

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ  
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ**

**КАЛІНІЧЕНКО ДМИТРО ЮРІЙОВИЧ**

УДК 631.001.4

**ОБҐРУНТУВАННЯ РЕЖИМІВ ТЕХНІЧНОГО КОНТРОЛЮ  
І ПАРАМЕТРІВ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ  
ЗЕРНОЗБИРАЛЬНИХ КОМБАЙНІВ**

05.05.11 «Машини і засоби механізації  
сільськогосподарського виробництва»

Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Київ – 2021

Дисертацією є рукопис

Роботу виконано у Національному університеті біоресурсів і природокористування України Міністерства освіти і науки України

**Науковий керівник**

кандидат технічних наук, старший науковий співробітник

**Роговський Іван Леонідович,**

Національний університет біоресурсів

і природокористування України,

директор науково-дослідного інституту техніки і технологій

**Офіційні опоненти:**

доктор технічних наук, доцент

**Дерев'янка Дмитро Аксентійович,**

Поліський національний університет,

професор кафедри процесів, машин і обладнання в агроінженерії

кандидат технічних наук, доцент

**Блезнюк Олег Володимирович,**

Харківський національний технічний університет

сільського господарства імені Петра Василенка,

доцент кафедри експлуатації, надійності, міцності та будівництва імені В. Я. Аніловича

Захист відбудеться «02» квітня 2021 року о 10<sup>00</sup> годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 26.004.06 у Національному університеті біоресурсів і природокористування України, за адресою: 03041, м. Київ, вул. Героїв Оборони, 15, навчальний корпус № 3, кімната 301

З дисертацією можна ознайомитися у науковій бібліотеці Національного університету біоресурсів і природокористування України, за адресою: 03041, м. Київ, вул. Героїв Оборони, 13, навчальний корпус № 4, кімната 41а

Автореферат розіслано «01» березня 2021 року

В. о. вченого секретаря  
спеціалізованої вченої ради

Є. Г. Афтанділянц

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** Швидкорозвиваючий зерновий експорт України в теперішній час вимагає особливої уваги до питань забезпечення технічної готовності високопродуктивних зернозбиральних комбайнів. Так як ефективність експлуатації комбайна в першу чергу пов'язана з його використанням за призначенням, тому основна задача керування процесом заключається в підвищенні частки часу експлуатації при раціональних затратах на технічний контроль і усунення несправностей. Ця наукова проблема вирішується методами підвищення структурної надійності комбайнів, оптимальним вибором системи технічного контролю і норм витрат запасних частин. Тому для досягнення необхідного рівня технічної готовності комбайнів є актуальним розроблення наукових основ нормативно-технічного забезпечення інженерного менеджменту агропромислового комплексу з врахуванням ризиків відмов, аварій, технічного контролю і параметрів технічного стану зернозбиральних комбайнів, виробничих і природних умов збирання зернового збіжжя. Технічна готовність комбайнів характеризується невизначеністю, випадковістю виникнення подій, результатом яких є збиток аграріїв від простоїв комбайнів під час жнив. Тому міра технічної готовності має включати міру можливості ризику настання не прийнятої події (частоту або ймовірність) і міру збитку при її настанні.

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.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Дисертація є частиною науково-дослідних робіт Національного університету біоресурсів і природокористування України: «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).

**Мета та завдання дослідження.** Мета дисертаційного дослідження – зменшити витрати на забезпечення технічної готовності експлуатації зернозбиральних комбайнів в умовах сільськогосподарських підприємств шляхом обґрунтування режимів технічного контролю і функціонально-структурних параметрів технічного стану комбайну. Відповідно до мети було передбачено виконання таких завдань: здійснити аналіз основних механізмів і методів керування технічною готовністю зернозбиральних комбайнів в процесі експлуатації; виконати аналітичне визначення режимів технічного контролю і параметрів технічного стану зернозбиральних комбайнів; розробити програму і методики визначення режимів технічного контролю і параметрів технічного стану зернозбиральних комбайнів; провести експериментальне дослідження застосування математичного апарату визначення режимів технічного контролю і параметрів технічного стану зернозбиральних комбайнів у виробничих умовах; виконати виробниче застосування результатів досліджень при організації технічного контролю зернозбиральних комбайнів та визначити економічний ефект.

**Об'єкт дослідження** – процеси технічного контролю і вимірювання параметрів технічного стану зернозбиральних комбайнів в процесі експлуатації та за усуненням наслідків відмов.

**Предмет дослідження** – встановлення закономірностей зміни параметрів технічного стану зернозбиральних комбайнів в процесах експлуатації та відновлення працездатності, взаємозв'язок параметрів процесу використання і відновлення працездатності комбайнів.

**Методи дослідження.** При виконанні аналітичних і експериментальних досліджень застосовувались методи аналізу параметрів технічного стану зернозбиральних комбайнів, режимів технічного контролю, методи оцінки

показників надійності, елементи теорії ймовірності, математичної статистики, теорії графів.

**Наукова новизна одержаних результатів.** 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 (1), (2), (3) і усталеного (4), (5), (6) режимів експлуатації. Удосконалено аналітичні моделі (7) і (8) 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 (рис. 10а), сезонного наробітка (рис. 10б) і коефіцієнт готовності (рис. 10г) за запропонованою технологією технічного контролю зернозбиральних комбайнів не суперечать диференціальній функції теоретичного закону розподілу Вейбулла-Гнєденко, а трудомісткість усунення відмов зернозбиральних комбайнів не суперечить диференціальній функції теоретичного закону гамма-розподілу (рис. 10в).

**Практичне значення одержаних результатів** 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.

**Особистий внесок здобувача.** Теоретичні та експериментальні дослідження за темою дисертації виконано автором самостійно. Постановка завдання, аналіз і трактування результатів виконано спільно з науковим керівником. Із спільних експериментальних досліджень і публікацій, здобувачем використано, за згодою наукового керівника, лише власну частину результатів.

**Апробація результатів дисертації.** Результати дисертаційних досліджень в повній мірі оприлюднено і апробовано на секційних засіданнях таких наукових заходів як: Міжнародний науковий симпозіум «Achievements and Perspective in Agricultural Engineering and AutoTransport» (Молдова, Кишинев–2018); XIV Міжнародна конференція «Strategy of Quality in Industry and Education»

(Болгарія, Варна–2018); VI Міжнародна наукова конференція «Інноваційне забезпечення виробництва органічної продукції в АПК» (Україна, Київ–2018); Міжнародна науково-практична конференція «Цілі сталого розвитку третього тисячоліття: виклики для університетів наук про життя» (Україна, Київ–2018); XIV Міжнародна наукова конференція «Раціональне використання енергії в техніці. TechEnergy 2018» (Україна, Київ–2018); XVIII Міжнародна конференція науково-педагогічних працівників, наукових співробітників та аспірантів «Проблеми та перспективи розвитку технічних та біоенергетичних систем природокористування» (Україна, Київ–2018); XIII Міжнародна науково-практична конференція «Обуховські читання» (Україна, Київ–2018); III Міжнародна науково-практична конференція «Сучасні технології аграрного виробництва» (Україна, Київ–2017); XI Міжнародна науково-практична конференція «Проблеми конструювання, виробництва та експлуатації сільськогосподарської техніки» (Україна, Кропивницький–2017); XVIII Міжнародна наукова конференція «Сучасні проблеми землеробської механіки» (Україна, Кам'янець-Подільський–2017); XVIII Міжнародна наукова конференція «Науково-технічні засади розробки, випробування та прогнозування сільськогосподарської техніки і технологій» (Україна, Дослідницьке–2017); V Міжнародна наукова конференція «Інноваційне забезпечення виробництва органічної продукції в АПК» (Україна, Київ–2017); XV і XVI Міжнародні науково-технічні конференції «Motoryzacja i Energetyka Rolnictwa. Motrol 2017», «Motoryzacja i Energetyka Rolnictwa. Motrol 2018» (Польща, Люблін–2017, 2018); XXIV Міжнародна конференція з автоматичного управління «Автоматика – 2017» (Україна, Київ–2017); Міжнародна наукова конференція “Earth Bioresources and Environmental Biosafety: Challenges and Opportunities” (Україна, Київ–2013); XIII, XVIII і XIX Міжнародна конференція науково-педагогічних працівників, наукових співробітників та аспірантів «Проблеми та перспективи розвитку технічних та біоенергетичних систем природокористування» (Україна, Київ–2013, 2018, 2019); IV Всеукраїнська науково-практична конференція «Перспективи і тенденції розвитку конструкцій та технічного сервісу сільськогосподарських машин і знарядь» (Україна, Житомир–2018). За результатами експонування і участі в конкурсі наукова розробка «Системи інформаційного управління параметрами технічного стану зернозбиральних комбайнів» нагороджена «Золотою Медаллю» XXX Міжнародної агропромислової виставки «Агро-2018» (Україна, Київ–2018).

**Публікації.** Основні положення і результати дисертаційних досліджень опубліковано 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.

**Структура та обсяг дисертації.** Загальний обсяг дисертаційної роботи з 284 сторінок складають анотації на українській і англійській мовах, вступу, 5 розділів, висновків, списку використаних джерел із 262 найменувань (119 англійською) і 7 додатків. Основний текст дисертаційної роботи викладений на 161 сторінці, містить 87 рисунків і 32 таблиці.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

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.

З початку XXI сторіччя вітчизняні та іноземні вчені вирішували наступні наукові проблеми: аналіз і синтез конструкцій зернозбиральних комбайнів – академіки НААН Кравчук В. І. і Погорілий Л. В., член-кореспондент НААН Войтюк Д. Г., лауреати державної премії України в галузі науки і техніки Недовесов В. І. і Мироненко В. Г., професори Дерев'янка В. А., Schwarz M., Bilde M. та інші; динаміка зернозбиральних комбайнів – заслужений діяч науки і техніки України Ловейкін В. С., професори Шейченко В. О., Lotfie A., Cooke I., Hermann D. та інші; технічний сервіс та інженерний менеджмент зернозбиральних комбайнів – професори Войтюк В. Д., Козаченко О. В., Фришев С. Г., Молодик М. В., Анілович В. Я., Думенко К. М., Бойко А. І., Шевченко С. А., Блезнюк О. В., Домуші Д. А., Mihov M., Mattison E. та інші.

Аналіз існуючих результатів досліджень дозволяє констатувати, що для забезпечення заданого рівня керування технічної готовності і параметрами технічного стану зернозбиральних комбайнів необхідна виражена технічна експлуатація і оптимальна система технічного контролю, яка представляє собою комплекс нормативів і норм, які визначають організацію і зміст технологічних операцій протягом всього терміну експлуатації. Важливе значення має також контроль в процесі виробництва зернозбирального комбайна. Незалежно від того, якими способами і засобами повинен проводитися технічний контроль, завжди важливо мати якомога менше витрат часу і апаратури контролю. У зв'язку з цим набуває актуальності впровадження методів отримання мінімальних сукупностей впливів і контрольних параметрів, а також методів оптимізації програм перевірок. При цьому розглядається методика побудови оптимальних універсальних систем контролю на основі теорії статистичних рішень за класифікації систем технічного контролю зернозбиральних комбайнів (рис. 1).

