	0,123922	-0,19508	0,883811	0,014804	-0,20458	0,763337	0,023535	-0,11029
0,65	0,626256	0,135789	-0,13059	0,911936	0,029682	-0,20996	0,812232	0,030853	-0,09361
0,7	0,674967	0,143174	-0,07019	0,939903	0,044617	-0,2062	0,86482	0,036827	-0,07284
0,75	0,736876	0,145754	-0,00173	0,969497	0,058959	-0,19945	0,921815	0,041196	-0,04891
0,8	0,812294	0,143419	0,066809	1,002437	0,072084	-0,17227	0,98374	0,043771	-0,02284
0,85*	0,900939	0,136268	0,132434	1,040293	0,083419	-0,13059	1,050904	0,044439	0,00422
0,9	1,001957	0,124615	0,19229	1,084421	0,092472	-0,10866	1,123387	0,043172	0,031099
0,95	1,113952	0,108966	0,24377	1,135905	0,098847	-0,06899	1,201036	0,040024	0,056622
1	1,235053	0,090003	0,284631	1,195507	0,102268	-0,02632	1,283475	0,035132	0,079679
1,05	1,362989	0,068552	0,313094	1,263638	0,102584	0,017501	1,370119	0,02871	0,099265
1,1	1,495192	0,045548	0,327918	1,340334	0,099783	0,060558	1,460199	0,021038	0,114527
1,15	1,628911	0,021992	0,328458	1,425262	0,093986	0,100977	1,552797	0,012449	0,124801
1,2	1,761326	-0,00109	0,314691	1,517726	0,085445	0,136998	1,646884	0,003318	0,129638
1,25	1,889674	-0,02269	0,287215	1,616705	0,074534	0,167051	1,741369	-0,00596	0,128828
1,3	2,01137	-0,04187	0,247229	1,720894	0,061726	0,189827	1,835141	-0,01497	0,122406
1,35	2,124119	-0,05779	0,196473	1,828758	0,047581	0,204334	1,92712	-0,02334	0,110652
1,4	2,226015	-0,06977	0,137159	1,938606	0,032714	0,209941	2,016307	-0,03069	0,094079
1,45	2,315626	-0,07727	0,071871	2,048657	0,017772	0,206402	2,101821	-0,0367	0,073407
1,5	2,392052	-0,07997	0,003451	2,157124	0,003407	0,193873	2,182943	-0,04111	0,049537

* Значення відповідає повному виходу ножа-лопаті з ґрунту

Продовження додатку В.2

Аналітична модель руху характерних точок ножа-лопаті 2 (рис.2.19),

для $\beta=20^\circ$, $l=0,20$ м, $v_n=1,398$ м/с

Час t	Значення координат для характерних точок								
	X_D	Y_D	Z_D	X_E	Y_E	Z_E	X_F	Y_F	Z_F
0	0,235424	0,164394	-0,28579	0,275638	0,147629	0,024865	0,164404	0,152997	-0,08054
0,05	0,245303	0,185913	-0,31381	0,34522	0,147417	-0,01896	0,215633	0,159466	-0,09996
0,1	0,251004	0,208952	-0,32817	0,406242	0,150321	-0,06196	0,263453	0,167174	-0,11504
0,15	0,255283	0,232508	-0,32823	0,45905	0,156215	-0,10226	0,308789	0,175787	-0,1251
0,2	0,26096	0,255556	-0,31399	0,50435	0,164841	-0,1381	0,35267	0,18493	-0,12971
0,25	0,270794	0,277091	-0,28608	0,543175	0,175824	-0,16793	0,396191	0,194203	-0,12868
0,3	0,287361	0,296175	-0,2457	0,576838	0,188685	-0,19045	0,440462	0,203204	-0,12204
0,35	0,312945	0,311977	-0,19462	0,60688	0,202865	-0,20467	0,48656	0,21154	-0,11008
0,4	0,349438	0,323808	-0,13506	0,634996	0,217745	-0,20997	0,535483	0,218847	-0,09332
0,45	0,398256	0,331154	-0,06962	0,662969	0,232678	-0,20613	0,588105	0,224808	-0,07251
0,5	0,460278	0,333694	-0,00115	0,692585	0,247013	-0,19331	0,645139	0,229164	-0,04853
0,55	0,535808	0,331317	0,067373	0,725559	0,260125	-0,17206	0,707107	0,231723	-0,02244
0,6	0,62456	0,324128	0,132961	0,763462	0,271443	-0,14333	0,774315	0,232375	0,004628
0,65	0,725676	0,312439	0,192757	0,807647	0,280475	-0,10835	0,846842	0,231092	0,031495
0,7	0,837756	0,296759	0,244157	0,859196	0,286827	-0,06865	0,924533	0,227928	0,056989
0,75	0,958923	0,277771	0,284922	0,918868	0,290222	-0,02595	1,00701	0,223023	0,080001
0,8	1,086906	0,256304	0,313275	0,987071	0,290512	0,017866	1,093686	0,21659	0,099528
0,85	1,219134	0,233291	0,327982	1,063838	0,287685	0,060909	1,183791	0,208908	0,11472
0,9	1,352853	0,209735	0,328402	1,148832	0,281864	0,101298	1,276405	0,200313	0,124914
0,95	1,485245	0,186662	0,314517	1,241355	0,273302	0,137275	1,370501	0,191179	0,129667
1	1,613548	0,165077	0,286932	1,340383	0,262373	0,167272	1,464984	0,181904	0,128772
1,05	1,735179	0,145921	0,246848	1,444609	0,249552	0,189983	1,558745	0,172892	0,122268
1,1	1,847844	0,130028	0,196011	1,552497	0,235398	0,204419	1,650706	0,164535	0,110437
1,15	1,949643	0,11809	0,136636	1,662354	0,220527	0,209949	1,739865	0,157197	0,093796
1,2	2,039147	0,110628	0,071309	1,772399	0,205588	0,206335	1,825345	0,151199	0,07307
1,25	2,115462	0,107965	0,002876	1,880846	0,19123	0,193732	1,906428	0,146801	0,04916
1,3	2,178269	0,110219	-0,06568	1,985975	0,17808	0,172691	1,982588	0,144195	0,023109
1,35	2,227838	0,117291	-0,13138	2,086213	0,16671	0,144127	2,053513	0,143495	-0,00395
1,4	2,265017	0,128874	-0,19135	2,1802	0,157616	0,109285	2,119118	0,14473	-0,03083
1,45	2,29119	0,144461	-0,24299	2,266846	0,151193	0,069682	2,179553	0,147848	-0,05638
1,5	2,308224	0,163375	-0,28405	2,345383	0,147722	0,027044	2,235189	0,152712	-0,07946

