

Заклад вищої освіти «Подільський державний університет»
Інженерно-технічний факультет
Кафедра агроінженерії і системотехніки імені Михайла САМОКИША

ДИПЛОМНА РОБОТА
НА ТЕМУ:
**«ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ
ПОВЕРХНЕВОГО ОБРОБІТКУ ҐРУНТУ ДИСКОВИМИ
ЗНАРЯДДЯМИ»**

Виконав:

здобувач вищої освіти освітнього ступеня
«Магістр» освітньо-професійної програми
«Агроінженерія» спеціальності 208
«Агроінженерія» денної форми навчання
Богдан БОДНАРУК

Керівник:

доцент

Сергій ГРУШЕЦЬКИЙ

Оцінка захисту:

Національна шкала _____

Кількість балів _____

Шкала ECTS _____

«___» грудня 2024 р.

Допускається до захисту:

«___» грудня 2024 р.

Гарант освітньо-професійної програми
«Агроінженерія» спеціальності
208 «Агроінженерія», доцент

Василь ДУГАНЕЦЬ

м. Кам'янець-Подільський, 2024

ЗМІСТ

ЗАВДАННЯ	4
АНОТАЦІЯ	5
РЕФЕРАТ	6
ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ, ТЕРМІНІВ, СИМВОЛІВ, ПОЗНАЧЕНЬ	7
ВСТУП.....	8
1. СУЧАСНИЙ СТАН ПИТАННЯ, ОГЛЯД КОНСТРУКЦІЙ ТА ДОСЛІДЖЕНЬ ..	11
1.1. Порівняльний аналіз конструктивних схем дискатора та дискового знаряддя	11
1.2. Аналіз конструктивних рішень по дисковому робочому органу.....	22
Висновки до першого розділу	23
2. АНАЛІТИЧНА МОДЕЛЬ ВЗАЄМОДІЇ ДИСКОВОГО РОБОЧОГО ОРГАНА З ГРУНТОМ	23
2.1. Основні положення теорії внутрішньої напруги	23
2.2. Основні припущення, прийняті при моделюванні ґрунту.....	24
2.3.Методика розрахунку загальної реакції різання ґрунту поверхнею довільної геометричної форми	25
2.4. Рівняння утворюючих поверхні робочого органа	28
Висновки до другого розділу	34
3. ПРОГРАМА ТА МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ	35
3.1. Програма експериментальних досліджень.....	35
3.2. Лабораторна та польова установки, прилади і обладнання	36
3.2.1. Конструкція лабораторної установки	36
3.2.2. Польова установка	39
3.2.3. Прилади та обладнання для експериментальних досліджень. Точність вимірювань.....	41
3.3. Лабораторні дослідження.....	42
3.3.1. Методика моделювання та контролю параметрів модельного середовища.....	43
3.4. Експериментальні дослідження.....	46

	3
3.4.1. Конструкція дослідного зразка дискового знаряддя	46
3.4.2. Вибір та підготовка ділянок	47
3.4.3. Визначення якості розпушення ґрунту	49
3.4.4. Ступінь ущільнення дна борозни	52
3.4.5. Профілювання дна борозни.....	52
3.4.6. Визначення складових тягового опору	53
3.4.7. Визначення глибистості поверхні	55
3.4.8. Визначення гребнистості поверхні.....	56
Висновки до третього розділу	58
4. Результати та аналіз експериментальних досліджень	59
4.1. Лабораторні дослідження.....	59
4.1.1. Дослідження з масштабним коефіцієнтом $k = 3$	59
4.1.2. Перевірка адекватності отриманої моделі	60
4.1.3. Аналіз отриманої регресійної моделі	60
4.1.4. Дослідження з масштабним коефіцієнтом $k = 2$	61
Висновки до четвертого розділу	62
5. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНІ ПОКАЗНИКИ РОБОТИ ДИСКОВОГО ЗНАРЯДДЯ .	63
Висновки до п'ятого розділу	68
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ І РЕКОМЕНДАЦІЇ.....	70
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	72
ДОДАТОК А Матеріали комп'ютерної презентації.....	77
ДОДАТОК Б Копії друкованих тез доповідей	82
ДОДАТОК В Копії сертифікатів учасника конференції.....	83

ВСТУП

Актуальність роботи. Серед різновидів систем обробітку ґрунту за принциповими ознаками можна виділити чотири основні: традиційна оранка, мінімальна (поверхневе розпушення), Strip-Till (смугове розпушення на глибину до 30 см) та No-Till (повна відмова від розпушення). Як показує аналіз, в умовах України найбільш раціональним є чередування як всіх згаданих, так і окремих з них. Аналіз також показує, що повна відмова від поверхневого обробітку ґрунту з обертом шару найближчим часом не можлива.

