

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу **Калініченка Дмитра Юрійовича** на тему **«Обґрунтування режимів технічного контролю і параметрів технічного стану зернозбиральних комбайнів»** подану до захисту на спеціалізовану вчену раду Д 26.004.06 при Національному університеті біоресурсів і природокористування України Міністерства освіти і науки України на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.05.11 «Машини і засоби механізації сільськогосподарського виробництва»

1. Загальна характеристика роботи. Технічний контроль параметрів технічного стану зернозбиральних комбайнів охоплює три основні напрями: превентивність або зменшення рівня зовнішніх впливів на комбайн; запобігання не нормативних дій і застосування інженерних заходів протягом життєвого циклу комбайна; нормативний прогноз технічного стану комбайна в реальних виробничих умовах і при відмовах чи аваріях. Однією з фундаментальних прикладних задач технічного контролю параметрів технічного стану комбайна є оптимізація рівня технічної готовності через комплекс моделей відмов та регламентованих дій із використанням фізико-математичних методів оцінки їх наслідків. Це в кінцевому слугує основою для аналізу і прогнозування динаміки системи, створюючи можливість для прийняття обґрунтованих практичних рішень. Для цього застосовується основний метод системного аналізу умов експлуатації і синтез конструкції зернозбиральних комбайнів з результуючою побудовою моделей, які відтворюють взаємозв'язки між реальними подіями, що відбуваються в технічних системах. Побудова таких взаємозв'язків для зернозбиральних комбайнів практично завжди ускладнюється тим, що вони не є чіткими функціональними залежностями. По-перше, складно виявити всі основні фактори, що впливають на дані події. По-друге, більшість таких залежностей є випадковими, тобто проявляються статистично. По-третє, набір статистичних спостережень завжди обмежений і до того ж містить різного роду похибки.

На теперішній час методи керування технічною готовністю зернозбиральних комбайнів в основному направлені на зменшення ймовірності виникнення відмов. В останній час широко застосовується лише механізм економічного регулювання доцільного рівня забезпечення технічної готовності комбайна, існує ряд методик аналізу безвідмовності зернозбиральних комбайнів через постачання запасних частин в циклі агропромислової діяльності. Однак механізми керування за технічного регулювання рівня технічної готовності зернозбиральних комбайнів все ще далекі від досконалості. На теперішній час практично відсутні не тільки науково обґрунтовані режими технічного контролю забезпечення і підтримання прийнятного рівня технічної готовності, але й загальноприйняті нормативно закріплені кількісні показники технічного стану

зернозбиральних комбайнів і критерії їх оцінки. Тому актуальним є обґрунтування режимів технічного контролю і параметрів технічного стану зернозбиральних комбайнів направлених на забезпечення їх надійності, оцінка ризику відмов і прогнозування можливих збитків при оптимальному співвідношенні між рівнем технічної готовності і рівнем затрат та витрат ресурсів. Робота присвячена дослідженню основних режимів технічного контролю і параметрів технічного стану зернозбиральних комбайнів, а також аналізу основних особливостей їх взаємодії.

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

Роботу виконано згідно з науково-дослідною тематикою Національного університету біоресурсів і природокористування України при виконанні тем: «Обґрунтувати параметри технічного стану сільськогосподарської техніки і режими функціонування систем ремонтно-технологічного забезпечення і технічного обслуговування» (номер державної реєстрації 0113U007633); «Обґрунтувати параметри і режими функціонування системи технічного обслуговування сільськогосподарської техніки» (номер державної реєстрації 0115U003464); «Обґрунтування методів підвищення виробництва зерна в сільськогосподарських підприємствах інтенсифікацією інженерного менеджменту» (номер державної реєстрації 0120U102086).

3. Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій сформованих у дисертації. Отримані дисертантом теоретичні та експериментальні дані науково обґрунтовані на підставі використання загальної методики досліджень, що передбачала теоретичне обґрунтування з використанням методів математики, теоретичної механіки, теорії коливань, диференціального та інтегрального числення, теорії ймовірності, теорії надійності машин, методи аналізу параметрів технічного стану зернозбиральних комбайнів, режимів технічного контролю, методи оцінки показників надійності, елементи теорії ймовірності, математичної статистики, теорії графів. На основі загальноприйнятих та окремих методик, розроблених автором, проводилися виробничі та лабораторні експериментальні дослідження. При проведенні теоретичних досліджень використовували методи механіки, математичної фізики, математичного аналізу. При проведенні експериментальних досліджень використовували як стандартні методи досліджень у галузі механізованих робіт, так і розроблені автором оригінальні методики. Широке застосування знайшли методи вимірювань параметричних величин. При аналізі результатів теоретичних і експериментальних досліджень широко використовувалися прикладні комп'ютерні пакети, такі як Компас-3D V14, Excel 2010 і MathCad 2000.