Фундаментальна проблема аналізу технічної готовності зернозбиральних комбайнів зводиться до створення узагальнених моделей технічних систем забезпечення технічної готовності для аналізу виникнення і розвитку відмов. Ці моделі характеризуються багаторівневою структурою з глобальними, локальними і об'єктивними аспектами. Узагальнена процедура аналізу технічної готовності зернозбиральних комбайнів складається із встановлення рішень наступних задач: визначення досліджуваного зернозбирального комбайна, режимів і умов його експлуатації, функціональних зв'язків; визначення всіх вимог або цілей технічної готовності і працездатності зернозбирального комбайна, а також характеристик системи, режимів його експлуатації, умов навколишнього середовища і вимог технічного контролю; розподілення вимог

або цілей технічної готовності за підсистемами на гарантійній стадії зернозбирального комбайна (за необхідності); якісний і кількісний аналіз технічної готовності на основі методів надійності і відповідних даних ефективності експлуатації.

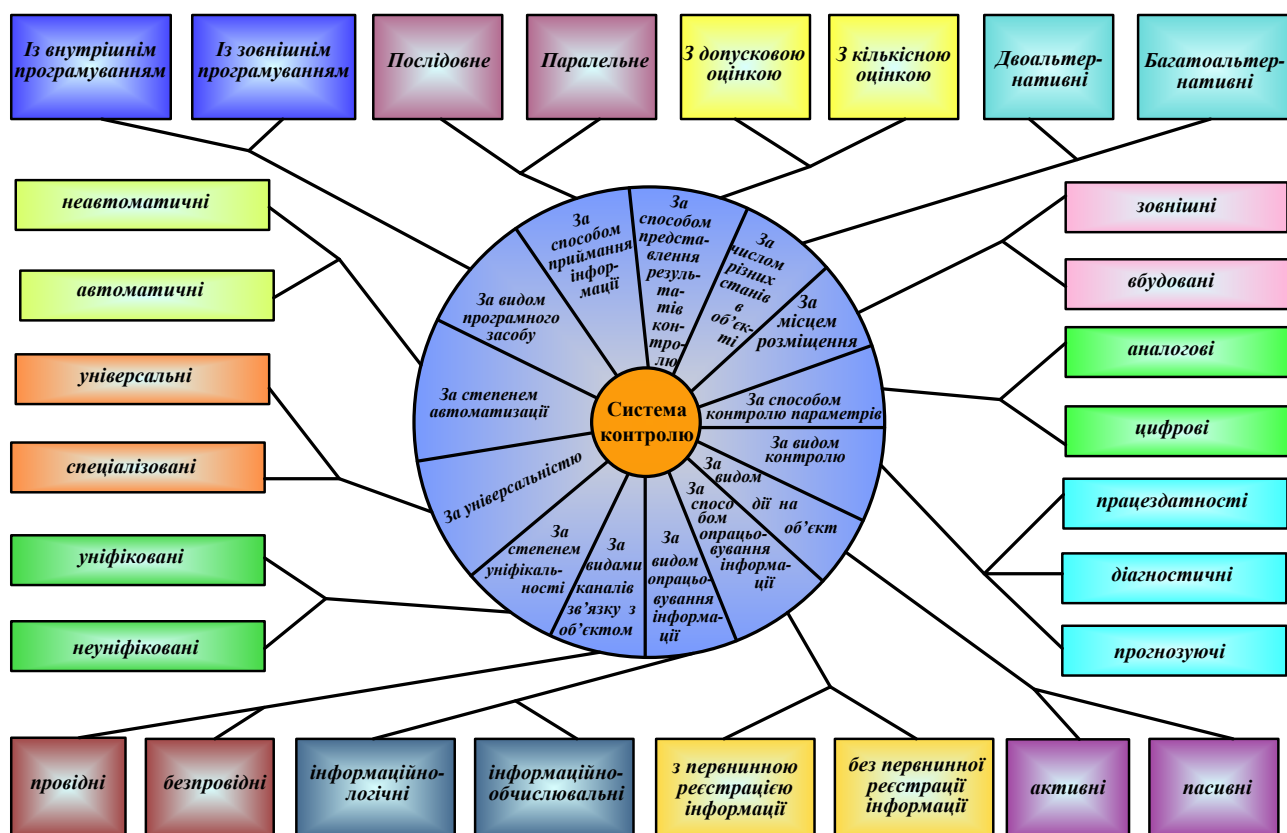


Рис. 1. Класифікація систем технічного контролю зернозбиральних комбайнів.

В реальних вузлах, механізмах, агрегатах у конструкції зернозбиральних комбайнів завжди є природний резерв часу, інакше – час перерви в роботі. Це пояснюється наступним. Зернозбиральні комбайни виконують передбачені завдання в реальному масштабі часу в жорсткі директивні агротерміни, які називаються циклами машиновикористання. В існуючому технічному контролі комбайнів відсутній взаємозв'язок операцій, що викликає їх нераціональну послідовність, нерівномірну завантаженість виконавців і, як наслідок, значну тривалість процесу. Існуючі критерії оцінки технологічності не враховують динаміки протікання технологічного процесу технічного контролю, не дозволяє порівнювати між собою технології і визначати шляхи їх удосконалення.

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.

При дослідженні зернозбиральних комбайнів, у яких можливі тільки явні відмови, за результатами технічного контролю проводиться повне відновлення працездатності. Якщо в попередньому періоді відмов не було, то технічний



контроль проводиться через інтервал часу і наробітки  $\tau$  (рис. 2). Якщо до моменту технічного контролю була відмова, після якої працездатність була відновлена, то графік технічного контролю перебудовується.

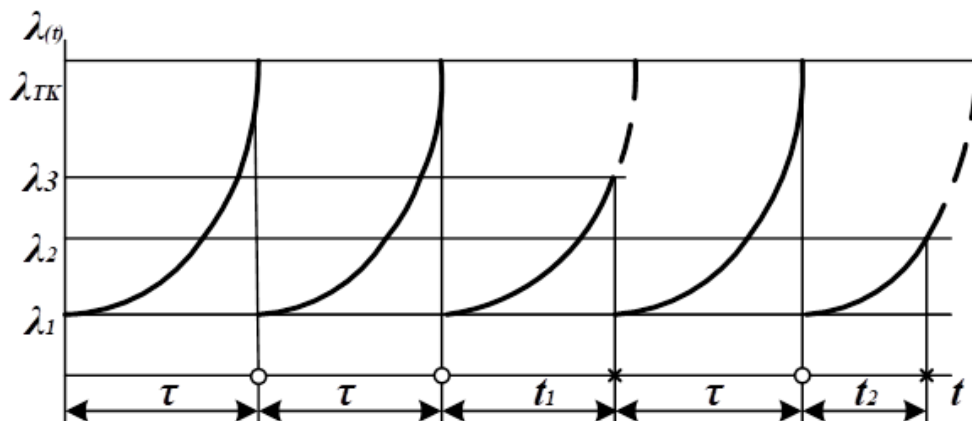


Рис. 2. Зміна інтенсивності відмов при технічному контролі зернозбиральних комбайнів: о – стан технічного контролю; х – стан відмови

В результаті 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 (1), (2), (3) і усталеного (4), (5), (6) режимів експлуатації.

Результати аналітичних визначень за формулами (1), (2) і (3) дозволяють констатувати, що ймовірність стану технічної готовності зернозбирального комбайна і, відповідно, технічні відмови визначаються, в першу чергу, інтенсивністю відмов комбайна (табл. 1) і періодичністю технічного контролю (рис. 3), в незначній мірі залежить від тривалості технічного контролю (рис. 3).

$$\begin{aligned}
 P_1(t) = & \left[ \lambda_{13}^2 + 2\lambda_{13}\lambda_{12} + \lambda_{12}^2 - \lambda_{32}\lambda_{13} - \lambda_{32}\lambda_{12} - \lambda_{21}\lambda_{13} + \lambda_{21}\lambda_{12} - \right. \\
 & \left. - \lambda_{13}(\lambda_{00})^{1/2} - \lambda_{12}(\lambda_{00})^{1/2} \right] \times \\
 & \times \left[ \begin{matrix} -\lambda_{32} - \lambda_{13} - \lambda_{21} - \lambda_{12} + \\ + (\lambda_{00})^{1/2} \end{matrix} \right]^{-1} \times \exp \left\{ \frac{1}{2} t \left[ \begin{matrix} -\lambda_{32} - \lambda_{13} - \lambda_{21} - \lambda_{12} + \\ + (\lambda_{00})^{1/2} \end{matrix} \right] \right\} + \\
 & + \left[ \lambda_{13}^2 + 2\lambda_{13}\lambda_{12} + \lambda_{21}^2 + (\lambda_{13} + \lambda_{12}) \times (\lambda_{00})^{1/2} - \left( \lambda_{32}(\lambda_{13} + \lambda_{12}) + \right. \right. \\
 & \left. \left. + \lambda_{21}(\lambda_{13} - \lambda_{12}) \right) \right] \times \\
 & \times \left[ \lambda_{32} + \lambda_{13} + \lambda_{21} + \lambda_{12} + (\lambda_{00})^{1/2} \right]^{-1} \times \exp \left\{ -\frac{1}{2} t \left[ \begin{matrix} \lambda_{32} + \lambda_{13} + \lambda_{21} + \lambda_{12} + \\ + (\lambda_{00})^{1/2} \end{matrix} \right] \right\} - \\
 & - 4\lambda_{32}\lambda_{21} \times \left[ \begin{matrix} \{ -\lambda_{32} - \lambda_{13} - \lambda_{21} - \lambda_{12} + (\lambda_{00})^{1/2} \} \times \\ \times \{ \lambda_{32} + \lambda_{13} + \lambda_{21} + \lambda_{12} + (\lambda_{00})^{1/2} \} \end{matrix} \right]^{-1}, \quad (1)
 \end{aligned}$$

де  $\lambda_{00} = \lambda_{32}^2 - 2\lambda_{32}\lambda_{13} - 2\lambda_{32}\lambda_{21} - 2\lambda_{32}\lambda_{12} + \lambda_{13}^2 - 2\lambda_{21}\lambda_{13} + 2\lambda_{13}\lambda_{12} + \lambda_{21}^2 + 2\lambda_{21}\lambda_{12} + \lambda_{12}^2$ .

