

**МІНІСТЕРСТВО АГРАРНОЇ ПОЛІТИКИ ТА ПРОДОВОЛЬСТВА УКРАЇНИ  
ЖИТОМИРСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРОЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

**На правах рукопису**

**Борак Костянтин Вікторович**

**УДК 621.891:631.313.02**

**ПІДВИЩЕННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ РОБОЧИХ ОРГАНІВ  
ДИСКОВИХ ҐРУНТООБРОБНИХ ЗНАРЯДЬ МЕТОДОМ  
ЕЛЕКТРОЕРОЗІЙНОЇ ОБРОБКИ**

Спеціальність 05.02.04 – тертя та зношування в машинах

Дисертація на здобуття наукового ступеня

кандидата технічних наук

Науковий керівник:

Герук Станіслав Миколайович

кандидат технічних наук, доцент

Житомир–2013

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ.....5

ВСТУП.....9

РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ УМОВ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ТА МЕТОДІВ ПІДВИЩЕННЯ  
ЗНОСОСТІЙКОСТІ РО ДГЗ.....15

1.1. Аналіз умов експлуатації, механізму та характеру зношування деталей  
машин, що працюють у середовищі ґрунту.....15

1.2. Аналіз абразивних властивостей ґрунтів.....	20
1.3. Аналіз математичних моделей та способів лабораторного дослідження процесу зношування в абразивній масі.....	25
1.4. Характеристика РО ДГЗ, особливості їх зношування та формоутворення в процесі експлуатації.....	34
1.5. Аналіз методів підвищення зносостійкості робочих органів ДГЗ.....	38
Висновки .....	45
 РОЗДІЛ 2. ТЕОРЕТИЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ СИЛОВОЇ ВЗАЄМОДІЇ РОБОЧИХ ОРГАНІВ ДИСКОВИХ ҐРУНTOОБРОБНИХ ЗНАРЯДЬ З ҐРУНТОМ, ДИНАМІКИ ЇХ ЗНОШУВАННЯ ТА ФОРМОУТВОРЕННЯ.....	
2.1. Силова характеристика взаємодії РО ДГЗ з ґрунтом.....	48
2.2. Визначення питомого тиску, що діє на зовнішню та внутрішню поверхню РО ДГЗ.....	53
2.3. Модель абразивного зношування РО ґрунтообробних машин, як випадкового процесу .....	55
2.4. Теоретичне обґрунтування умов виникнення ефекту самозагострювання РО ДГЗ.....	68
Висновки .....	72
 РОЗДІЛ 3. МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	
3.1. Програма та загальна методика проведення досліджень.....	74
3.2. Устаткування для ЕО.....	77
3.3. Лабораторні дослідження.....	78

3.3.1. Мікротвердість обробленого шару.....	78
3.3.2. Хімічний склад та структура поверхні після ЕО.....	80
3.3.3. Зносостійкість поверхні після ЕО.....	81
3.3.4. Вплив зовнішніх факторів на зносостійкість.....	88
3.4. Стендові дослідження.....	92
3.5. Методика експлуатаційних досліджень зношування РО ДГЗ.....	94
Висновки .....	98
<b>РОЗДІЛ 4. РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ.....</b>	<b>100</b>
4.1. Вибір раціональних технологічних параметрів ЕО.....	100
4.2. Вплив умов експлуатації на зносостійкість зразків, зміцнених ЕО..	103
4.2.1. Залежність зносостійкості від фракційного складу ґрунту, розміру та форми абразиву.....	103
4.2.2. Залежність зносостійкості від швидкості руху зразка та питомого тиску на зразок.....	106
4.3. Дослідження мікротвердості обробленого шару.....	107
4.4. Структура та хімічний склад поверхневого шару після ЕО.....	110
4.5. Стендові дослідження.....	113
4.5.1. Визначення епюр зношування РО ДГЗ.....	113
4.5.2. Обґрунтування поверхні зміцнення та співвідношення матеріалу основи та зміцненого шару.....	116
Висновки .....	118

РОЗДІЛ 5. ПІДТВЕРДЖЕННЯ АДЕКВАТНОСТІ ТЕОРЕТИЧНИХ ТА ЛАБОРАТОРИХ  
ДОСЛІДЖЕНЬ, ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА ЗАПРОПОНОВАНИХ  
ЗАХОДІВ.....119

5.1. Результати експлуатаційних досліджень.....119

5.2. Економічна ефективність від впровадження результатів  
досліджень.....137

Висновки .....141

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....143

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....146

ДОДАТКИ.....169

ДОДАТОК А. ПРОГРАМНА ПІДТРИМКА ДЛЯ МОДЕЛЮВАННЯ АБРАЗИВНОГО  
ЗНОШУВАННЯ.....170

ДОДАТОК Б. ЛАБОРАТОРНІ ДОСЛІДЖЕННЯ.....177

Додаток Б.1 Розрахунок адекватності при визначені зносостійкості сталі  
65Г після ЕО.....178

Додаток Б.2 Розрахунок адекватності при визначені зносостійкості сталі  
45 після ЕО.....179

Додаток Б.3 Розрахунок адекватності при визначені зносостійкості сталі  
65Г після ЕО.....180

Додаток Б.4 Поверхні відгуку та контурні графіки змін факторів на  
критерій оптимізації.....181

Додаток Б.5 Вплив вмісту фізичного піску, тиску ґрунту та швидкості руху  
на інтенсивність та зносостійкість сталі 65Г після ЕО.....184

ДОДАТОК В. ТЕХНІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДИСЕРТАЦІЙНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ.....	185
--	-----

Додаток В.1 Спосіб дослідження матеріалів та покриттів на зносостійкість.....	18
---	----

6

Додаток В.2 Установка для дослідження зносостійкості матеріалів та покриттів.....	191
---	-----

Додаток В.3 Спосіб зміцнення робочих органів дискових ґрунтообробних знарядь.....	195
---	-----

Додаток В.4 Спосіб ремонту дисків важких борін.....	200
---	-----

ДОДАТОК Г. ЕКСПЛУАТАЦІЙНІ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	205
--	-----

Додаток Г.1 Зміна коефіцієнта форми диска в залежності від напрацювання.....	206
--	-----

Додаток Г.2 Економічна ефективність від впровадження результатів дослідження.....	207
---	-----

ДОДАТОК Д. ВПРОВАДЖЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДИСЕРТАЦІЙНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ.....	210
---	-----

## ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

### Прийняті скорочення

ЕО – електроерозійна обробка

ДГЗ – дискові ґрунтообробні знаряддя

РО – робочий орган

Умовні позначення, символи та одиниці

$U$  – знос

$v$  – швидкість переміщення

$\sigma_M$  – контактне напруження

$K_\phi$  – коефіцієнт форми

$H_a$  – мікротвердість абразиву

$H_M$  – мікротвердість матеріалу

$K_m$  – співвідношення твердості металу і твердості абразивних частинок

$\varepsilon$  – відносна зносостійкість матеріалу

$b_n$  – коефіцієнт пропорційності

$f$  – коефіцієнта тертя

$L$  – шлях тертя

$I_h$  – інтенсивність абразивного зношування

$h$  – глибина входження абразивної частинки в матеріал деталі

$b$  – ширина подряпини

$n_a$  – кількість абразивних частинок

$A_a$  – номінальна площа контакту

$R_a$  – радіус абразивної частинки

$U_v$  – знос при полідеформаційному руйнуванні

$V_v$  – об'єм одиничного пошкодження матеріалу при полідеформаційному процесі

$n_M$  – число актів мікрорізання

$\lambda$  – степеневий показник

$n_p$  – число циклів руйнування

$n_d$  – число циклів пластичного деформування

$p$  – питомий тиск

$U(t)$  – функція відносного зносу

$$U(t) = \frac{u(t)}{u_{zp}}, \quad u(t) \text{ – поточний знос}$$

$u_{zp}$  – граничний знос

$\varphi(U, t), \psi(U, t)$  – детерміновані функції, які характеризують інтенсивність зносу

$\xi(t)$  – випадкова складова

$t$  – тривалість зношування

$D$  – зовнішній діаметр

$C$  – ширина вирізу

$R$  – радіус кривини сфери диска,

$\varepsilon_2$  – задній кут

$i$  – кут загострення

$\omega$  – кут нахилу фаски диска до його основи



$\alpha$  – кут різання

$E$  – товщина диска

$R_k$  – радіус затуплення ріжучої крайки

$R_{k,\delta}$  – допустимий радіус затуплення ріжучої крайки

$h_n$  – товщина несучого шару

$h_m$  – товщина зміцненого шару

$K_n$  – коефіцієнт міцності твердого шару

$H_m$  – твердість зносостійкого шару

$H_n$  – твердість несучого шару

$a$  – глибина обробітку

$m$  – відстань між дисками

$m_{кр}$  – критична відстань між дисками, за якої не виконуються вимоги агротехнічні вимоги, що ставляться до обробітку ґрунту

$H_l$  – опір деформації занурення леза

$H_z$  – опір від дії затилкової фаски диска

$m_n$  – кількість взаємодій з камінням при певному напрацюванні

$W$  – напрацювання РО

$k_B$  – коефіцієнт відновлення

$m_1$  – приведена маса РО

$m_2$  – маса ґрунту, каміння та ін.

