

## ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу  
**БОРАКА КОСТЯНТИНА ВІКТОРОВИЧА**

на тему «Комплексний підхід підвищення довговічності та зносостійкості робочих органів ґрунтообробних машин» подану до захисту на спеціалізовану вчену раду Д 26.004.06 в Національному університеті біоресурсів і природокористування України на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.05.11 «Машини і засоби механізації сільськогосподарського виробництва»

На відгук представлені дисертація, автореферат та копії опублікованих робіт.

### 1. Актуальність теми

У розвинутих країнах витрати, зумовлені тільки наслідками абразивного зношування, складають від 1 до 4% ВВП. Дослідженню механізму абразивного зношування присвячена велика кількість робіт, що вивчали вплив багатьох чинників на механізм абразивного зношування, але багато явищ в цьому процесі залишається нез'ясованим. В агропромисловому комплексі найбільше абразивному зношуванню піддаються робочі органи ґрунтообробних машин, які взаємодіють з ґрунтом.

Ґрунтообробні машини займають одне з провідних місць у структурі машинно-тракторного парку сучасних сільськогосподарських підприємств. Утрата працездатного стану під час проведення польових робіт може істотно вплинути на врожайність сільськогосподарських культур. Відповідно пошук шляхів підвищення довговічності ґрунтообробних машин має велике значення для агропромислового комплексу розвинених країн.

Підвищити довговічність і зносостійкість деталей та робочих органів машин можна завдяки використанню трьох груп методів: технологічних, конструктивних та експлуатаційних. Дослідження показують, що отримані за 50 років знання при вивченні процесів тертя та зношування реалізуються в промисловості в співвідношенні: 80% конструювання і 20% експлуатація. Щодо такого розподілу для робочих органів посівних і ґрунтообробних машин частка, що припадає на експлуатаційні методи, буде ще нижчою.

Вирішення питання підвищення довговічності та зносостійкості робочих органів ґрунтообробних машин повинно ґрунтуватися, не тільки на покращенні конструктивних параметрів та фізико-механічних властивостей поверхонь робочих органів, але і на впровадженні науково обґрунтованих режимів експлуатації машин. Вибір раціональних режимів експлуатації повинен базуватися на фізико-механічних властивостях середовища ґрунту з врахуванням можливості протікання процесів самоорганізації.

Виходячи з вищесказаного вирішення проблеми підвищення довговічності й зносостійкості робочих органів ґрунтообробних машин на основі комплексного підходу із застосуванням технологічних і конструктивних

методів підвищення зносостійкості та довговічності з урахуванням умов експлуатації та впровадження науково обгрунтованої системи їх експлуатації є, безумовно, актуальним завданням.

## **2. Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами**

Робота виконана згідно з пріоритетними тематичними напрямками наукових досліджень і науково-технічних розробок на період до 2020 року, а саме – фундаментальні проблеми сучасного матеріалознавства та перспективні технології агропромислового комплексу та переробної промисловості. Дослідження за темою дисертації – частина комплексної наукової роботи кафедр машиновикористання та сервісу технологічних систем Поліського національного університету, за консультативної складової кафедри теоретичної та прикладної фізики Національного авіаційного університету «Забезпечення працездатності трибомеханічних систем в умовах абразивного зношування» (номер державної реєстрації 0112U003405).

## **3. Ступінь обгрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій сформованих у дисертації, їх достовірність і новизна**

Наукові положення, висновки і рекомендації є кількісно і якісно обгрунтованими. Ці положення і рекомендації сформульовані на основі проведених автором необхідних, в достатній кількості та об'ємі теоретичних і експериментальних досліджень з використанням типових і запропонованих здобувачем методів і методик.

Всі наукові положення, які наведені в дисертації, підтверджені поданими у дисертації даними теоретичних і експериментальних досліджень, а також результатами виробничих випробовувань.

Результати дисертаційної роботи викладені у висновках після кожного розділу, а також у дванадцятьох пунктах загальних висновків.

Перший пункт загальних висновків вказує наукову гіпотезу, яка сформована в результаті детального аналізу існуючих світових досліджень в напрямку підвищення довговічності та зносостійкості робочих органів ґрунтообробних машин.

Висновок достовірний, про що свідчить глибокий аналіз вітчизняних та зарубіжних літературних джерел.

Другий пункт стосується розробленої методології вирішення науково-прикладної проблеми підвищення довговічності та зносостійкості робочих органів ґрунтообробних машин

Висновок достовірний, що підтверджується застосуванням сучасних методів, методик та устаткування.