Продовження додатку В.2

Аналітична модель руху характерних точок ножа-лопаті 3 (рис.2.19),

для $\beta=20^\circ$, $l=0,20$ м, $v_n=1,39$ м/с

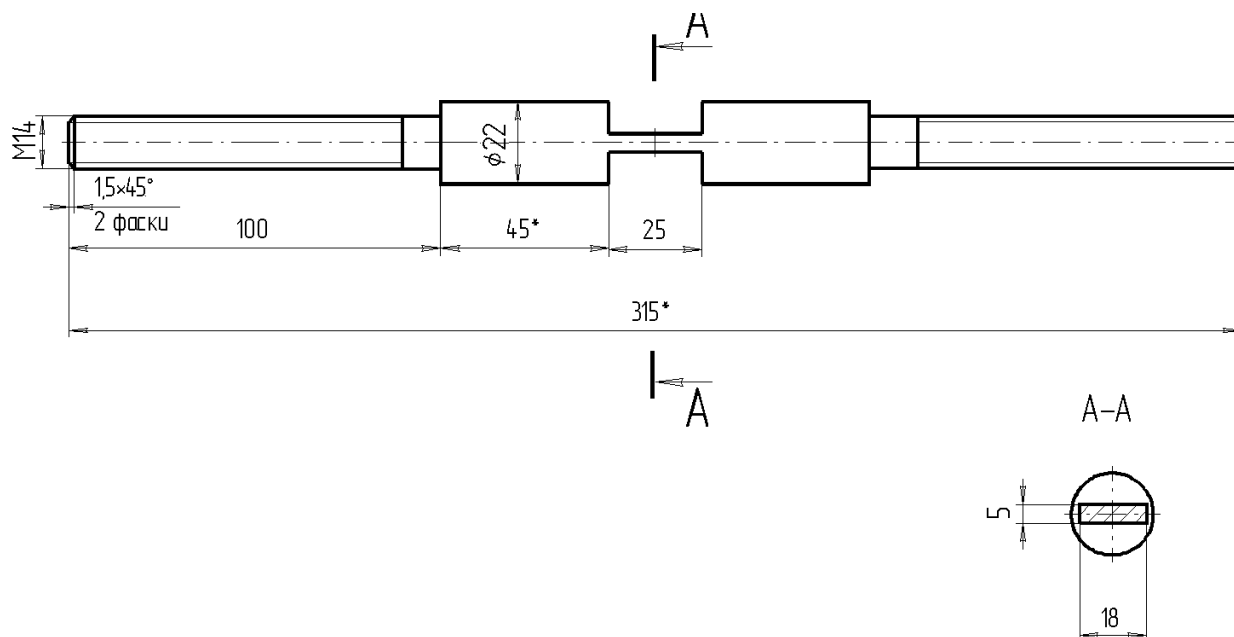
Час t	Значення координат для характерних точок					
	X'_A	Y'_A	Z'_A	X'_B	Y'_B	Z'_B
0	0,16702	-0,02354	0,285788	-0,10692	0,074034	0,168154
0,05	0,288387	-0,0426	0,245315	-0,00255	0,061159	0,190603
0,1	0,400719	-0,05838	0,194155	0,105433	0,046971	0,204749
0,15	0,502128	-0,07017	0,134538	0,215325	0,032088	0,209976
0,2	0,591203	-0,07748	0,069061	0,325346	0,017157	0,206057
0,25	0,667069	-0,07998	0,000575	0,433709	0,00283	0,193162
0,3	0,729427	-0,07756	-0,06794	0,5387	-0,01027	0,171853
0,35	0,778567	-0,07033	-0,13349	0,63875	-0,02157	0,143058
0,4	0,815353	-0,05861	-0,19322	0,732507	-0,03058	0,108032
0,45	0,841189	-0,0429	-0,24454	0,818894	-0,03691	0,068299
0,5	0,857955	-0,02388	-0,28521	0,897151	-0,04028	0,025592
0,55	0,867927	-0,0024	-0,31346	0,966877	-0,04054	-0,01823
0,6	0,873675	0,020622	-0,32805	1,028039	-0,03769	-0,06126
0,65	0,877955	0,044178	-0,32835	1,08098	-0,03185	-0,10162
0,7	0,883585	0,067243	-0,31434	1,126397	-0,02326	-0,13755
0,75	0,893328	0,088811	-0,28665	1,16532	-0,01231	-0,16749
0,8	0,909763	0,107943	-0,24647	1,199057	0,00052	-0,19014
0,85	0,93518	0,123806	-0,19555	1,229146	0,014683	-0,2045
0,9	0,971479	0,135708	-0,13611	1,25728	0,029556	-0,20996
0,95	1,020082	0,143132	-0,07075	1,28524	0,044494	-0,20627
1	1,08188	0,145753	-0,0023	1,314814	0,058843	-0,19359
1,05	1,157185	0,143458	0,066246	1,34772	0,071981	-0,17248
1,1	1,245723	0,136347	0,131907	1,385528	0,083334	-0,14386
1,15	1,346642	0,124729	0,191822	1,429599	0,092407	-0,10897
1,2	1,458554	0,109111	0,243382	1,481018	0,098806	-0,06934
1,25	1,579587	0,090172	0,28434	1,54055	0,102252	-0,02668
1,3	1,707476	0,068738	0,312912	1,608609	0,102595	0,017137
1,35	1,839655	0,045743	0,327853	1,685235	0,099819	0,060208
1,4	1,973373	0,022188	0,328513	1,770097	0,094046	0,100656
1,45	2,10581	-0,0009	0,314864	1,862502	0,085527	0,13672
1,5	2,234203	-0,02252	0,287498	1,961432	0,074633	0,166829

Додаток В.3

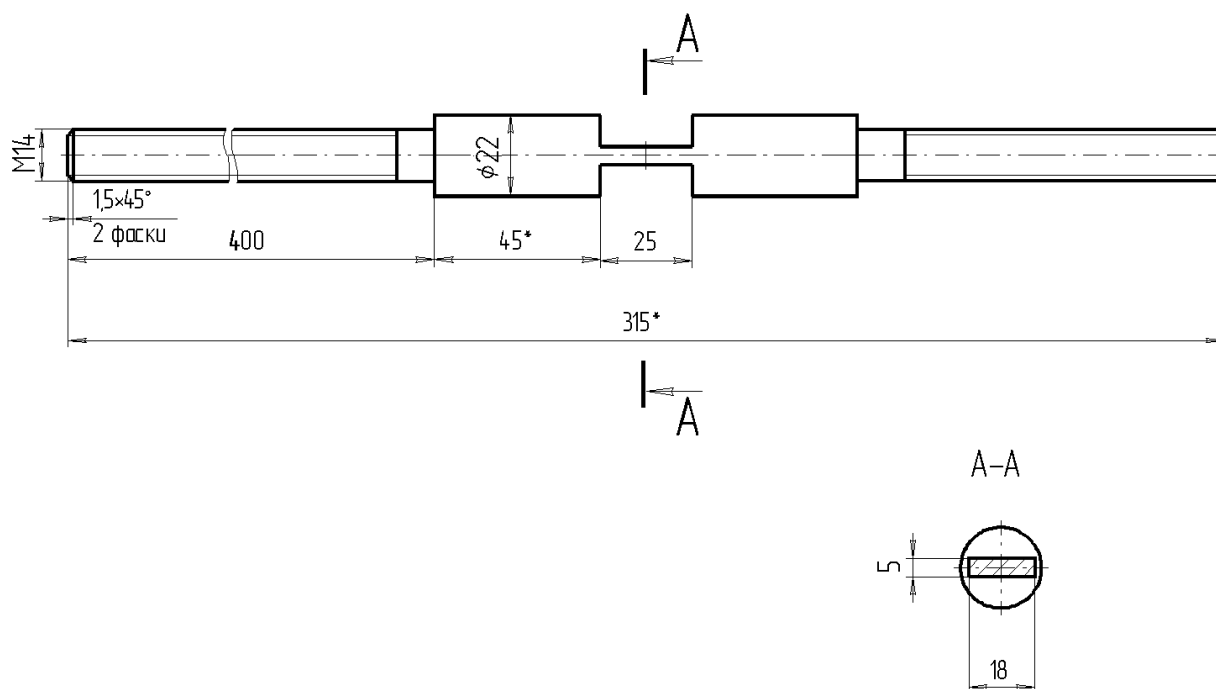
Значення сталих інтегрування для визначення траєкторій руху характерних точок оброблюваного прошарку ґрунту ($\beta=20^\circ$)