$$\begin{aligned}
P_2(t) = & \left[ -\lambda_{32}\lambda_{12} + \lambda_{13}\lambda_{12} + \lambda_{21}\lambda_{12} + \lambda_{12}^2 - \lambda_{12}(\lambda_{00})^{1/2} - 2\lambda_{32}\lambda_{13} \right] \times \\
& \times \left[ \lambda_{32} + \lambda_{13} + \lambda_{21} + \lambda_{12} + (\lambda_{00})^{1/2} \right]^{-1} \times \exp \left\{ -\frac{1}{2}t \left[ \begin{matrix} \lambda_{32} + \lambda_{13} + \lambda_{21} + \lambda_{12} - \\ -(\lambda_{00})^{1/2} \end{matrix} \right] \right\} + \\
& + \left[ \lambda_{32}\lambda_{12} - \lambda_{13}\lambda_{12} + \lambda_{21}\lambda_{12} - \lambda_{12}^2 - \lambda_{12}(\lambda_{00})^{1/2} + 2\lambda_{32}\lambda_{13} \right] \times \\
& \times \left[ \lambda_{32} + \lambda_{13} + \lambda_{21} + \lambda_{12} + (\lambda_{00})^{1/2} \right]^{-1} \times \exp \left\{ -\frac{1}{2}t \left[ \begin{matrix} \lambda_{32} + \lambda_{13} + \lambda_{21} + \lambda_{12} - \\ -(\lambda_{00})^{1/2} \end{matrix} \right] \right\} - \\
& - 4\lambda_{32}(\lambda_{12} + \lambda_{13}) \times \left[ \begin{matrix} \{-\lambda_{32} - \lambda_{13} - \lambda_{21} - \lambda_{12} + (\lambda_{00})^{1/2}\} \times \\ \times \{\lambda_{32} + \lambda_{13} + \lambda_{21} + \lambda_{12} + (\lambda_{00})^{1/2}\} \end{matrix} \right]^{-1}. \quad (2)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
P_3(t) = & \left[ \begin{matrix} -\lambda_{32} - \lambda_{13} + \lambda_{21} - \lambda_{12} + \\ +(\lambda_{00})^{1/2} \end{matrix} \right] \times \left[ -\lambda_{32} - \lambda_{13} - \lambda_{21} - \lambda_{12} + (\lambda_{00})^{1/2} \right]^{-1} \times \\
& \times \lambda_{13} \exp \left\{ \frac{1}{2}t \left[ \begin{matrix} -\lambda_{32} - \lambda_{13} - \lambda_{21} - \lambda_{12} + \\ +(\lambda_{00})^{1/2} \end{matrix} \right] \right\} - \left[ \begin{matrix} \lambda_{32} - \lambda_{13} + \lambda_{21} - \lambda_{12} + \\ +(\lambda_{00})^{1/2} \end{matrix} \right] \times \\
& \times \left[ \begin{matrix} \lambda_{32} + \lambda_{13} + \lambda_{21} + \lambda_{12} + \\ +(\lambda_{00})^{1/2} \end{matrix} \right]^{-1} \times \lambda_{13} \exp \left\{ -\frac{1}{2}t \left[ \begin{matrix} -\lambda_{32} - \lambda_{13} - \lambda_{21} - \lambda_{12} + \\ +(\lambda_{00})^{1/2} \end{matrix} \right] \right\} - \\
& - 4\lambda_{32}\lambda_{21} \left[ \left[ \begin{matrix} -\lambda_{32} - \lambda_{13} - \lambda_{21} - \lambda_{12} + \\ +(\lambda_{00})^{1/2} \end{matrix} \right] \left[ \begin{matrix} \lambda_{32} + \lambda_{13} + \lambda_{21} + \lambda_{12} + \\ +(\lambda_{00})^{1/2} \end{matrix} \right] \right]^{-1}. \quad (3)
\end{aligned}$$

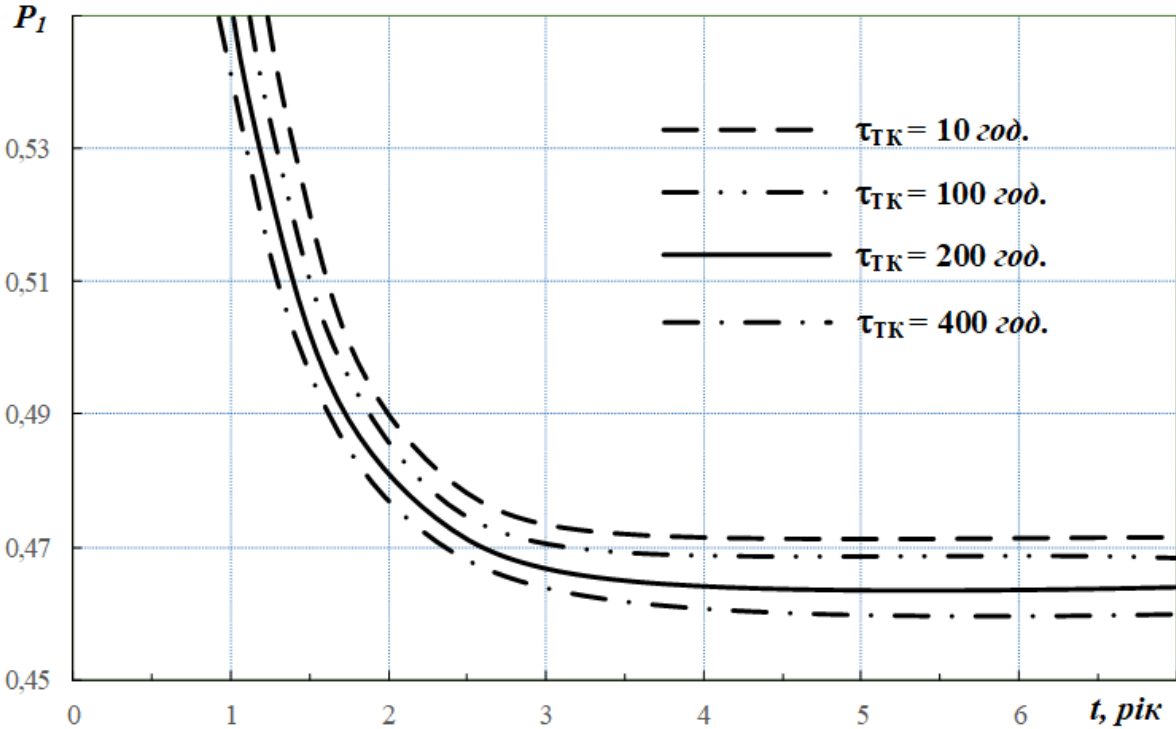


Рис. 3. Залежність ймовірності технічного стану зернозбирального комбайна від терміну експлуатації.

Для усталеного режиму експлуатації  $dP_1/dt = 0$ ,  $dP_2/dt = 0$ ,  $dP_3/dt = 0$  система диференціальних рівнянь набуде свого перетворення в систему лінійних алгебраїчних рівнянь. При доповненні системи нормуючою умовою  $P_1 + P_2 +$

$+P_3 = 1$  обчислення для фінальних ймовірностей стану можна отримати у вигляді:

$$P_1 = \frac{t_{tk}(1+t_{tk}\lambda)}{\lambda^2 t_{tk}^2 \tau_{tk} + \tau_{tk} + 2\lambda t_{tk} \tau_{tk} + \lambda^2 t_{tk}^3 + t_{tk} + \lambda t_{tk}^2}, \quad (4)$$

$$P_2 = \frac{t_{tk}(2\lambda t_{tk} + \lambda^2 t_{tk}^2 + 1)}{\lambda^2 t_{tk}^2 \tau_{tk} + \tau_{tk} + 2\lambda t_{tk} \tau_{tk} + \lambda^2 t_{tk}^3 + t_{tk} + \lambda t_{tk}^2}, \quad (5)$$

$$P_3 = \frac{\lambda^2 t_{tk}^3}{\lambda^2 t_{tk}^2 \tau_{tk} + \tau_{tk} + 2\lambda t_{tk} \tau_{tk} + \lambda^2 t_{tk}^3 + t_{tk} + \lambda t_{tk}^2}, \quad (6)$$

Таблиця 1

**Ймовірність стану технічної готовності комбайна ( $\tau_{tc} = 10$  год)**

$t_{tc}$ , діб	$\lambda$ , год <sup>-1</sup>	Термін експлуатації $t$ , років						Фінальна ймовірність
		0,1	0,5	1	2	5	10	
0,5	$10^{-4}$	0,9358	0,8826	0,8798	0,8797	0,8797	0,8797	0,8797
	$10^{-5}$	0,9958	0,9958	0,9958	0,9958	0,9958	0,9958	0,9958
	$10^{-6}$	0,9977	0,9977	0,9977	0,9977	0,9977	0,9977	0,9977
1	$10^{-4}$	0,9232	0,7728	0,7228	0,7093	0,7086	0,7086	0,7086
	$10^{-5}$	0,9938	0,9918	0,9918	0,9918	0,9918	0,9918	0,9918
	$10^{-6}$	0,9988	0,9988	0,9988	0,9988	0,9988	0,9988	0,9988
2	$10^{-4}$	0,9187	0,7020	0,5724	0,4914	0,4734	0,4724	0,4724
	$10^{-5}$	0,9920	0,9785	0,9747	0,9739	0,9739	0,9739	0,9739
	$10^{-6}$	0,9991	0,9991	0,9991	0,9991	0,9991	0,9991	0,9991

Фінальні ймовірності  $P_1$  за формулою (4) представлені в табл. 1, деякі за формулами (4), (5), (6) графічно представлені на рис. 4, як залежність ймовірності стану технічної готовності комбайна  $P_1$  від періодичності технічного контролю  $t_{tk}$ , при різних поєднаннях значень інтенсивності відмов  $\lambda$  і тривалості технічного контролю  $\tau_{tk}$ . Необхідно відзначити наявний екстремум (максимум), тобто при заданих значеннях  $\lambda$  і  $\tau_{tk}$  існує оптимальна періодичність технічного контролю і, відповідно, граничне максимальне значення ймовірності стану технічної готовності зернозбирального комбайна.

Удосконалено аналітичні моделі (7) і (8) 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. Результативні дані розрахунків за виразами (7) і (8) представлені графічно на рис. 5.

$$P_{1-3} = \frac{1 + \frac{\lambda_{13}}{(\lambda_{34} + \lambda_{35})}}{1 + \frac{(\lambda_{12} + \lambda_{13})}{\lambda_{21}} + \frac{\lambda_{13}}{(\lambda_{34} + \lambda_{35})} \left( 1 + \frac{\lambda_{34}}{\lambda_{42}} + \frac{\lambda_{35}}{\lambda_{56}} + \frac{\lambda_{35}}{\lambda_{62}} \right)}, \quad (7)$$

$$P_{1-4} = 1 - \frac{\lambda_{35} \left( \frac{\lambda_{35}}{\lambda_{56}} + \frac{\lambda_{35}}{\lambda_{62}} \right) \left( 1 + \frac{\lambda_{13}}{(\lambda_{34} + \lambda_{35})} \right)}{1 + \frac{(\lambda_{12} + \lambda_{13})}{\lambda_{21}} + \frac{\lambda_{13}}{(\lambda_{34} + \lambda_{35})} \left( 1 + \frac{\lambda_{34}}{\lambda_{42}} + \frac{\lambda_{35}}{\lambda_{56}} + \frac{\lambda_{35}}{\lambda_{62}} \right)}. \quad (8)$$

Із аналізу отриманих залежностей (7) і (8) можна зробити висновки:

- найбільший вплив на ймовірність  $P_{1-3}$  здійснює інтенсивність відмов  $\lambda$  і періодичності технічного контролю  $t_{tk}$  параметра технічного стану комбайна;

