

ВІДГУК

офіційного опонента, доктора технічних наук, доцента **Алфьорова Олексія Ігоровича** на дисертацію **Борака Костянтина Вікторовича** «Комплексний підхід підвищення довговічності та зносостійкості робочих органів ґрунтообробних машин», що представлена до спеціалізованої вченої ради Д 26.004.06 Національного університету біоресурсів і природокористування України на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.05.11 – машини і засоби механізації сільськогосподарського виробництва

Актуальність теми дисертації, її зв'язок з науковими програмами, планами і темами

На початок 2021 року в Україні налічувалось більше 300 тисяч ґрунтообробних машин. Протягом останніх років спостерігається ріст кількості даних машин у сільськогосподарських виробників. Машинобудівна галузь України в повній мірі спроможна забезпечити виробництво ґрунтообробних для агропромислового комплексу України. Незважаючи на такі позитивні статистичні дані, слід відмітити, що більшість підприємств закуповує закордоном робочі органи, які взаємодіють із середовищем ґрунту, закордоном або матеріали для їх виготовлення (переважно борвмісну сталь).

У ґрунтообробних машинах елементом, який переважно лімітує довговічність машин, є робочий орган. Відповідно пошук шляхів підвищення довговічності та зносостійкості робочих органів ґрунтообробних машин має важливе значення для агропромислового комплексу України. Цю проблему необхідно розв'язувати зусиллями конструкторів, технологів, дослідників і працівників аграрних підприємств.

Сьогодні підвищення довговічності та зносостійкості робочих органів ґрунтообробних машин переважно зводиться до покращення зносостійких характеристик поверхні та геометричної форми робочих органів без урахування умов і режимів експлуатації. Суттєве підвищення довговічності та зносостійкості робочих органів ґрунтообробних машин можливе тільки за умови всебічного розуміння процесу їхнього зношування.

Одним із варіантів вирішення проблеми підвищення довговічності й зносостійкості робочих органів ґрунтообробних машин може бути використання комплексного підходу із застосуванням технологічних і конструктивних методів підвищення зносостійкості та довговічності з урахуванням умов експлуатації та впровадження науково обґрунтованої системи їх експлуатації.

Дисертаційна робота виконувалася 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»

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації

Наукові положення, висновки і рекомендації, викладені у дисертації, є достовірними та належним чином обґрунтованими. Для цього автором проведені необхідні теоретичні та експериментальні дослідження з використанням розроблених і відомих методик, використані літературні джерела та патентна інформація.

Автором визначена мета та сформульовані задачі дослідження, послідовне вирішення яких дозволило довести наукову гіпотезу, згідно з якою суттєво підвищити довговічність й зносостійкість робочих органів ґрунтообробних машин можна на основі застосування комплексного підходу із застосуванням технологічних і конструктивних методів підвищення зносостійкості та довговічності з урахуванням умов та режимів експлуатації.

Висновки дисертації є достатньо обґрунтованими, вони підтверджені необхідною кількістю експериментальних досліджень, котрі проведені як в лабораторних і експлуатаційних умовах.

Перший пункт загальних висновків характеризує стан питання, критичний аналіз досліджень, обґрунтовує доцільність застосування комплексного підходу для підвищення довговічності та зносостійкості робочих органів ґрунтообробних машин. Повністю відповідає першому завданню дисертаційної роботи.

У **другому пункті** вирішене друге завдання досліджень, а саме розроблено методологічні основи розв'язання проблеми підвищення довговічності робочих органів ґрунтообробних машин комплексним підходом адаптації їх зносостійкості до ґрунтово-кліматичних умов та режимів експлуатації.

Третій пункт присвячений вирішенню третього завдання дисертаційної роботи. В роботі отримано математичну модель підвищення довговічності робочих органів ґрунтообробних машин комплексним підходом адаптації їх зносостійкості з урахуванням умов і режимів експлуатації. Аналіз системи «робочий орган – ґрунт» дозволив визначити пріоритетні напрямки вирішення науково-прикладної проблеми підвищення довговічності та зносостійкості робочих органів ґрунтообробних машин. Підвищення довговічності робочих органів ґрунтообробних машин обґрунтовано на основі молекулярно-механічної теорії тертя з отриманням рівняння динаміки зміни коефіцієнта тертя між поверхнею робочих органів ґрунтообробних машин і ґрунтом з урахуванням усіх видів тертя, які наявні в зоні фрикційного контакту. З'ясовано, що величина коефіцієнта тертя між поверхнею робочих органів і ґрунтом залежить тільки від стану, у якому знаходиться система «робочий орган – ґрунт» і не залежить від того, як ця система прийшла в цей стан, саме тому даний процес необхідно описувати Марківським випадковим процесом. Для визначення ймовірнісних

значень коефіцієнта тертя між робочим органом і ґрунтом побудована відповідна система рівнянь Колгомова.