Швидкість, м/с	Стала інтегрування	Точки		
		А	В	С
2	C ₁	0,56	-0,20	0,36
	C ₂	0,12	0,35	0,30
	C ₃	0,56	0,14	0,20
	C ₄	0,00	-0,19	-0,05
3	C ₁	0,83	0,08	0,64
	C ₂	0,33	0,56	0,51
	C ₃	0,83	0,21	0,30
	C ₄	0,00	-0,19	-0,05
4	C ₁	1,11	0,36	0,91
	C ₂	0,54	0,77	0,72
	C ₃	1,11	0,27	0,40
	C ₄	0,00	-0,19	-0,05
5	C ₁	1,39	0,64	1,19
	C ₂	0,75	0,98	0,93
	C ₃	1,39	0,34	0,50
	C ₄	0,00	-0,19	-0,05
6	C ₁	1,67	0,91	1,47
	C ₂	0,95	1,19	1,14
	C ₃	1,67	0,41	0,60
	C ₄	0,00	-0,19	-0,05
7	C ₁	1,94	1,19	1,75
	C ₂	1,16	1,39	1,35
	C ₃	1,94	0,48	0,70
	C ₄	0,00	-0,19	-0,05
8	C ₁	2,22	1,47	2,02
	C ₂	1,37	1,60	1,55
	C ₃	2,22	0,55	0,81
	C ₄	0,00	-0,19	-0,05
9	C ₁	2,50	1,75	2,30
	C ₂	1,58	1,81	1,76
	C ₃	2,50	0,62	0,91
	C ₄	0,00	-0,19	-0,05
10	C ₁	2,78	2,03	2,58
	C ₂	1,79	2,02	1,97
	C ₃	2,78	0,68	1,01
	C ₄	0,00	-0,19	-0,05

Додаток Г.1
Схематичні креслення тензоланок
Нерегульований динамограф*



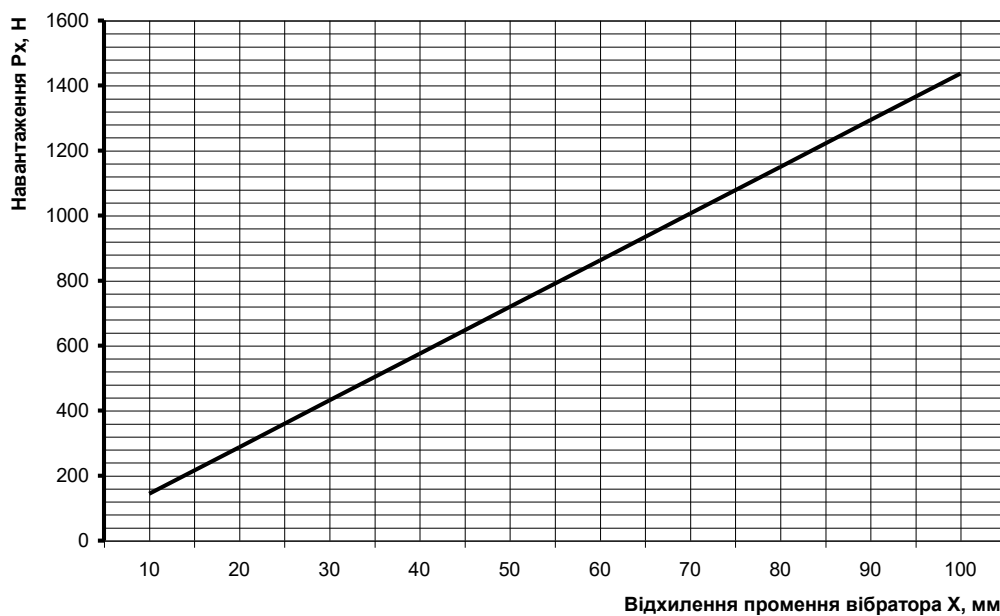
Регульований динамограф*



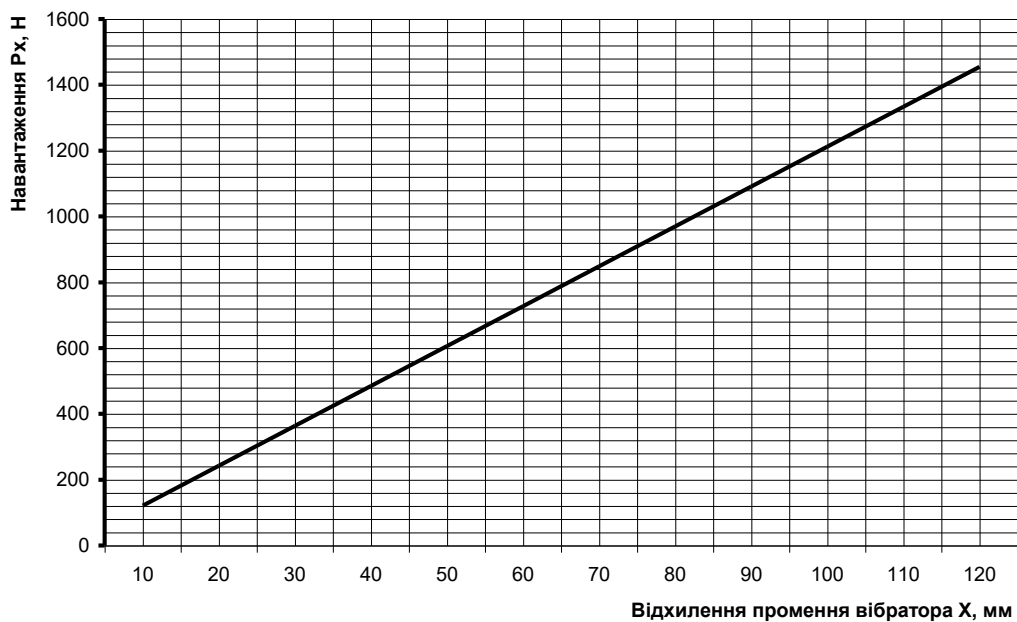
* Розміри для довідок

Додаток Г.2
Графіки тарування тензоланок

Тарувальний графік нерегульованого динамографа
(масштабний коефіцієнт для розрахунку тягового опору $\mu_n=14,37\text{Н/мм}$)