- максимум значення  $P_{1-3}$  із зменшенням  $\lambda$  зміщується в бік більших значень  $t_{tk}$  (при  $\lambda = 10^{-4} \text{ год}^{-1}$  він відповідає значенню  $t_{tk} = 0,5 - 0,7$  місяця, при  $\lambda = 10^{-5} \text{ год}^{-1}$  він відповідає значенню  $t_{tk} = 0,8 - 1,1$  місяця), графік  $P_{1-3}(t_{tk})$  при цьому стає більш пологим;

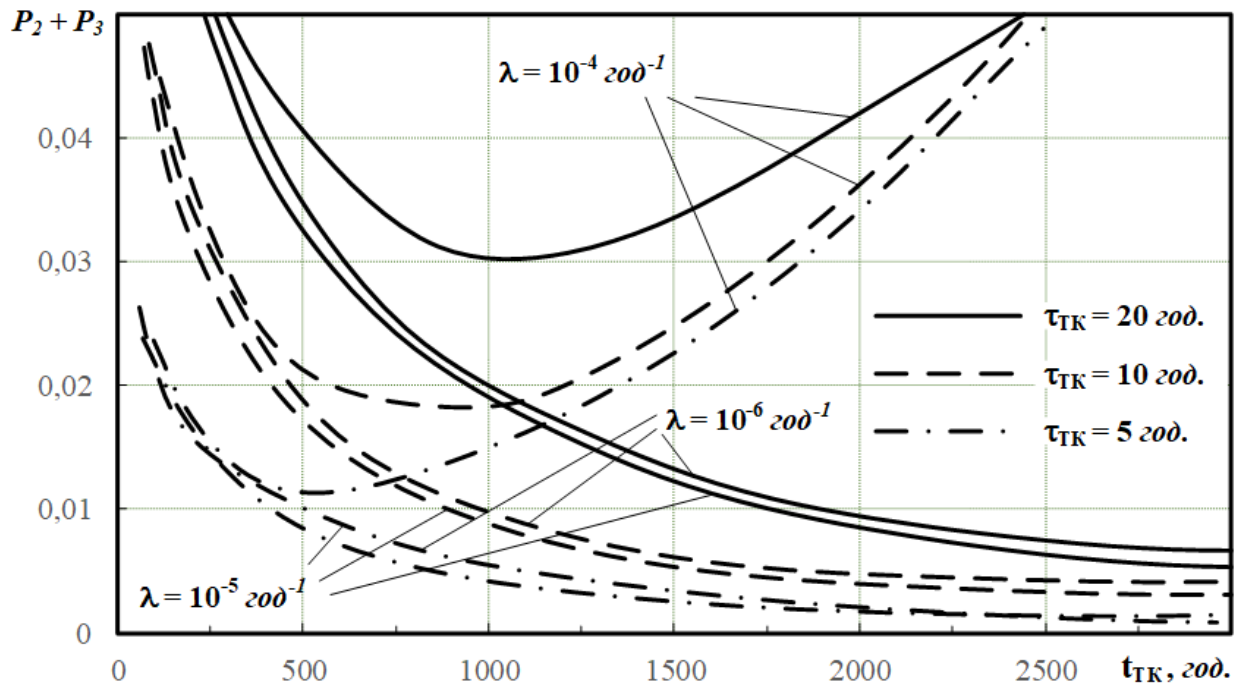


Рис. 4. Залежність ймовірності непрацездатного стану комбайна від періодичності його технічного контролю

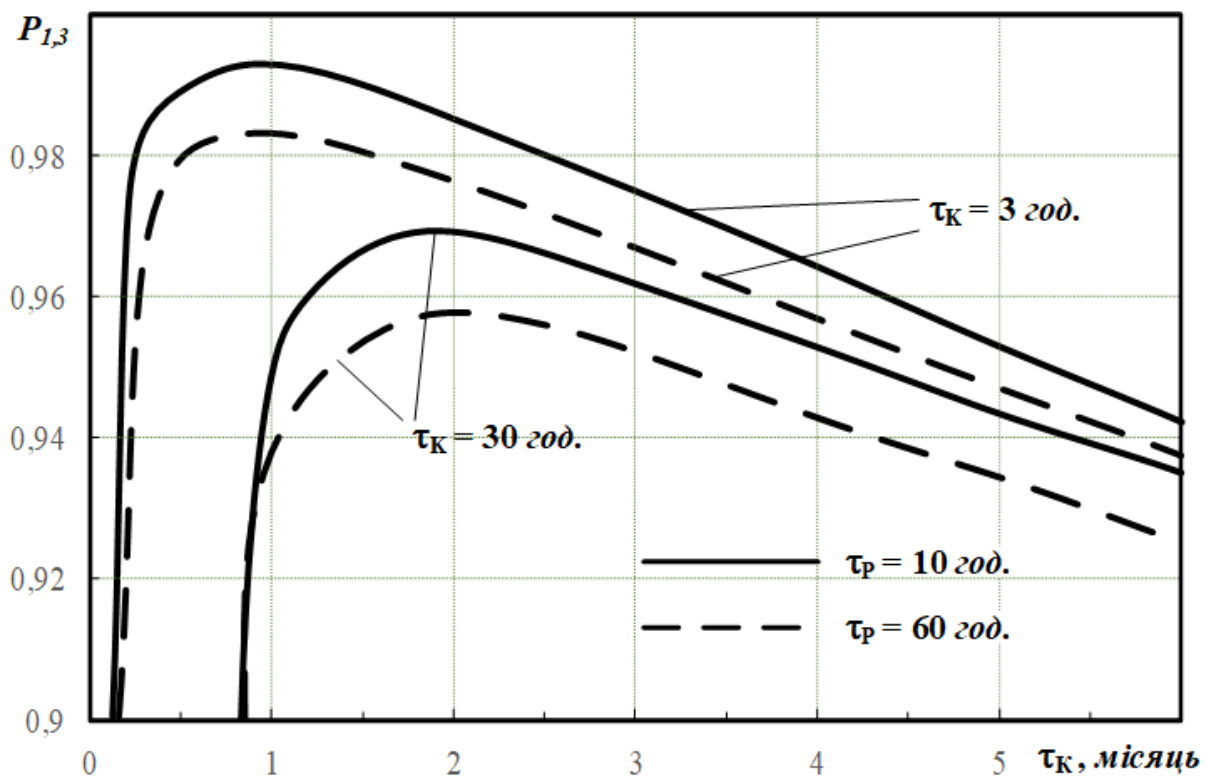


Рис. 5. Залежність ймовірності стану технічної готовності резервуванням систем від періодичності технічного контролю  $\lambda = 10^{-4} \text{ год}^{-1}$

- оптимальна періодичність технічного контролю комбайна пропорційна збільшенню його трудомісткості  $\tau_{tk}$  – при  $\lambda = 10^{-4}$  год<sup>-1</sup> збільшення  $\tau_{tk}$  з 1 до 10 годин призводить до збільшення оптимальної періодичності з 12 до 120 годин, хоча максимальне значення ймовірності  $P_{1-3}$  при цьому знижується на 2,5%;

- відхилення періодичності технічного контролю комбайна від оптимального значення, особливо в бік зменшення, істотно знижують ймовірність технічної готовності комбайна, особливо при більших значеннях інтенсивності відмов, так для  $\lambda = 10^{-4}$  год<sup>-1</sup>,  $\tau_{tk} = 1$  годин і  $\tau_f = 6$  годин зменшення  $t_{tk}$  з 16 годин до 1,6 години знижує значення  $P_{1-3}$  на 4% у порівнянні з максимальним, а збільшення на 2 години – на 1,5%.

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, відмові або технічному контролю.

$$\lambda(t) = \left\{ \frac{1}{\sigma_t \sqrt{2\pi}} \exp[-x^2] n! (2n + 1) \right\} \left\{ (-1)^n \left( \frac{\{T - \mu_t\}}{\{\sigma_t \sqrt{2}\}} \right)^{(2n+1)} \right\}^{-1} \quad (9)$$

Таблиця 2

**Параметри функцій залишкового ресурсу та інтенсивності відмов зернозбирального комбайна**

Залежність зміни визначального параметра технічного стану	Залишковий ресурс $T_z$ , год	Інтенсивність відмов, відмов/год
Лінійна	42	$3,68405 \cdot 10^{-4}$
Поліноміальна	35	$1,78 \cdot 10^{-3}$

Для вирішення функції (9) написана програма, яка при заданих значеннях математичного очікування  $\mu_t$ , середнього квадратичного відхилення  $\sigma_t$  і ресурсу  $T_z$ , визначає значення інтенсивності відмови (табл. 2). Таким чином, розроблена аналітична модель (9) 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.

Методика нейромережевої класифікації агрегатів при технічному контролі зернозбиральних комбайнів за технічним станом була розділена на два етапи. На першому етапі відбувається розпізнавання дефектів агрегатів в залежності від поєднань контрольованих параметрів, відхилення яких від допустимих значень вказують на наявність того чи іншого дефекту. На другому етапі агрегати, за

результатом виявлених поєднань дефектів, розподіляються по комплексам технічного контролю. Методика розподілу агрегатів з технічного контролю в залежності від виявлених дефектів приведена у вигляді блок-схеми (рис. 6). Для розпізнавання сполучень дефектів агрегатів зернозбиральних комбайнів з використанням штучної нейронної мережі, був сформований алгоритм, блок-схема якого представлена на рис. 6.