Дисковий знаряддя, як машина для поверхневого обробітку ґрунту, має в Україні відносно обмежене застосування. Викликане це рядом як об'єктивних, так і суб'єктивних причин. Серед об'єктивних причин - складність стабілізації ходу, наявність гребенів на дні борозни, складність конструкції стійка корпусу, більша вартість у порівнянні з полицевим плугом. Але і переваги незаперечні - суттєво менший тяговий опір, більш ефективна робота на плантаціях, засмічених кореневою системою, можливість регулювання ступеня оберту шару та кришення ґрунту.

За останній час агрегати, в яких використовують дискові робочі органи з можливістю зміни кутів нахилу у трьох площинах отримали широке розповсюдження. Пояснюється це універсальністю агрегату: за рахунок переорієнтації диска можна отримати борону, луцильник або плуг при широких можливостях зміни якісних показників розпушення. Але основні переваги обумовлені обертанням диска довкола осі кріплення. Вкупі ці особливості дозволяють використовувати плуг в складних умовах, де застосування інших пасивних робочих органів не можливе. Перш за все це роботи по рекультивації порушених земель, літування ставків, обробіток чагарників та лісосмуг, оранка в умовах зрошення. Тому, цілий ряд виробників освоїв виробництво таких машин. Проте, відсутність чіткого трактування ряду конструктивних особливостей як робочого органу, так і машини в цілому створюють окремі проблеми, вирішенню яких присвячена дана робота.

Мета і завдання досліджень. Метою роботи є підвищення якісних показників та зниження енерговитрат обробітку ґрунту шляхом обґрунтування раціональних параметрів і режимів роботи дискового знаряддя.

Відповідно до поставленої мети в роботі виконанні наступні задачі досліджень:

- проаналізовано основні конструктивні рішення, експериментальні та аналітичні дослідження дискових робочих органів та агрегатів;
- аналітично досліджено процес взаємодії дискового робочого органа з ґрунтовим середовищем;
- обґрунтовано раціональні конструктивні параметри та кінематичний режим роботи дискового знаряддя;
- проведено лабораторні дослідження;
- проведено дослідження закономірностей впливу конструктивних параметрів на якісні показники розпушення і складові тягового опору;
- визначено техніко-економічні показники і надано економічну оцінку розробленої конструкції.

Об'єкт дослідження – технологічний процес поверхневого обробітку ґрунту дисковими знаряддями.

Предмет дослідження – закономірності взаємодії дискового знаряддя з ґрунтом, а також вплив його параметрів та режимів роботи на якісні показники поверхневого обробітку.

Методи дослідження Теоретичні дослідження проводились з використанням основних положень диференційного та інтегрального обчислень, теоретичної механіки. Експериментальні дослідження проводились в лабораторних і польових умовах на розробленій експериментальній установці з використання положень планування багатofакторних експериментів. Обробка результатів здійснювалась на ПЕОМ за допомогою прикладних програм.

Практичне значення одержаних результатів. полягає в розробці конструкції і обґрунтуванні параметрів дисковими знаряддями, що дозволили поліпшити поверхневий обробіток ґрунту та підвищення якісних показників та

зниження енерговитрат обробітку ґрунту шляхом обґрунтування раціональних параметрів і режимів роботи дискового знаряддя.

Апробація результатів роботи. Основні положення виконаних теоретичних і експериментальних досліджень роботи доповідались на: щорічних конференціях професорсько-викладацького складу та аспірантів Закладу вищої освіти «Подільський державний університету» (2023-2024 рр.).

Публікації. Основні результати дослідження відображені у 3 публікаціях, з них 3 статті у науково-фахових виданнях.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ І РЕКОМЕНДАЦІЇ

В ході виконання роботи одержано такі підсумкові висновки та практичні результати.

1. Аналізом конструкцій, експериментальних та аналітичних досліджень встановлено наступне.

Дискове знаряддя, як агрегат для поверхневого обробітку ґрунту у порівнянні з полицевим, може забезпечити ряд переваг. Найголовніші з них: можливість регулювання якості розпушення, ступеня обертання та зсуву шару ґрунту, суттєво менший тяговий опір (за різними джерелами від 30 до 60% від полицевого). Не менш важливим є також ефективна робота на плантаціях, засмічених кореневою системою. Ці переваги роблять його вкрай перспективним для широкого впровадження.