Тарувальний графік регульованого динамографа
(масштабний коефіцієнт для розрахунку тягового опору $\mu_p=12,12\text{Н/мм}$)



Додаток Г.3

Статистичні розрахункові величини тягового опору стандартного вирізного ротаційного робочого органу

Назва показника	Величина лінійного тягового опору P (Н) в залежності від кута атаки β			
	18°	20°	22°	24°
Глибина обробітку, $h=0,20m$				
Середнє значення, Н	520,1	601,7	674,4	750,3
Максимальне значення, Н	533,9	622,6	693,6	775,8
Мінімальне значення, Н	500,7	580,7	649,3	724,4
Дисперсія D	170,4	169,5	177,4	173,2
Середньоквадратичне відхилення σ	13,05	13,01	13,31	13,01
Коефіцієнт варіації ν	2,35	2,64	2,51	2,47
Глибина обробітку $h=0,12m$				
Середнє значення, Н	310,4	357,4	394,5	470,1
Максимальне значення, Н	338,6	375,8	422,2	495,1
Мінімальне значення, Н	284,6	328,9	362,7	445,9
Дисперсія D	135,4	142,7	147,7	161,2
Середньоквадратичне відхилення σ	11,64	11,95	12,15	12,70
Коефіцієнт варіації ν	4,03	3,55	2,38	2,96

Продовження додатку Г.3

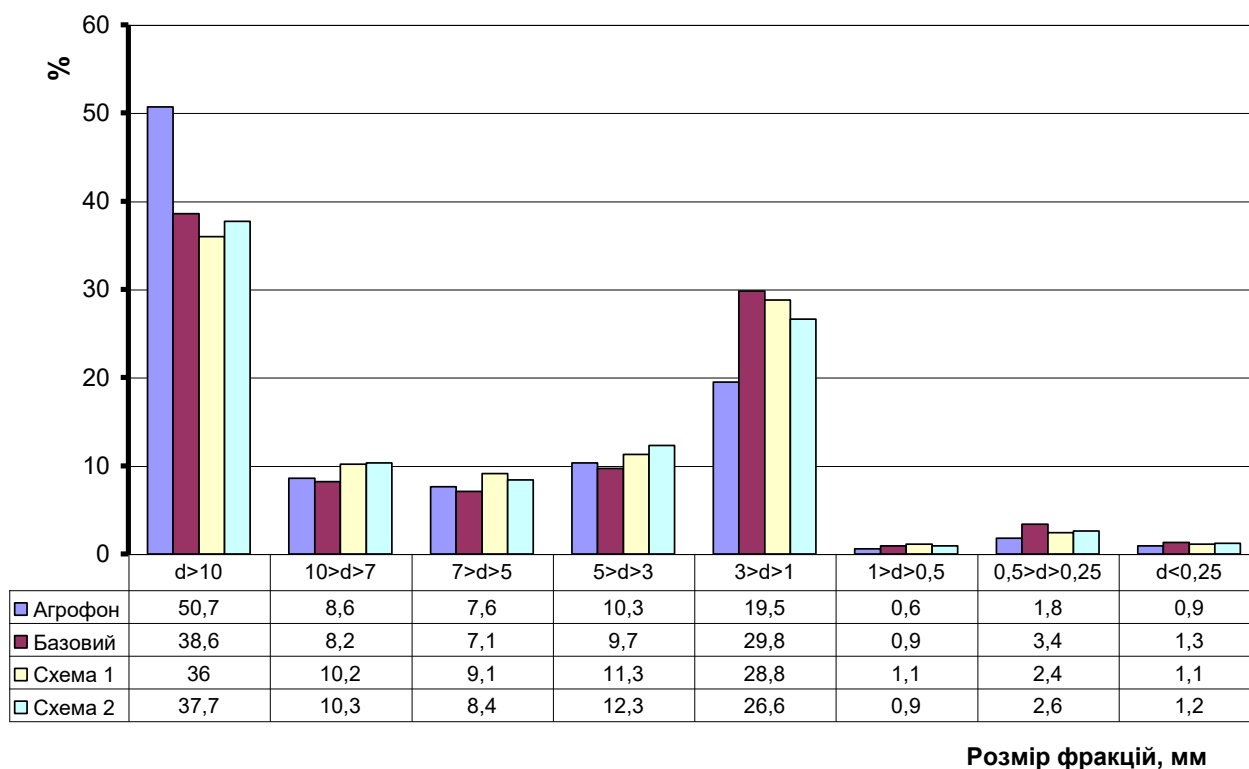
Статистичні розрахункові величини тягового опору ротаційно-лопатевого робочого органу

Назва показника	Величина лінійного тягового опору P (Н) в залежності від кута атаки β			
	18°	20°	22°	24°
Глибина обробітку, $h=0,20\text{м}$				
Середнє значення, Н	407,5	412,0	460,1	501,8
Максимальне значення, Н	434,3	428,1	480,3	526,9
Мінімальне значення, Н	382,7	389,4	444,9	477,0
Дисперсія D	147,7	149,8	152,2	161,7
Середньоквадратичне відхилення σ	12,15	12,24	12,34	12,72
Коефіцієнт варіації ν	4,39	3,20	3,19	2,98
Глибина обробітку $h=0,12\text{м}$				
Середнє значення, Н	290,3	301,4	353,0	389,1
Максимальне значення, Н	305,4	323,6	375,8	415,4
Мінімальне значення, Н	274,6	274,4	326,6	369,4
Дисперсія D	128,4	133,5	133,7	147,4
Середньоквадратичне відхилення σ	11,31	11,55	11,56	12,14
Коефіцієнт варіації ν	4,41	4,52	3,29	3,56

Додаток Д.1

Розподіл ґрунтових агрегатів за гранулометричним складом
в прошарку ґрунту (0...20 см)

Розміри фракцій	Середнє значення фракцій за варіантами, %			
	Агрофон	Базовий	Схема 1	Схема 2
$d > 10$	50,7	38,6	36	37,7
$10 > d > 7$	8,6	8,2	10,2	10,3
$7 > d > 5$	7,6	7,1	9,1	8,4
$5 > d > 3$	10,3	9,7	11,3	12,3
$3 > d > 1$	19,5	29,8	28,8	26,6
$1 > d > 0,5$	0,6	0,9	1,1	0,9
$0,5 > d > 0,25$	1,8	3,4	2,4	2,6
$d < 0,25$	0,9	1,3	1,1	1,2
коефіцієнт структурності	0,937984	1,481	1,695	1,570694



Додаток Д.2

Значення абсолютної вологості та щільності за варіантами обробітку
(в прошарку 0...20 мм)