Третій пункт стосується теоретичних досліджень процесу функціонування системи «робочий орган – ґрунт». В результаті теоретичних досліджень розроблено математичну модель підвищення довговічності та зносостійкості робочих органів і отримано рівняння для визначення коефіцієнта тертя між поверхнею робочого органу і ґрунтом.

Висновок достовірний, що підтверджується фундаментальними теоретичними дослідження процесу фрикційної взаємодії між ґрунтом та поверхнею робочих органів ґрунтообробних машин.

Четвертий пункт базується на результатах теоретичних та експериментальних досліджень впливу ступеня закріплення абразивних частинок на механізм, характер та інтенсивність абразивного зношування поверхні робочих органів ґрунтообробних машин. У висновку також констатовано, що в роботі встановлено закономірності процесу самоорганізації середовища ґрунту.

Висновок достовірний, що підтверджено необхідною кількістю теоретичних, лабораторних та польових досліджень процесу самоорганізації ґрунту та впливу ступеня закріплення абразивних частинок на механізм, характер та інтенсивність абразивного зношування поверхні робочих органів ґрунтообробних машин.

П'ятий пункт констатує, що встановлені критерії досягнення ефекту самозагострювання та рівностійкості зношування лемішно-лапових та дискових робочих органів ґрунтообробних машин з урахуванням ґрунтово-кліматичних умов та режимів експлуатації

Висновок достовірний, що підтверджено експлуатаційними дослідженнями процесу зношування серійних робочих органів та виробничими випробовуваннями зміцнених робочих органів ґрунтообробних машин.

Шостий пункт надає інформацію щодо результатів дослідження впливу зовнішніх чинників на ступінь закріплення абразивних частинок в ґрунті та коефіцієнт внутрішнього тертя ґрунту, а також про вплив ступеня закріплення абразивних частинок на зносостійкість робочих органів ґрунтообробних машин.

Висновок достовірний, що підтверджено великою кількістю лабораторних та польових досліджень.

У сьомому пункт приведені числові значення коефіцієнта форми абразивних частинок ґрунтів України.

Висновок достовірний, що підтверджено великою вибіркою дослідних зразків з усіх ґрунтово-кліматичних зон України.

Восьмий пункт вказує на встановлені закономірності впливу фізико-механічних властивостей поверхні робочих органів на статичний і динамічний коефіцієнт тертя між складовими частинами середовища ґрунту та поверхнею робочого органу. Встановлено, що з ростом динамічного коефіцієнта тертя інтенсивність зношування робочих органів зростає пропорційно.

Висновок достовірний, що підтверджено великою кількістю приведених в роботі лабораторних досліджень.

Дев'ятий пункт вказує на встановлені закономірності впливу наявності рослинних решток в ґрунтовому середовищі на інтенсивність зношування робочих органів ґрунтообробних машин.

Висновок достовірний, що підтверджено приведеними в роботі лабораторними та експлуатаційними дослідженнями.

Десятий пункт вказує на виявлені зміни властивостей поверхневих шарів робочих органів ґрунтообробних машин в процесі експлуатації, в залежності



від умов експлуатації. Встановлено, що інтенсивність їх зношування визначається не початковими властивостями матеріалу, а властивостями вторинних структур на поверхні тертя. За результати досліджень запропоновані матеріали для виготовлення робочих органів ґрунтообробних машин з підвищеною стійкістю до абразивного зношування, з урахуванням утворення вторинних структур при взаємодії з різними типами ґрунту.

Висновок достовірний, що підтверджено приведеними в роботі лабораторними та експлуатаційними дослідженнями.

У одинадцятomu пункті приведені значення підвищення довговічності лемішно-лапових та дискових робочих органів під час експлуатації на різних типах ґрунтів в результаті нанесення зносостійких покриттів.

Висновок достовірний, що підтверджено приведеними в роботі експлуатаційними дослідженнями.

Дванадцятий висновок окреслює результати підвищення довговічності від впровадження комплексного підходу адаптації зносостійкості робочих органів ґрунтообробних машин з урахуванням ґрунтово-кліматичних умов та режимів експлуатації та вказує на техніко-економічний ефект.

Висновок достовірний, що підтверджено приведеними в роботі експлуатаційними випробовуваннями та проведенням техніко-економічним аналізом.

Всі пункти висновків ґрунтуються на результатах самостійних дослідженнях приведених автором в матеріалах дисертаційної роботи.

*Загальні зауваження до висновків:* окремі висновки бажано було б конкретизувати.

