

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

РОГОВСЬКИЙ ІВАН ЛЕОНІДОВИЧ

УДК 631.001.4

**РОЗРОБКА КОМПЛЕКСНИХ ТЕХНІКО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ ЗАХОДІВ
ПІДВИЩЕННЯ ПРАЦЕЗДАТНОСТІ
СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ МАШИН**

05.05.11 «Машини і засоби механізації
сільськогосподарського виробництва»

Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня
доктора технічних наук

Київ – 2021

Дисертацією є рукопис

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

Науковий консультант доктор технічних наук, професор
Войтюк Валерій Дмитрович,
Національний університет біоресурсів
і природокористування України,
завідувач кафедри технічного сервісу та
інженерного менеджменту імені М. П. Момотенка

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Козаченко Олексій Васильович,
Харківський національний технічний університет
сільського господарства імені Петра Василенка,
завідувач кафедри сільськогосподарських машин

доктор технічних наук, доцент
Дерев'янюк Дмитро Аксентійович,
Поліський національний університет,
професор кафедри процесів, машин і обладнання в
агроінженерії

доктор технічних наук, професор
Анісімов Віктор Федорович,
Вінницький національний аграрний університет,
професор кафедри агроінженерії та технічного
сервісу

Захист відбудеться «14» травня 2021 року о 10⁰⁰ 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 308

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 «13» квітня 2021 року

В. о. вченого секретаря
спеціалізованої вченої ради

Є. Г. Афтандіянц

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Реалії сьогодення такі, що, в переважній більшості випадків, під час експлуатації сільськогосподарських машин, в супереч заходів з підвищення надійності як до нових, так і відремонтованих машин, існують, з одного боку, значні в часі їх простої з технічних причин, з другої – трудомісткі, передчасні або запізнілі технічні обслуговування, які необґрунтовані за видами, кількістю та послідовністю проведення технологічних операцій. Це все обумовлює значні витрати трудових і фінансових ресурсів на підтримання працездатності наявних сільськогосподарських машин. На сьогодення для усунення відмічених недоліків пропонується застосувати ряд радикальних заходів: зміни системи технічного обслуговування (в області підвищення ймовірності безвідмовної роботи) та усунення несправностей в польових умовах (підвищення міжремонтного ресурсу).

Світові тенденції і стратегія European Green Deal розроблення системи технічного обслуговування сільськогосподарських машин, на даний час проводиться, в основному, з використанням практичних рекомендацій, експертних оцінок та, обмежено, емпіричних залежностей, що в суб'єктивній мірі вирішує нагальні задачі. Відсутні конкретні розроблені або уточнені моделі взаємодії, оптимізації чи моделі відповідних технологічних процесів, обґрунтовані методики їх розрахунку, недостатньо використані для оцінки технічного рівня сільськогосподарських машин, керування технологічними параметрами процесів. Застосування багатьох прогресивних конструкцій технічних засобів технічного обслуговування стримується недостатнім рівнем технологічного забезпечення їх уніфікації для різних марок сільськогосподарських машин. Чільне місце серед них посідають задачі оптимального керування, за якого основними показниками виступають вимоги до системи технічного обслуговування за показниками технічного стану складальних одиниць, вузлів, агрегатів і машин в цілому, а також види і періодичність їх контролю. Звужуючи чи розширюючи діапазон допустимих при технічному обслуговуванні величин показників технічного стану і міжконтрольного періоду, існує можливість керувати працездатністю машин, прогнозуючи показники безвідмовності, довговічності, ремонтпридатності, збережаності, витрату запасних частин, експлуатаційні витрати на машину.

Широке коло взаємопов'язаних задач підвищення ефективності сучасного сільськогосподарського виробництва вимагає використання сучасних методів постановки і розв'язку задач на основі уніфікації формалізованого опису. Моделювання та оптимізація відповідних процесів та технічних засобів, що передбачають високий рівень використання програмного забезпечення, та реалізації принципів системного підходу на всіх етапах. Крім того, теоретичні основи розрахунку та проектування системи технічного обслуговування, як виду забезпечення працездатності сільськогосподарських машин, не в достатній мірі враховують специфіку сільськогосподарського виробництва зі збирання врожаю, багатокритеріальність оптимізаційних задач, в яких одним із найважливіших критеріїв є вимоги агротерміну. Сучасні результати наукових

досліджень Green Recovery вітчизняних, європейських та північно-американських науковців створюють вихідний базис даних про методологію обґрунтування технологічних процесів, структури й якості функціонування процесів забезпеченості працездатності сільськогосподарських машин на нормативних рівнях надійності експлуатації машин на етапі виробництва сільськогосподарської продукції. За цим вважається актуальним подальше вирішення наукової проблеми з розробки комплексних техніко-технологічних заходів підвищення працездатності сільськогосподарських машин. Такий напрямок потребує наукового втручання за ради досягнення конкретної практичної значимості.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота є узагальненням наукових досліджень, проведених автором, а також практичних результатів, в тому числі отриманих при виконанні науково-технічних програм, де здобувач був керівником проектів: “Обґрунтувати форми і структуру виробничої бази та розробити технології і універсальне обладнання для технічного обслуговування автотракторної техніки і сільськогосподарських машин в сільськогосподарських підприємствах” (номер державної реєстрації 0102U000233), “Методичні і технологічні основи підвищення надійності сільськогосподарських машин при реалізації системи їх технічного обслуговування” (номер державної реєстрації 0106U000885), “Розробка комплексу засобів технічного обслуговування машинно-тракторного парку сільськогосподарських підприємств (на базі господарств Київської області)” (номер державної реєстрації 0104U009453), „Розроблення Національних стандартів України за напрямком: „Машини сільськогосподарські. Технічне обслуговування.” (номер державної реєстрації 0105U005163), „Розроблення стандарту організації України. Трактори і машини сільськогосподарські. Засоби технічного обслуговування. Загальні технічні вимоги.” (номер державної реєстрації 0106U007237); „Обґрунтувати параметри технічного стану сільськогосподарської техніки і режими функціонування систем ремонтно-технологічного і технічного обслуговування” (номер державної реєстрації № 0113U007633); „Обґрунтування методів підвищення виробництва зерна в сільськогосподарських підприємствах інтенсифікацією інженерного менеджменту” (номер державної реєстрації 0120U102086); де здобувач був виконавцем проектів: „Розробити прогнози розвитку технологій і технічних засобів виробництва продукції рослинництва на період до 2015 року” (номер державної реєстрації 0196U018932); „Науково-методичне обґрунтування паспортизації земельних та майнових паїв, а також умов виробництва аграрного сектору та функціонування об’єктів соціально-культурного призначення сільських територій” (номер державної реєстрації 0107U006996); де здобувач був відповідальним виконавцем проекту „Обґрунтувати параметри і режими функціонування системи технічного обслуговування сільськогосподарської техніки” (номер державної реєстрації 0115U003464).

Мета та завдання дослідження. Мета дисертаційного дослідження – підвищення працездатності сільськогосподарських машин шляхом розробки системи, нормативів, технологій та технічних засобів їх технічного обслуговування і вивчення показників надійності цих машин в умовах

експлуатації. Відповідно до мети було передбачено виконання таких завдань: здійснити аналіз сучасних методологічних основ і техніко-технологічних заходів підвищення працездатності сільськогосподарських машин; виконати аналітичне дослідження моделей комплексних техніко-технологічних заходів підвищення працездатності сільськогосподарських машин; обґрунтувати загальні методичні підходи і розробити методику експериментальних досліджень комплексних техніко-технологічних заходів підвищення працездатності сільськогосподарських машин; провести експериментальні дослідження сезонних показників експлуатаційної довговічності, безвідмовності, ремонтпридатності і комплексного показника надійності сільськогосподарських машин; провести експериментальні дослідження оцінювання пристосованості до технічного обслуговування сільськогосподарських машин; апробувати виробничу ефективність комплексних техніко-технологічних заходів підвищення працездатності сільськогосподарських машин; здійснити техніко-економічний аналіз комплексних техніко-технологічних заходів підвищення працездатності сільськогосподарських машин.

Об'єкт дослідження – процеси втрати і відновлення працездатності сільськогосподарських машин в процесі експлуатації.

Предмет дослідження – закономірності зміни підвищення працездатності сільськогосподарських машин та їх взаємозв'язок із техніко-технологічними заходами.

Методи дослідження. Для досягнення поставленої в роботі мети використовувались такі методи: в основу теоретичних досліджень покладено основи теоретичної та аналітичної механіки, гідравліки, теорії механізмів і машин, математичного моделювання, дерева цілей, теорії ймовірності, марківських і напівмарківських процесів, теорію ризику, теорії масового обслуговування, нелінійного програмування, числових методів розв'язку задач з використанням комп'ютерних програм; експериментальні дослідження проводились з використанням методів планування експерименту, множинного кореляційного та регресійного аналізів, алгебри логіки, тензометрії, методів математичної статистики, інженерної психології, ергономіки, інфологічного і імітаційного моделювання. Аналітичні розрахунки, оброблення експериментальних даних, моделювання та графічне відтворення залежностей виконано з використанням прикладного програмного забезпечення MathCad, MatLab, Mathematica. Достовірність аналітичних моделей визначали за результатами експериментальних досліджень. Для проведення експериментальних досліджень було використано серійні і дослідні засоби та обладнання. Дослідження техніко-економічної ефективності системи технічного обслуговування сільськогосподарських машин проводили в виробничих умовах сервісних служб сільськогосподарських підприємств. Результати, які були отримані у процесі вирішення наукової проблеми, не суперечать відомим результатам, характеризуються додатковими елементами новизни та відрізняються більш високою ефективністю практичного застосування. Аналіз методів та програмно-апаратних засобів, які

використовувалися в дисертаційній роботі для вирішення наукової задачі, дає змогу зробити висновок, що одержані результати в достатній мірі підтверджені теоретично та експериментально. Вони обґрунтовані й достовірні. Валідність ефективності системи технічного обслуговування сільськогосподарських машин перевірялись через виробничу перевірку на агропідприємствах.