$U_a$  – швидкість співудару

$P_z$  – навантаження, що діє на внутрішню сторону РО

$H_z$  – навантаження, що діє на зовнішню сторону РО

$H_{\text{сум}}$  – сумарна силова дія на зовнішню поверхню РО

$P(\Delta H)$  – ймовірність виникнення ударного навантаження

$w(t)$  – функція випадкової складової

$\bar{u}$  – граничний знос

$D_U, S_U$  – сталі величини, що характеризують інтенсивність детермінованої та випадкової складової процесу зношування відповідно

$U_N$  – нормований знос

$T_N$  – нормований час

$I_{Vm}, I_{VM}$  – відповідно інтенсивність зношування зміцненого та несучого шару

$I_m$  – інтенсивність зношування

$\sigma_w$  – зносостійкість

$m_0, m_s$  – відповідно початкова маса диска та його маса після напрацювання

$D_0, d_0$  – відповідно початковий зовнішній та внутрішній діаметр

$D_{cpi}, d_{cpi}$  – відповідно середнє значення зовнішнього та внутрішнього діаметра після певного напрацювання

$C_v$  – процентний вміст піску в ґрунті

$\chi$  – величина зерна абразиву

$U_B$  – напруга

$I$  – сила струму

$t_\partial$  – температура діелектричного середовища

## ВСТУП

**Актуальність теми.** Підвищення зносостійкості деталей, які працюють в умовах абразивного зношування – одна з найважливіших задач сучасного машинобудування.

У сільськогосподарському виробництві абразивному впливу найбільше піддаються робочі органи (РО) ґрунтообробних знарядь, які працюють в складному технологічному середовищі – ґрунті. Для обробітку ґрунту застосовують лемішно-лапові та дискові РО. В структурі парку сільськогосподарських машин України на машини з дисковими РО припадає близько 40% загальної кількості ґрунтообробних знарядь.

Аналіз відомих вітчизняних і зарубіжних РО дискових ґрунтообробних знарядь (ДГЗ) показав їх недостатню ефективність роботи внаслідок швидкого зношування зовнішнього діаметра, затуплення та зміни форми зубчастої поверхні, що призводить до збільшення витрат паливо-мастильних матеріалів, погіршення якості обробітку ґрунту, необхідності проведення додаткового загострювання РО та заміну зношених деталей або їх відновлення.

У зв'язку з цим обґрунтування силової взаємодії з ґрунтом РО ДГЗ, динаміки їх зношування та формоутворення, а також підвищення їх зносостійкості електроерозійною обробкою (ЕО) і реалізації ефекту самозагострювання в процесі експлуатації є безумовно актуальними в теорії і практиці тертя та зношування в машинах.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Дисертаційна робота виконана на кафедрі технічного сервісу та інженерної екології ЖНАЕУ спільно з лабораторією відновлення зношених деталей ННЦ "ІМЕСГ" НААНУ відповідно до теми науково-дослідної роботи (№ ДР0106U011553) "Провести дослідження характерних дефектів, розробити технологічні процеси із засобами технологічного оснащення для ремонту вузлів, відновлення та зміцнення деталей сільськогосподарської техніки" відповідно до "Національної програми розвитку агропромислового виробництва і соціального відродження села України на 1999-2010 рр.", розробленої за розпорядженням Президента України від 1 грудня 1998 року, в межах стратегічних пріоритетних напрямів розвитку науки і техніки в Україні на 2007-2012 рр. Основні положення роботи увійшли до тематичного плану науково-дослідної роботи (№ ДР0108U001577) "Розробка і впровадження екологобезпечних технічних засобів та методів експлуатації і ремонту техніки в умовах АПК України" Житомирського національного агроекологічного університету.

**Мета та завдання досліджень.** Метою роботи є підвищення зносостійкості робочих органів дискових ґрунтообробних знарядь шляхом локального зміцнення електроерозійною обробкою з реалізацією ефекту самозагострювання.

Відповідно до поставленої мети реалізувалися наступні завдання:

1. Проаналізувати умови роботи, характер та величину зношування робочих органів дискових ґрунтообробних знарядь.

2. Розробити математичну модель абразивного зношування робочих органів дискових ґрунтообробних знарядь та обґрунтувати умови їх самозагострювання.

3. Експериментально дослідити вплив технологічних параметрів електроерозійної обробки на зносостійкість зразків і робочих органів дискових ґрунтообробних знарядь.

4. Виявити вплив абразивних властивостей ґрунту та умов експлуатації на зносостійкість робочої поверхні зразків робочих органів дискових ґрунтообробних знарядь.

5. Провести порівняльні експлуатаційні дослідження серійних та зміцнених робочих органів дискових ґрунтообробних знарядь.

6. Визначити техніко-економічну ефективність впровадження у виробництво запропонованого методу підвищення зносостійкості робочих органів дискових ґрунтообробних знарядь.

**Об'єкт досліджень** – процес тертя та зношування робочих органів дискових ґрунтообробних знарядь при взаємодії з середовищем ґрунту.

**Предмет дослідження** – закономірності зміни триботехнічних характеристик робочої поверхні та тягового опору робочих органів дискових ґрунтообробних знарядь з урахуванням методу їх зміцнення.

**Методи досліджень.** Теоретичні дослідження процесу зношування та формоутворення РО ДГЗ проводилися з використанням основних положень теоретичної механіки, теорії тертя та зношування в абразивному середовищі, опору матеріалів, фізики твердого тіла та диференціальної алгебри. Лабораторні та експлуатаційні дослідження проводилися за методами і методиками у відповідності до державних та галузевих стандартів. Зносостійкість поверхневого шару після ЕО досліджували на запропонованій

установці за розробленою методикою. Обробка результатів лабораторних та експлуатаційних досліджень проводилася математично-статистичними методами з використанням пакету прикладних програм на ПК.

ЕО на лабораторних зразках та РО ДГЗ проводили на установці 01.10.016А. Мікроструктуру сталі після ЕО досліджували за допомогою мікроскопу "Neophot-32". Визначення вмісту С та S у шарі після ЕО проводили методом кулонометричного титрування за допомогою експрес-аналізаторів АН-7529 та АС-7932. Визначення вмісту інших хімічних елементів виконували ренгенофлуоресцентним методом за допомогою спектрометра VRA-20. Мікротвердість поверхні після ЕО визначали за допомогою приладу ПМТ-3.

**Наукова новизна одержаних результатів.** Положення, що характеризують наукову новизну дисертаційної роботи полягають у наступному:

- вперше виявлено вплив зміцнення робочої поверхні робочих органів дискових ґрунтообробних знарядь на характер зміни випадкової складової абразивного зношування, що дозволило обґрунтувати доцільність підвищення їх зносостійкості шляхом локального зміцнення;

- вперше отримано залежності впливу технологічних параметрів електроерозійної обробки на зносостійкість робочих органів дискових ґрунтообробних знарядь, що дало можливість визначити діапазон ефективних технологічних параметрів для підвищення зносостійкості обробленої поверхні;

- подальший розвиток одержало обґрунтування умов виникнення ефекту самозагострювання робочих органів дискових ґрунтообробних знарядь, які враховують можливість виникнення ударних навантажень на крайці їх леза;

- вперше встановлено залежності зносу, тягового опору та коефіцієнта зміни форми робочих органів дискових ґрунтообробних знарядь від способу

зміцнення та матеріалу, які підтверджують теоретичні та лабораторні дослідження.

**Практичне значення одержаних результатів.** За результатами роботи обґрунтовано новий спосіб зміцнення РО ДГЗ (патент України №55442), що дозволить підвищити зносостійкість в 1,76 рази порівняно з серійним та виключити процес ремонту в період експлуатації за рахунок самозагострювання робочої поверхні. Розроблено спосіб (патент України №59681) та установку (патент України №57585) для дослідження матеріалів та покриттів на зносостійкість в умовах абразивного зношування.