*Наукова новизна одержаних результатів:*

- запропоновано комплексний підхід адаптації зносостійкості робочих органів ґрунтообробних машин з урахуванням ґрунтово-кліматичних умов та режимів експлуатації;

- встановлено закономірності впливу властивостей середовища ґрунту, з урахуванням складових його елементів, процесів самоорганізації та режимів експлуатації на закономірність зміни геометричних параметрів та фізико-механічних властивостей матеріалу робочих органів ґрунтообробних машин;

- визначено значення критеріїв досягнення рівностійкості зношування лемішно-лапових та дискових робочих органів з урахуванням сукупності значимих факторів;

- отримано теоретичну залежність коефіцієнта тертя між середовищем ґрунту і поверхнею робочих органів ґрунтообробних машин та виявлено закономірності процесу зношування від ступеня закріплення абразивних частинок ґрунту;

- удосконалено умови досягнення ефекту самозагострювання лемішно-лапових та дискових робочих органів ґрунтообробних машин з урахуванням ґрунтово-кліматичних умов та режимів експлуатації;

- удосконалено методи дослідження абразивних властивостей середовища ґрунту та визначення впливу атмосферної корозії на закономірність зміни

геометричних параметрів та фізико-механічних властивостей матеріалу робочих органів ґрунтообробних машин;

- одержали подальший розвиток закономірності протікання процесів у зоні фрикційного контакту між середовищем ґрунту та робочим органом ґрунтообробних машин;

- одержали подальший розвиток закономірності фрикційної взаємодії між поверхнею робочих органів ґрунтообробних машин та рослинними рештками.

Достовірність отриманих результатів базується на правильно обраному методологічному підході й належній кількості дослідних об'єктів в різних ґрунтово-кліматичних зонах експлуатації, які охоплюють найбільш поширений спектр робочих органів ґрунтообробних машин та на відповідності сутності досліджень поставленим завданням. Результати досліджень є належно аргументованими в тексті дисертації, не суперечать сучасним положенням агроінженерної науки, їх широко апробовано й опубліковано в науковій літературі, тому їхня достовірність не викликає сумнівів.

#### **4. Повнота відображення результатів дисертації в опублікованих працях**

Основні положення викладено у 58 наукових працях, з яких 20 статей у наукових фахових виданнях України, включених до міжнародних наукометричних баз даних, 3 статті в наукових виданнях інших держав, стаття в іншому науковому виданні України, 3 патенти України на корисну модель, 31 тези наукових доповідей.

#### **5. Відповідність дисертації встановленим вимогам**

Дисертація Борак К. В. представляє собою завершену наукову працю і складається з анотацій, вступу, семи розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Загальний обсяг роботи становить 380 сторінок, у тому числі основного тексту – 308 сторінок. Дисертація містить 125 рисунків та 64 таблиці. Список використаних джерел налічує 350 найменування.

У вступі, відповідно до вимог, обґрунтовано актуальність теми, розкрита сутність і стан науково-прикладної проблеми, її значущість. Показано зв'язок роботи з науковими програмами, встановлено об'єкт та предмет дослідження, відображено методи досліджень, сформульовані мета й основні завдання дослідження, висунуто наукову гіпотезу, визначено наукову і практичну цінність одержаних результатів.

У першому розділі (с. 40-95) *«Сучасний стан проблеми підвищення довговічності та зносостійкості робочих органів ґрунтообробних машин»* з'ясовано, що ґрунтообробні машини займають провідне місце в структурі машинно-тракторних парків сучасних сільськогосподарських підприємств. Надійність такої техніки і якість виконання технологічної операції обробітку ґрунту залежить від довговічності та зносостійкості робочих органів ґрунтообробних машин. Установлено, що втрата працездатного стану робочих органів ґрунтообробних машин відбувається внаслідок зміни їхніх геометричних параметрів і фізико-механічних властивостей матеріалу в процесі

абразивного та ударно-абразивного зношування. Аналіз попередніх досліджень дав змогу виявити низку не вирішених питань, зокрема встановити, що в процесі розробки заходів із підвищення довговічності та зносостійкості робочих органів ґрунтообробних машин дослідники сконцентрували увагу на технологічних і конструктивних методах для певного робочого органу та конкретних умовах і режимах експлуатації ґрунтообробної техніки. Такий підхід не дає можливості застосовувати розроблені заходи під час зміни типу робочого органу та/або умов і режимів експлуатації. За результатами першого розділу дисертант висунув наукову гіпотезу: суттєвого підвищення довговічності робочих органів ґрунтообробних машин можна досягнути завдяки розробці та впровадженню комплексного підходу адаптації їх зносостійкості з урахуванням ґрунтово-кліматичних умов і режимів експлуатації.