Номер проби	Варіант контроль (агрофон)		Варіант базовий		Варіант пропонуванний			
	Вологість, %	Щільність, г/см ³			схема 1		схема 2	
			Вологість, %	Щільність, г/см ³	Вологість, %	Щільність, г/см ³	Вологість, %	Щільність, г/см ³
1	23,43	1,95	18,71	1,95	18,93	1,15	19,60	1,24
2	21,78	2,01	17,96	2,01	19,30	1,24	18,44	1,27
3	22,66	1,92	15,51	1,92	19,18	1,17	17,98	1,19
4	21,92	2,06	16,01	2,06	18,03	1,23	18,28	1,24
5	21,80	1,81	16,88	1,81	17,99	1,24	18,77	1,26
6	23,10	1,96	16,51	1,96	18,85	1,22	17,43	1,22
7	22,16	1,60	17,76	1,60	17,29	1,18	17,24	1,25
8	23,12	1,73	18,36	1,73	17,14	1,23	17,15	1,19
9	22,49	1,78	17,13	1,78	17,77	1,24	17,99	1,23
10	21,53	1,92	18,08	1,92	19,45	1,15	18,58	1,17
11	21,47	2,07	17,16	2,07	18,92	1,19	17,59	1,20
12	23,23	1,72	16,59	1,72	17,82	1,21	17,38	1,23
13	23,17	2,12	18,05	2,12	18,36	1,23	16,80	1,25
14	21,17	1,93	16,86	1,93	18,61	1,18	17,06	1,18
15	21,05	2,10	17,44	2,10	17,60	1,21	17,78	1,28
16	20,54	2,07	18,78	2,07	18,29	1,18	18,31	1,23
17	22,27	1,79	17,61	1,79	16,87	1,14	16,63	1,26
18	21,54	1,84	16,33	1,84	20,39	1,22	19,47	1,26
19	20,80	1,76	16,47	1,76	19,16	1,13	18,02	1,23
20	20,76	1,87	17,79	1,87	18,06	1,22	17,52	1,28

Додаток Д.3.

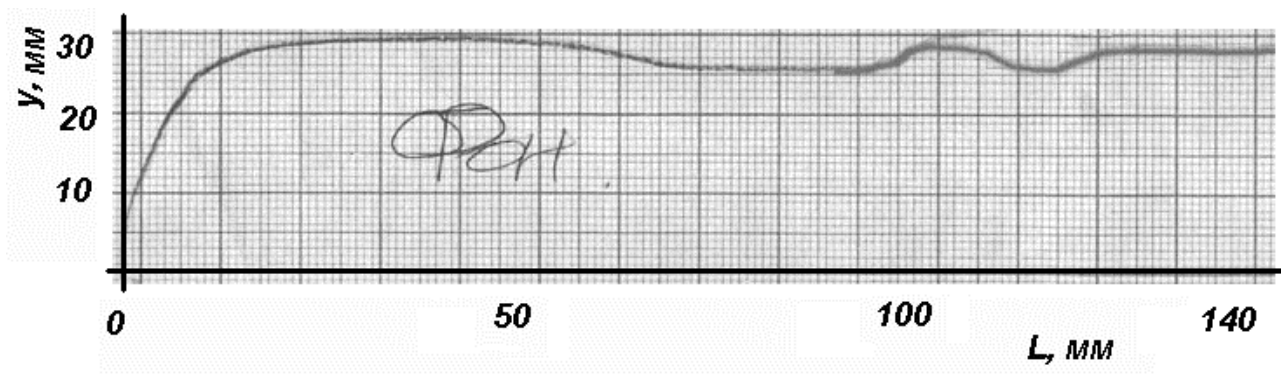
Статистичні показники якості обробітку ґрунту

Назва показника	Характеристика показника	Варіант контроль (агрофон)	Варіант базовий	Варіант пропонуваній	
				схема 1	схема 2
Абсолютна вологість ґрунту, %	Середнє значення	22,0	17,3	18,4	17,9
	Дисперсія D	0,826	0,816	0,779	0,654
	Середньоквадратичне відхилення σ	0,909	0,903	0,883	0,809
	Коефіцієнт варіації v , %	4,13	5,22	4,79	4,52
Щільність ґрунту, г/см ³	Середнє значення	1,901	1,277	1,198	1,234
	Дисперсія D	0,021	0,001	0,001	0,001
	Середньоквадратичне відхилення σ	0,146	0,033	0,035	0,032
	Коефіцієнт варіації v , %	7,66	2,59	2,99	2,61
Твердість ґрунту, кН/м ³	Середнє значення	87,39	59,02	49,77	55,73
	Дисперсія D	1,55	1,36	1,90	1,20
	Середньоквадратичне відхилення σ	1,24	1,17	1,38	1,09
	Коефіцієнт варіації v , %	1,42	1,97	2,77	1,96
Показник заробки, %	Середнє значення	-	72	82	75
	Дисперсія D	-	0,97	1,90	1,65
	Середньоквадратичне відхилення σ	-	0,98	1,38	1,28
	Коефіцієнт варіації v , %	-	2,34	1,58	1,97
Коефіцієнт структурності	Середнє значення	0,934	1,505	1,696	1,571
	Дисперсія D	0,012	0,026	0,020	0,025
	Середньоквадратичне відхилення σ	0,107	0,161	0,140	0,159
	Коефіцієнт варіації v , %	11,4	10,7	8,3	10,1

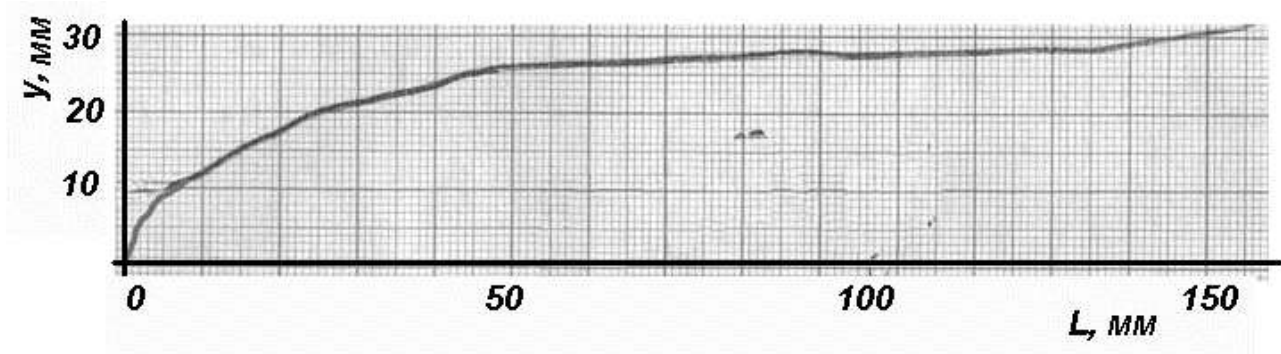
Додаток Е

Приклади діаграм змінання ґрунту твердоміром

Контроль (необроблений ґрунт)