Результати досліджень впроваджені в господарствах корпорації “Сварог Вест Груп” Хмельницької області на важких дискових боронах АКРІЛ (Франція) та в СТОВ “Старокотельнянське” Андрушівського району Житомирської області на дискових ґрунтообробних агрегатах УДА-4,5, а також прийняті до впровадження у ПАТ “Вишевичі Агротехніка” Радомишльського району Житомирської області для виробництва РО ДГЗ. Економічний ефект від впровадження запропонованого способу зміцнення РО дискового ґрунтообробного агрегату УДА-4,5 (протягом всього терміну експлуатації – напрацювання 2136 га) становить 13498,08 грн.

Теоретичні та експериментальні результати дисертаційних досліджень впроваджені в навчальний процес Житомирського національного агроекологічного університету при викладанні дисциплін: “Механіко-технологічні властивості сільськогосподарських матеріалів”, “Сільськогосподарські машини та меліоративні машини”, “Надійність технологічних систем”, “Експлуатація машин і обладнання в рослинництві”, “Ремонт машин та обладнання”, “Матеріалознавство і ТКМ”, “Теорія машин і механізмів”, “Механіка матеріалів і конструкцій”.



**Особистий внесок здобувача.** Основні результати дисертаційної роботи здобувачем отримано самостійно. У тих, які опубліковані у співавторстві, особистий внесок здобувача полягає в наступному: отримано залежності впливу ЕО на триботехнічні характеристики сталі Х12, сталі 65Г та сталі 45 [19]; отримано залежності впливу фракційного складу ґрунту, розміру та форми абразиву, швидкості переміщення та питомого тиску на зносостійкість поверхні після ЕО; отримано математичні моделі зношування серійних та зміцнених РО ДГЗ [11]; наведена силова характеристика взаємодії зовнішньої та внутрішньої робочої поверхні диска з ґрунтом та виявлені умови виникнення ефекту самозагострювання для РО ДГЗ [12]; проведені експлуатаційні дослідження процесу зношування РО ДГЗ [1, 2, 9, 18, 21]. У способі зміцнення РО ДГЗ, який захищений 2 патентами України, частка всіх авторів однакова. В інших друкованих наукових працях за темою дисертаційної роботи доля здобувача складає близько 85%.

**Апробація результатів досліджень.** Результати роботи доповідалися на наступних наукових конференціях: професорсько-викладацького складу Житомирського національного агроекологічного університету (Житомир, 2008-2012 рр.); Міжнародній науково-практичній конференції (МНПК) “Сучасні проблеми землеробської механіки” (Львів, 2008 р.); Всеукраїнській науково-практичній конференції студентів та аспірантів “Підвищення надійності машин і обладнання” (Кіровоград, 2009-2012 рр.); II–III-ій МНПК “Інноваційні технології в АПК та лісовому комплексі” (Луцьк, 2009-2011 рр.); на VII–VIII-ій МНПК “Проблеми конструювання, виробництва та експлуатації сільськогосподарської техніки” (Кіровоград, 2009-2011 рр.), МНПК присвяченій 100-річчю від дня народження заслуженого діяча науки УРСР, доктора технічних наук, професора, засновника вітчизняної наукової школи трибології Бориса Костецького “Сучасні проблеми трибології” (Київ, 2010 р.); 10-й МНПК “Инженерия поверхности и реновация изделий” (Ялта, 2010 р.); VII-й МНПК молодих учених, аспірантів і

студентів “Перспективна техніка і технології – 2011” (Миколаїв, 2011 р.), МНПК “Технічний прогрес в АПК” (Харків, 2011 р.); ХХ-й Міжнародній науково-технічній конференції “Технічний прогрес у сільськогосподарському виробництві” (Глеваха, 2012 р.); Міжнародній науково-методичній конференції “Іноваційні напрямки розвитку технічного сервісу машин” (Харків, 2012 р.).

**Публікації.** За результатами дисертаційних досліджень опубліковано 17 наукових праць (8 одноосібних), з них 12 статей у фахових виданнях, 5 публікацій тез та матеріалів конференцій, а також отримано 4 патенти України.

**Структура та обсяг роботи.** Дисертація складається із вступу 5 розділів, загальних висновків, списку використаних джерел, який налічує 190 найменувань та 5 додатків. Роботу викладено на 217 сторінках, з них 167 сторінок основного тексту, на яких розміщено 67 рисунків та 16 таблиць.

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі наведено нове вирішення наукового завдання, що виявляється в підвищенні зносостійкості робочих органів дискових ґрунтообробних знарядь з реалізацією ефекту самозагострювання за рахунок використання електроерозійної обробки для зміцнення робочих поверхонь.

1. Аналіз умов роботи, характеру та причин зношування робочих органів дискових ґрунтообробних знарядь дозволив виділити фактори, що впливають на переважаючі види їх зношування та висунути робочу гіпотезу про можливість

підвищення зносостійкості з реалізацією ефекту самозагострювання методом електроерозійної обробки.

2. Отримано розв'язок стохастичного диференціального рівняння, як моделі випадкового процесу абразивного зношування серійних і зміцнених робочих органів дискових ґрунтообробних знарядь та розроблено програмний модуль для моделювання процесу абразивного зношування за допомогою ПК, що дозволить прогнозувати величини та характер зношування на стадії проектування.

3. Уточнені умови самозагострення робочих органів дискових ґрунтообробних знарядь зводяться до:

– співвідношення товщини зміцненого і несучого шару протягом всього терміну експлуатації повинно забезпечувати таку умову: радіус затуплення повинен бути меншим допустимого радіусу, який обумовлений нормальним протіканням технологічного процесу ( $R_k < R_{k.д.}$ ) Для ДГЗ дану умову можна реалізувати за рахунок зміни товщини зміцненого шару від крайки до основи диска, щоб урівняти знос зміцненого шару з несучим для збереження початкової форми;

– товщина несучого шару повинна бути мінімально можливою, забезпечуючи при цьому необхідне підвищення міцності зміцненого шару;

– твердість зміцненого шару повинна бути у відповідному співвідношенні ((1,4...1,8):1) з твердістю несучого шару в залежності від абразивних властивостей ґрунту;

– зміцненню і загостренню повинна підлягати робоча поверхня леза, яка більш інтенсивно зношується;

– кут загострення леза повинен складати  $i = 28^\circ \dots 30^\circ$ .

4. Виявлено, що ефективними технологічними параметрами електроерозійної обробки для підвищення зносостійкості сталей є: сила струму 350...450 А, напруга 45 В, температура діелектричного середовища 30...40°C. В результаті використання раціональних технологічних параметрів підвищено мікротвердість обробленого поверхневого шару для сталі Х12 на рівні 12...12,8 ГПа, сталі 65Г – 10,5...11,2 ГПа, сталі 45 – до 7,3...8,2 ГПа за рахунок формування дрібноголчастої структури мартенситу та легування поверхневого шару Mn, Si, Ni та Cr.

5. Встановлено, що використання електроерозійної обробки підвищує зносостійкість сталі 65Г при експлуатації на різних за механічним складом ґрунтах, з відмінними властивостями абразивного середовища (коефіцієнт форми, розмір абразивного зерна) та різними зовнішніми факторами (тиск, швидкість) в середньому на 60...80%.

6. Застосування електроерозійної обробки для зміцнення робочих органів дискових ґрунтообробних знарядь, виготовлених зі сталі 65Г, дозволяє підвищити зносостійкість в порівнянні: з серійними – в 1,76 рази, з робочою поверхнею, зміцненою електродом Т-590 – 1,1 рази, з робочими органами фірми Bellota (виготовлених зі сталі 28MnB5) – 1,16 рази. Крім того при експлуатації робочих органів, зміцнених електроерозійною обробкою спостерігався ефект самозагострювання, що в свою чергу сприяло зменшенню тягового опору на 4...16% порівняно з серійними.

7. Експлуатаційними випробовуваннями встановлено залежності зносу, тягового опору та коефіцієнта зміни форми робочих органів дискових ґрунтообробних знарядь від способу зміцнення, розроблені рекомендації щодо підвищення їх зносостійкості з реалізацією ефекту самозагострювання, які впровадженні у виробництво в корпорації “Сварог Вест Груп” Хмельницької області, СТОВ “Старокотельнянське” Андрушівського району Житомирської

області, а також прийняті до впровадження у ПАТ “Вишевичі Агротехніка” Радомишльського району Житомирської області для виробництва робочих органів дискових ґрунтообробних знарядь.