***Зауваження до першого розділу:***

– на думку автора, в умовах абразивного зношування переважною складовою механізмів тертя і зношування буде саме механічна та молекулярна складова, тому взаємодією між атомами можна знехтувати. Однак, виходячи із теорії взаємодії твердих тіл, під дією напруги в кристалі виникає лінійне порушення розміщення атомів (дислокації), що призведе в кінцевому випадку до розвитку мікротріщень. Тому, не врахування атомних взаємозв'язків, на наш погляд є не зовсім коректним;

– на рис. 1.5 наведено три різні режими абразивного зносу, що спостерігаються за допомогою SEM, однак в коментаріях описуються не режими зносу, а режими зношування, що не відповідає трактуванню;

– автор стверджує, що тертя об ґрунт поверхонь робочих органів ґрунтообробних машин характеризується малими питомими тисками частинок ґрунту на них та їхньою сприятливою геометричною формою з відсутністю різальних кромek. На наш погляд, це може відбуватися тільки в ідеальних умовах, а в реальних різальні кромки будуть мати місце;

– на рис. 1.13 наведено три залежності впливу вологості ґрунту на інтенсивність зношування робочих органів ґрунтообробних машин, однак не зрозуміло до яких типів ґрунтів відносяться ці отримані залежності;

– в першому розділі, бажано було б навести комплексні показники оцінки довговічності ґрунтообробних машин.

**У другому розділі** (с. 96-127) *«Методологія розв'язання проблеми підвищення довговічності робочих органів ґрунтообробних машин комплексним підходом адаптації їх зносостійкості»* наведена методологія розв'язання науково-прикладної проблеми підвищення довговічності та зносостійкості робочих органів ґрунтообробних машин, структуру, методи та методики теоретичних й експериментальних досліджень, представлено характеристику обладнання, устаткування та машини для лабораторних і польових досліджень.

Обґрунтовано використання комплексного підходу, із застосуванням технологічних і конструктивних методів з урахуванням умов роботи та впровадження науково обґрунтованої системи їх експлуатації. Підкреслено, що



процес розв'язання такої проблеми відбувався поетапно згідно з розробленою схемою.

Теоретичні дослідження ґрунтуються на використанні методів теорії ймовірності та математичної статистики, синергетики, надійності машин, фізики твердого тіла, системного і комплексного підходів розв'язання проблеми підвищення довговічності та зносостійкості. Основними методами аналізу отриманих результатів експериментальних досліджень слугували: аналітичний, графічний та графоаналітичний. Планування досліджень та обробку отриманих результатів проводили відповідно до загальновідомих методів і методик.

#### **Зауваження до другого розділу:**

- в таблиці 2.7 наведено вміст рослинних решток (% від маси), однак із тексту не зрозуміло, чому саме вибрано такий діапазон 3-6%;
- схема проведення досліджень на вирізаному зразку, яка наведена на рис. 2.15 не дає повного уявлення про методику дослідження мікроструктури матеріалів робочих органів ґрунтообробних машин.

**У третьому розділі** (с. 128-185) *«Теоретично-прикладні основи підвищення довговічності робочих органів ґрунтообробних машин комплексним підходом адаптації їх зносостійкості»* розроблено математичну модель підвищення довговічності робочих органів ґрунтообробних машин комплексним підходом адаптації їх зносостійкості з урахуванням умов та режимів експлуатації, фізико-математичну модель функціонування системи «робочий орган – ґрунт», аналітичну модель визначення коефіцієнта тертя між ґрунтом і поверхнею робочих органів ґрунтообробних машин, наукові основи досягнення ефекту самозагострювання та рівностійкості зношування, встановлено вплив ступеня закріплення абразивних частинок у ґрунті на механізм і характер абразивного зношування робочих органів ґрунтообробних машин.

За результатом аналізу апіорної інформації автор констатує, що коефіцієнт тертя між ґрунтом і поверхнею робочих органів у класичних і сучасних роботах розглядають тільки з механічної точки зору. Такий однобокий погляд не дає змоги об'єктивно описувати процеси, що протікають на поверхні тертя. Урахування значущих факторів у процесі визначення коефіцієнта тертя між поверхнею робочих органів ґрунтообробних машин уможливить більш якісне їх проектування. Істотним є те, що коефіцієнт тертя між поверхнею робочих органів та ґрунтом складається з коефіцієнта тертя ковзання, тертя кочення і тертя кочення з проковзуванням. З'ясовано, що ймовірність виникнення того чи іншого виду тертя залежить передусім від ступеня закріпленості абразивних частинок у ґрунті.