Наукова новизна одержаних результатів. Вперше на основі формули Байеса описано аналітичні моделі (8) і (9) зі встановлення прикладної залежності достовірності періодичності проведення інженерного моніторингу параметрів технічного стану сільськогосподарських машин для виявлення працездатності або непрацездатності з врахуванням зміни з наробітком помилок першого і другого роду. Удосконалено аналітичну модель (10) визначення через функцію Лапласа ймовірності першого виходу параметра технічного стану сільськогосподарської машини за межу допуску з врахуванням випадкової функції наробітку. Вперше отримано аналітичну модель (11) визначення моменту наробітку проведення регулювань параметрів технічного стану сільськогосподарської машини за розподілом випадкової величини із зростаючою інтенсивністю відмов без апріорної інформації за коефіцієнтом варіації. Удосконалено модель стратегії підвищення працездатності сільськогосподарських машин за відхиленням параметра технічного стану (рис. 6), в якій чутливість підвищено за рахунок зменшення кількості можливих станів в процесі експлуатації, достовірність підвищено за рахунок розширення кількості інженерного моніторингу параметрів технічного стану з двох до трьох і розширена область ефективного застосування за рахунок врахування ймовірності випадкового процесу виникнення несправності і її розвитку до відмови. Вперше встановили аналітичні моделі залежності математичних очікувань сезонного наробітку (12) і частоти (13) позаштатних та сезонного наробітку (14) і частоти (15) нормативних періодичностей інженерного моніторингу параметрів технічного стану сільськогосподарських машин. Вперше встановили аналітичні моделі визначення ймовірності працездатності (16) та коефіцієнта готовності (17) сільськогосподарських машин для удосконаленої моделі стратегії підвищення працездатності сільськогосподарських машин за відхиленням параметра технічного стану. Дістало подальший розвиток і виявлено, що показники експлуатаційної довговічності, безвідмовності, ремонтпридатності сільськогосподарських машин за запропонованою стратегією підвищення працездатності не суперечать диференціальній функції теоретичного закону розподілу: логнормальний – інтенсивність відмов (рис. 14б), інтенсивність відновлень (рис. 15), кількість відмов (рис. 18), міжремонтний ресурс (рис. 19б,в), параметр потоку відмов (рис. 21); Гамбеловський – ймовірність безвідмовної роботи (рис. 16); коефіцієнт готовності (рис. 17), наробіток між відмовами (рис. 20б,в); нормальний – міжремонтний ресурс (рис. 19а), наробіток між відмовами (рис. 20а); параметр потоку відмов (рис. 21), тривалість відновлень (рис. 22б); Вейбула-Гнеденко – інтенсивність відмов (рис. 14а,в), тривалість відновлень (рис. 22а); гама – тривалість відновлень (рис. 22в).

Практичне значення одержаних результатів. Науково-технічні рекомендації і технологія технічного обслуговування сільськогосподарських машин, рекомендовано до впровадження у виробничий цикл агропідприємств (Департамент технічної політики в АПК Міністерства аграрної політики та продовольства України, акт від 21.11.2016 р.). Рекомендації із запровадження комплексних технологічних заходів підвищення працездатності сільськогосподарських машин, технічні засоби технологічного оснащення, технологія технічного обслуговування сільськогосподарських машин і її паспортизація умов виробничого циклу, рекомендовано до впровадження у виробничий цикл агропідприємств (Департамент інженерно-технічного забезпечення Міністерства аграрної політики та продовольства України, акт від 16.04.2014 р.). Перелік параметрів технічного стану машинно-тракторного парку та склад комплекту засобів технічного обслуговування, рекомендовано до впровадження у виробничий цикл агропідприємств (Департамент науково-технічної політики Міністерства аграрної політики України, від 3.12.2004 р.).

Науково-технічні рекомендації і технологія технічного обслуговування сільськогосподарських машин, впроваджено у виробничих циклах підприємств Національної акціонерної компанії «Укراгролізинг» (Національна акціонерна компанія «Украгролізинг», акт від 23.11.2016 р.). Розроблена система технічного обслуговування сільськогосподарських машин практично реалізована у виробничих циклах в умовах сільськогосподарських підприємств Київської області (Агрокомбінат «Тарасівський», акт від 30.09.2005 р.; ВАТ «Кагарлицький бурякорадгосп», акт від 25.11.2003 р.; ВАТ «Западинське», акт від 10.05.2005 р.; ВАТ «Обухівська сільськогосподарська машино-технологічна станція», акт від 10.10.2005 р.; СВК «Пінчуки», ТОВ «Агроспілка Нова», ВАТ «Устимівка», акт від 10.10.2005 р.; НВП «Зерноінвест», Маслівський ДАТ, ТОВ імені А. Г. Бузницького, акт від 10.10.2005 р.; ПОСП «Дніпро» Агрофірма «Переселенська», СТОВ «Леонівське», ДП «Слобідське», акт від 10.10.2005 р.) і Вінницької області (ДГ «Артеміда», акт від 12.09.2003 р.; ДГ «Корделівське», акт від 16.09.2003 р.). Розроблений комплект пристроїв для визначення технічного стану сільськогосподарських машин встановлено на виробництво (ВАТ «Дунаєвецьке підприємство «Сільгосптехніка», акт від 10.09.2003 р.; СВАТ «Скадовське РТП», акт від 15.11.2002 р.).

Авторське алгоритмічно-програмне забезпечення та інформаційна технологія «AgroTechMaintenance» із формування оптимальної періодичності обслуговування, мінімізації часу простоїв, оптимальних режимів безвідмовної роботи і розрахунку економічних критеріїв оцінки якості функціонування технічного обслуговування із урахуванням підвищення рівня працездатності сільськогосподарських машин, які апробовано в дилерській мережі ТОВ «Titan Machinery Ukraine» (ТОВ «Titan Machinery Ukraine», акт від 17.07.2019 р.). Основні методичні положення дисертаційних досліджень впроваджені в навчальному процесі Національного університету біоресурсів і природокористування України (акт від 19.07.2019 р.).

Особистий внесок здобувача. Дисертаційна робота є самостійно виконаною науковою працею з авторським підходом розв'язання наукової

проблеми. Особистий внесок автора дисертації в наукових працях, що опубліковані у співавторстві, зазначено в рубриці даного автореферату «Список опублікованих праць за темою дисертації». Із спільних публікацій, здобувачем використано лише власну частину результатів. Як керівник, відповідальний виконавець і виконавець наукових проектів, здобувач приймав безпосередньо особисто участь на всіх етапах науково-дослідної роботи, отримання та аналізу результатів досліджень.

Апробація результатів дисертації. Результати дисертаційних досліджень в повній мірі оприлюднено і апробовано на 44 міжнародних і 12 всеукраїнських наукових конференціях, тези наукових доповідей, які представлені в рубриці даного автореферату «Список опублікованих праць за темою дисертації». А також на: XII, XIII, XIV і XV Міжнародних науково-технічних конференціях «Motoryzacja i Energetyka Rolnictwa. Motrol 2014», «Motoryzacja i Energetyka Rolnictwa. Motrol 2015», «Motoryzacja i Energetyka Rolnictwa. Motrol 2016» і «Motoryzacja i Energetyka Rolnictwa. Motrol 2017» (Республіка Польща, Люблін–2014, 8–10 липня; Люблін–2015, 6–7 липня; Люблін–2016, 5–6 липня; Люблін–2017, 3 червня – 1 липня); 18 і 19 Міжнародних наукових конференціях “Engineering for Rural Development” (Латвія, Елгава–2019, 22–25 травня; Елгава–2020, 20–22 травня); VII Міжнародній науковій конференції “Integration, Partnership and Innovation in Construction Science and Education. IPICSE–2020” (Узбекистан, Ташкент–2020, 11–12 листопада); засіданнях відділення агропромислового інжинірингу Академії інженерних наук України (Україна, Київ–2014, 29 травня; Київ–2018, 9 листопада).

Публікації. Результати досліджень за обраною темою дисертаційної роботи опубліковані в 146 наукових працях, з них: 40 статей у наукових фахових виданнях України, 19 статей у наукових фахових виданнях України, включених до міжнародних наукометричних баз даних, 9 статей у наукових виданнях інших держав, національний і 2 галузеві стандарти України, 5 патентів України на корисну модель та патент України на винахід, 3 статті в інших наукових виданнях України, 10 науково-методичних рекомендацій, 56 тез наукових доповідей.

Структура та обсяг дисертації. Загальний обсяг дисертаційної роботи з 584 сторінок складають анотації на українській і англійській мовах, вступу, 7 розділів, висновків, списку використаних джерел із 485 найменувань (118 англійською) і 9 додатків. Основний текст дисертаційної роботи викладений на 267 сторінках, містить 87 рисунків і 32 таблиці.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

Перший розділ «Аналіз сучасних методологічних основ і техніко-технологічних заходів підвищення працездатності сільськогосподарських машин». Удосконалення вітчизняної системи технічної експлуатації сільськогосподарських машин стримуються наступними факторами: система технічної експлуатації машин в цілому має затратну основу і за своїм змістом не відповідає сучасним вимогам західноєвропейської і північно-американської

практик; вона сформована для умов колективного сільського господарства, але в більшості чинна по нині. В даній структурі з точки зору системного підходу до організації технічної експлуатації відсутні суб'єкт управління технічним обслуговуванням, стратегії, методи, зовнішнє середовище та інформаційний вплив на структуру технічного обслуговування і не пропрацьовано удосконалення структури технічної експлуатації. Іноземні та вітчизняні вчені досліджували проблему забезпечення довготривалих термінів працездатності складних систем, базуючись на наступних теоріях і наукових методологіях:

- теорії системності (Berg A. I., Bertalanphy L., Глушков В. М., Eshby Y.P., Адамчук В. В., Шевченко І. А., Аніскевич Л. В., Головач І. В., Дерев'янку В. А., Дмитрів В. Т., Волоха М. П., Марущак П. О., Назаренко І. І., Почка К. І., Klir J., Кухтенко О. І., Mesarovich M., Мойсеєв М. М., Панкратова Н. Д., Saati T., Скуріхін В. І., Takahara Ya. та інші);

- теорії надійності та оптимального резервування (Кравчук В. І., Barlou P., Черновол М. І., Гнеденко Б. В., Аулін В. В., Алфьоров О. І., Журавель Д. П., Коваленко І. М., Посвятенко Е. К., Креденцер Б. П., Sobczuk H., Kumamoto X., Proshan F., Raunkne K., Рябінін І. А., Тоценко В. Г., Ушаков І. О., Харченко В. С., Henli E. J. та інші);

- теорії ризику (Белов П. Г., Горбовий А. Ю., Дідух В. Ф., Єрмольєв Ю. М., Цуркан О. Г., Кнопов П. С., Kaspzuk Ya., Kachinsky A., Kini P., Mamoto Y., McDonald J., Onisava T., Sagan C., Flug G., Вітлінський В. В., Наконечний О. М., Соложенцев Є. Д., Тихомиров М. П. та інші);

- теорії прийняття рішень (Ловейкін В. С., Мироненко В. Г., Кюрчев С. В., Шейченко В. О., Гермейєр Ю. Б., Дирда В. І., Ємелічев В. О., Єрмольєв Ю. М., Зайченко Ю. П., Іриков В. О., Ковальов М. М., Корбут А. А., Ларічев О. І., Михалевич В. С., Барановський В. М., Шор Н. З., Павлов О. А., Ляшенко І. М., Raifa X., Сергієнко І. В., Fiahbern P. K., та інші);

- теорії та практиці технічного обслуговування складних технічних систем (Козаченко О. В., Анісімов В. Ф., Деркач О. Д., Войтюк В. Д., Підгурський М. І., Фришев С. Г., Кузьмінський Р. Д., Попович В. П., Барзилович Є. Ю., Рибак Т. І., Baihelt F., Анілович В. Я., Franken P., Тарельник В. Б., Зеленцов В. О., Нічке В. В., Волков П. Н., Каштанов В. А., Молодик М. В., Шевченко С. А., Думенко К. М., Форнальчик Є. Ю., Говорущенко М. Я., Забродський В. М., Калабро С. Р., Кухтов В. Г., Лебедев А. Т., Міхлін В. М., Назаров Л. В., Проніков О. С., Полянський О. С., Топілін Г. Є. та інші).