Економічний ефект для дискового ґрунтообробного агрегату УДА-4,5 (протягом всього терміну експлуатації – напрацювання 2136 га) становить 13498,08 грн.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Адлер Ю.П. Введение в планирование эксперимента / Ю.П. Адлер. – М.: Металлургия, 1968. – 155 с.
2. Адлер Ю.П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий / Ю.П. Адлер, Е.В. Маркова, Ю.В. Грановский. – [2-е изд., перераб. и доп.] – М.: Наука, 1976. – 279 с.
3. Александров В.П. Исследование технологических характеристик электроэрозионной обработки жаропрочных материалов / В.П. Александров. – М.: Наука, 1964 – 124 с.
4. Аулін В.В. Аналіз характеру зношування лез ґрунторіжучих деталей та підвищення їх ресурсу лазерними технологіями / В.В. Аулін, В.М. Бобрицький, Є.К. Солових // Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. Конструювання, виробництво та експлуатація с/г машин. – Кіровоград, 2005. – Вип. 35. – С. 153-157.

5. Аулін В.В. Зношувальна здатність ґрунтового середовища та закономірності спрацювання деталей РОГМ / В.В. Аулін, М.І. Черновол, А.А. Тихий // Проблеми трибології (Problems of tribology). Хмельницький: ХДУ, – 2010. – №2 – С. 6-10.
6. Аулин В.В. Об использовании лазерного излучения для упрочнения деталей / В.В. Аулин, С.И. Шмат, Т.М. Аулина // Конструирование и технология пр.-ва с/х машин. – К., 1988. – Вып. 18. – С. 82-85.
7. Аулін В.В. Підвищення довговічності РОГМ, зміцненням їх за різними варіантами та реалізацією ефекту самозагострювання / В.В. Аулін, В.М. Бобрицький, А.А. Тихий // Вісник Харківського нац. техн. університету сільск. господарства. Проблеми надійності машин та засобів механізації сільськогосподарського виробництва. – Харків. – 2010. – №100 – С.158-165.
8. Аулін В.В. Самозагострювання різальних елементів ґрунтообробних і землерийних машин в умовах зміцнення їх робочих поверхонь / В.В. Аулін, С.О. Карпушин, А.А. Тихий // Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного университета: Сборник научных трудов. – Харьков: ХНАДУ, 2012. – вып. 57 – С. 188-194.
9. Аулін В.В. Теоретичні основи самозагострювання, міцності і зношування різальних елементів РОГМ та напрямки підвищення їх довговічності / В.В. Аулін, В.М. Бобрицький, А.А. Тихий // Вісник інженерної академії України. – 2010.-№1 – С. 149-154.
10. Аулін В.В. Трибофізичне огрунтування зміни напружено-деформованого стану ґрунту під час дії РОГМ / В.В. Аулін // Загальнодержавний міжвідомчий науково технічний збірник. Конструювання, виробництво та експлуатація с/г машин – Кіровоград: КНТУ. – 2012. – Вип.42. – Частина І. – С. 13-20.

11. Аулін В.В., Характер та інтенсивність зношування робочих органів ґрунтообробних машин / В.В. Аулін, В.М. Бобрицький // Проблеми трибології (Problems of Tribology). – Хмельницький: ХДУ, 2004.–№2.–С. 107-112.
12. Балабуха А.В. Повышение долговечности и эффективности работы режущих элементов почвообрабатывающих машин путем управления изнашиванием при дискретном упрочнении: дис... канд. техн. наук: 05.05.11 / Балабуха Александр Валерьевич. – Кировоград, 2001. – 138 с.
13. Бахтин П.У. Исследования физико-механических и технологических свойств основных типов почв СССР / П.У. Бахтин. – М.: Колос, 1969. – 268 с.
14. Бернштейн Д.Б. Абразивное изнашивание лемешного лезвия и работоспособность плуга / Д.Б. Бернштейн // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – М.: Машиностроение, 2002. – №6. – С. 39-42.
15. Берштейн Д.Б. Износостойкость лемехов зонально упрочненных твердыми сплавами / Д.Б. Бернштейн, И.В. Лискин // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – М.: Машиностроение, 1998. – №9. – С.41-46
16. Бернштейн Д.Б. Повышение срока службы плужных лемехов / Д.Б. Бернштейн // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – М.: Машиностроение – 1998. – №7. – С. 30-33.
17. Бернштейн Д.Б. Оценка возможности самозатачивания двухслойных почворежущих элементов при абразивном изнашивании / Д.Б. Бернштейн // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – М.: Машиностроение, 1985. – №6. – С.31-34.



18. Бобрицький В.М. Підвищення зносостійкості різальних елементів робочих органів ґрунтообробних машин: дис. канд. тех. наук: 05.02.04 / Бобрицький Віталій Миколайович. – Кіровоград, 2007. – 182 с.
19. Бойко А.І. Аналіз розподілу зусиль на ріжучій частині ґрунтообробного робочого органу / А.І. Бойко, О.В. Балабуха // Вісник Тернопіль. держ. техн. університету. – Тернопіль: ТДТУ. – 2000. – Т.5. – №4 – С. 78-82.
20. Бойко А.И. Исследование формы естественного износа монометаллических лезвий почвообрабатывающих машин / А.И. Бойко, А.В. Балабуха // Збірник наукових праць Кіровоградського національного технічного університету. Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація. – Кіровоград: КДТУ. – 2000. – Вип. 6. – С.78-82.
21. Борак К.В. Визначення граничного зносу вирізних сферичних дисків ґрунтообробних знарядь / К.В. Борак // Матеріали VII-ї Міжнародної науково-практичної конференції молодих учених, аспірантів і студентів 13-16 вересня 2011 р. “Перспективна техніка і технології 2011”. – Миколаїв: МДАУ, 2011. – С. 127-133.
22. Борак К.В. Влияние наработки на коэффициент изменения формы рабочих органов дисковых почвообрабатывающих орудий / К.В. Борак / Альманах современной науки и образования. – Тамбов: Грамота, 2012. – С. 19-23.
23. Борак К.В. Вплив електроерозійної обробки на триботехнічні характеристики обробленого шару / К.В. Борак // Тези доповідей студентів, магістрантів, аспірантів та викладачів на V-й Всеукраїнській науково-практичній конференції 6-8 квітня 2011 р. “Підвищення надійності машин і обладнання”. – Кіровоград: КНТУ, 2011. – С. 48.

24. Борак К.В. Вплив електроерозійної обробки на хімічний склад та структуру сталі 65Г / К.В. Борак // Збірник наукових праць Кіровоградського національного технічного університету [“Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація”]. – Кіровоград: КНТУ, 2011. – № 24 – Ч.1. – С. 141-147.
25. Борак К.В. Дослідження динаміки зміни профілю леза робочих органів дискових ґрунтообробних знарядь / К.В. Борак // Вісник Харківського національного технічного університету імені П. Василенка [“Механізація сільськогосподарського виробництва”]. – Харків: ХНТУСГ ім. П.Василенка, 2011. – № 107 – С. 170-175.
26. Борак К.В. Модель відносного зношування робочого органу як випадковий процес та програмна підтримка для визначення відліків його реалізації / К.В. Борак // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка [“Технічний сервіс машин для рослинництва”]. – Харків: ХНТУСГ ім. П.Василенка, 2012. – Випуск 121. – С. 233-238.
27. Борак К.В. Розподіл мікротвердості в поверхневому шарі після електроерозійної обробки / К.В. Борак // Вісник Житомирського національного агроекологічного університету. – Житомир: ЖНАЕУ, 2011. – №1. – С. 336-341.
28. Борак К.В. Теоретичні передумови виникнення ефекту самозагострювання робочих органів дискових ґрунтообробних знарядь // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка [“Ресурсозберігаючі технології, матеріали та обладнання у ремонтному виробництві”]. – Харків: ХНТУСГ ім. П.Василенка, 2012. – Випуск 122. – С. 179-187.

29. Борони дискові важкі БДВ. Технічні умови ТУ У 29.3-00903653-001-2007.  
– Житомир: ВАТ “ВИШЕВИЧІ АГРОТЕХНІКА”, 2007. – 16 с.
30. Василенко М. Відновлення лемешів із застосуванням електрофізичного методу / М. Василенко, В. Верхуша // Техніка АПК – К., 2000. – №7 – С. 15-16.
31. Василенко М. Перспективи застосування локального зміцнення при виготовленні і відновленні робочих органів / М. Василенко // Техніка АПК – К., 2008. – № 1. – С. 29-31.
32. Василенко М. Подовження ресурсу імпоротної техніки / М. Василенко // Техніка АПК – К.: 2007. – № 4-5 – С. 13-15.
33. Васильев С.П. Об изнашивающей способности почв / С.П. Васильев, Л.С. Ермолов // Повышение долговечности рабочих деталей почвообрабатывающих машин. – М.: Машгиз, 1960. – С. 83-88.
34. Веденяпин Г.В. Общая методика экспериментального исследования и обработки опытных данных / Г.В. Веденяпин. – М.: Колос, 1973. – 199 с.
35. Венгенков Н.А. Механизация обработки почвы / Н.А. Венгенков, Е.И. Попов. – М.: Колос, 1972. – 272 с.
36. Весы лабораторные общего назначения и образцовые. Общие технические условия: ГОСТ 24104-88. – [введ. 01.01.89]. – М.: Издательство стандартов, 1988. – 14 с.
37. Виноградов В.И. Исследование влияния скорости движения клина на величину нормальных и касательных сил, возникающих на его поверхности / В.И. Виноградов, М.Д. Подскребко // Усовершенствование почвообрабатывающих машин. – М.: ЦИНТИМАШ, 1962. – С. 66-73.
38. Виноградов В.Н. Изнашивание при ударе / В.Н. Виноградов, Г.М. Сорокин, А.Ю. Алгабачиев. – М.: Машиностроение, 1982. – 192 с.