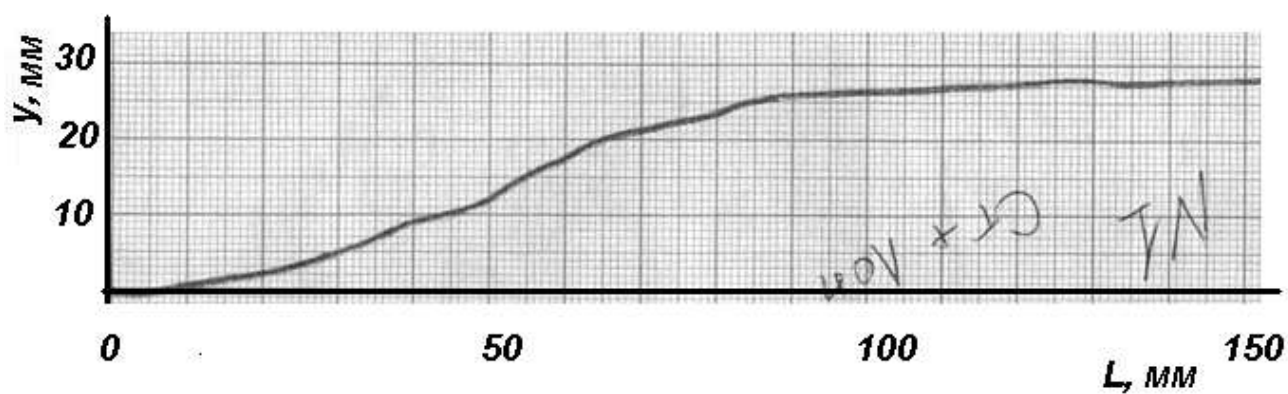
Обробіток знаряддям з базовими ротаційними робочими органами



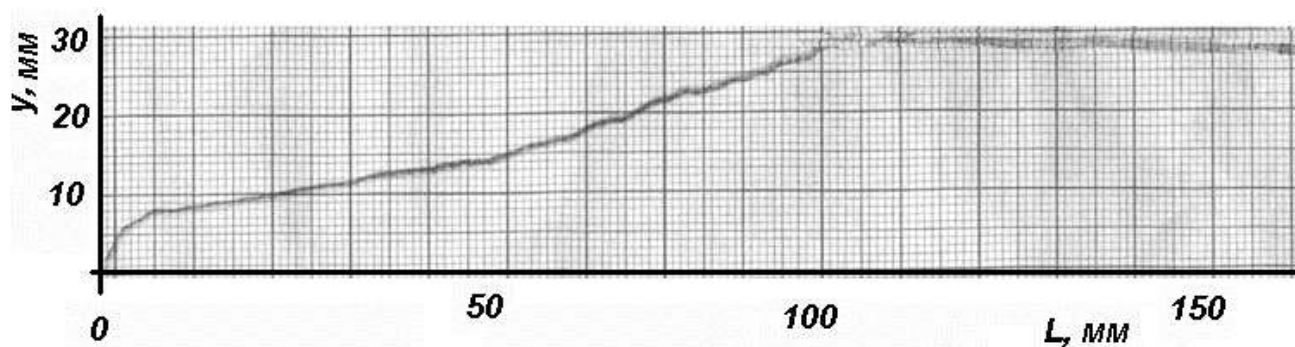
Продовження додатку Е

Приклади діаграм змінання ґрунту твердоміром

Обробіток знаряддям з пропонованими ротаційно-лопатевими робочими органами встановленими за схемою 1



Обробіток знаряддям з пропонованими ротаційно-лопатевими робочими органами встановленими за схемою 2



Додаток Ж

Статистичні показники розподілення рослинних решток в шарах ґрунту

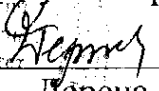
Шар ґрунту, мм	Характеристика показника вмісту рослинних решток	Вміст рослинних решток, кг	
		Базовий варіант	Пропонований варіант
Кут атаки 12°			
0...5	Середнє значення	0,26	0,19
	Дисперсія D	0,0005	0,0002
	Середньоквадратичне відхилення σ	0,022	0,015
	Коефіцієнт варіації v , %	6,52	9,41
5...10	Середнє значення	0,16	0,16
	Дисперсія D	0,0003	0,004
	Середньоквадратичне відхилення σ	0,016	0,020
	Коефіцієнт варіації v , %	11,65	10,29
10...15	Середнє значення	0,07	0,12
	Дисперсія D	0,0001	0,0001
	Середньоквадратичне відхилення σ	0,011	0,010
	Коефіцієнт варіації v , %	14,17	6,32
Кут атаки 16°			
0...5	Середнє значення	0,195	0,16
	Дисперсія D	0,0001	0,0001
	Середньоквадратичне відхилення σ	0,010	0,010
	Коефіцієнт варіації v , %	3,31	8,10
5...10	Середнє значення	0,19	0,17
	Дисперсія D	0,0001	0,0001
	Середньоквадратичне відхилення σ	0,012	0,015
	Коефіцієнт варіації v , %	7,94	10,9
10...15	Середнє значення	0,09	0,135
	Дисперсія D	0,0001	0,0001
	Середньоквадратичне відхилення σ	0,011	0,010
	Коефіцієнт варіації v , %	17,58	6,1

Продовження додатку Ж

Статистичні показники розподілення рослинних решток в шарах ґрунту

Шар ґрунту	Характеристика показника вмісту рослинних решток	Вміст рослинних решток, кг	
		Базовий варіант	Пропонований варіант
Кут атаки 20°			
0...5	Середнє значення	0,21	0,12
	Дисперсія D	0,0007	0,0001
	Середньоквадратичне відхилення σ	0,027	0,011
	Коефіцієнт варіації v , %	8,05	12,32
5...10	Середнє значення	0,18	0,18
	Дисперсія D	0,0003	0,0004
	Середньоквадратичне відхилення σ	0,016	0,020
	Коефіцієнт варіації v , %	10,64	9,27
10...15	Середнє значення	0,085	0,165
	Дисперсія D	0,0001	0,002
	Середньоквадратичне відхилення σ	0,011	0,014
	Коефіцієнт варіації v , %	17,41	9,40
Кут атаки 24°			
0...5	Середнє значення	0,27	0,14
	Дисперсія D	0,0003	0,0003
	Середньоквадратичне відхилення σ	0,018	0,016
	Коефіцієнт варіації v , %	4,29	10,32
5...10	Середнє значення	0,17	0,175
	Дисперсія D	0,0001	0,0002
	Середньоквадратичне відхилення σ	0,011	0,014
	Коефіцієнт варіації v , %	8,07	9,17
10...20	Середнє значення	0,06	0,18
	Дисперсія D	0,0001	0,0002
	Середньоквадратичне відхилення σ	0,011	0,013
	Коефіцієнт варіації v , %	18,20	8,24

Додаток 3.1

Проректор
з наукової роботи ДАУ

Дереча О.А.
"24" 01 2002р.

Директор АТ "Будмаш",
Житомир
АТЗТ
«БУДМАШ»
Р.№ 618501
Вальчук Ю.П.
"01" 2002р.

АКТ

про передачу результатів науково-дослідних та проектно-конструкторських робіт

Назва розробки – Комплект експериментальних ротаційних робочих органів уніфікованих з боронами типу БДН – 1,8; БДТ – 3; БДТ – 7.

Розробники – Державний агроекологічний університет, Лабораторія екосистемного моделювання та аграрної механіки

Автори розробки – Кухарець С.М., Шелудченко Б.А., Кучеров С.Ф., Фомін М.П., Забродський П.М.

Характеристика конструкції – Робоча поверхня шести ножів-лопатей, які симетрично розміщені по периметру дискової основи, має форму однопорожнинного гіперболоїда.

Форма передачі розробки – Комплект робочої документації на виготовлення дослідного зразка.