Крім того сучасні методичні підходи, що базуються на математичних моделях, не враховують імовірнісний характер функціонування машин в структурно-неоднорідному середовищі з багатопараметричними механічними процесами, яким властива випадковість і значна мінливість у часі й просторі. У цьому зв'язку дослідження, що присвячені підвищенню надійності машин з використанням нових підходів для оцінки ефективності їх функціонування в сільському масиві з невизначеними властивостями й розробки ресурсозберігаючих способів технічного обслуговування, є актуальними, і такими, що спрямовані на розв'язання прикладної наукової проблеми.

В загальному виді концепцію розробки системи відновлення працездатності сільськогосподарських машин можна представити у вигляді:

$$SRP = f(A, B, C), \quad (1)$$

де SRP – система відновлення працездатності сільськогосподарських машин, що розробляється; $A = (a_1, a_2, \dots, a_n)$ – характеристика предметної області системи відновлення працездатності сільськогосподарських машин; $B = (b_1, b_2, \dots, b_n)$ – характеристика алгоритмів, методів, моделей методології розробки системи відновлення працездатності сільськогосподарських машин; $C = (c_1, c_2, \dots, c_n)$ – характеристика інструментальних засобів, які застосовуються для розробки системи відновлення працездатності сільськогосподарських машин.

На теоретико-множинному рівні весь процес розробки системи відновлення працездатності сільськогосподарських машин може бути представлений як:

$$SRP = \langle PM, PS, OS, RM, EP, MO, MC \rangle, \quad (2)$$

де $PM = \{pm_q, q = \overline{1, Q}\}$ – множина функцій процесів моніторингу за параметрами технічного стану і відновлення працездатності сільськогосподарських машин; $PS = \{ps_w, w = \overline{1, W}\}$ – множина задач, які вирішуються в процесі моніторингу за параметрами технічного стану і відновлення працездатності сільськогосподарських машин; $OS = \{os_e, e = \overline{1, E}\}$ – множина властивостей і характеристик, які визначаються в процесі моніторингу за параметрами технічного стану і відновлення працездатності сільськогосподарських машин; $RM = \{rm_r, r = \overline{1, R}\}$ – множина результату моніторингу за параметрами технічного стану і відновлення працездатності сільськогосподарських машин; $EP = \{ep_y, y = \overline{1, Y}\}$ – множина персоналу, який відповідає за розробку системи відновлення працездатності сільськогосподарських машин; $MO = \{mo_u, u = \overline{1, U}\}$ – множина об'єктів і процесів моніторингу за параметрами технічного стану і відновлення працездатності сільськогосподарських машин; $MC = \{mc_o, o = \overline{1, O}\}$ – множина в'язів між компонентами розробки системи відновлення працездатності сільськогосподарських машин.

Функціонування сільськогосподарської машини може, як правило, може бути представлено у виді траєкторії L_0 в просторі станів сільськогосподарської машини, який передбачає забезпечити перехід із вихідного стану VS у визначений кінцевий стан FS_0 заплановане виведення сільськогосподарської машини з експлуатації, яке належить області допустимих нормативних станів R_{FC} (рис. 1) за режимами експлуатації R_{ej} ($j=1, 2, \dots, n$). Під час експлуатації сільськогосподарської машини її окремі параметри технічного стану можуть досягати локальних граничних станів LGS_i ($i=1, 2, \dots, N$), кожен з яких може стати причиною послідовних станів втрати працездатності і складових відмови при досягненні граничних станів у підпросторі станів ξ_s ($\xi_s \in \zeta_s$), які формують поверхню локальних граничних станів. Такі процеси реалізуються на різних масштабних рівнях (рис. 1) з відкликом на збитки $Z(FS_i)$ системи на комбіновані впливи факторів і середовища. В наслідок наявності високого рівня

невизначеності, її функціонування є багатоваріантним і відбувається за розгалуженими в'язями дерева станів, вузли яких є ймовірними подіями. При чому серед в'язів дерева станів присутні і аварійні, які пов'язані з повною втратою працездатності сільськогосподарської машини, значними збитками від втрати врожаю сільськогосподарських культур.

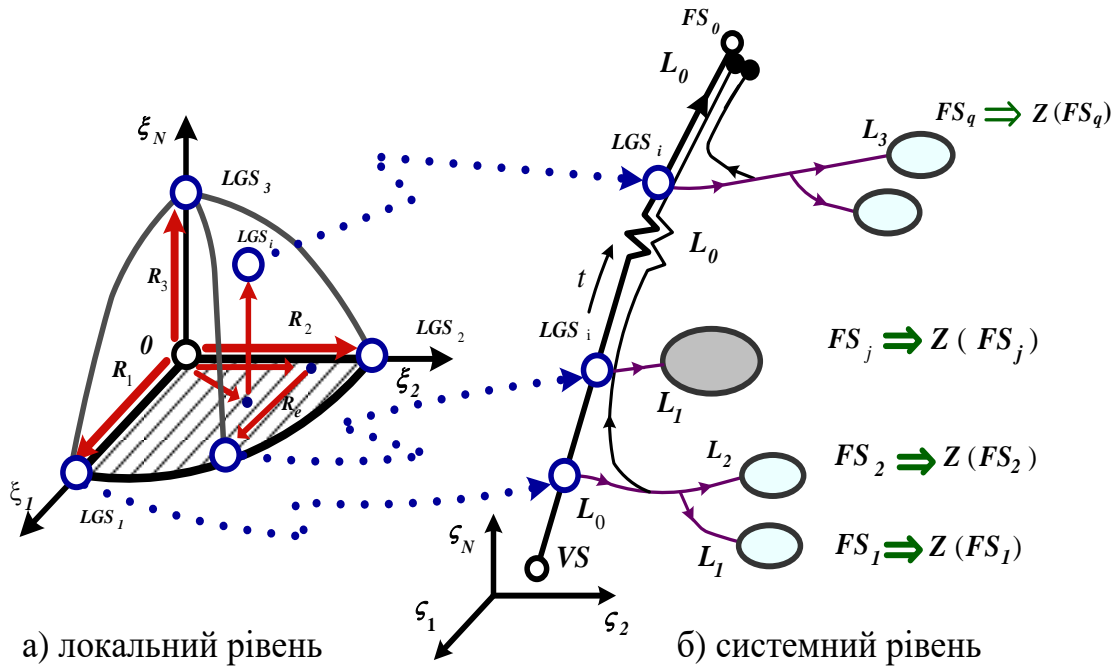


Рис. 1. Дерево локального (а) і системного (б) рівнів станів втрати працездатності сільськогосподарської машини

Комбінації механізмів руйнування реалізуються при складних режимах навантаження, які містять поєднання послідовних і/або паралельних навантажень (рис. 2: $LGS_i(F_p)$, $LGS_i(t_{emp})$, $LGS_i(Q)$ – граничні стани при однофакторному однократному статичному, температурному і циклічному впливах; $LGS_{ix}(F_p)$, $LGS_{ix}(t_{emp})$, $LGS_{ix}(Q)$ – граничні стани при комплексних багатфакторних режимах впливу). В таких випадках траєкторія досягнення поверхні граничного стану в тривірневому просторі (вплив навантаження F_p – вплив температур t_{emp} – вплив агресивного середовища Q). Ці пошкодження в загальному випадку – нелінійні процеси і визначаються локальними деформаціями $F_p(t_{emp}, Q)$. Частина цих ділянок реалізується природним чином у процесі експлуатації сільськогосподарської машини та обумовлена зовнішніми екстремальними впливами. В довільному випадку при різних навантаженнях і етапах настання граничного стану сільськогосподарської машини повинні бути передбачені свої методи відновлення працездатності, які б дозволяли ідентифікувати досягнення поверхонь граничних станів (рис. 2).

Для зручності в кваліметрії розглядаємо якість як певну ієрархічність за сукупністю властивостей сільськогосподарських машин, а найбільш узагальнена властивість розглядається на самому нижньому рівні сукупності властивостей, а складові її менш узагальнені властивості – на більш високому рівні. Таким чином, побудова ієрархічної структури властивості сільськогосподарських машин, має прояв в ієрархічному дереві властивостей

(рис. 3: ЗТО – засоби технічного обслуговування), тобто властивість i -го рівня визначається відповідними властивостями $(i+1)$ -го рівня ($i=1, 2, \dots, m$), де прості властивості m -го рівня можуть бути фізично вимірні. При цьому абсолютні показники простих властивостей технологічного процесу технічного обслуговування сільськогосподарських машин мають різне фізичне вимірювання.

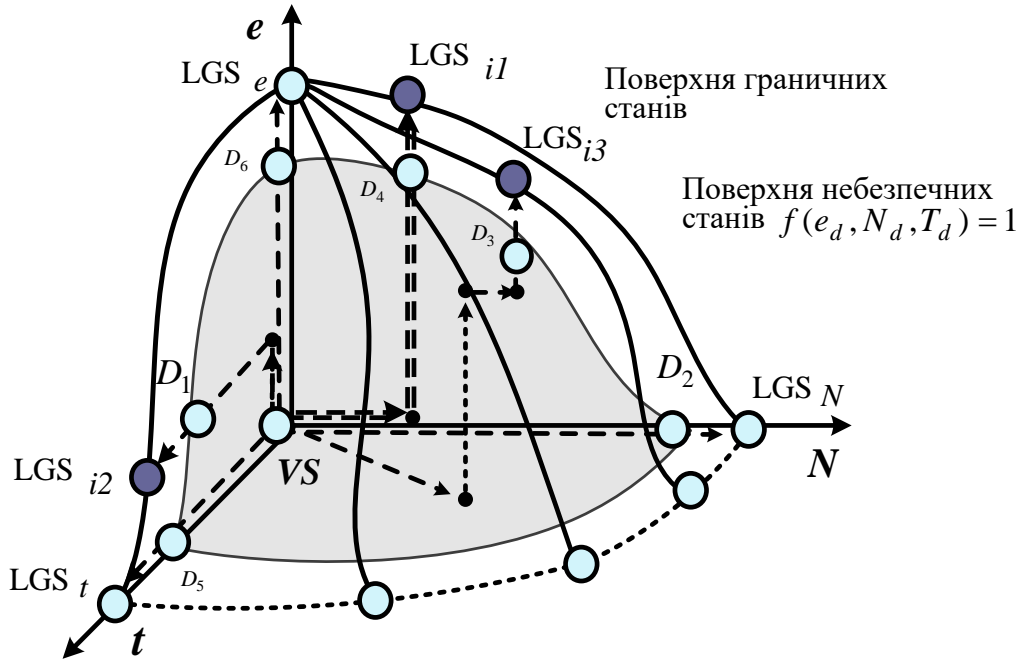


Рис. 2. Схематичність ідентифікації граничних станів сільськогосподарської машини