39. Виноградов В.Н. Абразивное изнашивание / В.Н. Виноградов, Г.Н. Сорокин, М.Г. Колокольников. – М.: Машиностроение, 1990. – 224 с.
40. Випробування сільськогосподарської техніки. Машина і знаряддя для обробітку ґрунту. Методи випробовувань. СОУ 74.3-37-155:2004 [Чинний від 01.08.2006]. – К.: Мінагрополітики України, 2006. – 105 с.
41. Войтов В.А. Про розташування матеріалів в парах тертя за твердістю та конструктивні способи підвищення зносостійкості / В.А. Войтов // Тертя та зношування. – 1994. – Т.15. – С.452-460.
42. Войтов В.А. Універсальна машина тертя / В.А. Войтов, В.О. Баздзьоркін // Тертя та зношування. – 1992. – Т.13. – С. 501-506.
43. Войтюк Д.Г. Сільськогосподарські машини: основи теорії та розрахунку: Навчальний посібник / Д.Г. Войтюк, С.С. Яцук, М.Я. Довжик; за ред. Д.Г. Войтюка. – Суми: ВТД Універсальна книга, 2008. – 543 с.
44. Волков Ю.В. Долговечность машин работающих в абразивной среде / Ю.В. Волков, З.А. Волкова, Л.М. Кайгородцев. – М.: Машиностроение, 1964. – 117 с.
45. Гаркунов Д.Н. Триботехника (износ и безызносность) / Д.Н. Гаркунов. – [4-е изд., перераб. и доп.] – М.: Издательство МСХА, 2001. – 616 с.
46. Герук С.М. Вплив електроерозійної обробки на хімічний склад сталі Х12 / С.М. Герук, К.В. Борак // Вісник Житомирського державного технологічного університету. Серія: Технічні науки. – Житомир: ЖДТУ, 2011. – Вип. 58. – С. 3-8.
47. Герук С.М. Дослідження зносостійкості робочих органів дискових ґрунтообробних знарядь / С.М. Герук, К.В. Борак // Сільськогосподарські машини: Зб. наукових статей. – Луцьк: ЛНТУ, 2009. – Вип. 18. – С. 51 – 62.

48. Герук С.М. Дослідження зношування робочих органів дискових борін / С.М. Герук, К.В. Борак, В.О. Нечипоренко // Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник [“Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин”]. – Кіровоград: КНТУ, 2008. – №38. – С. 184-190.
49. Герук С.М. Зміцнення робочих органів дискових ґрунтообробних знарядь / С.М. Герук, К.В. Борак // Вісник Житомирського національного агроекологічного університету. – Житомир: ЖНАЕУ, 2009. – №2. – С. 212-218.
50. Герук С.М. Зносостійкість поверхневого шару зміцненого електроерозійною обробкою / С.М. Герук, К.В. Борак // Матеріали 10-й Міжнародної науково-технічної конференції 24–28 мая 2010 г. “Інженерія поверхності і реновація изделий”. – Ялта: АТМ України, 2010. – С. 56-58.
51. Герук С.М. Методика лабораторних випробовувань на зносостійкість зразків, зміцнених електроерозійною обробкою / С.М. Герук, К.В. Борак // Міжнародний науковий журнал «Проблеми трибології». – Хмельницький: ХНУ, 2010. – №4 – С. 60-65.
52. Герук С.М. Методика експлуатаційних досліджень зношування робочих органів дискових ґрунтообробних знарядь / С.М. Герук, К.В. Борак // Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. – Кіровоград: КНТУ, 2009. – С. 392-396.
53. Герук С.М. Підвищення зносостійкості робочих органів дискових ґрунтообробних знарядь / С.М. Герук, К.В. Борак // Тези доповідей Міжнародної науково-технічної конференції присвяченій 100-річчю від дня народження заслуженого діяча науки УРСР, доктора технічних наук,

- професора, засновника вітчизняної наукової школи трибології Бориса Костецького 19-21 травня 2010 р. “Сучасні проблеми трибології”. – К.: НАУ, 2010. – С. 150.
54. Гихман И.И. Стохастические дифференциальные уравнения / И.И. Гихман, А.В. Скороход. – К.: Наукова думка, 1968. – 354 с.
55. Горячкин В.П. Собрание сочинений в трех томах / В.П. Горячкин. – М.: Колос, 1965. – Т. II. – 460 с.
56. Гусяцкий М.Л. О направлении равнодействующей сил реакции почвы на косо поставленный диск / М.Л. Гусяцкий // Сельхозмашина – М.: Сельхозмашина, 1948. – № 7. – С.11-12.
57. Гусяцкий М.Л. Общая теория равновесия навесных агрегатов / М.Л. Гусяцкий // Механизация и электрификация сельского хозяйства в СССР. – М.: Издательство МСХ СССР, 1959. – С. 167-188.
58. Гутерман П.М. Влияние микроструктуры на износостойкость углеродистых сталей при абразивном изнашивании / П.М. Гутерман, М.М. Тененбаум // Металловедение и обработка металлов. – М., 1956, – №11. – С. 28-32.
59. Дворук В.І. Абразивна зносостійкість та структура легованих сталей / В.І. Дворук, С.С. Бєлих // Проблеми трибології. – Хмельницький: ХНУ, 2012. – №1. – С.14-19.
60. Дворук В.И. Научные основы повышения абразивной износостойкости деталей машин / КМУГА. – К.: КМУГА, 1997. – С. 95-99.
61. Дворук В.І. Нові закономірності абразивної зносостійкості нелегованих сталей та сплавів / В.І. Дворук, С.С. Бєлих // Проблеми трибології – Хмельницький: ХНУ, 2011. – №4. – С.20-25.
62. Дворук В.І. Процеси припрацювання в трибологічних системах / В.І. Дворук, М.В. Кіндрачук, Кульгавий Е.А., Хлевна Ю.Л. // Проблеми

- тертя та зношування: зб.наук. праць. – К.:НАУ, 2011 – Вип. 56. – С.25-32.
63. Дворук В.І. Реолого-кінетична концепція абразивної зносостійкості та її реалізація в керуванні працездатністю механічних трибо систем. дис... доктора техн. наук / Дворук Володимир Іванович – К., 2007. – 471 с.
64. Добровольский А.Г. Абразивная износостойкость материалов. Справочное пособие / А.Г. Добровольский, Г.И. Кошеленко. – К.: Техника, 1989. – 128 с.
65. Дудак С.М. Дискові ґрунтообробні знаряддя: основні параметри та особливості / С.М. Дудак // Механізація та електрифікація сільського господарства. – Глеваха: ННЦ ІМЕСГ, 2007. – Вип. 91. – С. 368-371.
66. Электроерозионная обработка металлов / [М.К. Мицкевич, А.И. Бушик, И.А. Бакуто и др.]; под. ред. И.Г. Некрашевича. – М.: Наука и техника, 1988. – 216 с.
67. Ермолов Л.С. Повышение надежности сельскохозяйственной техники: Основы теории и практики / Л.С. Ермолов. – М.: Колос, 1979. – 225 с.
68. Загоруйко А.Ф. Исследование износа рабочих кромок дисковых лущильников и разработка мероприятий по повышению их устойчивости: дис... канд. техн. наук / Загоруйко Анатолий Филиппович. – зерноград, 1973. – 156 с.
69. Заїка П.М. Теорія сільськогосподарських машин: [Т. 1, ч. 1: Машини та знаряддя обробітку ґрунту] / М.П. Заїка. – Х.: Око, 2001. – 444 с.
70. Зайцев А.К. Основы учения о трении, износе и смазке / А.К. Зайцев. – М.; Л.: Машгиз, 1947. – 219 с.
71. Золотых Б.Н. Физические основы электроискровой обработки металлов / Б.Н. Золотых. – М.: Гостехтеориздат, 1953. – 108 с.