2. Досліджено вплив конструктивних параметрів на співвідношення складових тягового опору дискового робочого органа. Теоретичними дослідженнями окреслені основні впливові фактори, запропонована матриця 3-факторного експерименту та визначені діапазони факторів, що забезпечують якісне виконання технологічного процесу: кут нахилу площини обертання диска до напрямку руху 40 град, кут нахилу площини обертання диска до вертикалі 26 град., кривизна диска раціонально повинна дорівнювати його радіусу. Такі параметри забезпечують коефіцієнт структурності ґрунту в межах 0,30 – 0,34.

3. Дослідженнями у ґрунтовому каналі встановлений діапазон зміни співвідношення поперечної та повздовжньої складових сили опору $K_{\phi} = 0,298 - 0,509$.

4. В ході експериментальних досліджень підтверджені раціональні кути постановки диска до напрямку руху $\alpha = 40$ градусів і до вертикалі $\beta = 26$ градусів. За таких значень дискове знаряддя в ґрунтових умовах Лісостепу забезпечує коефіцієнт структурності $K_{cm} = 0,34$, що на 15 – 20% краще за полицевий.

5. Експериментальними дослідженнями знайдені раціональні конструктивні параметри конструкції:

- діаметр диска, мм – 660;
- кривизна поверхні диска, мм – 620 мм;
- кут постановки диска до напрямку руху, град – 40;
- кут постановки диска до вертикалі, град – 26;

Дослідженнями встановлено, що для підвищення сталості ходу дискового знаряддя вісь націпки необхідно змістити вбік борозни на 80 мм для трикорпусного варіанта дискатора і на 105 мм для п'ятикорпусного. При виконанні наведених умов дискове знаряддя може агрегатуватись з трактором класу 14 кН при глибині обробітку 22 см – у трикорпусному варіанті, при 18 см – у п'ятикорпусному.

6. Суттєвою перевагою розробленого дискового знаряддя є те, що п'ятикорпусний варіант за тяговим опором можна агрегатувати з трактором класу 14 кН, тоді як полицевий – з трактором 30 кН. За рахунок цього економічний ефект від впровадження можна значно збільшити. Так, прогнозований річний економічний ефект в трикорпусному варіанті становить 6396,76 грн, строк окупності за один сезон.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Бендера І. М., Польовий, О. В. Стабільність ходу односекційних дискових плугів. Матеріали 56-ої науково-теоретичної конференції науково-педагогічних працівників, аспірантів та науковців за підсумками науково-дослідної роботи 2011. Режим доступу: www.nbuv.gov.ua/portal/chem.../10.pdf.
2. Теоретична механіка. Посібник для практичних занять / В.М. Булгаков та ін. Березовий. Вінниця: Нова книга, 2010. 667 с.
3. Теоретичне дослідження збурених гармонійних коливань у вібраційних приводах машин / В.В. Адамчук, Г.М. Калетнік, В.М. Булгаков, О.М. Черниш // Всеукраїнський науково-технічний журнал «Вібрації в техніці та технологіях» №2 (82) 2016. С.5-9.
4. Вольський В.А. Визначення бокової сили сферично-дискового робочого органу з віссю обертання нахиленою під кутом до горизонту. Механізація та електрифікація сільського господарства: міжвідомчий науковий збірник. Глеваха, 2010. Вип. 93. С. 504-508.
5. Гунько І.В., Коваль Л.Г. Енергоощадні безконтактні методи діагностування показників технічного стану мобільної сільськогосподарської техніки. Техніка, енергетика, транспорт АПК. №3 (95). Вінниця. 2016. С. 89-93.
6. Дудак С.М. Дискові ґрунтообробні знаряддя: основні параметри та особливості. Механізація та електрифікація сільського господарства : міжвід. темат. наук.-техн. зб. Глеваха: ННЦ ІМЕСГ, 2007. Вип. 91. С. 17-19.
7. Аналітичні дослідження агрегату на основі робочих органів дискового типу / А.С. Кобець, Б.А. Волик, А.П. Рибкін // Механізація сільськогосподарського виробництва: Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства. Харків, 2006. Вип. 44, т.2. С. 231-236.
8. Ґрунтообробні машини: теорія, конструкція, розрахунок: монографія / А.С. Кобець, Б.А. Волик, А.М. Пугач. Дніпропетровськ: Свідлер А.Л., 2011. 140 с.
9. Павленко В.С. З'єднання в машинобудуванні : навч. посібник / В.С. Павленко, І.П. Паламарчук, О.В. Цуркан, Ю.А. Полєвода / за ред. В.С.