Четвертий, шостий, сьомий, восьмий і дев'ятий пункт загальних висновків стосуються виконанню четвертого завдання досліджень, а саме з'ясовано вплив ґрунтово-кліматичних умов та режимів експлуатації на підвищення довговічності і зносостійкості робочих органів ґрунтообробних машин. Виявлено, що з ростом ступеня закріплення абразивних частинок у ґрунті ймовірність виникнення процесів мікрорізання на поверхні робочих органів ґрунтообробних машин зростає. На основі результатів досліджень виявлено закономірності процесу самоорганізації середовища ґрунту. Показано, що в процесі самоорганізації середовища ґрунту відбувається зростання його абразивних властивостей. Установлено вплив типу ґрунту, його вологості та наявності біологічної фази на коефіцієнт внутрішнього тертя ґрунту та питоме зчеплення (ступінь закріплення абразивних частинок у ґрунті). Виявлено, що наявність біологічної фази (кореневої системи сільськогосподарських культур) призводить до зростання питомого зчеплення в 1,14...2,72 рази. З'ясовано, що зростання вологості ґрунту буде призводити до росту ступеня закріплення абразивних частинок та коефіцієнта внутрішнього тертя в ґрунті, яке спостерігається до перенасичення ґрунту вологою, а після появи вільної води в ґрунті – ці показники будуть зменшуватися. Визначено коефіцієнт форми абразивних частинок найбільш типових ґрунтів України та його вплив на зносостійкість робочих органів ґрунтообробних машин. Установлено залежність коефіцієнта форми абразивних частинок ґрунту від типу ґрунту, глибини залягання та розміру абразивних частинок. Виявлено, що зменшення коефіцієнта тертя відбувається під час взаємодії з робочими органами ґрунтообробних машин. Це підтверджується відсутністю залежності зміни коефіцієнта форми абразивних частинок від глибини залягання в орному шарі та лабораторними дослідженнями. Для абразивних частинок розміром до 0,10 мм коефіцієнт форми абразивних частинок знаходиться в межах 227,89...488,35, для абразивних частинок розміром 0,1...0,25 мм – у межах 183,27...386,24, для абразивних частинок 0,25...0,5 мм – 109,86...222,57, для абразивних частинок 0,5...0,75 мм – 91,53...227,46, для абразивних частинок 0,75...1 мм – 78,90...214,56. Виявлено вплив матеріалу робочих органів ґрунтообробних машин, його термічної обробки, шорсткості та напрямку нерівностей на динамічний та статичний коефіцієнт тертя між поверхнею робочих органів та складовими частинами середовища ґрунту. Зростання динамічного коефіцієнта тертя між поверхнею робочих органів і ґрунтом спричиняє пропорційне зростання інтенсивності зношування робочих органів, що необхідно враховувати під час конструювання робочих органів ґрунтообробних машин. Установлено закономірність впливу наявності рослинних решток у середовищі ґрунту на зміну інтенсивності зношування робочих органів ґрунтообробних машин.

П'ятий пункт і десятий пункт стосуються виконанню п'ятого завдання досліджень, а саме виявлено закономірності зміни конструктивних і технологічних параметрів та їхній вплив на підвищення довговічності робочих органів ґрунтообробних машин. Дослідження особливостей зношування

робочих органів ґрунтообробних машин, з урахуванням ґрунтово-кліматичних умов та режимів експлуатації дозволили запропонувати критерії досягнення ефекту самозагострювання та рівностійкості зношування лемішно-лапових та дискових робочих органів. Виявлені зміни властивостей поверхневих шарів, утворення вторинних структур у зоні фрикційного контакту та інтенсивності зношування робочих органів ґрунтообробних машин дали змогу встановити раціональні матеріали для виготовлення серійних лемішно-лапових та дискових робочих органів ґрунтообробних машин з підвищеною довговічністю.

Одинадцятий і дванадцятий пункт загальних висновків присвячений вирішенню шостого, сьомого та восьмого завдання, в результаті чого обґрунтовано й розроблено систему експлуатації робочих органів ґрунтообробних машин із необхідним рівнем їх надійності, розроблено рекомендації виробникам та сільськогосподарським підприємствам щодо підвищення довговічності робочих органів ґрунтообробних машин та проведено техніко-економічне обґрунтування.