За загальною сукупністю використаних автором методів можна зробити висновок про достатній рівень обґрунтованості сформульованих висновків та отриманих наукових положень.

4. Наукова новизна і достовірність одержаних результатів та висновків. Автором вперше отримано аналітичні моделі марковського процесу за перетворенням Лапласа зі встановлення прикладної залежності нерезервованого параметра технічного стану ймовірності стану технічної готовності зернозбирального комбайна при різних поєднаннях заданих значень періодичності і трудомісткості технічного контролю параметрів технічного стану та інтенсивності відмов комбайну для неусталеного і усталеного режимів експлуатації. Удосконалено аналітичні моделі визначення періодичності технічного контролю параметрів технічного стану зернозбирального комбайна в залежності від терміну експлуатації, параметрів інтенсивностей відмов, трудомісткості технічного контролю і відношення збитків (затрат) при відмові до затрат на технічний контроль. Вперше отримано аналітичну модель (9), яка враховує зміну інтенсивності відмови комбайна для довільного значення поточного моменту експлуатації і ймовірність знаходження параметра технічного стану зернозбирального комбайна в одному з трьох станів: працездатному, відмови або технічного контролю. Дістало подальший розвиток і виявлено, що показники відмов, сезонного наробітку і коефіцієнт готовності за запропонованою технологією технічного контролю зернозбиральних комбайнів не суперечать диференціальній функції теоретичного закону розподілу Вейбулла-Гнеденко, а трудомісткість усунення відмов зернозбиральних комбайнів не суперечить диференціальній функції теоретичного закону гамма-розподілу.

Достовірність одержаних результатів підтверджено методикою оцінювання результатів вимірювань на основі концепції невизначеності і стохастичності процесів та їх співставленням з теоретично отриманими залежностями.

5. Практичне значення одержаних результатів, що отримані дисертантом полягає в науковому обґрунтуванні та експериментальному підтвердженні економічної доцільності та екологічної безпеки запропонованої технології технічного контролю зернозбиральних комбайнів. Це підтверджено актом впровадження з рекомендацією застосування на підприємствах агропромислового комплексу (Департамент землеробства та технічної політики в агропромисловому комплексі Міністерства аграрної політики та продовольства України). Розроблено методику визначення оцінки повного і залишкового ресурсу зернозбирального комбайна для довільного значення поточного часу, проведення «ризик – аналіз» при технічному контролі, оптимізування режимів технічного контролю для підтримання технічної готовності комбайна на нормативному рівні. Обґрунтовано класифікацію систем технічного контролю зернозбиральних комбайнів, розроблено програмний продукт DataTechControl та рекомендації аграрному виробництву.

6. Відображення наукових положень в публікаціях. Основні положення дисертації викладено у 34 наукових працях, з яких 11 статей у

наукових фахових виданнях України, включених до міжнародних наукометричних баз даних, стаття наукового фахового видання України, 3 статті у наукових виданнях іншої держави, 3 патенти України на корисну модель та 16 тез наукових доповідей.

7. Мова та стиль роботи. Дисертація та автореферат написані державною мовою. Стиль і виклад роботи логічний, послідовний і відповідає вимогам до наукових праць. Зміст роботи повністю висвітлює наукові результати і їх використання у виробництві. При викладенні тексту застосовується наукова лексика і термінологія.

8. Аналіз дисертаційної роботи. На рецензування подана дисертаційна робота, яка складається із анотацій, вступу, 5 розділів, висновків, списку використаних джерел (262 найменувань) і сімох додатків. Загальний обсяг дисертації становить 284 сторінки, вона містить 32 таблиці та 87 рисунки.

У вступі обґрунтовано актуальність теми дисертації, наведено зв'язок роботи з програмами, планами темами, сформульовані мета і завдання досліджень, викладено наукову новизну та практичне значення одержаних результатів, а також особистий внесок здобувача в опублікованих працях. Подана інформація щодо апробації результатів дисертаційних досліджень.