Дослідження автора засвідчують, що процеси тертя між ґрунтом та поверхнею робочих органів ґрунтообробних машин набагато складніші, ніж при фрикційній взаємодії двох твердих тіл, насамперед це пов'язано зі складною будовою середовища ґрунту.

Унаслідок проведених теоретичних досліджень встановлено, що процес тертя між ґрунтом і поверхнею робочих органів ґрунтообробних машин не

можна описати законом Амонтова–Кулона, оскільки він враховує тільки механічну складову процесу тертя. Під час визначення загального коефіцієнта тертя система диференціальних рівнянь дає змогу врахувати всі види тертя, які відбуваються на поверхні, та адгезійну складову процесу тертя, а розроблена система рівнянь – знаходити всі ймовірності значення коефіцієнтів тертя між поверхнею робочих органів ґрунтообробних машин і ґрунтом як функції часу.

Прогнозування зміни абразивних властивостей ґрунтів здійснено на основі експериментального методу. Лабораторні дослідження проведено в закритому приміщенні з постійною температурою. Імітацію таких зовнішніх чинників, як опади та дія рушіїв сільськогосподарських машин виконували через 24 години від початку дослідження. За результатами проведених досліджень побудовано графічні залежності прогнозування зміни абразивних властивостей ґрунтів.

В роботі доведено, що зовнішні чинники суттєво прискорюють процеси самоорганізації ґрунту (наявність імітації опадів інтенсифікує процес самоорганізації на 19,7...54,5 %, імітація дії рушіїв сільськогосподарських машин – в 1,53...2,52 рази).

На основі аналізу зношених серійних робочих органів, аналізу результатів досліджень учених і практичного досвіду аграрних підприємств, у яких експлуатуються ґрунтообробні машини автор встановив значення критерію самозагострювання  $\omega$  для різних типів робочих органів ґрунтообробних машин з урахуванням типу та стану ґрунту. Оскільки критерій  $\omega$  формує співвідношення фізико-механічних характеристик по всій поверхні робочих органів ґрунтообробних машин, не враховуючи особливостей зношування різних локальних зон, запропоновано розділити поверхню робочих органів ґрунтообробних машин на дві зони для забезпечення самоорганізації. Зазначений метод дозволить досягнути самозагострювання і рівностійкості зношування, а отже, підвищить довговічність та забезпечить якісний обробіток ґрунту протягом всього терміну експлуатації. Для досягнення ефекту самозагострювання різальних елементів робочих органів і рівностійкості зношування запропоновано зміцнювати поверхню тертя у відповідності до критерію  $\chi$ , який враховує інтенсивність зношування визначених локальних зон. З'ясовано, що швидкість руху ґрунтообробного агрегату суттєво впливає на характер зношування робочих органів ґрунтообробних машин, а отже, і на співвідношення параметрів зносостійкого шару в різних зонах робочих органів. Дослідження критерію  $\chi$  проведено на агрегатах, які працювали в діапазоні швидкостей 10...11 км/год. При подальшому зростанні швидкості необхідно ввести поправочний коефіцієнт  $\alpha$ .

Результати дослідження показують, що початковий кут загострення робочих органів ґрунтообробних машин істотно впливає не тільки на реалізацію ефекту самозагострювання, а й на довговічність робочих органів. Для лемішів оптимальний кут загострення лезової частини знаходиться в межах 8...10°, носової частини – 20...27°, для стрілчастих лап лезової частини – 8...10°, носової частини – 25...30°, для дискового робочого органу – 28...34°.



### *Зауваження до третього розділу:*

- із формули 3.2 слідує, що  $\gamma$  – це параметр, який характеризує кут нахилу прямої, однак не зрозуміло, чому одиниця виміру його становить мм/с;
- для визначення сили зовнішнього тертя ґрунту, автор наводить формулу (3.21) Амонтона – Кулона, яка раніше вказана в першому розділі, як формула (1.3), що є не доречно;
- модель функціонування трибосистеми «робочий орган – ґрунт» автором представлено у виді графа, на підставі якого розроблено систему диференціальних рівнянь Колмогорова. Однак на наш погляд, її доцільно було б розв'язати, з метою оцінки ймовірностей переходу системи із одного стану в інший;
- на рис. 3.10. зображена поверхня робочих органів ґрунтообробних машин після експлуатації: б – на ділянці поля після озимої пшениці, повторне боронування на 2 день після першого обробітку несе обмежену кількість інформації, в зв'язку з нечіткістю зображення;
- з точки зору вищої математики слідує, що поліноміальною функцією другого порядку, формула (3.32) є парабола, однак на рис. 3.17 вона показана квазілінійними залежностями. На наш погляд, для того щоб досягти необхідного результату, необхідно збільшити кількість контрольних точок при отриманні графічних залежностей.