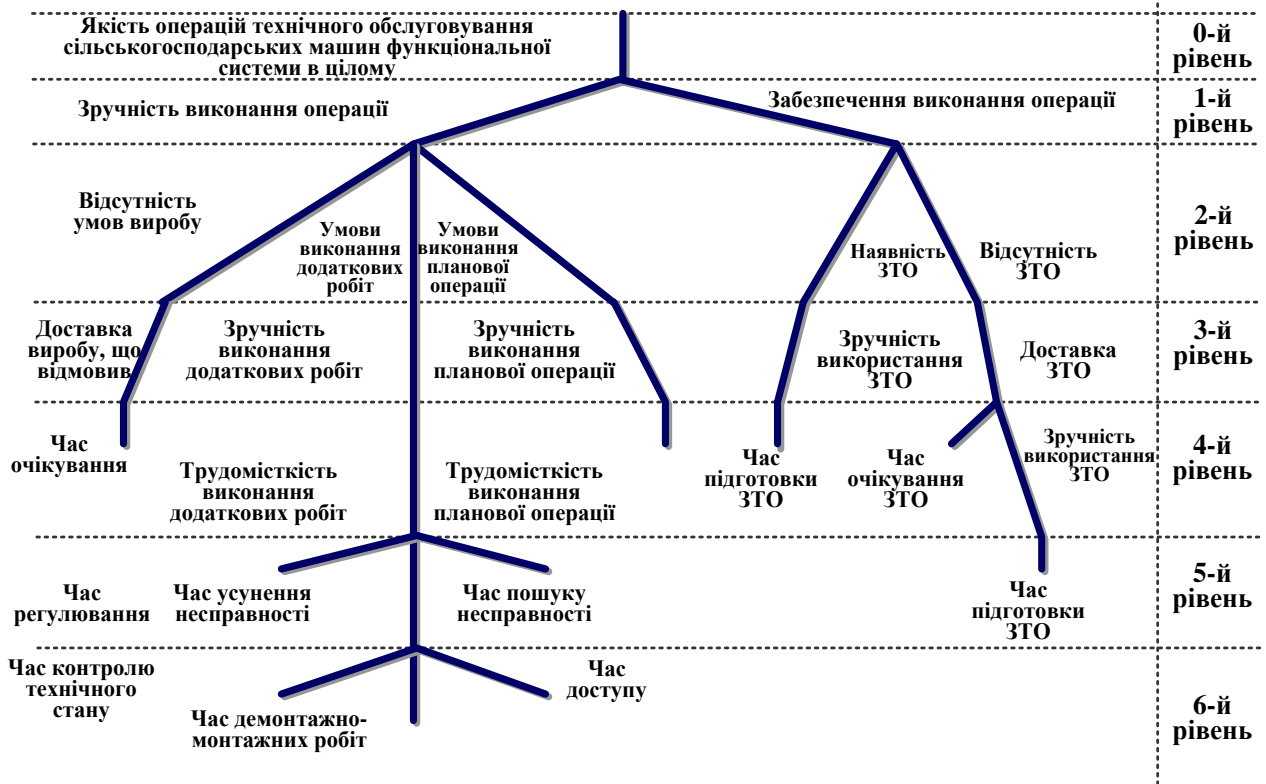


Рис. 3. Ієрархія властивостей процесу технічного обслуговування сільськогосподарських машин, як функціональної системи в цілому

Другий розділ «Аналітичне дослідження моделей комплексних техніко-технологічних заходів підвищення працездатності сільськогосподарських машин». Сільськогосподарська машина володіє нескінченним набором властивостей різної природи. Але в процесі дослідження взаємодії людини з сільськогосподарською машиною здійснюється обмеження множини властивостей, які знаходяться в межах можливості їх сприйняття і необхідності для мети досліджень. Отже, в рамках задач управління технічним станом сільськогосподарської машини необхідно розглядати скінченну множину відібраних для спостережень властивостей цієї машини. При чому у кожній сільськогосподарській машини ця множина властивостей буде індивідуальною. Таким чином в рамках задач відновлення працездатності технічного стану сільськогосподарської машини характеризується за допомогою деякої визначеної скінченної множини значень параметрів:

$$S = \{s_1; s_2; s_3; \dots; s_n\}, \quad (3)$$

де S – індекс технічного стану сільськогосподарської машини; s_n – значення параметру технічного стану сільськогосподарської машини; n – кількість параметрів технічного стану сільськогосподарської машини.

При цьому критерії виконання необхідних функцій можуть бути встановлені завданням для кожної функції набору параметрів, які характеризуються здатністю її виконання, і допустимих меж зміни значень цих параметрів (рис. 4). Тобто відновлення працездатності сільськогосподарських машин можна визначити як властивість машини зберігати в часі у визначених межах значення всіх параметрів, які характеризують її спроможність виконувати задані функції.

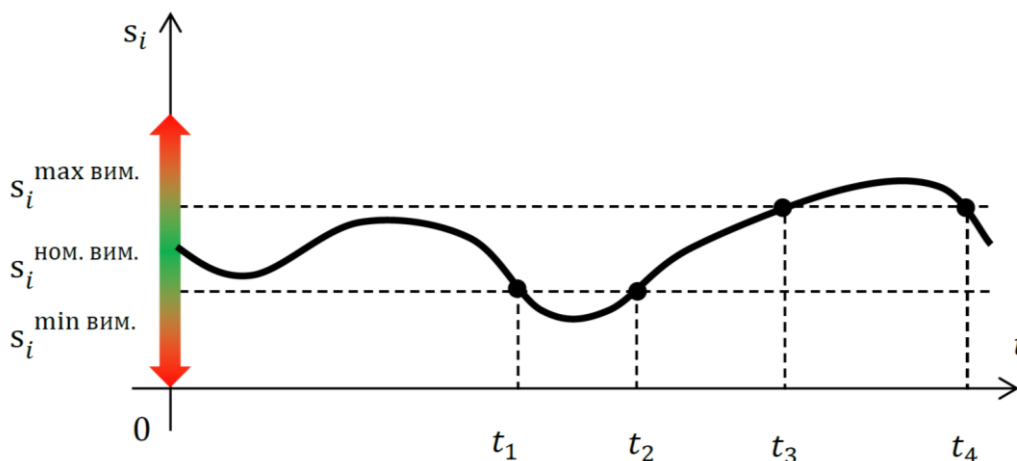


Рис. 4. Графічне пояснення властивості сільськогосподарської машини зберігати в часі у визначених межах значення параметру технічного стану

Для виразу цієї приналежності в теорії множин застосовують характеристичну функцію $\vartheta_{LS}(s)$ в бінарному характері її виді, значення якої вказують, і є (так або ні) s елементом підмножини SL :

$$\vartheta_{LS}(s) = \begin{cases} 1, & \text{якщо } s \in SL, \\ 0, & \text{якщо } s \notin SL. \end{cases} \quad (4)$$

На практиці межа між допустимими і недопустимими значеннями параметра може не мати чіткого характеру, тому рішення задачі, оцінку технічного стану сільськогосподарської машини раціонально розглянути в ракурсі теорії нечітких множин. Тобто параметр s_i множини M може належати SL у визначеній мірі ϑ_{LS} . Тоді, у відповідності з визначенням нечіткої множини, нечітка підмножина допустимих значень \widetilde{SL} множини всіх можливих значень параметра множини M визначається, як множина упорядкованих пар: $\{(s, \vartheta_{\widetilde{SL}}(s))\}, \forall s \in M$, де $\vartheta_{\widetilde{SL}}(s)$ – характеристична функція приналежності, яка приймає свої значення в множині $H = \{0; 1\}$ в нечіткій підмножині \widetilde{H} . Для визначення узагальненого технічного стану сільськогосподарської машини використовуємо дві оцінки – відносну лінійну відстань Хеммінга і відносну квадратичну Евклідову відстань між множинами $\widetilde{SL}^{\text{пот}}$ і $\widetilde{SL}^{\text{ном}}$, за якими встановлюємо дві оцінки відстані між нечіткими множинами:

$$\varepsilon(\widetilde{SL}^{\text{пот}}, \widetilde{SL}^{\text{ном}}) = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\vartheta_{\widetilde{SL}^{\text{ном}}}(s_i) - \vartheta_{\widetilde{SL}^{\text{пот}}}(s_i))^2}. \quad (5)$$

За допомогою $\delta(\widetilde{SL}^{\text{пот}}, \widetilde{SL}^{\text{ном}})$ і $\varepsilon(\widetilde{SL}^{\text{пот}}, \widetilde{SL}^{\text{ном}})$ можемо оцінити загальний стан сільськогосподарської машини й порівняти машини між собою. Очевидно, що чим менші ці відстані $\delta(\widetilde{SL}^{\text{пот}}, \widetilde{SL}^{\text{ном}})$ і $\varepsilon(\widetilde{SL}^{\text{пот}}, \widetilde{SL}^{\text{ном}})$ тим технічний стан сільськогосподарської машини ближче до справного стану S_{LS} :

$$S_{LS} = 1 - \delta(\widetilde{SL}^{\text{пот}}, \widetilde{SL}^{\text{ном}}) = \vartheta_{\widetilde{SL}^{\text{пот}}}^{\text{c.a.}}(s_i), \quad (6)$$

Таким чином, щоб отримати оцінку технічного стану сільськогосподарської машини, необхідно оцінити технічний стан кожного елемента, а системи окремо за параметрами, які встановлені для кожного елемента, потім визначити індекс технічного стану вищестоячих в ієрархії структур системи, застосувавши лінійну відстань Хеммінга та принцип відносності: система нижнього рівня є елементом системи більш високого рівня, даний метод транслюємо на довільному рівні в рамках структури системи:

$$S = \frac{\sum_{i=1}^N S_i}{N}, \quad S_i = \frac{\sum_{j=1}^{C_i} S_{ij}}{C_i}, \quad S_{ij} = \frac{\sum_{k=1}^{B_{ij}} S_{ijk}}{B_{ij}}, \quad (7)$$

де N – кількість підсистем у системі; C_i – кількість елементів i -ї підсистеми в системі; B_{ij} – кількість параметрів j -их елементів i -ї підсистеми в системі; S_{ij} – індекс технічного стану сільськогосподарської машини j -их елементів i -ї підсистеми в системі; S_{ijk} – індекс технічного стану сільськогосподарської машини за k -им параметром j -их елементів i -ї підсистеми в системі.