У першому розділі «Аналіз основних механізмів і методів керування технічною готовністю зернозбиральних комбайнів в процесі експлуатації» обґрунтовано особливості зернозбиральних комбайнів, як об'єкта технічного контролю; структуровано методи аналізу технічної готовності зернозбиральних комбайнів за параметрами технічного стану; обґрунтовано узгодженість режимів технічного стану зернозбиральних комбайнів за методом інтервальних нейронних мереж.

У другому розділі «Аналітичне визначення режимів технічного контролю і параметрів технічного стану зернозбиральних комбайнів» обґрунтовано аналітичні підходи визначення моделей режимів і параметрів технічного стану технічного контролю, технічної готовності зернозбиральних комбайнів.

Автором виявлена аналітична залежність інтенсивності відмов зернозбиральних комбайнів від режимів проведення технічного контролю, сформульовані основні задачі їх оптимізації. Надалі дослідження будуть спрямовані на керування параметрами технічного стану комбайна шляхом встановлення їх оптимальності.

У роботі виявлено аналітично наявний екстремум (максимум), тобто при заданих значеннях λ і τ_{tk} існує оптимальна періодичність технічного контролю і, відповідно, граничне максимальне значення ймовірності стану технічної готовності комбайна.

Автором запропоновано метод і результат визначення оптимальної періодичності технічного контролю зернозбиральних комбайнів при заданих параметрах інтенсивностей відмов, трудомісткістю технічного контролю і відношення збитків (затрат) при відмові до затрат на технічний контроль дозволяє мінімізувати значення величини сукупної оптимізаційної функції S_{min} забезпечення технічного готовності комбайна і забезпечить оптимальне керування цим процесом. Так при заданих $\lambda = 10^{-5}$ год⁻¹, $\tau_{tk} = 10$ год, $Z/A = 10$, з врахуванням фінальних ймовірностей станів, величина мінімальної сукупної оптимізаційної функції $S_{min} = 0,0613$ і оптимальна періодичність технічного контролю $t_{tk}^{opt} = 30,66$ год.

Здобувачем розроблена аналітична модель (2.66) дозволяє знаходити інтенсивність відмови комбайна для довільного значення поточного моменту експлуатації і визначати ймовірність знаходження параметра технічного стану зернозбирального комбайна в одному з трьох станів: працездатному, відмові або технічному контролю.

У третьому розділі «Програма і методики визначення режимів технічного контролю і параметрів технічного стану зернозбиральних комбайнів» приведено: програму досліджень з визначення режимів технічного контролю і параметрів технічного стану зернозбиральних комбайнів; методику розподілу агрегатів зернозбирального комбайна за технологічним маршрутом технічного контролю з розпізнаванням комбінацій параметрів технічного стану. Аналіз можливих виробничих ситуацій при організованому на агропідприємстві технічного контролю зернозбиральних комбайнів за технічним станом агрегатів дозволяє зробити висновок про те, що домогтися зниження внутрішньовиробничих втрат можна при зниженні виникаючих помилок розпізнавання дефектів агрегатів і їх розподілу по комплексах технічного контролю.

Автором обґрунтовано вибір штучної нейронної мережі як математичного апарату для вирішення завдання зниження помилок розпізнавання дефектів агрегатів і їх розподілу за технологічними маршрутами технічного контролю обґрунтований здатністю даного математичного апарату до навчання, аналізу і запам'ятовування результатів, а також високою адаптації під рішення поставленого завдання.

Здобувач представив умову застосування алгоритму зворотного поширення помилки при навчанні штучної нейронної мережі, яка обрана як функція активації повинна бути диференційована, тому використовується сигмоїдальна активаційна функція, яка диференційована по всій осі абсцис.

В розділі уточнено алгоритм масштабування вихідних даних в область значень функції активації при навчанні штучної нейронної мережі є універсальним і дозволяє досягти підвищення достовірності розпізнавання і зменшення часу навчання даного математичного апарату.

Здобувачем розроблено алгоритм розпізнавання дефектів в агрегатах зернозбиральних комбайнів з використанням математичного апарату штучної

нейронної мережі застосовуємо, як до широкого спектру механічних систем, що володіють достатньою конструктивною складністю при їх технічному контролі по фактичному технічному стану в аграрній галузі економіки України.