У четвертому розділі (с. 186-214) «Вплив середовища ґрунту на зносостійкість і довговічність робочих органів ґрунтообробних машин» встановлено величини значущих абразивних характеристик середовища ґрунту та їхній вплив на довговічність і зносостійкість робочих органів ґрунтообробних машин.

В роботі експериментальними дослідженнями визначено вплив типу ґрунту, його вологості та наявності рослинних решток (кореневої системи) на величину коефіцієнта внутрішнього тертя і питомого зчеплення (ступеня закріплення абразивних частинок). Виявлено, що наявність кореневої системи суттєво підвищує коефіцієнт внутрішнього тертя та питомого зчеплення  $c$  (ступінь закріплення абразивних частинок ґрунту). Зростання ступеня закріплення абразивних частинок призводить до зростання ймовірності зняття мікростружки металу з поверхні робочих органів ґрунтообробних машин, що в свою чергу призведе до росту інтенсивності зношування поверхні та зменшення зносостійкості та довговічності робочих органів ґрунтообробних машин.

Для прогнозування довговічності та зносостійкості робочих органів ґрунтообробних машин в роботі визначено коефіцієнт форми абразивних частинок ґрунтів України.

Для врахування впливу складових ґрунтової маси на значення коефіцієнта тертя «матеріал робочого органу – середовище ґрунту» в роботі проведені дослідження з визначення коефіцієнта тертя між сталлю та складовими середовища ґрунту (рослинні рештки та тверда фаза ґрунту). У результаті проведених досліджень виявлено, що тертя яке відбувається внаслідок взаємодії рослинних решток зі сталлю не можна описати законом Амонтона–

Кулона, оскільки молекулярна складова суттєво впливає на величину коефіцієнт тертя «рослинні рештки – матеріал робочого органу». Процес тертя необхідно описувати молекулярно-механічною теорією тертя.

В роботі доведено, що наявність рослинних решток у середовищі ґрунту, з яким взаємодіють робочі органи ґрунтообробних машин під час експлуатації, може істотно змінювати як механізм, так і характер зношування, що зі свого боку призведе до зміни інтенсивності зношування.

#### **Зауваження до четвертого розділу:**

- на рис. 4.4 вказано, що інтенсивність зношування першого та другого ряду робочих органів універсального дискового агрегату УДА 4,5 отримані в результаті досліджень на матеріалах з інструментальної сталі 65. Однак, в подальших дослідженнях результати приведені при використанні сталі 65Г;

- в пункті 3.4. встановлено, що в процесі самоорганізації середовища ґрунту його абразивність суттєво підвищується, однак дані результати наведені в пункті 3.5;

- із четвертого розділу слідує, що результати досліджень коефіцієнта форми  $K_\phi$  абразивних частинок наведені в таблиці 4.1, однак варіанти проведення досліджень по впливу вологості та рослинних решток на значення коефіцієнта внутрішнього тертя  $f$  та питомого зчеплення також наведені в таблиці 4.1, що викликає непорозуміння до сприйняття інформації. Це стосується також подвійної інтерпретації таблиці 4.2.

**У п'ятому розділі** (с. 215-267) *«Вплив закономірностей зміни конструктивних і технологічних параметрів робочих органів ґрунтообробних машин на підвищення їх зносостійкості та довговічності»* встановлено, що на поверхні робочих органів ґрунтообробних машин у процесі взаємодії з ґрунтом відбувається утворення вторинних структур. Властивості цих структур визначають стійкість до абразивного зношування і залежать від особливостей матеріалу робочого органу, режимів та умов експлуатації.