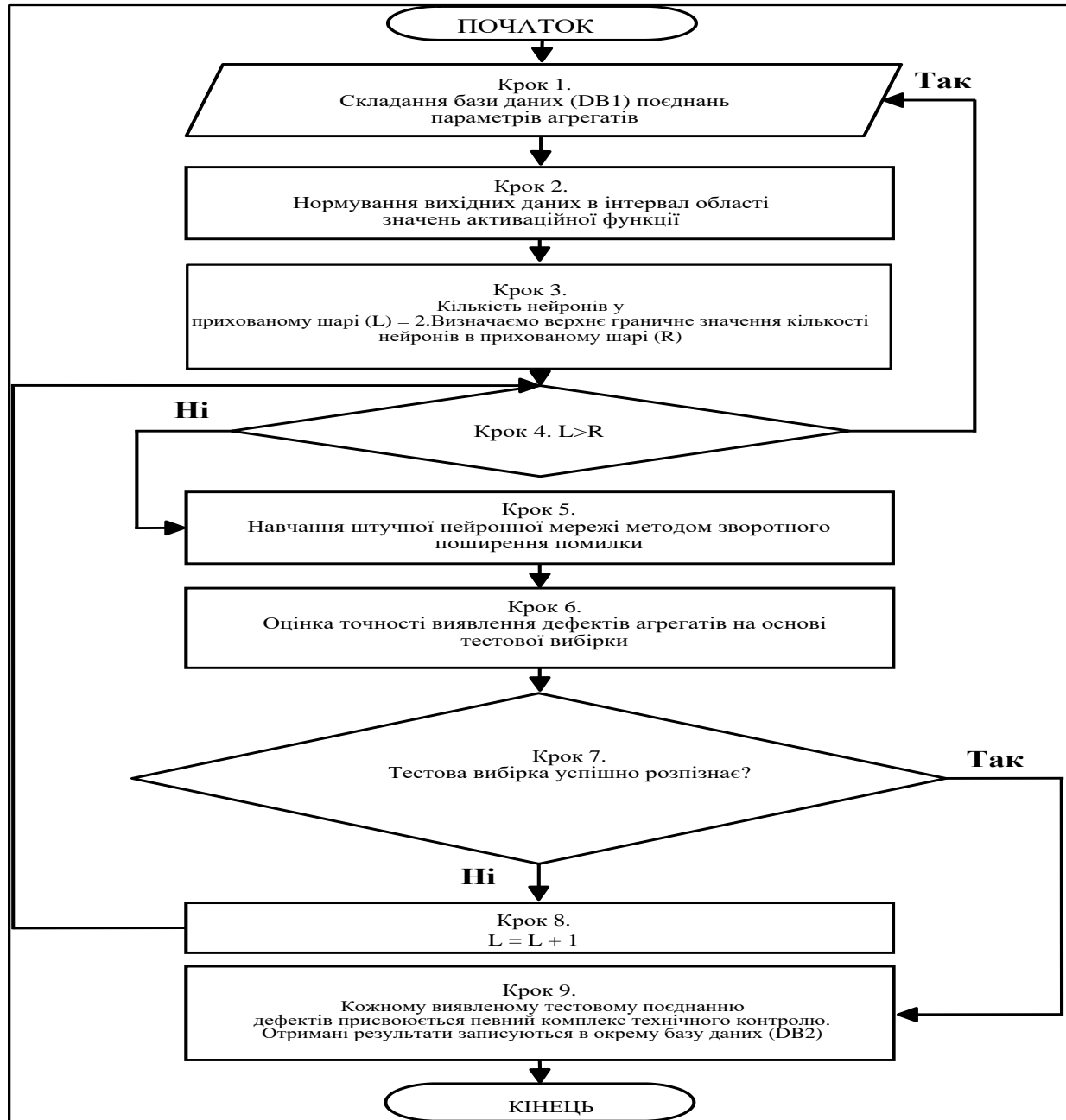


Рис. 6. Блок-схема алгоритму застосування штучної нейронної мережі для вирішення задачі розпізнавання дефектів агрегатів комбайна

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.

Кожен контрольований параметр буде окремим нейроном у вхідному шарі штучної нейронної мережі, а кожен можливий дефект певного вузла силових агрегатів буде окремим нейроном у вихідному шарі штучної нейронної мережі. Сукупність сигналів нейронів вихідного шару буде утворювати певне поєднання дефектів. Для підвищення якості навчання і точності розпізнавання, дефекти, що розпізнаються були згруповані за загальними ознаками технічного контролю (параметрами технічного стану). Розподіл прикладів між наборами даних для навчання і тестування штучної нейронної мережі для основних ресурсних груп силових агрегатів представлено на рис. 7.

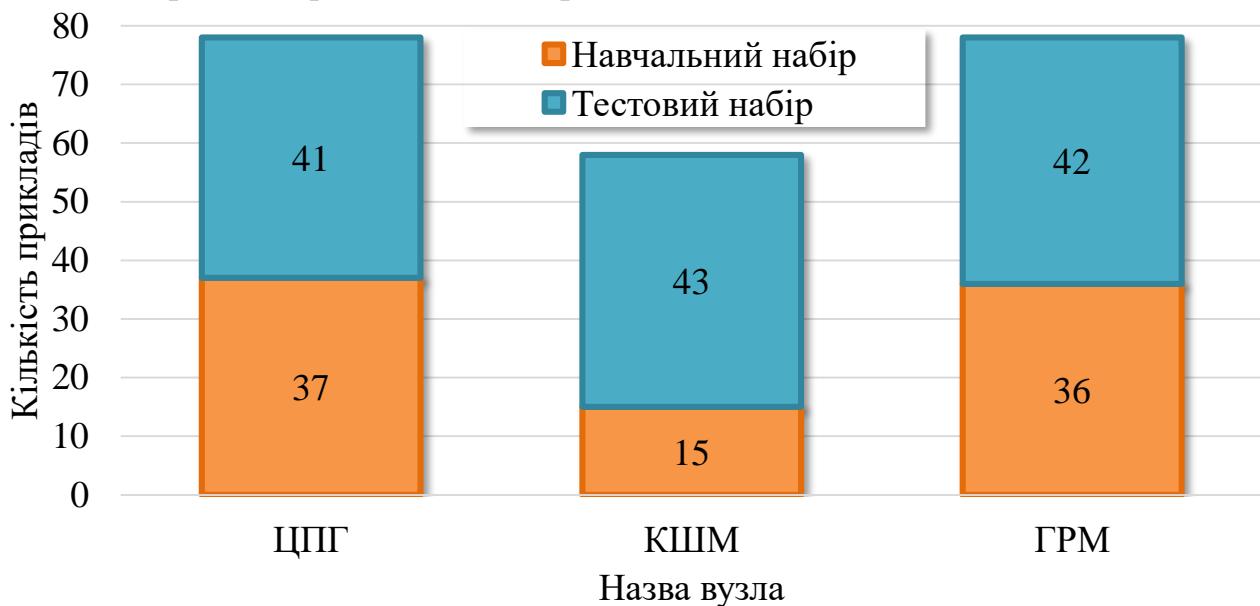


Рис. 7. Розподіл прикладів між навчальним і тестовим наборами

Навчальні набори даних формувалися шляхом випадкових комбінацій базових наборів навчальних прикладів, які були складені на основі взаємозв'язку контрольованих параметрів технічного стану. Тестові набори були сформовані на основі отриманих експериментальним шляхом (в реальних виробничих умовах на етапі технічного контролю дизельного силового агрегату зернозбирального комбайна) значень даних параметрів. Для розглянутих вузлів дизельного силового агрегату процентне значення тестового набору більше 50% від загального числа прикладів, що є більш ніж достатнім (розмір тестової вибірки зазвичай приймається рівним 10...25% від загального числа прикладів) для перевірки адекватності побудованої моделі та якості навчання. Отримані результати роботи алгоритму розподілу агрегатів фонду технічного контролю агрегатів зернозбиральних комбайнів в залежності від розпізнаних поєднань дефектів основних вузлів представлені у вигляді графіків на рис. 8, рис. 9.

Приведені значення показників технологічності процесу за видами і за цикл технічного контролю для всього об'єму робіт і приведені на одного виконавця, показує підвищення рівня технологічності, тобто інтенсивності технічного контролю, яке склало за ТК-1 – в 1,5 рази, за ТК-2 – в 1,8 рази, за ТК-3 – в 1,53 і за цикл ТК – в 1,4 рази. Зміна показників технологічності,

приведених до одного виконавця відповідно складає 0,86; 1,35; 2,12; 1,49. Зменшення приведенного показника за ТК-1 пояснюється виконанням робіт двома виконавцями замість одного. Однак, при цьому скоротилась тривалість процесу, що є одним із важливих показників ефективності технічного контролю.

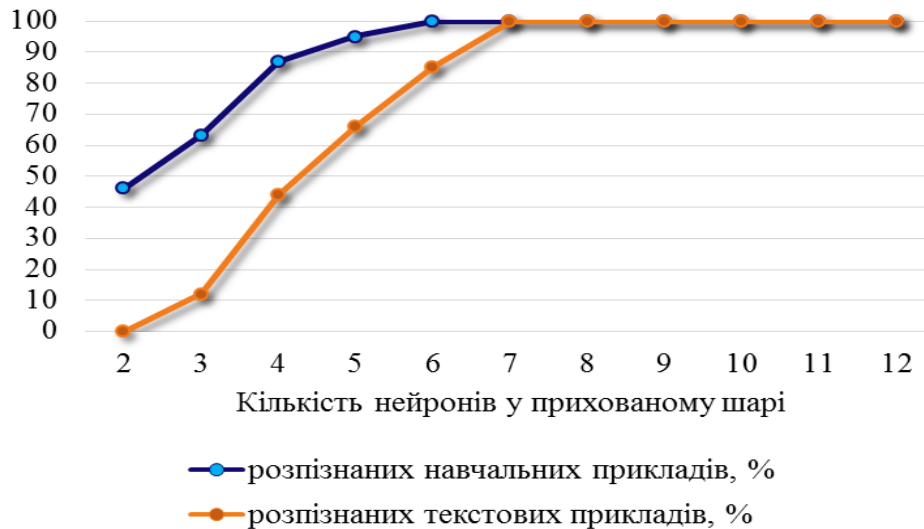


Рис. 8. Збіжності при розподілі силових агрегатів зернозбиральних комбайнів по комплексу технічного контролю агрегатів при навчанні і тестуванні штучної нейронної мережі

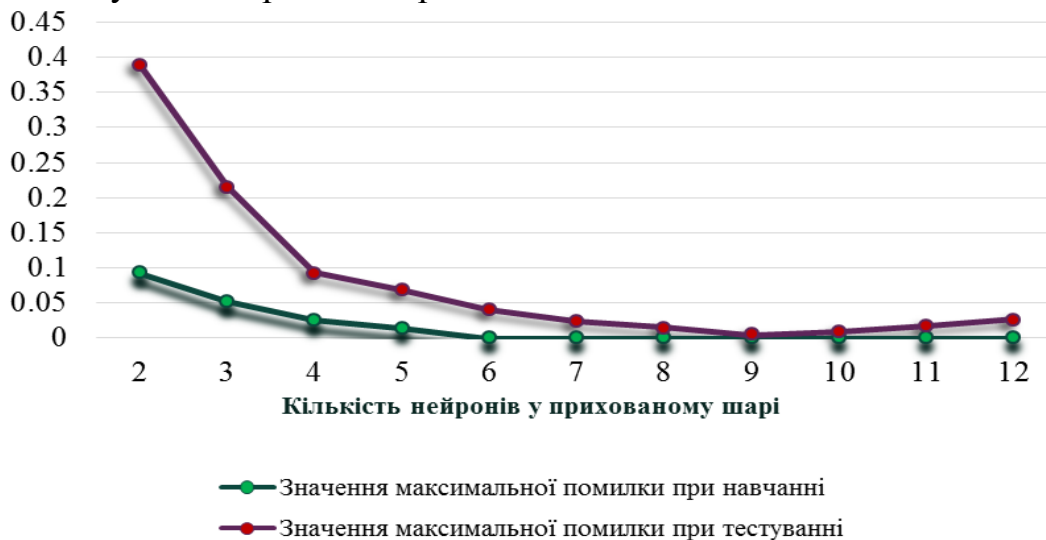


Рис. 9. Збіжності значень максимальної помилки при розподілі силових агрегатів зернозбиральних комбайнів по комплексу технічного контролю агрегатів при навчанні і тестуванні штучної нейронної мережі

В результаті виконаної роботи з удосконалення технологічності процесів технічного контролю тривалість операційних технологій в порівнянні з базовими зменшилась, в середньому, за ТК-1 на 40%, за ТК-2 на 26,4%, за ТК-3 на 56,6%, за цикл ТК на 44,5%. Аналіз трудомісткості технічного контролю по системах комбайна показує, що найбільша питома вага припадає на дизельний силовий агрегат, частка якого складає, в середньому 54,3%, тобто більше половини. Це пояснюється не тільки складністю цього агрегату, але і підвищеною уваги до



нього зі сторони інженерів-дослідників і розробкою техконтрольного обладнання. З іншої сторони, це викликано технологічністю складальних частин і використання малоефективних методів і засобів.