Мета передачі – Виготовлення комплекту експериментальних робочих органів до борони БДН – 1,8 для виконання господарських випробувань.

Виробник – АТ "Будмаш" (м. Житомир, вул. Щорса,48)

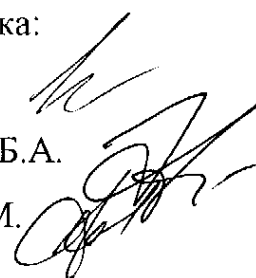
Підписали:

Від виробника:
головний інженер
Зубрицький І.М.



Від розробника:

Кучеров С.Ф.
Шелудченко Б.А.
Кухарець С.М.



Додаток 3.2

“Затверджую”
Проректор з наукової роботи
Державного агроекологічного
університету
Дереза О.А.
“16” 05 2002р.

“Затверджую”
Директор Житомирського
агротехнологічного
коледжу
Зоря А.Є.
“17” 05 2002р.

АКТ

про передачу дослідного зразка
грунтообробного знаряддя

Повна назва знаряддя – Модернізована дискова борона БДН-1,8 оснащена комплектом робочих органів ротаційно-лопатевого типу

Розробники – Державний агроекологічний університет (м. Житомир, вул. Ст.Бульвар,7), кафедра загальнотехнічних дисциплін, кафедра моніторингу навколишнього природного середовища, кафедра вищої математики.

Автори розробки – Кухарець С.М., Шелудченко Б.А., Кучеров С.Ф., Фомін М.П., Забродський П.М.

Мета передачі – Проведення господарських випробувань модернізованої борони БДН – 1.8, оснащеної комплектом робочих органів ротаційно-лопатевого типу в ґрунтових умовах України (Дослідне поле Житомирського агротехнологічного коледжу)

Підписали:

Від коледжу:

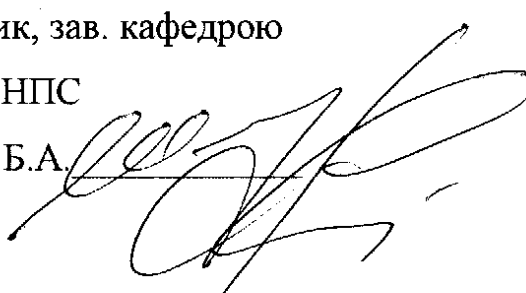
зав. відділенням агрономії

Ткач С.М. 

Від розробників:

Наук. керівник, зав. кафедрою

моніторингу НПС

Шелудченко Б.А. 

Додаток 3.3

“Затверджую”
 Проректор з науково-технічної роботи
 Державного агроекологічного
 університету
 Дереча О.А.
 “16” 05 2002р.

“Затверджую”
 Директор Житомирського
 агротехнологічного
 коледжу
 Зоря А.Є.
 “17” 05 2002р.

АКТ

про результати виробничо-господарської перевірки
 науково-технічної розробки

Повна назва розробки – Комплект робочих органів ротаційно-лопатевого типу, уніфікованих з стандартними дисками для борін типу БДН –1,8, БДТ-3, БДТ-7.

Розробники – Державний агроекологічний університет (м. Житомир, вул. Ст.Бульвар,7), кафедра загальнотехнічних дисциплін, кафедра моніторингу навколишнього природного середовища, кафедра вищої математики.

Автори розробки – Кухарець С.М., Шелудченко Б.А., Кучеров С.Ф., Фомін М.П., Забродський П.М.

Адреса, де виконувалась перевірка - Житомирський агротехнологічний коледж, дослідне поле

Термін виконання перевірки – березень 2002 року

Основні результати перевірки та рекомендації виробництву – за результатами лабораторно-польових дослідів встановлено, що при обробі чорнозему типового ґрунтообробним знаряддям з пропонованими ротаційно-лопатевиими робочими органами спостерігається зменшення щільності ґрунту на 22...24% в порівнянні з необробленим ґрунтом, та на 4,4...5,6% в порівнянні з ґрунтом обробленим стандартними вирізними дисками. Щільність ґрунту обробленого експериментальними робочими органами складає 1,18...1,22 г/см³, що задовольняє агротехнічним вимогам для досліджуваного типу ґрунту. Кількість агрегатів які не відповідають агровимогам зменшилась на 15...17% в порівнянні з необробленим ґрунтом та 6...7% в порівнянні з базовим обробітком, а коефіцієнт структурності збільшився в 1,4 рази в порівнянні з базовим

Продовження додатку 3.3

обробітком. Заробка рослинних решток та добрив збільшилась на 33...35% в порівнянні з обробітком стандартними дисковими органами.

За характером поверхні – оброблений в два сліди випробовуваними робочими органами ґрунт, стає придатним до сівби сільськогосподарських культур без виконання додаткових технологічних переходів. Випробовуваний робочий орган ротаційно-лопатевого типу може бути пропонуваній для виготовлення в обсязі промислово-дослідної партії з метою проведення широкої виробничої перевірки.

Підписали:

Від коледжу:

Зав. відділенням агрономії

Ткач С.М. 

Від розробників:

Наук. керівник, зав. кафедрою

моніторингу НПС

Шелудченко Б.А. 

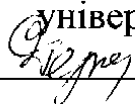
Викладач

Кухарець С.М. 

Додаток 3.4

“Затверджую”

Проректор з наукової роботи
Державного агроекологічного
університету



Дереча О.А.

“12” 06

2002р.



Голова СТОВ “Юрківщина”



2002р.

АКТ

про передачу дослідного зразка
грунтообробного знаряддя

Повна назва знаряддя – Модернізована дискова борона БДН-1,8 оснащена комплектом робочих органів ротаційно-лопатевого типу

Розробники – Державний агроекологічний університет (м. Житомир, вул. Ст.Бульвар,7), кафедра загальнотехнічних дисциплін, кафедра моніторингу навколишнього природного середовища, кафедра вищої математики.

Автори розробки – Кухарець С.М., Шелудченко Б.А., Кучеров С.Ф., Фомін М.П., Забродський П.М.

Мета передачі – Проведення господарських випробувань модернізованої борони БДН – 1.8, оснащеної комплектом робочих органів ротаційно-лопатевого типу в ґрунтових умовах лісостепу (Житомирська обл., Новоград-Волинський район, с.Ярунь) України

Підписали:

Від СТОВ “Юрківщина”:

Від розробників:

Головний інженер

Шевчук Ю.С.

Головний агроном

Манило Д.С.

Наук. керівник, зав. кафедрою
моніторингу НПС


Шелудченко Б.А.

Викладач


Кухарець С.М.

Додаток 3.5

“Затверджую”
 Проректор з наукової роботи
 Державного агроекологічного університету
 Дереча О.А.
 “12” 06 2002р.



“Затверджую”
 Голова Сільськогосподарської
 організації
 “12” 06 2002р.
 Україна


АКТ

**про результати дослідного впровадження
 науково-технічної розробки**

Повна назва розробки – Комплект робочих органів ротаційно-лопатевого типу, уніфікованих з стандартними дисками для борін типу БДН-1,8, БДТ-3, БДТ-7.