72. Інженерія поверхні: підруч. / К.А.Ющенко, Ю.С. Борисов, В.Д. Кузнецов, В.М. Корж. – К.: Наукова думка, 2007. – 559с.
73. Измерение микротвердости вдавливанием алмазных наконечников ГОСТ 9450-76 – [введ. 1977-01-01]. – М.: Издательство стандартов, 1993. – 34 с.
74. Икрамов У.А. Расчетные методы оценки абразивного износа / У.А. Икрамов. – М.: Машиностроение, 1987. – 288 с.
75. Канарев Ф.М. Ротационные почвообрабатывающие машины и орудия / Ф.М. Канарев. – М.: Машиностроение, 1983. – 144 с.
76. Каплун. Г.П. Исследование влияния изнашивающих свойств почв на долговечность деталей рабочих органов почвообрабатывающих машин : автореф. дис. на соискание ученой степени канд. техн. наук / Григорий Петрович Каплун. – Минск, 1961. – 20 с.
77. Каплун Г.П. Исследование влияния свойств почв на долговечность деталей рабочих органов почвообрабатывающих машин / Г.П.Каплун. – Минск: Изд-во Академии с. х. наук БССР, 1960. – 120 с.
78. Кащеев В.Н. Абразивное разрушение твердых тел / В.Н. Кащеев. – М.: Наука, 1970. – 247 с.
79. Кленин Н.И. Сельськохозяйственые и мелиоративные машины: Элементы теории рабочих процессов, расчет регулировочных параметров и режимов работы / Н.И Кленин, В.А. Сакун. – [2-е изд., перераб. и доп.] – М.: Колос, 1980. – 671 с.
80. Кузнецов В.Д. Избранные труды. Физика резания и трения металлов и кристаллов / В.Д. Кузнецов – М.: Наука, 1977. – 310 с.
81. Кузнецов Д.Ф. Численное интегрирование стохастических дифференциальных уравнений : [монография] / Д.Ф. Кузнецов. – СПб.: Изд-во С.-Петербургского государственного университета, 2001. – 712 с.



82. Кузнецов Д. Ф. Стохастические дифференциальные уравнения: теория и практика численного решения / Д.Ф. Кузнецов – [4-е изд., испр. и доп.]. – СПб. : Изд-во Политехнического университета, 2010. – 816 с.
83. Кушнарев А.С. Механико-технологические основы обработки почвы / А.С. Кушнарев, В.И. Кочев. – К.: Урожай, 1989. – 144 с.
84. Коваленко В.С. Электрофизические и электрохимические методы обработки материалов / В.С. Коваленко. – К.: Вища школа, 1975. – 236 с.
85. Козаченко О.В. Виробничі випробовування культиваторних лап удосконаленої конструкції / О.В. Козаченко, О.М. Шкрегаль, О.В. Блезнюк // Вісник Дніпропетровського державного аграрного університету: Сучасні проблеми землеробської механіки. – Дніпропетровськ: ДДАУ, 2009. – №2. – С. 178-281.
86. Козаченко О.В. Дослідження по зміцненню леза дискових копачів корнезбиральної машини КС-6Б / О.В. Козаченко, О.В. Блезнюк // Зб. наук. Пр.. Віницького держ. аграр. ун-ту. – 2005. – Вип. 21. – С. 185-189.
87. Козаченко О.В. Теоретичне обґрунтування можливості утворення зубців на лезі дискового копача наплавленого зносостійким покриттям / О.В. Козаченко, О.В. Блезнюк // Вісник Харківського нац. техн. ун-ту сіл. госп-ва імені П. Василенка. – 2005 – Вип. 42. – С. 138-147.
88. Комаристов В.Ю. Сільськогосподарські машини / В.Ю. Комаристов, М.М. Петренко, М.М. Косінов. – К.: Урожай, 1996. – 240 с.
89. Костецкий Б.И. Износостойкость деталей машин / Б.И. Костецкий. – Москва–Харьков: Машиз, 1950. – 168 с.
90. Костецкий Б.И. Марковская модель износа и прогнозирования долговечности изнашиваемых деталей / Б.И. Костецкий, В.П. Стрельников, В.Г. Таций // Проблемы трения и изнашивания. – К.: Техника, 1976. – Вып. 10. – С.10-15.

91. Костецкий Б.И. Трение, смазка и износ в машинах / Б.И. Костецкий. – К.: Техніка, 1970. – 396 с.
92. Костецкий Б.И. Сопротивление изнашиванию деталей машин / Б.И. Костецкий. – М.-К.: Машгиз, 1959. – 476 с.
93. Костецкий Б.И. Фундаментальные закономерности трения и износа / Б.И. Костецкий. – К.: Знание, 1981. – 31 с.
94. Крагельский И.В. Трение и износ / И.В. Крагельский. – М.: Машиностроение, 1962. – 382 с.
95. Краснощеков Н.В. Исследование работы дисковых орудий на повышенной скорости.: автореф. дис... канд. техн. наук / Н.В. Краснощеков. – Омск, 1964. – 20 с.
96. Лазаренко Б.Р. Электроискровая обработка токопроводящих материалов / Б.Р. Лазаренко, Н.И. Лазаренко. – М.: Изд-во АН СССР, 1958. – 183 с.
97. Лазаренко Б.Р. Физика искрового способа обработки металлов / Б.Р. Лазаренко, Н.И. Лазаренко. – М.: ЦБТИ МЭП СССР, 1946. – 76 с.
98. Левинсон Е.М. Справочное пособие по электротехнологии. Электроэрозионная обработка металлов / Е.М. Левинсон, В.С. Лев. – Л.: Ленинздат, 1972. – 328 с.
99. Летошнев М.Н. Сельскохозяйственные машины / М.Н. Летошнев. – М.-Л.: Госиздат сельскохозяйственной литературы, 1955. – 764 с.
100. Лившиц А.Л. Электроэрозионная обработка металлов / А.Л. Лившиц. – М.: Машиностроение, 1957. – 120 с.
101. Листопад И.А. Планирование эксперимента в исследованиях по механизации сельскохозяйственного производства / И.А. Листопад. – М.: Агропромиздат, 1988. – 88 с.

102. Лоренц В.Ф. Износ деталей, работающих в абразивной среде. // Труды 1-й Всес. конференции по трению и износу в машинах. – М.: Изд. АН СССР, 1939. – Т. 1. – С. 93-112.
103. Лоренц В.Ф. Износ деталей сельскохозяйственных машин / В.Ф. Лоренц. – М.: Машиздат, 1948. – 98 с.
104. Мацепурко М.Е. Творческое применение учения академика В.П. Горячкина в научных исследованиях по механизации сельского хозяйства / М.Е. Мацепурко. – Минск: Издательство АН БССР, 1956. – 208 с.
105. Мельников С.В. Планирование эксперимента в исследованиях сельскохозяйственных процессов / С.В. Мельников, В.Р. Алешкин, П.М. Рощин. – Л.: Колос, 1972. – 200 с.
106. Металлы. Метод измерения твердости по Роквеллу: ГОСТ 9013-59. – [введ. 01.01.1960]. – М.: Издательство стандартов 2001 г. – 7 с.
107. Методи економічного оцінювання техніки на етапі випробовування ДСТУ 4397:2005. – [чинний від 01.01.2006]. – К.: Держспоживстандарт України, 2005. – 15 с.
108. Методы повышения долговечности деталей машин / [В.Н. Ткачев, Б.М. Фиштейн, В.Д. Власенко, В.А. Уланов]. – М.: Машиностроение, 1971. – 272 с.
109. Михальченков А. М. Повышение износостойкости плужных лемехов упрочнением наиболее вероятных зон износа / А.М. Михальченков, А.А. Тюрева, П.А. Паршиков // Конструирование, использование, надежность машин сельскохозяйственного назначения: сб. науч. работ. – Брянск: Брянская ГСХА, 2006. – Ч. 1. – С. 234-239.
110. Михальченков, А.М. Повышение износостойкости плужных лемехов нанесением упрочняющих валиков в области наибольшего