Тобто (7), стан елемента системи є одним з параметрів оцінки цієї системи. Адекватність запропонованого підходу обґрунтована тим, що вагомість кожного параметра однакова, а також є фактом, що кількість даних параметрів і, безпосередньо самі параметри, за якими необхідно оцінювати технічний стан, визначаються суб'єктом оцінки: заводом-виробником, інженером виробничого агропідприємства, випробувальною установою. На цій основі будуємо модель системи відновлення працездатності сільськогосподарської машини (рис. 5: S_{ijk} – значення технічного k -го

параметра j -го елемента i -ї підсистеми в системі). При цьому кожен з видів технічного стану характеризується сукупністю значень параметрів, які описують стан сільськогосподарської машини, і якісних ознак.

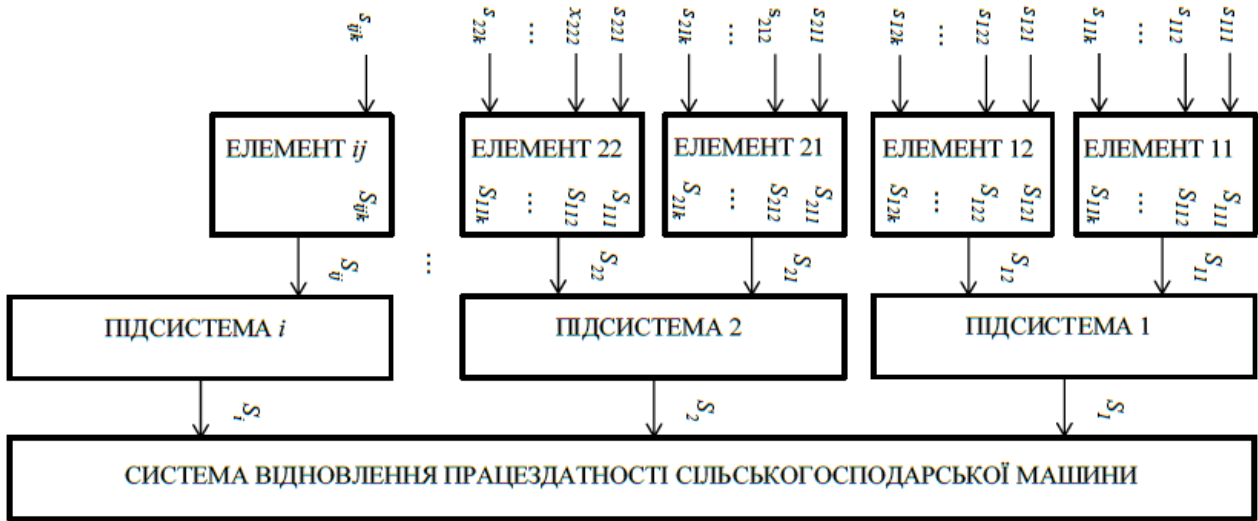


Рис. 5. Модель системи відновлення працездатності сільськогосподарської машини

Модель (рис. 5) дозволяє знищити розмірність цих ознак і уникнути дискретних видів технічного стану сільськогосподарської машини. В даному випадку необхідно провести аналіз ступеня прояву властивості адитивності і цілісності в запропонованій системі (рис. 5). На основі формули Байеса були визначені моделі періодичності проведення інженерного моніторингу параметрів технічного стану сільськогосподарських машин для виявлення працездатності або непрацездатності з врахуванням зміни з наробітком помилок першого і другого роду:

$$t_{1r}^{(a)} = (4 \cdot \Delta P_1 \cdot \Delta P_2)^{-1} \cdot \left\{ - \left[\begin{array}{c} \Delta P_2 \cdot (1 - 2 \cdot P \bar{s}_{jo}) + \\ + 2 \cdot \Delta P_1 \cdot (1 - P \bar{s}_{jo}) - \alpha_n \cdot (\Delta P_1 + \Delta P_2) \end{array} \right] + \sqrt{\alpha_{1r}} \right\} \quad (8)$$

$$\text{де } \alpha_{1r} = \left[\begin{array}{c} \Delta P_2 \cdot (1 - 2 \cdot P \bar{s}_{jo}) + \\ + 2 \cdot \Delta P_1 \cdot (1 - P \bar{s}_{jo}) - \\ - \alpha_n \cdot (\Delta P_1 + \Delta P_2) \end{array} \right]^2 - 8 \cdot \Delta P_1 \cdot \Delta P_2 \cdot \left[\begin{array}{c} (1 - P \bar{s}_{jo}) - \\ - 2 \cdot P \bar{s}_{jo} \cdot (1 - P \bar{s}_{jo}) - \\ - \alpha_n \cdot (-P \bar{s}_{jo} - P \bar{s}_{jo}) \end{array} \right].$$

$$t_{2r}^{(\beta)} = (4 \cdot \Delta P_1 \cdot \Delta P_2)^{-1} \cdot \left\{ - \left[\begin{array}{c} \Delta P_1 \cdot (1 - 2 \cdot P \bar{s}_{jo}) + \\ + 2 \cdot \Delta P_2 \cdot (1 - P \bar{s}_{jo}) - \beta_n \cdot (\Delta P_1 + \Delta P_2) \end{array} \right] + \sqrt{\beta_{2r}} \right\} \quad (9)$$

$$\text{де } \beta_{2r} = \left[\begin{array}{c} \Delta P_1 \cdot (1 - 2 \cdot P \bar{s}_{jo}) + \\ + 2 \cdot \Delta P_2 \cdot (1 - P \bar{s}_{jo}) - \\ - \beta_n \cdot (\Delta P_1 + \Delta P_2) \end{array} \right]^2 - 8 \cdot \Delta P_1 \cdot \Delta P_2 \cdot \left[\begin{array}{c} (1 - P \bar{s}_{jo}) \times \\ \times (1 - P \bar{s}_{jo}) - \\ - \beta_n \cdot (-P \bar{s}_{jo} - P \bar{s}_{jo}) \end{array} \right].$$

При цьому ймовірність першого виходу параметра технічного стану сільськогосподарської машини за межу допуску a для випадкової функції розраховується за виразом:

$$P(t_{1r}^{(a)}, t_{2r}^{(\beta)}) = \Phi \left[\frac{(a - \bar{Q})(a - \bar{Q} - ht)}{h \cdot \sqrt{td + \sigma_Q^2}} \right] \exp \left\{ \frac{2h}{d^2} [d(a - \bar{Q}) + \sigma_Q^2 h] \right\} \times \\ \times \Phi \left[\frac{-ht - (a - \bar{Q}) - 2 \frac{h}{t} \sigma_Q^2}{\sqrt{td + \sigma_Q^2}} \right] \quad (10)$$

а момент наробітку проведення регулювань параметрів технічного стану сільськогосподарської машини за випадкової функції і, перетворивши їх для коефіцієнта варіації, і, враховуючи, що розподіл випадкової величини із зростаючою інтенсивністю відмов, регулюючий вплив параметру технічного стану доцільний тільки після виходу його за межі допуску без апіорної інформації можна визначити за виразом:

$$t_{reg} = (t - \bar{s}_0) \left(\bar{h}_1 + \frac{\Delta h}{i} - 1 \right) + \\ + \sqrt{(t - s_0)^2 \left(\bar{h}_1 + \Delta h(i - 1) \right)^2 - \left[\left(\bar{h}_1 + \Delta h(i - 1) \right)^2 \right] \times [(t - \bar{s}_0)^2 - t_\alpha^2 \sigma_Q^2]} \times \\ \times \left\{ \left(\bar{h}_1 + \Delta h(i - 1) \right)^2 + t_\alpha^2 \sigma_Q^2 \right\}^{-1} \quad (11)$$

Для стратегії підвищення працездатності сільськогосподарських машин із фіксованою періодичністю характерним є проведення комплексних техніко-технологічних заходів з метою підтримки необхідного рівня надійності сільськогосподарських машин із відновлення втраченої працездатності і виконується після виявлення відхилення параметра технічного стану. При виникненні раптової відмови сільськогосподарська машина набуває стану ремонту для відновлення працездатності. По завершенні коригування або аварійного відновлення настає стан працездатності. Очевидно, що періодичність комплексних техніко-технологічних заходів справляє визначальний вплив на експлуатаційні характеристики сільськогосподарських машин і, перш за все, на ймовірність стану працездатності. Таким чином, оптимізація стратегії полягає у виборі періодичності Т, що відповідає максимуму ймовірності стану працездатності. Для опису зазначеної стратегії приймемо дворівневу (Е+/Е-) модель станів сільськогосподарських машин у вигляді спрямованого графа (рис. 6), за яким модель стратегії підвищення працездатності сільськогосподарських машин за відхиленням параметра технічного стану має підвищення чутливості за рахунок зменшення кількості можливих станів у процесі експлуатації, підвищення достовірності за рахунок розширення з двох до трьох кількості інженерного моніторингу параметрів технічного стану і розширена область ефективного застосування за рахунок врахування ймовірності випадкового процесу виникнення несправності і її розвитку до відмови.

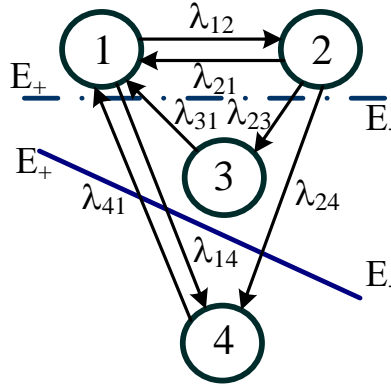


Рис. 6. Граф станів сільськогосподарських машин удосконаленої моделі стратегії підвищення працездатності сільськогосподарських машин за відхиленням параметра технічного стану

Для запропонованої стратегії (рис. 6) встановили аналітичні моделі залежності математичних очікувань сезонного наробітку і частоти позаштатних та сезонного наробітку і частоти нормативних періодичностей інженерного моніторингу параметрів технічного стану сільськогосподарських машин:

$$\bar{\tau}_H(t) = \frac{e^{\omega \cdot \tau} \cdot e^{\omega_d \cdot \tau} \cdot ([\omega_d - \omega] \cdot [\tau + T_k] + (e^{-\omega \cdot \tau} - e^{-\omega_d \cdot \tau}) \cdot T_{по})}{\tau \cdot \omega \cdot e^{\omega \cdot \tau} \cdot e^{\omega_d \cdot \tau} + \omega_d + \omega} \quad (12)$$

$$\bar{\omega}_H(t) = \left\{ T_a + \frac{e^{\omega \cdot \tau} \cdot e^{\omega_d \cdot \tau} \cdot ([\omega_d - \omega] \cdot [\tau + T_k] + (e^{-\omega \cdot \tau} - e^{-\omega_d \cdot \tau}) \cdot T_{по})}{\tau \cdot \omega \cdot e^{\omega \cdot \tau} \cdot e^{\omega_d \cdot \tau} + \omega_d + \omega} \right\}^{-1} \quad (13)$$

$$\bar{\tau}_p(t) = \frac{(\omega_d - \omega) \cdot (\tau + T_k) + \omega \cdot T_a \cdot (\omega_d \cdot e^{-\omega \cdot \tau} + \omega \cdot e^{-\omega_d \cdot \tau})}{(e^{-\omega \cdot \tau} - e^{-\omega_d \cdot \tau}) \cdot \omega_d} \quad (14)$$

$$\bar{\omega}_p(t) = \left\{ T_{по} + \frac{(\omega_d - \omega) \cdot (\tau + T_k) + \omega \cdot T_a \cdot (\omega_d \cdot e^{-\omega \cdot \tau} + \omega \cdot e^{-\omega_d \cdot \tau})}{(e^{-\omega \cdot \tau} - e^{-\omega_d \cdot \tau}) \cdot \omega_d} \right\}^{-1} \quad (15)$$

Моделі (13) і (15) були піддані числовому розрахунку (рис. 7) в програмному середовищі MathCad14.0 для самохідних буркозбиральних машин із відомими експлуатаційними характеристиками. Варто відмітити монотонний характер отриманих залежностей від досліджуваного параметра керування інженерного моніторингу параметра технічного стану, що є необхідною умовою при виборі його оптимального значення за одним із цільових критеріїв.