В роботі встановлено, що у процесі експлуатації робочих органів дискових ґрунтообробних машин твердість поверхні суттєво змінюється. На різних типах ґрунтів закономірність зміни твердості має відмінний характер. З'ясовано, що для підвищення довговічності та зносостійкості серійних дискових робочих органів ґрунтообробних машин, які працюють в умовах нерозпушеного ґрунту (перший ряд, напівзакріплене абразивне середовище) на піщаних та супіщаних ґрунтах необхідно застосовувати робочі органи виготовлені зі сталі 65Г (оскільки вона здатна до самонаклепу внаслідок абразивного та ударно-абразивного зношування), а на глинистих і суглинкових – використовувати робочі органи виготовлені зі сталі 28MnB5. Визначено фізико-механічні та експлуатаційні властивості найбільш поширених матеріалів дискових робочих органів ґрунтообробних машин (сталь 28MnB5 та сталь 65Г). Установлено, що якісна борвмісна сталь 28MnB5 має кращі фізико-механічні та хімічні властивості порівняно зі сталю 65Г. Незважаючи на кращі фізико-механічні та хімічні властивості сталі 28MnB5, робочі органи, виготовлені зі сталі 65Г, мають вищу довговічність та зносостійкість при експлуатації на супіщаних і піщаних ґрунтах, що пояснюється здатністю до «самонаклепу».

Відповідно до особливостей зношування лемішно-лапових і дискових робочих органів розроблено схеми нанесення зносостійкого покриття для підвищення їх довговічності та зносостійкості з урахуванням умов та режимів експлуатації. Установлено, що нанесення зносостійкого покриття більш ефективно в процесі експлуатації робочих органів на ґрунтах, які мають більшу зношувальну здатність (піщані й супіщані ґрунти).

**Зауваження до п'ятого розділу:**

- автор стверджує, що за 20 місяців зберігання втрати металу від корозії в закритому приміщенні для наведених марок сталей становлять 54...64 г/м<sup>2</sup>, на відкритому майданчику 219...316 г/м<sup>2</sup>, а на поверхні ґрунту 280...360 г/м<sup>2</sup>. Однак, з наведеної інформації не зрозуміло, це відповідає кількості ґрунтообробних машин одного господарства, регіону, чи держави в цілому;

- на рис. 5.19. наведені варіанти нанесення зносостійкого покриття на дискові робочі органи, однак дана інформація приведена в розділі 2 на рис. 2.17, а також таблиця 5.10 про хімічний склад зносостійкого шару на поверхні робочих органів ґрунтообробних машин наведена в таблиці 2.12, що є не припустимо.

**У шостому розділі (с. 268-291) «Розробка системи експлуатації робочих органів ґрунтообробних машин для підвищення їхньої довговічності»** на основі встановлених закономірностей зміни механізму та характеру зношування залежно від способу зберігання, умов і режимів експлуатації розроблено систему експлуатації робочих органів ґрунтообробних машин, що дає змогу суттєво підвищити їх довговічність.

Установлено, що зміна вологості ґрунту та швидкості руху ґрунтообробного агрегату призводить не тільки до зміни інтенсивності зношування робочих органів ґрунтообробних машин, а й до зміни характеру зношування.

Збільшення вологості ґрунту на супіщаних та суглинкових ґрунтах призводить до підвищення інтенсивності зношування робочих органів ґрунтообробних машин. Отримані математичні залежності дають можливість з'ясувати значення вологості при яких спостерігається найбільш інтенсивне абразивне зношування робочих органів, після чого інтенсивність зношування зменшується. Залежно від типу робочих органів вологість для супіщаних ґрунтів, при якій процес абразивного зношування протікає найінтенсивніше, становить 10...13 %, а для суглинкових – 9...13 %.

З'ясовано, що зростання швидкості руху ґрунтообробного агрегату призводить до зростання інтенсивності та зміни характеру зношування робочих органів ґрунтообробних машин. Більш суттєве зростання інтенсивності зношування в разі зростання швидкості руху ґрунтообробного агрегату спостерігається на ґрунтах, які мають більшу зношувальну здатність. що наявність корозії на поверхні робочих органів ґрунтообробних машин призводить до зменшення їхньої зносостійкості та довговічності. На основі проведених досліджень встановлено оптимальні способи зберігання ґрунтообробних машин в міжексплуатаційний період у різних ґрунтово-кліматичних зонах України, які дозволять суттєво сповільнити корозійні



процеси на поверхні робочих органів, що зі свого боку забезпечить суттєве підвищення їхньої зносостійкості й довговічності.

За результатами досліджень розроблена науково обґрунтована комплексна система експлуатації ґрунтообробних машин, яка дозволяє комплексно вирішити науково-прикладну проблему підвищення довговічності та зносостійкості їх робочих органів.