У четвертому розділі «Експериментальне дослідження застосування математичного апарату визначення режимів технічного контролю і параметрів технічного стану зернозбиральних комбайнів у виробничих умовах» наведено результати: причинно-наслідкових зв'язків параметрів для основних ресурсних груп силового енергетичного агрегату зернозбирального комбайна; експериментальної перевірки моделі технологічності процесу технічного контролю зернозбиральних комбайнів.

Здобувач розкрив технологічні процеси технічного контролю зернозбиральних комбайнів описують ступінчатою функцією технологічності, яка з достатньою точністю апроксимується прямою лінією, що проходить через початок координат. Параметр цієї функції характеризує технологічність процесу технічного контролю. Запропоновані операційні технології технічного контролю, які розроблені із врахуванням упорядкування робіт між виконавцями і взаємоузгодження їх з режимом технічного контролю, місця контролю підвищили технологічність процесу технічного контролю при ТК-1 – в 1,51; ТК-2 – в 1,18, ТК-3 – в 1,53 рази. При цьому тривалість технічного контролю скорочується відповідно в 1,42; 1,36; 2,3 рази.

В розділі розкриті результати щодо трудомісткості технічного контролю зернозбиральних комбайнів складає 24...48% від нормованої оперативної трудомісткості технічного контролю цих комбайнів. Біля 20% параметрів технічного стану по кожному виду технічного контролю мають трудомісткість: за ТК-3 – більше 45 люд.-хв., за ТК-2 – більше 12 люд.-хв., за ТК-1 – більше 9 люд.-хв. Найбільший об'єм робіт, припадає на двигун, що складає в середньому 54,3%. Частки інших систем складають в середньому: електрообладнання – 8,1%, трансмісії – 7%, гальма і пневмосистеми – 3,9%, механізмів керування – 3,1%, гідросистеми навісного пристрою – 2,1%. В сумарній цикловій трудомісткості технічного контролю 43...53% займають допоміжні роботи. Трудонапруженість процесів технічного контролю є нерівномірною як для видів технічного контролю так і для окремих параметрів технічного стану. Приватні показники трудонапруженості дозволяють виявити «вузькі місця» процесів технічного контролю.

Здобувач із застосуванням регресійного аналізу вибрав фактори, які характеризують фрагменти процесу технічного контролю і отримані емпіричні рівняння, які дозволяють оцінювати трудомісткість технічного контролю по креслярській документації на ранній стадії розробки системи технічного контролю. За результатами обробки статистичних даних про оснащення комбайнів вбудованими приладами складена емпірична залежність кількості вбудованих приладів від потужності комбайна, яка може використовуватись для прогнозування.

Проведенні експериментальні дослідження дозволили стверджувати, що наробіток на відмову зернозбиральних комбайнів за запропонованою технологією технічного контролю не суперечить диференціальній функції теоретичного закону розподілу Вейбулла-Гнеденко і характеризується математичним очікуванням 164,8 га/відмову, що на 17,2% більше в порівнянні з базовою технологією.

Проведенні експериментальні дослідження дозволили стверджувати, що сезонний наробіток зернозбиральних комбайнів за запропонованою технологією технічного контролю не суперечить диференціальній функції теоретичного закону розподілу Вейбулла-Гнеденко і характеризується математичним очікуванням 328,98 га, що на 23,2% більше в порівнянні з базовою технологією.

Проведенні експериментальні дослідження дозволили стверджувати, що трудомісткість усунення відмов зернозбиральних комбайнів за запропонованою технологією технічного контролю не суперечить диференціальній функції теоретичного закону розподілу Гамма і характеризується математичним очікуванням 10,1 годин, що на 18,3% менше в порівнянні з базовою технологією.

Проведенні експериментальні дослідження дозволили стверджувати, що коефіцієнт готовності зернозбиральних комбайнів за запропонованою технологією технічного контролю не суперечить диференціальній функції теоретичного закону розподілу Нормальний і характеризується математичним очікуванням 0,87, що на 10,8 % більше в порівнянні з базовою технологією.