Запропоновано модель визначення ймовірності працездатності (16) та коефіцієнта готовності (17) сільськогосподарських машин для удосконаленої моделі стратегії (рис. 7) підвищення працездатності сільськогосподарських машин за відхиленням параметра технічного стану:

$$P_1(t) = \left\{ 1 + \tau \cdot T_k + \tau \cdot (\omega_d - \omega)^{-1} \cdot T_{по} \cdot \omega_d \cdot (e^{-\omega \cdot \tau} - e^{-\omega_d \cdot \tau}) + \right. \\ \left. + \omega \cdot T_a + (\omega_d \cdot e^{-\omega \cdot \tau} + \omega \cdot e^{-\omega_d \cdot \tau}) \cdot (\omega_d - \omega)^{-1} \cdot T_a \right\}^{-1} \quad (16)$$

$$K_r(t) = \frac{\tau + T_k^2}{\tau + T_k^2 + \left[(\omega_d - \omega)^{-1} \cdot T_{по} \cdot \omega_d \cdot (e^{-\omega \cdot \tau} - e^{-\omega_d \cdot \tau}) \cdot T_{по}^2 + \right. \\ \left. + (\tau \cdot \omega + (\omega_d \cdot e^{-\omega \cdot \tau} + \omega \cdot e^{-\omega_d \cdot \tau}) \cdot (\omega_d - \omega)^{-1}) \cdot T_a^2 \right] \cdot [\tau + \omega]} \quad (17)$$

На рис. 8 показано залежності $P_1(t) \Rightarrow \max$ і $K_r(t) \Rightarrow \max$ на прикладі буркозбиральних машин отримані розрахунковим шляхом для розробленої

моделі. Проведені дослідження підтверджують, що критерій $K_T(t) \Rightarrow \max$ менш чутливий до визначення екстремального значення функції при зміні часу в порівнянні з критерієм $P_1(t) \Rightarrow \max$. В зв'язку з цим його застосування для визначення оптимального періоду інженерного моніторингу параметрів технічного стану сільськогосподарських машин має бути обмежений з причини достовірності результатів.

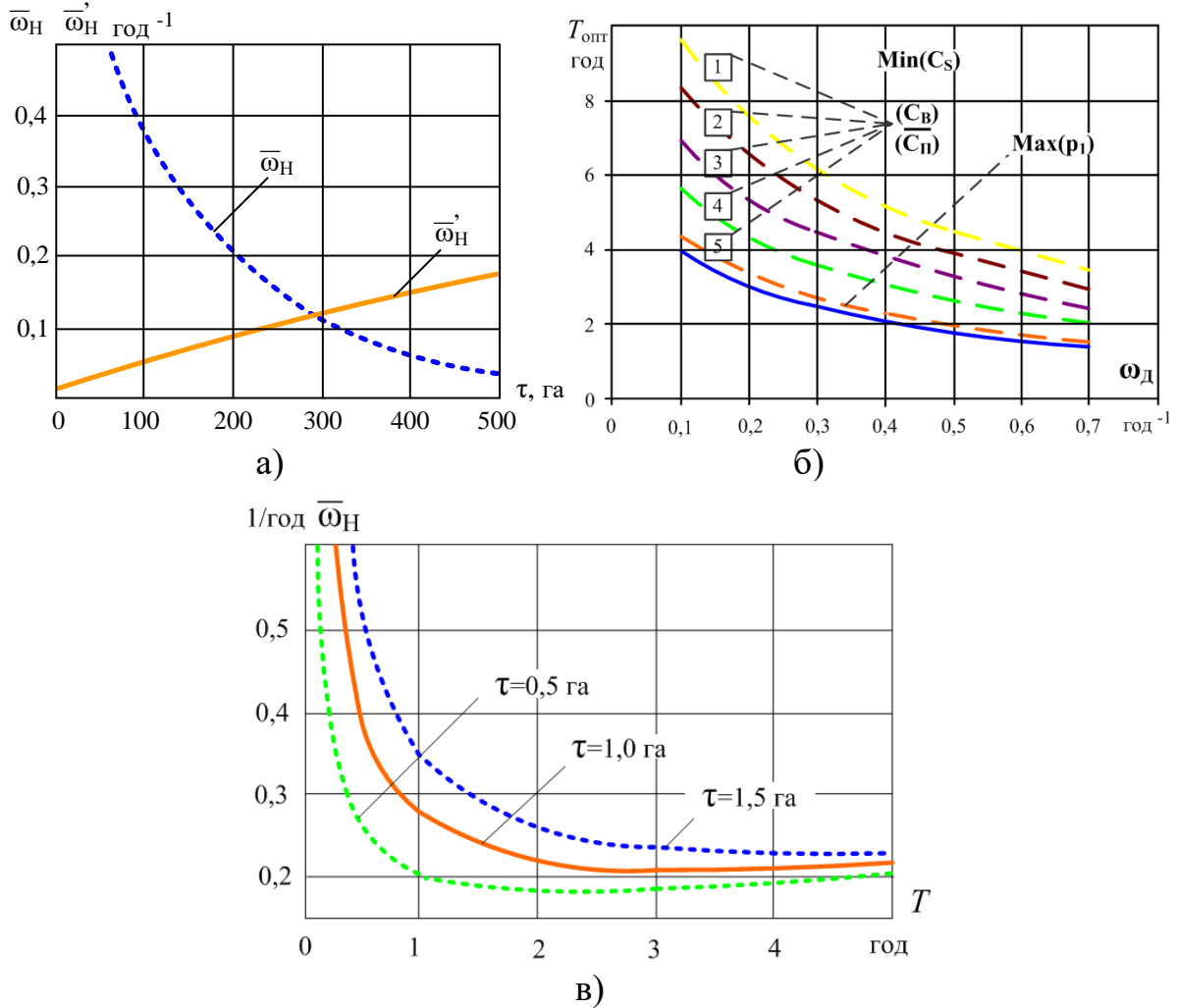


Рис. 7. Залежності $\bar{\omega}_H(t)$ і $\bar{\omega}_p(t)$ (а), ω_d (б) і $\bar{\omega}_H(t) \Rightarrow \min$ (в) для сільськогосподарських машин

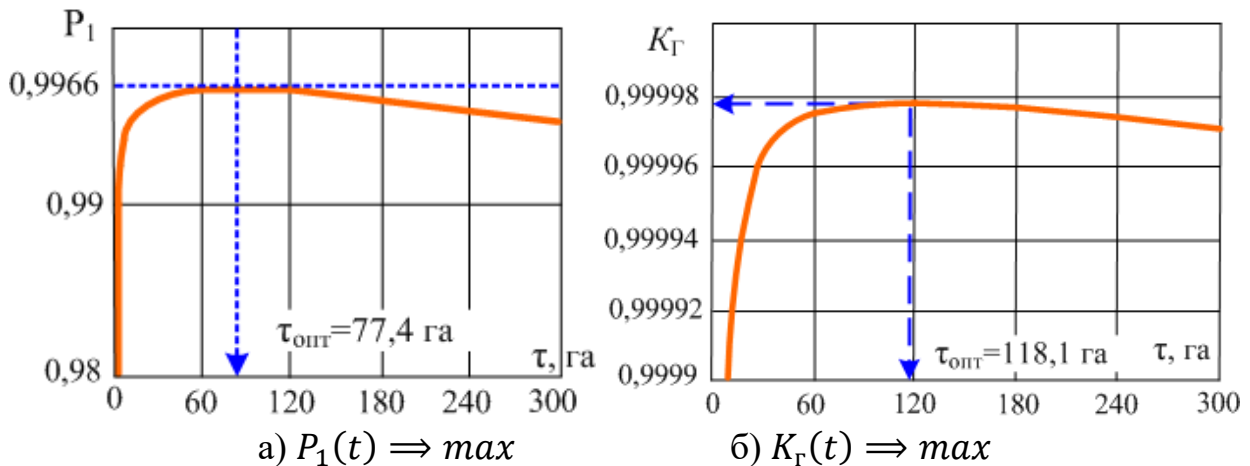


Рис. 8. Визначення оптимального періоду для інженерного моніторингу параметрів технічного стану сільськогосподарських машин

Значення оптимальних параметрів отриманих на основі критеріїв $P_1(t) \Rightarrow \max$, $K_r(t) \Rightarrow \max$, $\bar{\omega}_H(t) \Rightarrow \min$ має принципову відмінність з точки зору розробленої дворівневої удосконаленої моделі стратегії підвищення працездатності сільськогосподарських машин. Для критеріїв, які характеризують готовність сільськогосподарської машини межа розділу фазового простору станів проходить, як показано на рис. 9 штрихпунктиром.