Усі пункти логічно впливають із результатів досліджень, приведених автором у дисертації.

Достовірність отриманих результатів підтверджується обґрунтованістю прийнятих положень, коректним використанням математичного апарату, даними експериментальних досліджень.

Повнота викладу результатів дисертації в опублікованих працях

Основні результати дисертаційної роботи опубліковано 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.

Відповідність автореферату основним положенням дисертації

Автореферат дисертації відображає основний зміст роботи, її наукові положення та результати. Висновки автореферату і дисертації повністю ідентичні.

Відповідність дисертації встановленим вимогам

Дисертаційна робота є закінченою науковою працею, яка направлена на розв'язання науково-прикладної проблеми підвищення довговічності робочих органів ґрунтообробних машин комплексним підходом адаптації їх зносостійкості урахуванням умов та режимів експлуатації

У цілому, за структурою та обсягом робота відповідає паспорту спеціальності 05.05.11 – машини і засоби механізації сільськогосподарського виробництва.

Оцінка змісту дисертації, її завершеність в цілому

Дисертація 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 дисертаційної роботи, сформульовані мета і задачі досліджень, представлено наукову новизну і практичне значення одержаних результатів наукових досліджень.

У *першому розділі* «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 невирішених 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.

У *другому розділі* «Методологія розв'язання проблеми підвищення довговічності робочих органів ґрунтообробних машин комплексним підходом адаптації їх зносостійкості» обґрунтовано етапи проведення досліджень і запропоновано методологію розв'язання проблеми підвищення довговічності та зносостійкості робочих органів ґрунтообробних машин на основі комплексного підходу. В роботі також викладено методи й методики теоретичних та експериментальних досліджень процесів і явищ, які відбуваються в зоні фрикційного контакту під час взаємодії робочих органів ґрунтообробних машин з ґрунтом, на поверхні робочих органів у міжексплуатаційний період і в середовищі ґрунту та їхній вплив на довговічність і зносостійкість робочих органів ґрунтообробних машин.

У *третьому розділі* «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.

В роботі встановлено, що в процесі самоорганізації середовища ґрунту відбувається зміна його абразивних властивостей, переважно в бік зростання абразивних властивостей. Зовнішні чинники (опаді й дії рушіїв сільськогосподарських машин) по-різному впливають на інтенсивність процесу самоорганізації на різних типах ґрунтів. Урахування процесів самоорганізації середовища ґрунту в період експлуатації ґрунтообробних машин сприятиме суттєвому підвищенню їхньої довговічності та зносостійкості.

Виявлено, що коефіцієнт тертя ґрунту по поверхні робочих органів ґрунтообробних машин – випадкова функція і його значення є миттєвою величиною, яка залежить тільки від стану, у якому знаходиться дана і не залежить від того, як система прийшла в цей стан. Саме тому це явище описано марківським випадковим процесом. Для визначення ймовірних значень коефіцієнта тертя ґрунту по поверхні робочих органів ґрунтообробних машин побудовано систему рівнянь Колгоморова.

Теоретично визначений коефіцієнт тертя між поверхнею робочого органу і ґрунтом, з врахуванням всіх видів тертя, дозволить при розробці робочих органів з підвищеною довговічністю та зносостійкістю, більш якісно проводити проектування поверхонь робочих органів ґрунтообробних машин.

Детальний аналіз системи «робочий орган – ґрунт» в динамічному стані дозволив виявити її специфіку, визначити процеси, які відбуваються внаслідок функціонування системи, встановити енергетичний і масовий баланс системи й окреслити напрямки, що дозволить суттєво підвищити довговічність та зносостійкість робочих органів ґрунтообробних машин.

У четвертому розділі «Вплив середовища ґрунту на зносостійкість і довговічність робочих органів ґрунтообробних машин» встановлено абразивні характеристики середовища ґрунту та їх вплив на довговічність та зносостійкість робочих органів ґрунтообробних машин. В дисертаційній роботі доведено, що процес тертя, який відбувається внаслідок взаємодії середовища ґрунту та його складових елементів з робочими органами ґрунтообробних машин неможливо описати законом Амонтова–Кулона і його необхідно описувати з позиції молекулярно-механічної теорії тертя.

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 коефіцієнта 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.

У п'ятому розділі «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 сталлю 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.

У шостому розділі «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.