Проведені експериментальні дослідження дозволили стверджувати, що наробіток на відмову зернозбиральних комбайнів за запропонованою технологією технічного контролю не суперечить диференціальній функції теоретичного закону розподілу Вейбулла-Гнеденко (рис. 10а) і характеризується математичним очікуванням 164,8 га/відмову, що на 17,2% більше в порівнянні з базовою технологією.

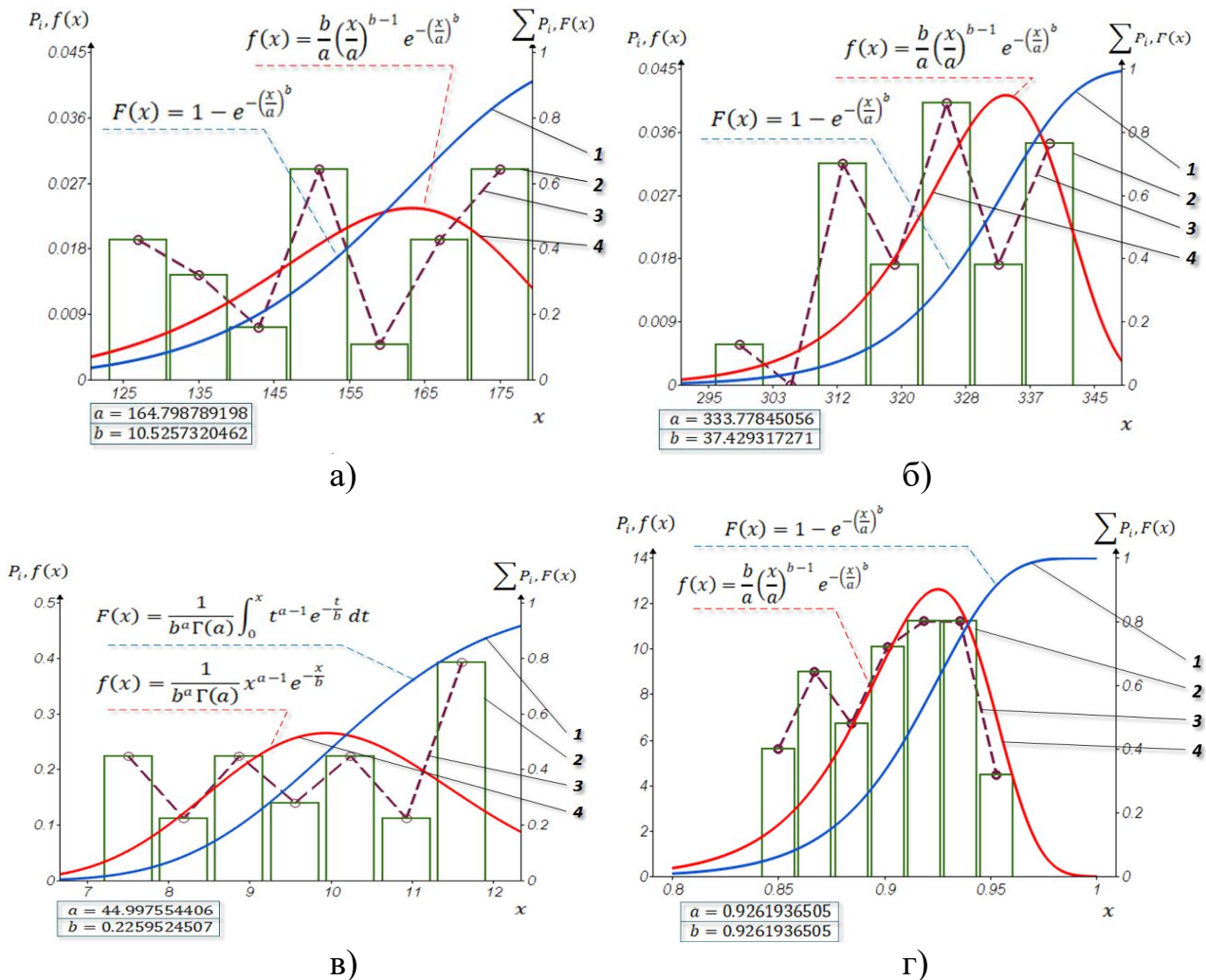


Рис. 10. Гістограма, полігон і диференціальна функція теоретичного закону розподілу наробітку на відмову (а), сезонного наробітку (б), трудомісткості усунення відмов (в) і коефіцієнт готовності (г) зернозбирального комбайна

Проведені експериментальні дослідження дозволили стверджувати, що сезонний наробіток зернозбиральних комбайнів за запропонованою технологією технічного контролю не суперечить диференціальній функції теоретичного закону розподілу Вейбулла-Гнеденко (рис. 10б) і характеризується математичним очікуванням 328,98 га, що на 23,2% більше в порівнянні з базовою технологією. Проведені експериментальні дослідження дозволили стверджувати, що трудомісткість усунення відмов зернозбиральних комбайнів за

запропонованою технологією технічного контролю не суперечить диференціальній функції теоретичного закону розподілу Гамма (рис. 10в) і характеризується математичним очікуванням 10,1 годин, що на 18,3% менше в порівнянні з базовою технологією. Проведені експериментальні дослідження дозволили стверджувати, що коефіцієнт готовності зернозбиральних комбайнів за запропонованою технологією технічного контролю не суперечить диференціальній функції теоретичного закону розподілу Вейбулла-Гнеденко (рис. 10г) і характеризується математичним очікуванням 0,92, 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**». Технологія технічного контролю параметрів технічного стану зернозбиральних комбайнів складається з виявлення та локалізації дефектів і їх поєднань. В міру ускладнення технічних систем і зростання вимог до безпеки і надійності, технічний контроль несправностей стає все більш відповідальною процедурою. Розроблена структурна схема автоматизованого робочого місця технічного контролю зернозбирального комбайна Data TechControl в укрупненому вигляді складається з трьох частин: інструментально-метрологічне і технічне забезпечення; програмне забезпечення; інформаційно-методичне забезпечення. На рис. 11 представлені вікна модуля нового проєкту створення моделі штучної нейронної мережі для навчання вирішення завдання розпізнавання дефектів і подальшого розподілу по комплексу технічного контролю агрегатів зернозбиральних комбайнів відповідно.

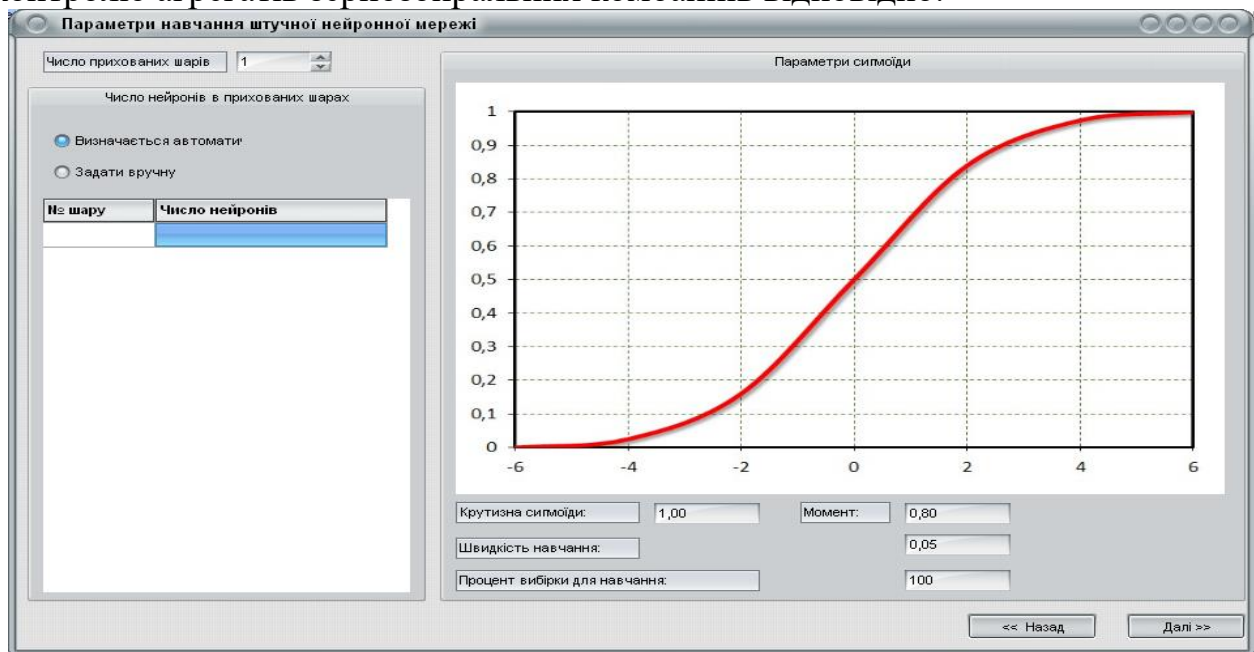


Рис. 11. Вікно параметрів навчання штучної нейронної мережі

Рекомендації аграрному виробництву щодо організації технічного контролю зернозбиральних комбайнів пройшли апробацію і нами рекомендуються застосування мобільних агрегатів технічного контролю зернозбиральних комбайнів (рис. 12). Значення річного економічного ефекту від впровадження результатів дослідження складає 721,83 грн./га.



Рис. 12. Мобільний агрегат технічного контролю зернозбиральних комбайнів на базі автомобіля

## ВИСНОВКИ

1. Нагальні проблеми сучасної технічної науки з механізації сільськогосподарського виробництва, технічної готовності зернозбиральних комбайнів і виробничої аграрної діяльності в цілому наполегливо окреслюють наукову проблему розробки системного підходу до дослідження довільних явищ і процесів втрати працездатності комбайна. Головні проблеми забезпечення технічної готовності зернозбиральних комбайнів можна об'єднати в чотири основні групи:

- перша група – відмови деталей, вузлів, механізмів і агрегатів зернозбиральних комбайнів, які зменшують ефективність їх експлуатації;
- друга група – необхідність в значних запасах ресурсу деталей, вузлів, механізмів і агрегатів зернозбиральних комбайнів;
- третя група – недостатня ремонтпридатність деталей, вузлів, механізмів і агрегатів зернозбиральних комбайнів, що призводить до збільшення експлуатаційних витрат на технічний контроль;
- четверта група – значна трудомісткість і фінансова ресурсність для відновлення працездатності зернозбиральних комбайнів, що ускладнює отримання інвестицій.

2. Виявлені 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 (1), (2), (3) і усталеного (4), (5), (6) режимів експлуатації. Виявлено аналітично наявний екстремум (максимум), тобто при заданих значеннях  $\lambda$  і  $\tau_{tk}$  існує оптимальна періодичність технічного контролю і, відповідно, граничне максимальне значення ймовірності стану технічної готовності комбайна.