- Павленка. Вінниця : ПП «ТД Едельвейс і К», 2015. 110 с.
10. Павленко В.С., Цуркан О.В., Кравченко І.Є. Підшипники кочення. Вибір за статичною та динамічною вантажопідйомністю, конструювання підшипникових вузлів : навчальний посібник / за ред.. В.С. Павленка. Київ : «Хай-Тек Прес», 2012. 128 с.
 11. Павленко В.С., Цуркан О.В., Кравченко І.Є., Любін М.В. Пасові передачі. Теорія, розрахунки, конструювання: Навчальний посібник / за ред...В.С. Павленка. Київ : «Хай-Тек Прес», 2011. 140 с.
 12. Сало В. М. Науково-технологічні основи обґрунтування складу та параметрів комбінованих ґрунтообробних знарядь: автореф. дис... д-ра техн. наук. Тернопіль, 2008. 40 с.
 13. Методика розрахунку загальної реакції різання ґрунту поверхнею довільної геометричної форми / А.М. Семенюта, О.В. Білокопитов, Б.А. Волик // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. Мелітополь, 2010. Вип.10, т.2. С. 161-167.
 14. Сивак Р.І., Деревенько І.А. Короткий курс теоретичної механіки. Вінниця: ТОВ «Вінницька міська друкарня», 2016. 200 с.
 15. Сисолін П. В., Сало В.М. Сільськогосподарські машини: теоретичні основи, конструкція, проектування. Кн.1. Машини для рільництва : підручник / за ред. М. І. Черновола. Київ: Урожай, 2001. - 384 с.
 16. Скоробогатов Д.В. Обґрунтування параметрів комбінованого плуга для загортання сидеральних культур : автореф. дис... канд. техн. наук. / Є.В. Бобровний. Київ., 2014. 21 с.
 17. Солон О.В., Купчук І.М. Прикладна механіка. Методичні рекомендації для виконання практичних робіт. Вінниця: ВНАУ, 2017. 116 с.
 18. Прикладна механіка. Методичні рекомендації для виконання курсового проекту / О.В. Солон О.В., І.М. Купчук, В.І. Паламарчук. Вінниця: ВНАУ, 2017. 84 с.
 19. Солон О.В., Купчук І.М. Технічна механіка. Методичні рекомендації для виконання практичних робіт. Вінниця: ВНАУ, 2017. 84 с.
 20. Солон О.В., Купчук І.М. Теорія механізмів і машин. Курсове проектування. Навчальний посібник. Вінниця, 2019. 254 с.
 21. Солон О.В., Любін В.С. Теорія механізмів і машин. Лабораторний практикум. Навчальний посібник. Вінниця: ПП Балюк І.Б., 2014. 138 с.
 22. Технічна механіка. Підручник. Калетнік Г.М., Булгаков В.М., Черниш О.М.,

- Кравченко І.Є., Солона О.В., Цуркан О.В. Київ : «Хай-Тек- Прес», 2011. 340 с.
23. Шмат К.І., Сисолін П. В. Робочі процеси і розрахунок сільськогосподарських машин. Херсон, ОЛДІ-плюс, 2004. 308 с.
 24. Техніко-економічне обґрунтування застосування машин, обладнання і технологій / Гевко Р.Б., Гладич Б.Б., Павх І.І., Кириленко Т.П. Тернопіль, 2003. С. 138–144.
 25. Довідник з механізації виробництва цукрових буряків / Проценко О.О. та ін. / за ред. О.О. Проценка : 2-е вид., перероб. і доп. Київ : Урожай, 2001. 264 с.
 26. Погорілий Л.В. Сучасні проблеми землеробської механіки і машинознавства при створенні сільськогосподарської техніки нового покоління. Механізація сільськогосподарського виробництва. Харків, 2003. Вип. 20. С. 10–26.
 27. Експертно-аналітична оцінка технологічних і економічних показників сільськогосподарської техніки : навч.-метод. посібник для студентів економічних спеціальностей / М.Г. Данильченко, Б.Б. Гладич, Р.Б. Гевко, І.Г. Ткаченко. Тернопіль : Економічна думка, 2001. 267 с.
 28. Гаркавий А., Івашків Т., Гевко Р. Оцінка техніки і технологій на конкурентоспроможність. Вісник Тернопільської академії народного господарства. 2002. № 6. С. 23–30.
 29. Оцінка ринкової вартості та конкурентоспроможності машин і технологій / Р.Б. Гевко, А.Д. Гаркавий, Б.Б. Гладич, І.І. Павх, О.Б. Павелчак. Тернопіль: ТДПУ, 2004. 199 с.
 30. Грушецький С.М., Назар С.М. Дослідження дискових ґрунтообробних знарядь для поверхневого обробітку ґрунту: *матеріали VII всеукр. наук.-прак. конф., «Перспективи і тенденції розвитку конструкцій та технічного сервісу сільськогосподарських машин і знарядь»* : зб. наук. праць / за заг. ред. С.С. Добранський. Житомир : АТК, 2021. С. 44-46. https://zhatk.zt.ua/wp-content/uploads/2021/05/zbirnik-tez-zhitomir-2021_compressed.pdf.
 31. Грушецький С.М., Назар С.М. Конструкція обробітку ґрунту дисковими знаряддями *Перші наукові кроки – 2021 : збірник наукових праць II міжнар. наук.-практ. конф. студ. та молод. наук. 15 квітн. 2021 р. (ПДАТУ, м. Кам'янець-Подільський)*. Кам'янець-Подільський, 2021. С. 54. <http://188.190.33.55:7980/jspui/handle/123456789/8670>.
 32. Б. І. Боднарук, С. М. Грушецький. Знаряддя та їх класифікація для обробітку ґрунту зі сферичними дисковими робочими органами. *Перспективи і тенденції розвитку конструкцій та технічного сервісу*