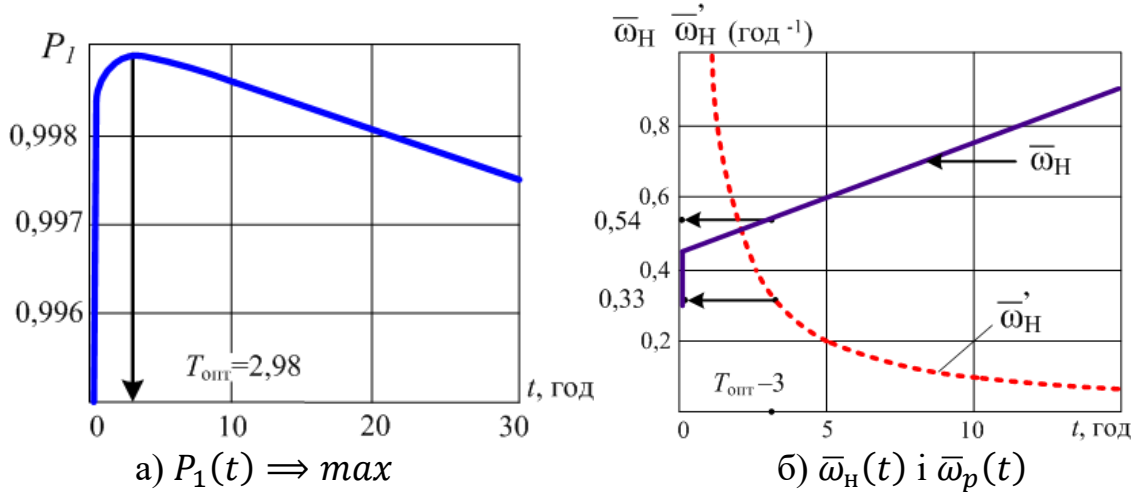


Рис. 9. Визначення оптимального періоду для інженерного моніторингу параметрів технічного стану сільськогосподарських машин

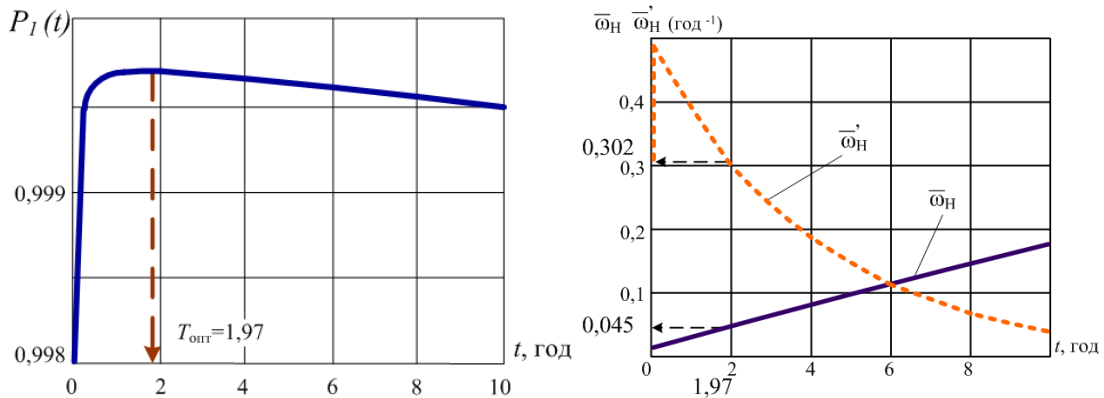


Рис. 10. Визначення оптимального періоду для інженерного моніторингу параметрів технічного стану сільськогосподарських машин

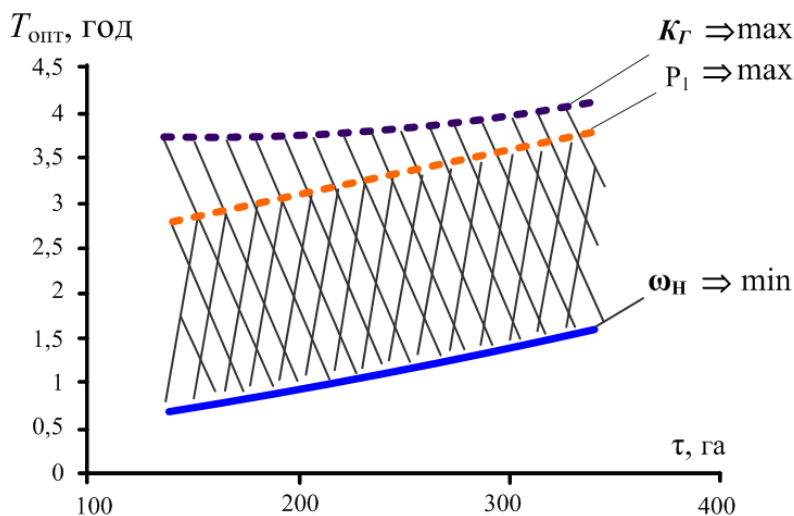


Рис. 11. Область прийняття рішень з вибору $T_{\text{опт}}$ для сільськогосподарських машин

В даному випадку критерій проявляє максимальну чутливість тільки до закінчення інженерного моніторингу, який має ймовірність $e^{-\omega_d \tau}$, що робить результат оптимізації дещо завищеним. Спрацьовує принцип – чим менша кількість інженерних моніторингів, тим менше необхідно проводити відновлення працездатності сільськогосподарської машини. Для критерія, який характеризує безвідмовність сільськогосподарської машини, межа розділу фазового простору показано суцільною лінією (рис. 10).

В зв'язку з чим, критерій однаково чутливий до всіх можливих виходів інженерного моніторингу, а отримані на його основі оптимальні періоди мають більш низькі значення. Отже існує можливість для формування області прийняття рішення за вибором оптимального періоду підвищення працездатності сільськогосподарських машин в координатах $T_{\text{опт}}(\tau)$ (рис. 11).

Третій розділ «Загальні методичні підходи і методика експериментальних досліджень комплексних техніко-технологічних заходів підвищення працездатності сільськогосподарських машин». При виконанні всіх етапів проектування, виробництва і експлуатації сільськогосподарської машини виконані з дотриманням усіх вимог, з використанням науково-обґрунтованих методик, детально розробленої нормативно-технічної документації і перевірених на практиці інструкцій з експлуатації, в процесі експлуатації сільськогосподарських машини в реальних умовах спостерігаються відмови і несправності (рис. 12).

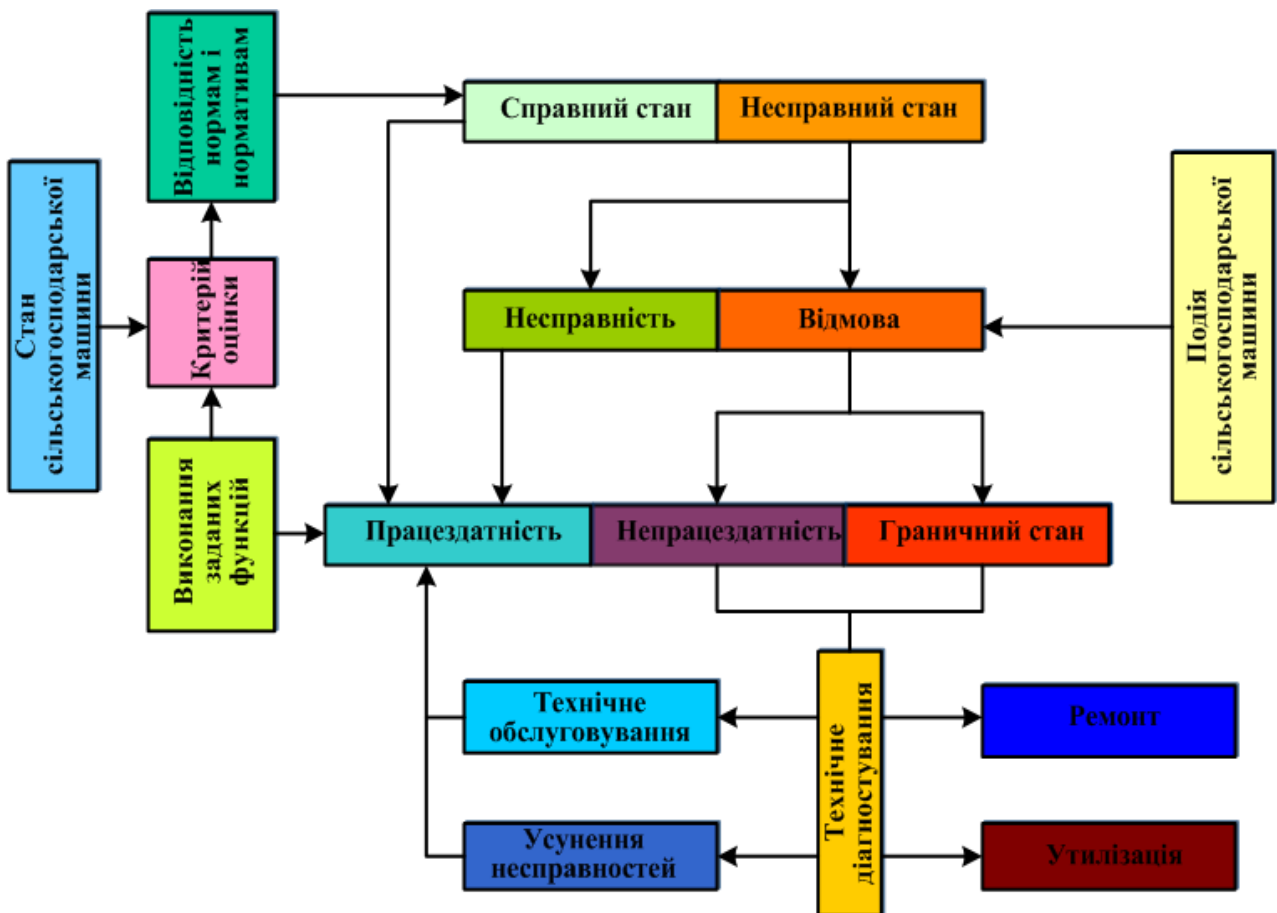


Рис. 12. Схема подій і станів сільськогосподарської машини в процесі експлуатації

Представлена схема (рис. 13) дозволяє оптимізувати планування інженерних заходів системи відновлення працездатності сільськогосподарських машин з оптимізацією витрат, що призводить до підвищення рівня експлуатаційної надійності сільськогосподарських машин. Наведена на рис. 18 схема дозволила зробити висновок про те, що процеси відновлення працездатності сільськогосподарських машин супроводжуються отриманням, обробкою і аналізом потоків інформації. При цьому змінюється ентропія стану системи відновлення працездатності сільськогосподарських машин. Ентропія станів даної системи тим менше, чим більше інформації буде отримано за допомогою відділеної моніторингової підсистеми для розкриття невизначеності ситуацій, що виникають.