У роботі встановлено вплив вологості ґрунту та швидкості руху ґрунтообробного агрегату на інтенсивність зношування робочих органів. 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. Слід зауважити, що для робочих органів виготовлених із високоякісних сталей (Hardox 500 та 28MnB5), притаманне менше зростання інтенсивності зношування в разі збільшення швидкості руху ґрунтообробного агрегату, порівняно з робочими органами, виготовленими зі сталі 65Г. Зміна вологості ґрунту призводить не тільки до зміни інтенсивності зношування робочих органів ґрунтообробних машин, а й до зміни характеру зношування. У разі зростанні вологості ґрунту його зношувальна здатність зростає до певної межі, яка характерна кожному типові ґрунту, після чого в зоні фрикційного контакту з'являється мастильний матеріал (вільна вода) і зношувальна здатність ґрунту починає зменшуватися.

Проведеними дослідженнями доведено, що наявність корозії на поверхні робочих органів ґрунтообробних машин призводить до зменшення їхньої зносостійкості та довговічності.

У сьомому розділі «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.

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

Дискусійні питання та зауваження щодо дисертаційної роботи

Повний аналіз дисертаційної роботи дозволяє вказати на деякі дискусійні питання та зауваження:

1. Для порівняльної оцінки матеріалів, які використовуються для виготовлення робочих органів ґрунтообробних машин бажано було б представити їх хімічний склад і фізико-механічні та триботехнічні властивості (табл. 1.4 дис.).
2. Не зрозумілим є функціонал різнокольорового (червоним, синім, зеленим) позначення характеристик ґрунтового середовища на рис. 1.6 дисертації.
3. З дисертаційної роботи не зрозуміло чим керувався автор при виборі розміру дослідних зразків для проведення досліджень для визначення опору ґрунту здвигу (рис. 2.2 дис.).
4. У другому розділі при описі експериментальної установки автор не надає обґрунтування вибору оптимального значення кута нахилу експериментальних зразків в 17° (с. 112 дис.), що значно інтенсифікує процес зносу, а також не зрозуміло, як результати зносу зразків з таким кутом атаки корелюються з результатами зносу серійних робочих органів ґрунтообробних агрегатів.
5. Математична модель зносу серійних робочих органів ґрунтообробних агрегатів (залежність 3.1 дис.) потребує пояснення щодо відповідності типовій кривій зносу (рис. 3.1), яка не має вираженого параболічного характеру.
6. Автор констатує, що виникнення процесу мікрорізання залежить від збігу несприятливих факторів абразивного зношування в процесі експлуатації робочих органів ґрунтообробних машин (3.29 дис.), але в роботі відсутні конкретні значення факторів при яких можливе виникнення такого процесу.
7. На рисунку 4.5 дисертації «Абразивні частинки ґрунту» бажано було б вказати назву представлених мінералів.
8. В роботі не наведено матеріал робочих органів ґрунтообробних машин, які використовувалися в процесі досліджень, зміни стану яких наведено на рис. 5.11 і 5.12 дисертації.
9. Незрозуміла репрезентативність вибірки при емпіричних дослідженнях темпів зношування дискових робочих органів ґрунтообробних машин у процесі експлуатації на суглинкових ґрунтах результати яких наведено на рис. 5.15 дисертації.
10. В підрозділі 6.3 бажано було б представити фото дослідних зразків після зберігання для різних ґрунтово-кліматичних зон.
11. В роботі автор при обґрунтуванні підвищення довговічності об'єктів оперує здебільшого показником зносостійкості, в той час, більш коректним критерієм визначення рівня безвідмовності є показник ресурсу.

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

Загальний висновок

Дисертація *Борака Костянтина Вікторовича* на тему «Комплексний підхід підвищення довговічності та зносостійкості робочих органів ґрунтообробних машин» є науковою роботою в якій вирішено актуальну науково-прикладну проблему – підвищення довговічності та зносостійкості робочих органів ґрунтообробних машин.

Вказані недоліки не зменшують наукової та практичної цінності представленої дисертації. Основні результати дисертації в достатній мірі опубліковано у фахових наукових виданнях України. Дисертація характеризується єдністю змісту та сучасною методологією проведених досліджень.

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».

Борак Костянтин Вікторович заслуговує присудження наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.05.11 «Машини і засоби механізації сільськогосподарського виробництва».

Офіційний опонент,
професор кафедри експлуатації,
міцності, надійності та
будівництва імені
В. Я. Аніловича Харківського
національного технічного
університету сільськогосподарства
імені Петра Василенка,
доктор технічних наук, доцент
10.04.2021 року