***Зауваження до шостого розділу:***

- автор стверджує, що зміна швидкості призводить до зміни характеру зношування робочих органів ґрунтообробних машин, а саме до інтенсифікації зношування частин робочих органів, які перші взаємодіють з середовищем ґрунту і приводить посилення на результати досліджень інших авторів. Однак, в таблиці 6.4 приведені результати експериментальних даних щодо інтенсивності зношування робочих органів ґрунтообробних машин без посилань, тому не зрозуміло, чи це власні дослідження чи запозичені;

- в таблиці 6.5 наведені коефіцієнти для визначення інтенсивності зношування робочого органу в залежності від швидкості руху ґрунтообробного агрегату, однак в дисертаційній роботі не приведена методика їх отримання;

- автор стверджує, що на основі проведених досліджень встановлено оптимальні способи зберігання ґрунтообробних машин в між експлуатаційний період в різних ґрунтово-кліматичних зонах України, які дозволять суттєво сповільнити корозійні процеси на поверхні робочих органів, що в свою чергу забезпечить суттєве підвищення їх зносостійкості та довговічності. Однак, на наш погляд, це констатація фактів, а результатів досліджень по даному напрямку не достатньо.

**У сьомому розділі (с. 292-303) «Техніко-економічне обґрунтування запропонованого комплексного підходу адаптації зносостійкості»** представлено результати виробничої перевірки й техніко-економічний аналіз комплексного підходу підвищення довговічності та зносостійкості робочих органів ґрунтообробних машин.

Установлено, що зміцнення робочих органів ґрунтообробних машин відповідно до розроблених схем і критеріїв, дає змогу покращити процес самозагострювання протягом усього терміну експлуатації. Отримані результати засвідчують, що порівняно із серійними кут загострювання різальних елементів зміцнених робочих органів менший для стрілчастих лап на 6...32%, для лемішів на 8...19% та дискових робочих органів до 13%. Самоорганізація зміцнених різальних елементів робочих органів призводить до зменшення витрат дизельного пального для дискових ґрунтообробних агрегатів у середньому приблизно на 10%, для плугів – на 14% та для культиваторів – на 11%.

Застосування комплексного підходу підвищення довговічності та зносостійкості робочих органів ґрунтообробних машин дає змогу підвищити їх довговічність в 1,84...2,51 рази, та отримувати економічний ефект у межах 13...18% від вартості нової машини (протягом експлуатації одного комплексу робочих органів).

### ***Зауваження до сьомого розділу:***

- в таблиці 7.4 приведена економічна оцінка комплексного підходу підвищення довговічності та зносостійкості робочих органів ґрунтообробних машин на прикладі УДА-4,5, однак не зрозуміло, в яких одиницях виміру вказана середня витрата пального за період експлуатації, вартість додаткових засобів та загальний економічний ефект.

Матеріали докторської дисертації Борака Костянтина Вікторовича не містять матеріалів його кандидатської дисертації.

### **6. Загальний висновок**

Дисертаційна робота Борака Костянтина Вікторовича проведена за актуальною темою наукового пошуку, основні результати достатньо обґрунтовані, узагальнені наукові положення зрозуміло адаптовані для використання на практиці. Нові рішення запропоновані здобувачем добре аргументовані та об'єктивно оцінені у порівнянні з уже відомими. Рівень системності досліджень свідчить про достатню наукову зрілість автора, його здібностей до логічного та послідовного ведення досліджень для отримання об'єктивних даних та формулювання з них висновків теоретичного та практичного значення. Основні результати досліджень в повній мірі були опубліковані автором у фахових наукових виданнях України та інших держав, пройшли належну апробацію та були схвально оцінені науковцями.

Надані зауваження носять дискусійний характер і не принципові.

Дисертаційна робота Борака Костянтина Вікторовича на тему «Комплексний підхід підвищення довговічності та зносостійкості робочих органів ґрунтообробних машин» являє собою завершену наукову працю і за своїм науковим рівнем та практичною цінністю, змістом і оформленням відповідає вимогам Порядку присудження наукових ступенів, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України № 567 від 24 липня 2013 року (зі змінами та доповненнями), які пред'являються до дисертацій на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.05.11 «Машини і засоби механізації сільськогосподарського виробництва».

На підставі цього вважаю, що Борак Костянтин Вікторович заслуговує присудження наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.05.11 «Машини і засоби механізації сільськогосподарського виробництва».

Офіційний опонент, доктор технічних наук,  
професор, професор кафедри технічного  
сервісу та систем в АПК Таврійського  
державного агротехнологічного  
університету імені  
Дмитра Моторного



Д. П. Журавель

Вх. №182

Від 08.04.2021р.

В. Терещенко