3. Удосконалено аналітичні моделі (7) і (8) 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. 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 технічної готовності комбайна і забезпечить оптимальне керування цим процесом. Так при заданих  $\lambda = 10^{-5}$  год<sup>-1</sup>,  $\tau_{tk} = 10$  год,  $Z/A = 10$ , із врахуванням фінальних ймовірностей станів, величина мінімальної сукупної оптимізаційної функції  $S_{min} = 0,0613$  і оптимальна періодичність технічного контролю  $t_{tk}^{opt} = 30,66$  год. Розроблена аналітична модель (9) 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, відмови або технічного контролю.

4. Технологічні процеси технічного контролю зернозбиральних комбайнів описуються 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.

5. Трудомісткість 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 дизельний силовий агрегат, 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%.

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.

6. Показники взаємоприспосованості і технологічності компонентів системи «людина-прилад-машина» свідчить про правильність комплексного підходу і необхідності удосконалення усіх компонентів системи технічного контролю. При ТК-1 і ТК-2 методи і засоби технічного контролю вже достатньо відпрацьовані і вдосконаленню підлягають конструкції комбайнів (0,58...0,74, 0,53...0,66), а при ТК-3 – необхідно вдосконалювати методи і засоби технічного контролю (0,48...0,58). Низька технологічність процесів технічного контролю викликана нераціональною послідовністю виконання робіт виконавцями. При ТК-3 найбільша інтенсивність робіт припадає на комбайнера, яка, однак, складає біля 0,5, що свідчить про використання його можливостей тільки на половину. В операційних технологіях ТК-3 інтенсивність робіт піднялась в середньому: комбайнера – в 1,5, слюсаря – 2,2, майстра – в 2,3 рази і в межах 0,74...0,78. Технологічність робіт, що залежать від компонентів системи технічного контролю при застосуванні операційних технологій підвищилась в середньому по ТК-1: комбайна – на 53%, засобів технічного контролю на 44%, виконавців на 16% (зменшилась), по ТК-2: комбайна – на 14%, засобів технічного контролю – на 22%, виконавців – 35%, по ТК-3: комбайна – на 56%, засобів технічного контролю – на 42%, виконавців – в 2,1 рази.

7. Проведені 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. 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. 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. Коефіцієнт готовності зернозбиральних комбайнів за запропонованою технологією технічного контролю не суперечить диференціальній функції теоретичного закону розподілу Вейбулла-Гнеденко і характеризується математичним очікуванням 0,92, що на 10,8 % більше в порівнянні з базовою технологією.

8. Виробнича перевірка організації розробленої технології технічного контролю зернозбиральних комбайнів в агротехнологіях виробництва зернових сільськогосподарських культур дозволяє очікувати значення річного економічного ефекту від впровадження результатів в 721,83 грн./га.

## СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

### Статті у наукових фахових виданнях України

1. **Калініченко Д. Ю.,** Роговський І. Л. Аналітичні положення визначення коефіцієнта динамічності параметрів технічного стану зернозбиральних комбайнів. Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки, технологій для сільського господарства України. Дослідницьке. 2017. Вип. 21 (35). С. 55–61. *(Здобувачем виконано аналітичні викладки).*

### Статті у наукових фахових виданнях України, включених до міжнародних наукометричних баз даних

2. **Калініченко Д. Ю.,** Роговський І. Л. Аналіз систем і стратегій технічного контролю зернозбиральних комбайнів та їх складових частин. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК. Київ. 2017. Вип. 258. С. 380–390. *(Здобувачем виконано аналіз систем і стратегій технічного контролю комбайнів).*

3. **Калініченко Д. Ю.,** Роговський І. Л. Штучні когнітивні системи в процесах технічного контролю зернозбиральних комбайнів. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК. Київ. 2017. Вип. 262. С. 353–361. *(Здобувачем виконано аналітичні викладки).*

4. **Калініченко Д. Ю.,** Роговський І. Л. Математичний апарат опису маршруту технічного контролю зернозбиральних комбайнів з урахуванням виявлення комбінацій відмов. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК. Київ. 2017. Вип. 275. С. 335–344. *(Здобувачем виконано аналітичні викладки).*

5. **Калініченко Д. Ю.,** Роговський І. Л. Моделювання операцій контролю параметрів технічного стану зернозбиральних комбайнів при технічному контролю. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК. Київ. 2018. Вип. 282. С. 361–370. *(Здобувачем виконано аналітичні викладки).*

6. **Калініченко Д. Ю.,** Роговський І. Л. Загальні положення структурної схеми АРМ оператора-діагноста зернозбирального комбайна. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК. Київ. 2018. Вип. 296. С. 155–160. doi: 10.31548/machenergy.2018.03.155-160. *(Здобувачем обґрунтовано положення структурної схеми).*

7. **Калініченко Д. Ю.,** Роговський І. Л. Рішення завдання розпізнавання сполучень дефектів агрегатів зернозбирального комбайна на основі ШНМ. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК. Київ. 2018. Вип. 297. С. 159–168. doi: 10.31548/machenergy.2018.03.159-168. *(Здобувачем виконано експериментальні дослідження).*

8. **Калініченко Д. Ю.,** Роговський І. Л. Моделювання циклів технічного контролю зернозбиральних комбайнів. Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. Мелітополь. 2018. Вип. 18. Т. 2. С. 225–237.

doi: 10.31388/2078-0877-18-2-224-236. *(Здобувачем виконано аналітичні викладки).*

9. **Калініченко Д. Ю.,** Роговський І. Л. Пристосованість зернозбиральних комбайнів до контролю параметрів технічного стану. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК. Київ. 2018. Вип. 298. С. 137–147. doi: 10.31548/me.2018.04.137-147. *(Здобувачем виконано експериментальні дослідження).*

10. **Калініченко Д. Ю.,** Роговський І. Л. Аналітичні моделі режимів технічного контролю зернозбиральних комбайнів. Наукові доповіді Національного університету біоресурсів і природокористування України [електронне видання]. Київ. 2019. Вип. 5 (82). 18 с. <http://journals.nubip.edu.ua/index.php/Dopovidi/article/view/13314/11632>. doi:10.31548/dopovidi2019.05.015. *(Здобувачем виконано аналітичні викладки).*

11. **Калініченко Д. Ю.,** Роговський І. Л. Аналітичні підходи забезпечення технічної готовності зернозбиральних комбайнів з врахуванням умов експлуатації. Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки, технологій для сільського господарства України. Дослідницьке. 2019. Вип. 25 (39). С. 106–112. doi:10.31473/2305-5987-2019-2-25(39)-11. *(Здобувачем виконано аналітичні викладки).*

12. **Калініченко Д. Ю.,** Роговський І. Л. Аналітичні моделі параметрів технічного контролю зернозбиральних комбайнів. Наукові доповіді Національного університету біоресурсів і природокористування України [електронне видання]. Київ. 2019. Вип. 6 (83). 13 с. <http://journals.nubip.edu.ua/index.php/Dopovidi/article/view/13472/11693>. doi:10.31548/dopovidi2019.06. *(Здобувачем виконано аналітичні викладки).*

#### Статті у наукових виданнях іншої держави

13. **Kalinichenko Dmytro, Rogovskii Ivan.** Decision for technical maintenance of combine harvesters in system of RCM. MOTROL. An International Quarterly Journal on Motorization and Energetics in Agriculture. Lublin. 2017. Vol. 19. No 3. P. 179–184. *(Здобувачем виконано експериментальні дослідження).*

14. **Kalinichenko Dmytro, Rogovskii Ivan.** Modeling technology in centralized technical maintenance of combine harvesters. ТЕКА. An International Quarterly Journal on Motorization, Vehicle Operation, Energy Efficiency and Mechanical Engineering. 2017. Lublin–Rzeszów. Vol. 17. No 3. P. 93–102. *(Здобувачем виконано експериментальні дослідження).*

15. **Kalinichenko Dmytro, Rogovskii Ivan.** Method for determining time of next maintenance of combine harvesters. ТЕКА. An International Quarterly Journal on Motorization, Vehicle Operation, Energy Efficiency and Mechanical Engineering. 2018. Lublin–Rzeszów. Vol. 18. No 1. P. 105–115. *(Здобувачем виконано експериментальні дослідження).*

#### Патенти на корисну модель

16. Патент на корисну модель України №127430, МПК (2006) B60P 3/00. Мобільний засіб технічного контролю зернозбиральних комбайнів.

**Калініченко Д. Ю.,** Роговський І. Л.; заявник та власник Національний університет біоресурсів і природокористування України. № u201803380, заявлено від 30.03.2018; опубліковано 25.07.2018, Бюлетень №14/2018. *(Здобувачем обґрунтовано формулу винаходу).*

17. Патент на корисну модель України №127433, МПК (2006.01) G01M 15/04. Спосіб оцінки технічного стану двигунів внутрішнього згорання зернозбиральних комбайнів. **Калініченко Д. Ю.,** Роговський І. Л.; заявник та власник Національний університет біоресурсів і природокористування України. № u201803388, заявлено від 30.03.2018; опубліковано 25.07.2018, Бюлетень №14/2018. *(Здобувачем обґрунтовано формулу винаходу).*

18. Патент на корисну модель України №127434, МПК (2006) B60S 5/00. Спосіб визначення екологічної безпеки технічного контролю зернозбиральних комбайнів. **Калініченко Д. Ю.,** Роговський І. Л.; заявник та власник Національний університет біоресурсів і природокористування України. № u201803389, заявлено від 30.03.2018; опубліковано 25.07.2018, Бюлетень №14/2018. *(Здобувачем обґрунтовано формулу винаходу).*

#### Тези наукових доповідей

19. **Калініченко Д. Ю.,** Роговський І. Л. Технічний засіб для перевірки прецизійних пар низького тиску паливних насосів сільськогосподарських машин. Earth Bioresources and Environmental Biosafety: Challenges and Opportunities”. Секція 5. Інженерія біосистем. Міжнародна наукова конференція. м. Київ, Україна, 4–8 листопада 2013 року: тези доповіді. Київ. 2013. С. 49–51. *(Здобувачем виконано експериментальні дослідження).*

20. **Калініченко Д. Ю.,** Роговський І. Л. Пристрої для перевірки прецизійних пар паливних насосів і системи паливopодачі низького тиску сільськогосподарських машин. Проблеми та перспективи розвитку технічних та біоенергетичних систем природокористування. XIII всеукраїнська конференція науково-педагогічних працівників, наукових співробітників та аспірантів, м. Київ, Україна, 11–15 березня 2013 року: тези доповіді. Київ. 2013. С. 121–122. *(Здобувачем виконано експериментальні дослідження).*

21. **Калініченко Д. Ю.,** Роговський І. Л. Вихідні дані при формуванні математичного апарату контролю параметрів технічного стану зернозбиральних комбайнів. Інноваційне забезпечення виробництва органічної продукції в АПК. V Міжнародна наукова конференція, м. Київ, Україна, 05–06 червня 2017 року: тези доповіді. Київ. 2017. С. 46–47. *(Здобувачем виконано аналітичні викладки).*

22. **Калініченко Д. Ю.,** Роговський І. Л. Системи інформаційного управління параметрами технічного стану зернозбиральних комбайнів. Автоматика – 2017: XXIV Міжнародна конференція з автоматичного управління, м. Київ, Україна, 13–15 вересня 2017 року: тези доповіді. Київ. 2017. С. 251–252. *(Здобувачем виконано експериментальні дослідження).*

23. **Калініченко Д. Ю.,** Роговський І. Л. Працездатність нагнітальних клапанів паливної системи зернозбиральних комбайнів. Проблеми конструювання, виробництва та експлуатації сільськогосподарської техніки: XI Міжнародна науково-практична конференція. м. Кропивницький, Україна,



1–3 листопада 2017 року: матеріали конференції. Кропивницький. 2017. С. 134–136. *(Здобувачем виконано експериментальні дослідження)*.