- износа / А.М. Михальченков, А.А. Тюрева, М.А. Михальченкова // Ремонт, восстановление, модернизация. – 2007. – №9. – С. 17-19.
111. Михальченков А.М. Повышение ресурса плужных корпусов сварочным армированием / А.М. Михальченков, Д.А. Капошко // Ремонт, восстановление, модернизация. – 2005. – № 7. – С. 20-24.
112. Михальченков А.М. Восстановление деталей двухслойной наплавкой / А.М. Михальченков // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – М.; 1995. – №1. – С. 22-23.
113. Молодик М. Стан досліджень процесу абразивного зношування робочих органів ґрунтообробних машин / М. Молодик, С. Герук, К. Борак // Вісник Львівського національного аграрного університету: агроінженерні дослідження. – Львів: Львів. нац. університет, 2010. – №14. – С. 214-220.
114. Мударистов С.Г. Моделирование процесса взаимодействия рабочих органов с почвой. / С.Г. Мударистов // Тракторы и сельскохозяйственные машины. –2005. – №7. – С. 27-30.
115. Назаренко І.І. Ґрунтознавство: підручник / І.І. Назаренко, С.М. Польчина, В.А. Нікорич. – Чернівці: Книги-XXI, 2004. – 400 с.
116. Назар І.Б. Технологічне забезпечення відновлення дисків сошників зернових сівалок: дис... канд. тех. наук: 05.05.11. / Назар Ігор Петрович. – Тернопіль, 2005. – 154 с.
117. Нартов П.С. Дисковые почвообрабатывающие орудия / П.С. Нартов. – Воронеж: ВГУ, 1972. – 184 с.
118. Немилов Е.Ф. Электроэрозионная обработка материалов: Учебник для ПТУ / Е.Ф. Немилов. – Л.: Машиностроение, 1983. – 160 с.
119. Новиков В.С. Обеспечение долговечности рабочих органов почвообрабатывающих машин: автореф. дис. на соиск. ученой степени

- док. тех. наук: специальность 05.20.03 – технологи и средства технического обслуживания в сельском хозяйстве / Владимир Савельевич Новиков. – М., 2008. – 42 с.
120. Обработка электроэрозионная. Термины и определения. ГОСТ 25331-82. – [введ. 01.07.1983]. – М.: Издательство стандартов, 1982. – 11 с.
121. Обрызков Е.П. О влиянии абсолютной влажности почвы на износ лемехов / Е.П. Обрызко // Сельхозмашины. – 1955. – № 6. – С. 14-21.
122. Орлов Б.Н. Количественная оценка долговечности дисковых рабочих органов почвообрабатывающих машин / Б.Н.Орлов // Ремонт, восстановление, модернизация. – М.: ООО “Наука и технологии”, 2006. – № 9. – С. 9-10.
123. Орлов Б.Н. Прогнозирование долговечности рабочих органов мелиоративных почвообрабатывающих машин: дисс. док. техн. наук / Б.Н. Орлов. – М., 2004. – 348 с.
124. Пат. 44457 Україна, МПК А01В23/00. Спосіб ремонту дисків важких борін / С.М. Герук, К.В. Борак; заявник К.В. Борак. – и 2009 02299; заяв. 16.03. 2009; опублік. 12.10.2009, Бюл. № 19, 2009 р.
125. Пат. 55442 Україна, МПК А01В23/00. Спосіб зміцнення робочих органів дискових ґрунтообробних знарядь / С.М. Герук, К.В. Борак, заявник К.В. Борак. – и 2010 07986; заяв. 25.06.2010; опублік. 10.12.2010, Бюл. №23, 2010 р.
126. Пат. 57585 Україна, МПК А01В23/00. Установка для дослідження зносостійкості матеріалів та покриттів / С.М. Герук, М.А. Савченко, К.В. Борак – заявник К.В. Борак. – и 2010 07973; заяв. 25.06.2010; опублік. 10.03.2011, юл. №5 2011 р.

127. Пат. 59681 Україна, МПК G01N3/00 Спосіб дослідження матеріалів та покриттів на зносостійкість / С.М. Герук, М.А. Савченко, К.В. Борак, заявник К.В. Борак. – и 2010 13233, заяв. 08.11.2010, опубл. 25.05.2011, Бюл. №10, 2011 р.
128. Поверхносная прочность материалов при трении / [Костецкий Б.И., Носовский И.Г., Караулов А.К. и др.]; под. ред. Б.И. Костецкого. – К.: Техніка, 1976. – 292 с.
129. Польовий Б.Д. Вдосконалення технології обробітку ґрунту дисковими робочими органами / Б.Д. Польовий // Збірник наукових праць. Подільська державна аграрно-технічна академія. – Кам'янець-Подільський, 2002. – №10. – С. 263-265.
130. Приборы для измерения микротвердости ТУ 3-3.1377-83. – М.: Издательство стандартов, 1984. – 23 с.
131. Пригожая М.Г. Определение коэффициента трения стали о почву / М.Г. Пригожая // Доклады ТСХА. – М.: Геодезия, 1959. – С. 143-149.
132. Провести дослідження та розробити ресурсощадні технологічні процеси і обладнання для відновлення деталей електрофізичними, газотермічними методами та підготувати пропозиції щодо підвищення їх ресурсу: звіт про науково-дослідну роботу (заключ.): 09.03.03 ф / ННЦ "ІМЕСГ" УААН; керівник Василенко М.О.; виконавці: Чернявський О., Проценко В., Долгірев П., Ткач О., Братчик А. – К., 2005. – 42 с. – Бібліогр.: с. 22. – № ДР 0102U000239.
133. Провести дослідження характерних дефектів, розробити технологічні процеси із засобами технологічного оснащення для ремонту вузлів, відновлення та зміцнення деталей сільськогосподарської техніки: звіт про науково-дослідну роботу (проміжний) 40.05-033/01Ф / ННЦ "ІМЕСГ" УААН; керівник Василенко

- М.О.; виконавці: Чернявський О., Проценко В., Лисіков Ю., Іванов О., Матвійченко В., Ткач О., Борак К., Братчик А. – К., 2009. – 37 с. –  
Бібліогр.: с. 6. – № ДР 0106U011553.
134. Прокат из рессорно-пружинной углеродистой и легированной стали. Технические условия. ГОСТ 14959-79 [введ. с 01.01.1981]. – М.: Издательство стандартов, 1995. – 14 с.
135. Прокат сортовой, калиброванный, со специальной отделкой поверхности из углеродистой качественной конструкционной стали. Общие технические условия ГОСТ 1050-88 [введ. с 01.01.1991]. – М.: ФГУП СТАНДАРТИНФОРМ, 2008. – 18 с.
136. Протокол державних приймальних випробовувань № 01-87-97 (4031697) від 18 грудня 1997 р. – Укр. НДІПВТ, 1997. – 14 с.
137. Прутки, полосы и мотки из инструментальной легированной стали. Общие технические условия ГОСТ 5950-2000 [введ. с 01.01.2002]. – К.: УкрНИИ Спецсталь, 2002. – 35 с.
138. Путинцева М.А. О равновесии батареи дискового лущильника в вертикальной плоскости / М.А. Путинцева // Сб. науч. тр. Омского СХИ. – Омск, 1959. – Т. 39. – С. 133-141.
139. Рабинович А.Ш. Опыт внедрения самозатачивающихся плужных лемехов / А.Ш. Рабинович, Сальников В.А. // Техника в сельском хозяйстве. – М., 1961. – № 1. – С. 27-30.
140. Рабинович А.Ш. Самозатачивающиеся плужные лемехи и другие почворезущие детали машин / А.Ш. Рабинович. – М.: ГОСНИТИ, 1962. – 106 с.
141. Ревут И.Б. Физика почв / И.Б. Ревут. – Л.: Колос, 1964. – 320 с.
142. Севернев М.М. Научные основы работоспособности и долговечности сельскохозяйственных машин: автореф. дис. на

- соискание уч. степени док. техн. наук. / Михаил Максимович Севернев. – Минск, 1964. – 57 с.
143. Севернев М.М. Износ деталей сельскохозяйственных машин / М.М. Севернев. – Л.: Колос, 1972. – 288 с.
144. Сельскохозяйственные и мелиоративные машины [Листопад Г.Е., Демидов Г.К., Зонов Б.Д. и др.]; под. общ. ред. Г.Е. Листопада. – М.: Агропромиздат, 1986. – 688 с.
145. Сельскохозяйственная техника. Надежность. Испытания в условиях эксплуатации. ОСТ 70/23.2.7-73.
146. Сидоров С.А. Методика расчета на износостойкость моно- и биметаллических почворезущих рабочих органов / С.А. Сидоров // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – М., 2003. – №12. – С. 35-39
147. Сидоров С.А. Обоснование эффективных способов повышения работоспособности и износостойкости сферических дисков почвообрабатывающих машин: дис. канд. техн. наук. 05.20.04 / Сидоров Сергей Алексеевич. – М., 1996. - 320 с.
148. Сидоров С.А. Повышение долговечности и работоспособности рабочих органов почвообрабатывающих машин и орудий, применяемых в сельском и лесном хозяйствах : дис. док. техн. наук: 05.20.01, 05.21.01 / Сидоров Сергей Алексеевич. – М., 2007. – 441 с.
149. Сидоров С.А. Повышение надежности и работоспособности сферических дисков луцильников и борон / С.А. Сидоров // Повышение надежности и технологичности ремонта сельскохозяйственных машин. – Елгава: СХА. 1987. – Вып. 240. – С. 85-91.