- сільськогосподарських машин і знарядь* : матеріали X Міжнар. наук.-прак. конф., м. Житомир, 18 квіт. 2024 р. Житомир : АТК, 2024. С. 40-42.
33. Боднарук Б. І. Опис конструкції обробки ґрунту за допомогою дискових знарядь. *Перші наукові кроки – 2024*: збірник наукових праць XVIII Всеукраїнської науково-практичної конференції студентів та молодих науковців (18 квітня 2024 р., м. Кам'янець-Подільський). Кам'янець-Подільський, 2024. С. 26.
 34. Hrushetskyi S., & Bodnaruk, B. (2024). Model of analytical study of the interaction of the disc working body with the soil. *International Science Journal of Engineering & Agriculture*, 3(5), 30–43. <https://doi.org/10.46299/j.isjea.20240305.04>.
 35. Механізація, електрифікація та автоматизація сільськогосподарського вирощування : підручник. В 2 т. Т. 1 / А. В. Рудь та ін. Київ : Агроосвіта, 2012. 584 с.
 36. Механізація, електрифікація та автоматизація сільськогосподарського вирощування : підручник. В 2 т. Т. 2 / А. В. Рудь та ін. Київ : Агроосвіта, 2012. 432 с.
 37. Типові норми продуктивності і витрати палива на передпосівну обробку. Київ : НДІ Укراгропромпродуктивність, 2005. 672 с.
 38. Типові норми продуктивності і витрати палива на сівбі, садінні і догляді за посівами. Київ : НДІ Украгропромпродуктивність, 2005. 424 с.
 39. Пастухов В. І Довідник з машиновикористання в землеробстві : навч. посіб. Харків : Веста, 2001. 344 с.
 40. Саблук П. Т. Технологічні карти та витрати на вирощування сільськогосподарських культур. ННЦ Інститут аграрної економіки, 2005. 292 с.
 41. Іванишин В. В., Рудь А. В., Грушецький С. М. Машини та обладнання в тваринництві : підручник. Кам'янець-Подільський : ЗВО «ПДУ» : ТОВ «Друкарня «Рута»., 2022. 468 с.
 42. Машини і обладнання для тваринництва. / І. І. Ревенко, та ін. Ніжин : видавець ПП Лисенко М. М., 2016. 584 с.
 43. Машини та обладнання для тваринництва : посібник-практикум / І. І. Ревенко та ін. Київ : Кондор, 2011. 396 с.
 44. Проектування сільськогосподарських машин : навч. посіб. для виконання курсових проектів з розробки сільськогосподарської техніки при підготовці фахівців напряму 6.100202 «Процеси, машини та обладнання

- агропромислового вирощування». 2-ге видання доп. і перероб. І. М. Бендера, та ін. Кам'янець-Подільський : ФОП Сисин О. В., 2011. 640 с.
45. Експлуатація машин і обладнання : підручник / Іванишин В. В., Лабазюк П. П., Рудь А. В., Грушецький С. М. Заклад вищої освіти «Подільський державний університет». Кам'янець-Подільський : ТОВ «Друкарня «Рута», 2024. 576 с.
46. Методичні рекомендації до виконання та оформлення дипломної роботи для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти спеціальності 208 «Агроінженерія» / Ю. І. Панцир, А. В. Рудь, В. І. Дуганець, В. І. Дуганець, С. П. Комарніцький / за ред. В.І. Дуганця. Кам'янець-Подільський: ЗВО «ПДУ», 2023. 51 с.