Розробники – Державний агроекологічний університет (м. Житомир, вул. Ст.Бульвар,7), кафедра загальнотехнічних дисциплін, кафедра моніторингу навколишнього природного середовища, кафедра вищої математики.

Автори розробки – Кухарець С.М., Шелудченко Б.А., Кучеров С.Ф., Фомін М.П., Забродський П.М.

Адреса підприємства, де виконувалась перевірка - Житомирська обл., Новоград-Волинський район, с. Ярунь

Термін виконання перевірки – березень-травень 2002 року

Обсяги впровадження – 156 га

Основні результати перевірки та рекомендації виробництву – за результатами лабораторно-польових дослідів встановлено, що в результаті обробітку мінерального дерново-підзолистого супіщаного ґрунту на водно-льодникових відкладеннях спостерігається:

- покращення заробки рослинних решток і добрив, в порівнянні з базовим обробітком стандартними вирізними дисками, на 40...45%;

Продовження додатку 3.5

-збільшення коефіцієнту структурності, визначений за методом Саввінова, в 2...2,5 рази в порівнянні з агрофоном, та 1,3...1,6 рази в порівнянні з базовим обробітком;

-зменшення твердості ґрунту на 36,2...43,4% в порівнянні з агрофоном, та на 12,3...16,4 в порівнянні з базовим обробітком;

За характером поверхні – оброблений в два сліди випробовуваними робочими органами ґрунт, стає придатним до сівби сільськогосподарських культур без виконання додаткових технологічних переходів. Випробовуваний робочий орган ротаційно-лопатевого типу може бути пропонуваній для виготовлення в обсязі промислово-дослідної партії з метою проведення широкої виробничої перевірки.

Від СТОВ “Юрківщина”:

Головний інженер

Шевчук Ю.С.

Головний агроном

Манило Д.С.

Від розробників:

Наук. керівник, зав. кафедрою

моніторингу НПС

Шелудченко Б.А.

Викладач

Кухарець С.М.

Додаток И.1



УКРАЇНА

(19) (UA)

(11) 35997 A

(51) 6 A01B21/04

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І
НАУКИ УКРАЇНИ

ДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ

Деклараційний патент на винахід

зарєєстровано відповідно до Закону України
"Про охорону прав на винаходи і корисні моделі" від 15 грудня 1993 року № 3687-ХІІ
у редакції від 1 червня 2000 року № 1771-ІІІ



Голова Департаменту

(21) 99084587

(22) 10.08.1999

(24) 16.04.2001

(46) 16.04.2001. Бюл. № 3

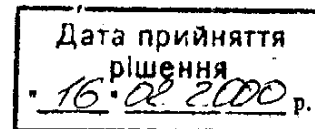
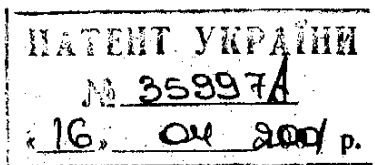
(72) Шелудченко Богдан Анатолійович, Малиновський Антон Станіславович, Кухарець Савелій Миколайович, Забродський Павло Миколайович, Фомін Микола Павлович, Шубенко Владислав Олексійович, Сітовський Олександр Володимирович, Можаровський Андрій Миколайович

(73) Державна агроекологічна академія України

(54) ГРУНТООБРОБНИЙ РОТАЦІЙНИЙ РОБОЧИЙ ОРГАН

Продовження додатку И.1

1211 99084587
1541 1571



1. Грунтообробний ротаційний робочий орган, який містить встановлений на горизонтальній осі дисковий ротор, оснащений по периметру ножами-лопатями, який відрізняється тим, що передня робоча поверхня ножа-лопати є однопорожнинним гіперболоїдом.
2. Грунтообробний ротаційний робочий орган по п.1, який відрізняється тим, що робоча поверхня ножа-лопати геометрично отримана переміщенням прямолінійної направляючої по трьох прямих, які схрещуються і не мають жодної спільної паралельної площини.

Додаток И.2



УКРАЇНА

(11) 56502 A

(19) (UA)

(51) 7 A01B19/02

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І
НАУКИ УКРАЇНИ

ДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ

Деклараційний патент на винахід

видано відповідно до Закону України
"Про охорону прав на винаходи і корисні моделі" № 1

Голова Державного Департаменту
інтелектуальної власності



М. Паладій

(21) 2002065309

(22) 27.06.2002

(24) 15.05.2003

(46) 15.05.2003. Бюл. № 5

(72) Шелудченко Богдан Анатолійович, Малиновський Антон Станіславович, Зоря Аркадій Євдокимович, Дідківський Михайло Павлович, Кухарець Савелій Миколайович, Шелудченко Ігор Анатолійович, Шубенко Владислав Олексійович, Шелудченко Наталія Богданівна, Пінчук Наталія Олександрівна

(73) ДЕРЖАВНИЙ АГРОЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

(54) ГРУНТООБРОБНЕ РОТАЦІЙНЕ ЗНАРЯДДЯ

Продовження додатку И.2

ФОРМУЛА ВИНАХОДУ

1. Ґрунтообробне знаряддя, яке містить раму, на якій послідовно встановлено ротаційні розпушувачі, кожний з яких виконаний у вигляді розташованого перпендикулярно до напрямку руху вала із закріпленими на ньому робочими органами, яке відрізняється тим, що кожний робочий орган виконаний у вигляді двоажільного пружинного торсіону з регульованою жорсткістю пружини стискання, а кожен важіль торсіону є ґрунторозпушуючим зубом.

2. Знаряддя по п.1, яке відрізняється тим, що суміжні робочі органи встановлені на валу із зміщенням один відносно одного так, що вершини ґрунторозпушуючих зубів є точками гвинтової лінії.

Додаток И.3



УКРАЇНА

(19) (UA)

(11) 56503 A

(51) 7 A01B21/04

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І
НАУКИ УКРАЇНИ

ДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ

Деклараційний патент на винахід

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

Голова Державного Департаменту
Інтелектуальної власності



М. Паладій

(21) 2002065310

(22) 27.06.2002

(24) 15.05.2003

(46) 15.05.2003. Бюл.№ 5

(72) Кухарець Савелій Миколайович, Шелудченко Богдан Анатолійович, Малиновський Антон Станіславович, Кучеров Сергій Францович, Фомін Микола Павлович, Кухарець Валентина Володимирівна, Котков Володимир Іванович, Климчук Анатолій Миколайович, Шубенко Владислав Олексійович

(73) ДЕРЖАВНИЙ АГРОЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

(54) ГРУНТООБРОБНИЙ РОБОЧИЙ ОРГАН РОТАЦІЙНО-ЛОПАТЕВОГО ТИПУ

Продовження додатку И.3

ФОРМУЛА ВИНАХОДУ

1. Ґрунтообробний ротаційний робочий орган, який містить встановлений на горизонтальній осі дисковий ротор, оснащений по периметру ножами-лопатями, який відрізняється тим, що передня робоча поверхня ножа-лопаті є прямим гелікоїдом.

2. Ґрунтообробний ротаційний робочий орган по п.1, який відрізняється тим, що робоча поверхня ножа-лопаті геометрично отримана переміщенням прямолінійної утворюючої по гвинтовій направляючій постійного кроку.