150. Сидоров С.А. Повышение ресурса почворезущих органов наплавочными сплавами / С.А. Сидоров // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – М., 2003. – №8. – С. 20-22.
151. Сидоров С.А. Преимущества двойной заточки двухслойного наплавленного лезвия / С.А. Сидоров // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – М., 1998. – №10. – С. 42-43.
152. Сидоров С.А. Совершенствование конструкции и упрочнение дисковых рабочих органов / С.А. Сидоров // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – М., 2003. – №8 – С. 30-32.
153. Синеоков Г.Н. Дисковые рабочие органы почвообрабатывающих машин. Теория и расчет / Г.Н. Синеоков. – М., Машгиз, 1949. – 86 с.
154. Синеоков Г.Н. Теория и расчет почвообрабатывающих машин / Г.Н. Синеоков, И.М. Панов. – М.: Машиностроение, 1977. – 328 с.
155. Сисолін П.В. Сільськогосподарські машини теоретичні основи, конструкція, проектування. Машини для рільництва: підручник / Сисолін П.В., Сало В.М., Кропівний В.М.; за ред. М.І. Чорновола. – К.: Урожай, 2001. – 384 с.
156. Сороко-Новицкая А.А. Износостойкость углеродистой стали, имеющей различную структуру / А.А. Сороко-Новицкая // Трение и износ в машинах. – М.: Изд-во АН СССР, 1959. – Сб. XIII. – С. 5-18.
157. Стали легированные и высоколегированные. Методы определения серы. ГОСТ 12345-2001 (ИСО 671-82, ИСО 4935-89). – [введ. 01.03.2002]. – М.: Издательство стандартов, 2001. – 20 с.
158. Стали легированные и высоколегированные. Методы определения углерода ГОСТ 12344-88 – [введ. с 01.01.1990]. – М.: Издательство стандартов, 1988. – 8 с.

159. Сталь. Метод рентгенофлуоресцентного анализа ГОСТ 28033-89 – [введ. 01.01.1990]. – М.: Издательство стандартов, 1989. – 10 с.
160. Сталь углеродистая и чугун нелегированный. Методы определения общего углерода и графита ГОСТ 22536.1-88. – [введ. с 01.01.90]. – М.: ФГУП Стандартиформ, 1988. – 10 с.
161. Сталь углеродистая и чугун нелегированный. Методы определения серы ГОСТ 22536.2-87. – [введ с 01.01.88]. – М.: Издательство стандартов, 1988. – 19 с.
162. Стрельбицкий В.Ф. Дисковые почвообрабатывающие машины / В.Ф. Стрельбицкий. – М.: Машиностроение, 1978. – 135 с.
163. Стрельбицкий В.Ф. Силовые характеристики рабочих органов дисковых луцильников и борон / В.Ф. Стрельбицкий // Тракторы и сельхозмашины. – М., 1968. – № 1. – С. 30-33.
164. Тененбаум М.М. Износостойкость деталей и долговечность горных машин / М.М. Тененбаун. – М.: Госгортехника, 1960. – 246 с.
165. Тененбаум М.М. Износостойкость конструкционных материалов и деталей машин / М.М. Тененбаун. – М.: Машиностроение, 1966. – 332 с.
166. Тененбаум М.М. Сопротивление абразивному изнашиванию / М.М. Тененбаун. – М.: Машиностроение, 1976. – 271 с.
167. Тененбаум М.М. Износостойкость и долговечность сельскохозяйственных машин / М.М. Тененбаум, С.Н. Шамшетов. – Нукус: Каракалпакстан, 1986. – 150 с.
168. Тихонов Д.А. Система технологий ремонта режущей кромки дисковых рабочих органов почвообрабатывающих машин / Д.А. Тихонов, А.И. Сидашенко // Підвищення надійності машин і обладнання: Тези доповідей студентів, магістрантів , аспірантів та

викладачів на 4 Всеукраїнській науково-практичній конференції 9 квітня 2010 року. – Кіровоград: КНТУ, 2010. – С. 180-183.

169. Ткачев В.Н. Износ и повышение долговечности деталей сельскохозяйственных машин / В.Н. Ткачев. – М.: Машиностроение, 1971. – 264 с
170. Ткачев В.Н. Работоспособность деталей в условиях абразивного изнашивания / В.Н. Ткачев – М.: Машиностроение, 1995. – 336 с.
171. Трибологія: підруч. / [ Кіндрачук М.В., Лабунець В.Ф., Пащенко М.І., Корбут Є.В.]. – К.: Вид-во. Нац. авіа. ун-ту НАУ-друк, 2009. – 392 с.
172. Тягово-приводные комбинированные почвообрабатывающие машины. Теория, расчет результаты испытаний / [ Ветехин В.И., Панов И.М., Шмонин В.А., Юзбашев В.А.]. – К.: Феникс, 2009. – 294 с.
173. Удовиченко Г.А. Експлуатаційні випробовування дискових знарядь / Г.А. Удовиченко // Механізація та електрифікація сільського господарства. – Глеваха: ННЦ ІМЕСГ, 2008. – Вип. 92. – С. 501-508.
174. Удовиченко Г.А. Основні параметри та особливості дискових борін / Г.А. Удовиченко // Вісник Полтавської державної аграрної академії. – Полтава: ПДАА, 2008. – № 4 – С. 142-147.
175. Фотеев Н.К. Технология электроэрозионной обработки / Н.К. Фотеев. – М.: Машиностроение, 1980. – 184 с
176. Хрущов М.М. Абразивное изнашивание / М.М. Хрущов, М.А. Бабичев. – М.: Наука, 1970. – 252 с.
177. Хрущов М.М. Исследования изнашивания металлов / М.М. Хрущов, М.А. Бабичев. – М.: Издательство АН СССР, 1960. – 272 с.
178. Хрущов М.М. Повышение долговечности рабочих деталей почвообрабатывающих машин / М.М. Хрущов – М.: Машиздат, 1960. – 200 с.

179. Чугун, сталь и сплавы. Метод отбора проб для химического состава: ГОСТ 7565-81. – [введ с 01.01.82]. – М.: Издательство стандартов, 1981. – 121 с.
180. Шелудченко Б.А. Обґрунтування радіусу кривизни робочої тороїдальної поверхні дискового робочого органу ґрунтообробного знаряддя / Б.А. Шелудченко, М.П. Фомін, В.О. Шубенко, О.В. Сітовський // Механізація сільськогосподарського виробництва. Збірник наукових праць Національного аграрного університету. – Київ, 1998. – Т.4 – С. 97-100.
181. Щучкин Н.В. Лемешные плуги и луцильники / Н.В. Щучкин. – М.: Машиздат, 1952. – 290 с.
182. Щучкин Н.В. Трение скольжение почвы по металлу и почвы по почве / Н.В. Щучкин // Почвообрабатывающие машины. Сборник научно-исследовательских работ ВИСХОМ. – М.: Машгиз, 1949. – Вып. 4. – С. 3-23.
183. Яковенко А.Т. Коэффициент трения почвы по лемешной стали / А.Т. Яковенко // Ученые записки Саратовского государственного университета им. Н.Г. Чернышевского. – Саратов: Издательство СГУ, 1951. – Т. XXVII. – С. 131-142.
184. Andersson S. A random wear model for the interaction between a rough and a smooth surface / S. Andersson, A. Söderberg, U. Olofsson // Wear. – 2008. – Vol. 264, Issues 9 – 10. – P. 763-769.
185. Clyde A.W. Improvement of Disk Tools. Agr. Engg., 1939 –Vol. 20. – N 6. Vol. 20. – P. 215-221.
186. Godwin R.J., Seig D.A., Allot M. The development and evaluation of agriculture disks. International Conference on Soil dynamics: Alabama, Auburn. – Vol.2, 1985,

187. Jankauskas V. Analysis of abrasive wear performance of arc welded hard layers / V. Jankauskas, R. Kreivaitis, D. Milčius, A. Baltušnikas // Wear. – 2008. – Vol. 265, Issues 11 – 12. – P. 1626-1632.
188. Kloeden P.E. Numerical solution of stochastic differential equations : [monograph] / P. E. Kloeden, E. Platen. – Berlin : Springer-Verlag, 1992. – 632 p.
189. Kloeden P. E. Numerical Solution of SDE Through Computer Experiments : [monograph] / P. E. Kloeden, E. Platen, H. Schurz. – Berlin : Springer-Verlag, 1994. – 292 p.
190. Milstein G.N. Stochastic numerics for mathematical physics / G.N. Milstein, M. V. Tretyakov. – Berlin : Springer-Verlag, 2004. – 596 p.