24. **Калініченко Д. Ю.**, Роговський І. Л. Моделі технічної готовності на основі залишкового ресурсу одиниць зернозбиральних комбайнів. Сучасні технології аграрного виробництва: III Міжнародна науково-практична конференція, м. Київ, Україна, 7–9 листопада 2017 року: тези конференції. Київ. 2017. С. 65–68. *(Здобувачем виконано експериментальні дослідження)*.

25. **Kalinichenko D. Yu.**, Rogovskii I. L. Fixed station technical maintenance of combine harvesters. Обуховські читання: XIII Міжнародна науково-практична конференція, м. Київ, 6 березня 2018 року: тези конференції. Київ. 2018. С. 72–74. *(Здобувачем виконано експериментальні дослідження)*.

26. **Kalinichenko D. Yu.**, Rogovskii I. L. Formalization of provisions of maintenance of combine harvesters. Проблеми та перспективи розвитку технічних та біоенергетичних систем природокористування. XVIII Міжнародна конференція науково-педагогічних працівників, наукових співробітників та аспірантів. м. Київ, Україна, 26–30 березня 2018 року: тези доповіді. Київ. 2018. С. 10–13. *(Здобувачем виконано аналітичні викладки)*.

27. **Калініченко Д. Ю.**, Роговський І. Л. Огляд основних стратегій технічного контролю зернозбиральних комбайнів і їх складових факторів. Перспективи і тенденції розвитку конструкцій та технічного сервісу сільськогосподарських машин і знарядь. IV Всеукраїнська науково-практична конференція. м. Житомир, Україна, 28–29 березня 2018 року: тези конференції. Житомир. 2018. С. 221–222. *(Здобувачем виконано аналітичні викладки)*.

28. **Калініченко Д. Ю.**, Роговський І. Л. Постановка завдання класифікації ремонтного фонду зернозбиральних комбайнів в залежності від розпізнаних поєднань дефектів. Рациональне використання енергії в техніці. TechEnergy 2018: XIV Міжнародна наукова конференція, м. Київ, Україна, 19–22 травня 2018 року: тези конференції. Київ. 2018. С. 139–140. *(Здобувачем виконано аналітичні викладки)*.

29. **Калініченко Д. Ю.**, Роговський І. Л. Структурна схема АРМ оператора-діагноста зернозбирального комбайна. Цілі сталого розвитку третього тисячоліття: виклики для університетів наук про життя: Міжнародна науково-практична конференція, м. Київ, Україна, 23–25 травня 2018 року: матеріали конференції. Київ. 2018. Т. 5. С. 216–217. *(Здобувачем виконано експериментальні дослідження)*.

30. **Kalinichenko D. Yu.**, Rogovskii I. L. Innovation of major systems and maintenance strategies combine harvesters. Інноваційне забезпечення виробництва органічної продукції в АПК: VI Міжнародна наукова конференція. м. Київ, Україна, 6–9 червня 2018 року: матеріали конференції. Київ. 2018. С. 69–71. *(Здобувачем виконано експериментальні дослідження)*.

31. **Kalinichenko D. Yu.**, Rogovskii I. L. Algorithm of construction of system of technical maintenance of combine harvesters by method of back propagation of error. Strategy of Quality in Industry and Education: XIV International conference, Varna, Bulgaria, July 4–7, 2018: proceedings. Varna. 2018. Vol. II. P. 289–294. *(Здобувачем виконано аналітичні викладки)*.

32. **Kalinichenko D. Yu., Rogovskii I. L.** Determining optimal period of technical maintenance of combine harvesters. Achievements and Perspective in Agricultural Engineering and Auto Transport: International scientific symposium, Chisinau, Moldova, October 4-6, 2018: proceedings. Chisinau. 2018. P. 254–258. *(Здобувачем виконано експериментальні дослідження).*

33. **Kalinichenko D. Yu., Rogovskii I. L.** Fixed station technical maintenance of combine harvesters. Проблеми та перспективи розвитку технічних та біоенергетичних систем природокористування. XIX Міжнародна конференція науково-педагогічних працівників, наукових співробітників та аспірантів: збірник тез. м. Київ, Україна, 25–29 березня 2019 року. Київ. 2019. С. 147–149. *(Здобувачем виконано експериментальні дослідження).*

34. Калініченко Д. Ю. Сучасний стан зернозбирального парку України в контексті машиновикористання. Інноваційне забезпечення виробництва органічної продукції в АПК. VII Міжнародна наукова конференція в рамках роботи XXXI Міжнародної агропромислової виставки «АГРО 2019»: збірник тез. м. Київ, Україна, 04–07 червня 2019 року. Київ. 2019. С. 92.

### АННОТАЦІЯ

**Калініченко Д. Ю. Обґрунтування режимів технічного контролю і параметрів технічного стану зернозбиральних комбайнів.** – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата наук зі спеціальності 05.05.11 «Машини і засоби механізації сільськогосподарського виробництва» (технічні науки). Національний університет біоресурсів і природокористування України, Київ, 2021.

Дисертація присвячена зменшенню витрат на забезпечення технічного готовності експлуатації зернозбиральних комбайнів в умовах сільськогосподарських підприємств шляхом обґрунтування режимів технічного контролю і функціонально-структурних параметрів технічного стану комбайну.

В результаті досліджень здійснено аналіз основних механізмів і методів керування технічною готовністю зернозбиральних комбайнів в процесі експлуатації. Здобувачем виконано аналітичне визначення режимів технічного контролю і параметрів технічного стану зернозбиральних комбайнів. Ним розроблено програму і методики визначення режимів технічного контролю і параметрів технічного стану зернозбиральних комбайнів. Також проведено експериментальне дослідження застосування математичного апарату визначення режимів технічного контролю і параметрів технічного стану зернозбиральних комбайнів у виробничих умовах. Дисертант виконав виробниче застосування результатів досліджень при організації технічного контролю зернозбиральних комбайнів та визначив економічний ефект.

**Ключові слова:** зернозбиральний комбайн, відновлення, працездатність, технічний контроль, технічний стан, система.

### АННОТАЦИЯ

**Калиниченко Д. Ю. Обоснование режимов технического контроля и параметров технического состояния зерноуборочных комбайнов.** – Квалификационный научный труд на правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата наук по специальности 05.05.11 «Машины и средства механизации сельскохозяйственного производства» (технические науки). Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины, Киев, 2021.

Диссертация посвящена уменьшению расходов на обеспечение технического готовности эксплуатации зерноуборочных комбайнов в условиях сельскохозяйственных предприятий путем обоснования режимов технического контроля и функционально-структурных параметров технического состояния комбайна.

В результате исследований осуществлен анализ основных механизмов и методов управления технической готовностью зерноуборочных комбайнов в процессе эксплуатации. Соискателем выполнено аналитическое определение режимов технического контроля и параметров технического состояния зерноуборочных комбайнов. Им разработана программа и методики определения режимов технического контроля и параметров технического состояния зерноуборочных комбайнов. Также проведено экспериментальное исследование применения математического аппарата определения режимов технического контроля и параметров технического состояния зерноуборочных комбайнов в производственных условиях. Диссертант выполнил производственное применение результатов исследований при организации технического контроля зерноуборочных комбайнов и определил экономический эффект.

**Ключевые слова:** зерноуборочный комбайн, восстановление, работоспособность, технический контроль, техническое состояние, система.

## ANNOTATION

**Kalinichenko D. Yu. Substantiation the technical control and technical parameters of conditions of combine harvesters.** – Qualification scientific work on the rights of the manuscript.

The dissertation on competition of a scientific degree of candidate of technical sciences, specialty 05.05.11 Machines and means of mechanization of agricultural production (technical sciences). National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Kyiv, 2021.

The dissertation is devoted to reduction of expenses for maintenance of technical readiness of operation of combine harvesters in the conditions of the agricultural enterprises by substantiation of modes of technical control and functional and structural parameters of a technical condition of the combine.

As a result of researches the analysis of the basic mechanisms and methods of management of technical readiness of combine harvesters in the course of operation is carried out. The applicant performed analytical determination of technical control modes and parameters of technical condition of combine harvesters. He developed a program and methods for determining the modes of technical control and parameters of the technical condition of combine harvesters. An experimental study of the application of the mathematical apparatus for determining the modes of technical control and parameters of the technical condition of combine harvesters in production conditions was also carried out. The dissertation performed the production application of research results in the organization of technical control of combine harvesters and determine the economic effect.

Technological processes of technical control of combine harvesters are described by a step function of manufacturability, which is approximated with sufficient accuracy by a straight line passing through the origin. The parameter of this function characterizes the manufacturability of the technical control process. The proposed operational technologies of technical control, which are developed taking into account the streamlining of work between performers and their coordination with the regime of technical control, control sites have increased the manufacturability of process of technical control at TC-1 – in 1.51; TC-2 – 1.18 times, TC-3 – 1.53 times. The duration of technical control is reduced by 1.42, respectively 1.36; 2.3 times.

The complexity of technical control of combine harvesters is 24...48% of the standardized operational complexity of technical control of these combines. About 20% of the parameters of the technical condition for each type of technical control are time consuming: for TC-3 – more than 45 man-minutes, for TC-2 – more than 12 man-minutes, for TC-1 – more than 9 man-minutes. The largest amount of work is on the engine, which averages 54.3%. The shares of other systems are on average: electrical equipment – 8.1%, transmissions – 7%, brakes and pneumatic systems – 3.9%, controls – 3.1%, hydraulic systems of the attachment – 2.1%. In the total cyclic complexity of technical control 43...53% are ancillary work. The intensity of technical control processes is uneven for both types of technical control and for certain parameters of the technical condition.

Production inspection of the organization of the developed technology of technical control of combine harvesters in agrotechnologies of production of grain crops allows to expect value of annual economic effect from implementation of results in 721.83 UAH/hectare.

**Key words:** combine harvester, restoration, performance, technical control, technical condition, system.

Підписано до друку 01.03.21  
Ум. друк. арк. 0,9  
Наклад 100 прим.

Формат 60x84\16  
Обл.-вид. арк. 0,9  
Зам. № 210083

Віддруковано у редакційно-видавничому відділі НУБіП України  
вул. Героїв Оборони, 15, Київ, 03041 тел.: 527-81-55

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 2065 від 18.01.2005 р.