П'ятий розділ «Виробниче застосування результатів досліджень при організації технічного контролю зернозбиральних комбайнів та економічний ефект». Здобувачем розроблене оригінальне програмне забезпечення є базою для створення автоматизованого робочого місця, яке дозволить оператору технічного контролю застосовувати отримані результати даних досліджень для однозначного і достовірного віднесення конкретного агрегату до конкретного технологічного маршруту комплексу технічного контролю агрегатів зернозбиральних комбайнів. Із розрахунків економічного ефекту результатів досліджень були виключені одноразові витрати на організацію підсистеми технічного контролю зернозбиральних комбайнів, як константні і для першого і для другого варіантів. При розрахунку очікуваного економічного ефекту (економії витрат на один двигун на етапі технічного контролю) мінімізувалася адитивна функція внутрішньовиробничих втрат від помилок I-го роду, помилок II-го роду і помилок маршрутизації. Значення річного економічного ефекту від впровадження результатів дослідження складає 721,83 грн./га.

9. Відповідність дисертації встановленим вимогам. Дисертаційна робота виконана відповідно до вимог оформлення наукових праць. Достовірність отриманих результатів підтверджується логічним аналізом

стану питання, теоретичними розрахунками, системно спланованими дослідженнями та комп'ютерною обробкою результатів досліджень. Зміст дисертаційної роботи логічно викладений з послідовно ув'язаною структурою. Результати роботи в повній мірі висвітлюють рішення сформульованих завдань у визначеній області досліджень.

Результати досліджень представлені на конференціях та обговорені на семінарах, повністю представлені в опублікованих фахових працях.

Висновки узагальнюють отримані результати по суті наукових положень та практичних рекомендацій з впровадження.

Зауваження та пропозиції щодо змісту та оформлення дисертаційної роботи.

1. У першому розділі автор не в повній мірі розшифровано одиниці вимірювання складових аналітичних виразів С. 47, С. 48.

2. У другому розділі здобувач в повній мірі не розкрив аналітичність підходу до вирішення системи диференціальних рівнянь (2.14) можна скористатись перетворенням Лапласа.

3. У другому розділі здобувач не обґрунтовано уникає графічних інтерпретацій отриманих аналітичних виразів (2.30), (2.31), (2.32).

4. У третьому розділі п. 3.8 здобувач приводить не обґрунтоване обмеження представлення викладки методики планування експериментальних досліджень, обробки та узагальнення даних.

5. У третьому розділі автор не використовує прикладні комп'ютерні технології, щонаприклад Maple або Mathematica, тим самим обмежує застосування в роботі сучасних досягнень науки, і застосував детальний опис загальноприйнятих в науці і техніки методів експериментальних досліджень, чим обтяжив його зміст.

6. У четвертому розділі у п. 4.1 здобувач приділив значну увагу відомим методичним підходом до визначення контрольованих параметрів окремим нейроном у вхідному шарі штучної нейронної мережі та обмежено наводить результати авторського підходу, що обмежено розкриває цінність отриманих результатів досліджень.

7. У п'ятому розділі у п. 5.2 здобувач не описав комплектацію технічними засобами мобільного агрегату технічного контролю зернозбиральних комбайнів, що обмежено розкриває цінність отриманих результатів досліджень.

10. Висновок.

Дисертаційна робота **Калініченка Дмитра Юрійовича** 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. Дисертація підготовлена автором особисто, істотний особистий внесок здобувача у розв'язання наукового оптимізаційного завдання зі зменшення витрати на

забезпечення технічної готовності експлуатації зернозбиральних комбайнів в умовах сільськогосподарських підприємств шляхом обґрунтування режимів технічного контролю і функціонально-структурних параметрів технічного стану комбайну. 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 іншої держави, пройшли належну апробацію та були схвально оцінені науковцями.

Надані зауваження носять дискусійних характер і не принципові.

Дисертаційна робота **Калініченка Дмитра Юрійовича** на тему «Обґрунтування режимів технічного контролю і параметрів технічного стану зернозбиральних комбайнів» являє собою завершену наукову працю і за своїм рівнем та практичною цінністю, змістом і оформленням повністю відповідає вимогам Порядку присудження наукових ступенів щодо дисертацій на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.05.11 – «Машини і засоби механізації сільськогосподарського виробництва».

На підставі цього вважаю, що **Калініченко Дмитро Юрійович** заслуговує присудження наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.05.11 – «Машини і засоби механізації сільськогосподарського виробництва».

Офіційний опонент,
доктор технічних наук, доцент,
професор кафедри процесів, машин і
обладнання в агроінженерії
Поліського національного університету

Дерев'яню Дмитро Аксентійович

11 березня 2021 року