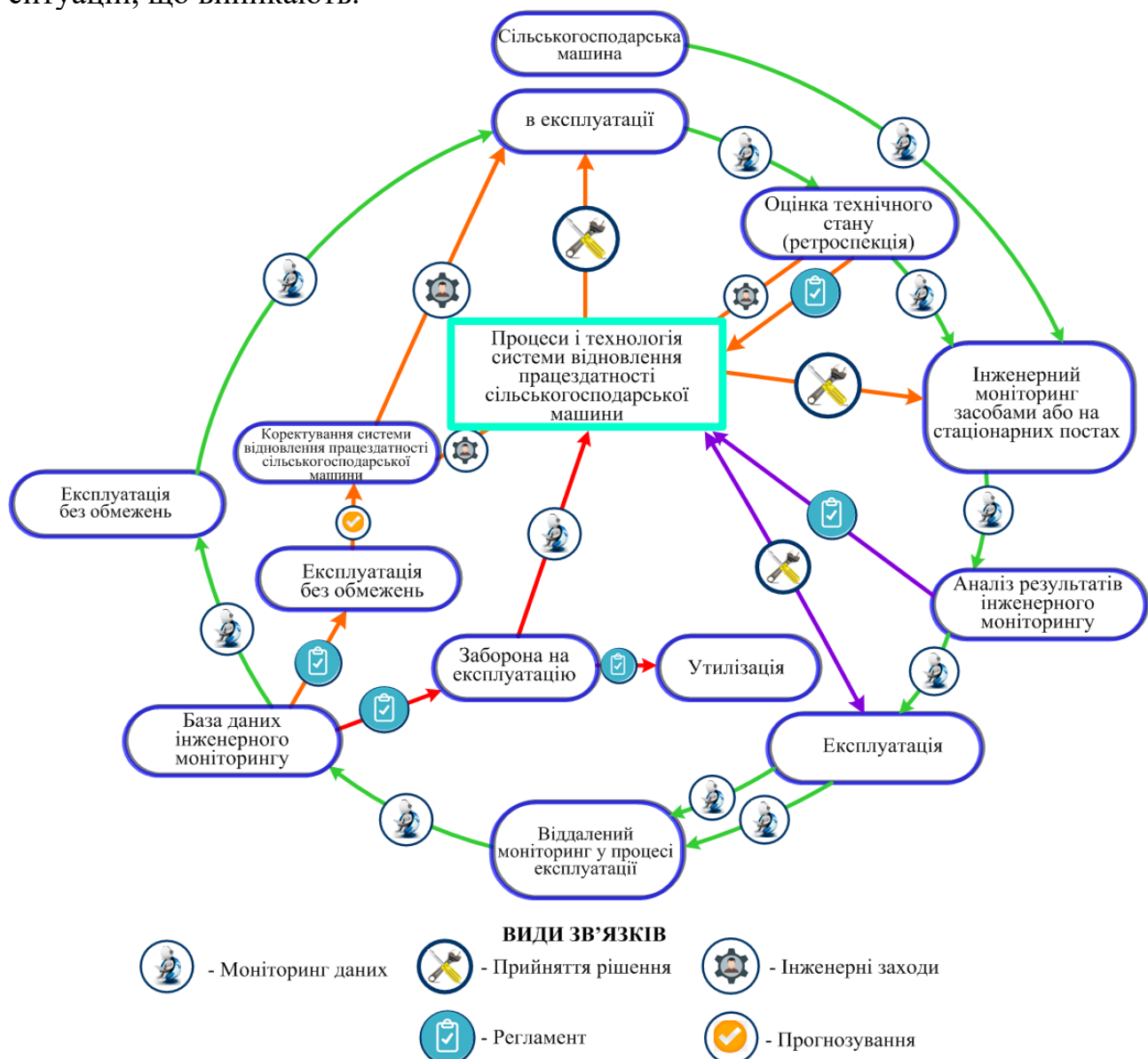


Рис. 13. Схема дослідження процесів відновлення працездатності сільськогосподарських машин з використанням моніторингової підсистеми

Четвертий розділ «Експериментальні дослідження сезонних показників експлуатаційної довговічності, безвідмовності, ремонтпридатності і комплексного показника надійності

сільськогосподарських машин». Експериментальні дослідження дозволили стверджувати, що інтенсивність відмов сільськогосподарських машин за запропонованою стратегією підвищення працездатності не суперечить диференціальній функції теоретичного закону розподілу Вейбулла-Гнеденко (рис. 14а, рис. 14в) і нормального (рис. 14б) і характеризується математичним очікуванням для зернозбиральних комбайнів – 0,196 відмов⁻¹, бурякозбиральних машин – 0,237 відмов⁻¹, кормозбиральних комбайнів – 0,654 відмов⁻¹, що, відповідно, на 11,2%, 9,8% і 12,3% більше в порівнянні з базовою стратегією за фактичним станом.

Експериментальні дослідження дозволили стверджувати, що інтенсивність відновлень сільськогосподарських машин за запропонованою стратегією підвищення працездатності не суперечить диференціальній функції теоретичного закону логнормального розподілу (рис. 15) і характеризується математичним очікуванням для зернозбиральних комбайнів 0,172 люд.-годин⁻¹, бурякозбиральних машин – 0,242 люд.-годин⁻¹, кормозбиральних комбайнів – 0,384 люд.-годин⁻¹, що, відповідно, на 10,8%, 10,1% і 11,7% більше в порівнянні з базовою стратегією за фактичним станом.

Встановлено, що ймовірність безвідмовної роботи сільськогосподарських машин за запропонованою стратегією підвищення працездатності не суперечить диференціальній функції теоретичного закону розподілу Гамбеловський (рис. 16) і характеризується математичним очікуванням для зернозбиральних комбайнів – 0,903, бурякозбиральних машин – 0,928, кормозбиральних комбайнів – 0,972, що, відповідно, на 10,6%, 9,3% і 12,1% більше в порівнянні з базовою стратегією за фактичним станом.

Результати досліджень показали, що коефіцієнт готовності сільськогосподарських машин за запропонованою стратегією підвищення працездатності не суперечить диференціальній функції теоретичного закону розподілу Гамбеловський (рис. 17) і характеризується математичним очікуванням для зернозбиральних комбайнів – 0,952, бурякозбиральних машин – 0,964, кормозбиральних комбайнів – 0,986, що, відповідно, на 7,1%, 7,3% і 6,9% більше в порівнянні з базовою стратегією за фактичним станом.

Встановлено, що кількості відмов сільськогосподарських машин за запропонованою стратегією підвищення працездатності не суперечить диференціальній функції теоретичного закону розподілу логнормальний (рис. 18) і характеризується математичним очікуванням для зернозбиральних комбайнів – 5,66 відмов, бурякозбиральних машин – 4,25 відмов, кормозбиральних комбайнів – 4,61 відмов, що, відповідно, на 11,3%, 12,7% і 12,8% менше в порівнянні з базовою стратегією за фактичним станом.

Довели, що міжремонтний ресурс сільськогосподарських машин за запропонованою стратегією підвищення працездатності не суперечить диференціальній функції теоретичного закону розподілу нормальний (рис. 19а) і логнормальний (рис. 19б,в) і характеризується математичним очікуванням для зернозбиральних комбайнів – 427,4 га, бурякозбиральних машин – 333,1 га, кормозбиральних комбайнів – 283,2 га, що, відповідно, на 14,3%, 16,7% і 14,9% більше в порівнянні з базовою стратегією за фактичним станом.

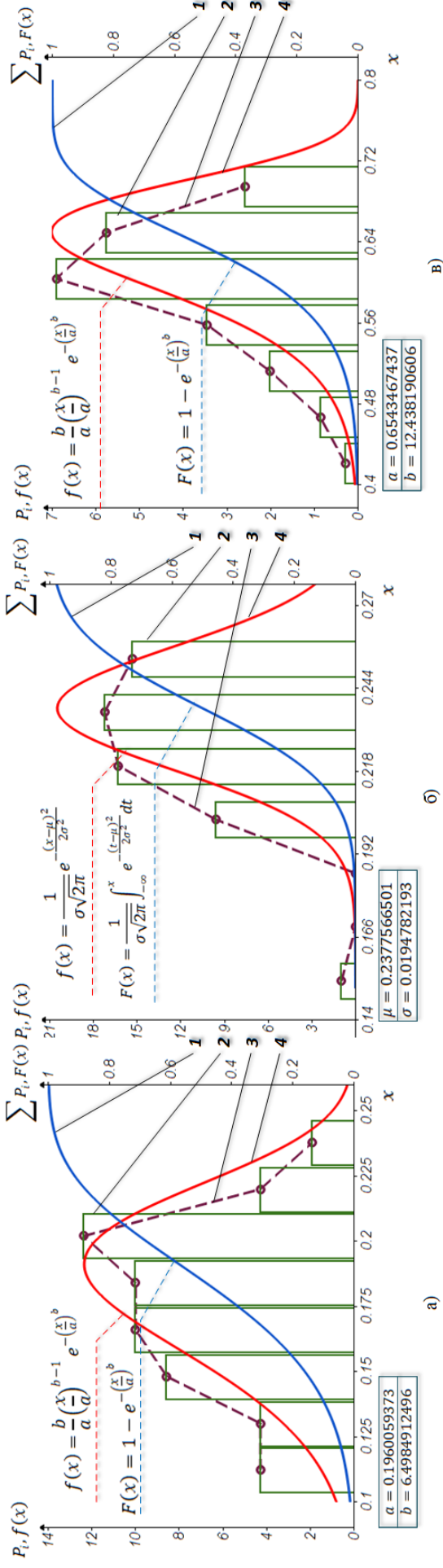


Рис. 14. Інтенсивність відмов а) зернозбиральні комбайни; б) бурякозбиральні машини; в) кормозбиральні комбайни

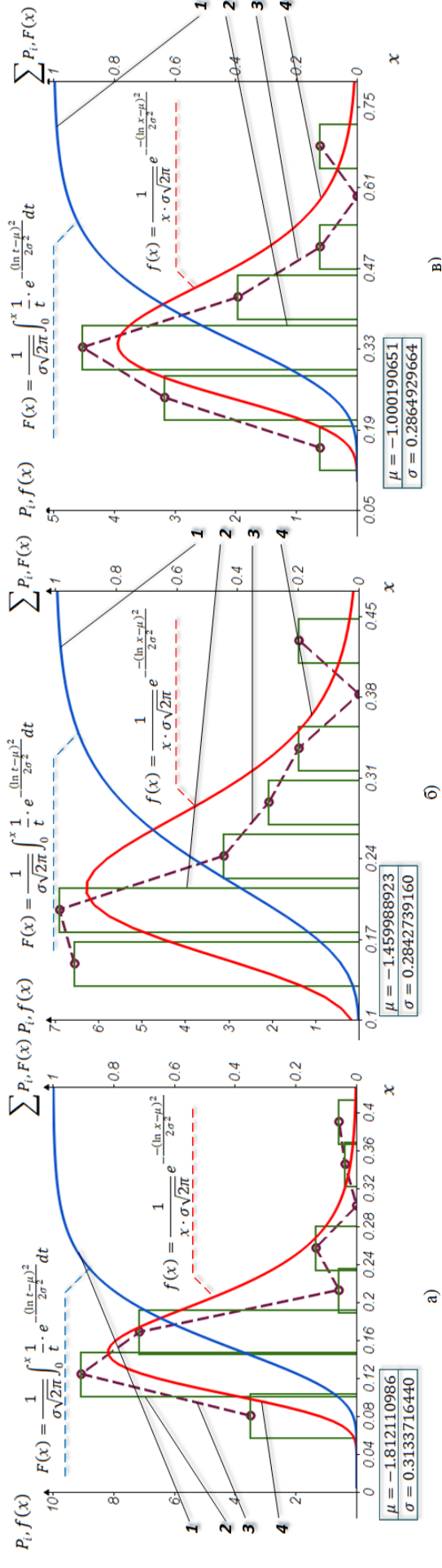


Рис. 15. Інтенсивність відновлень а) зернозбиральні комбайни; б) бурякозбиральні машини; в) кормозбиральні комбайни

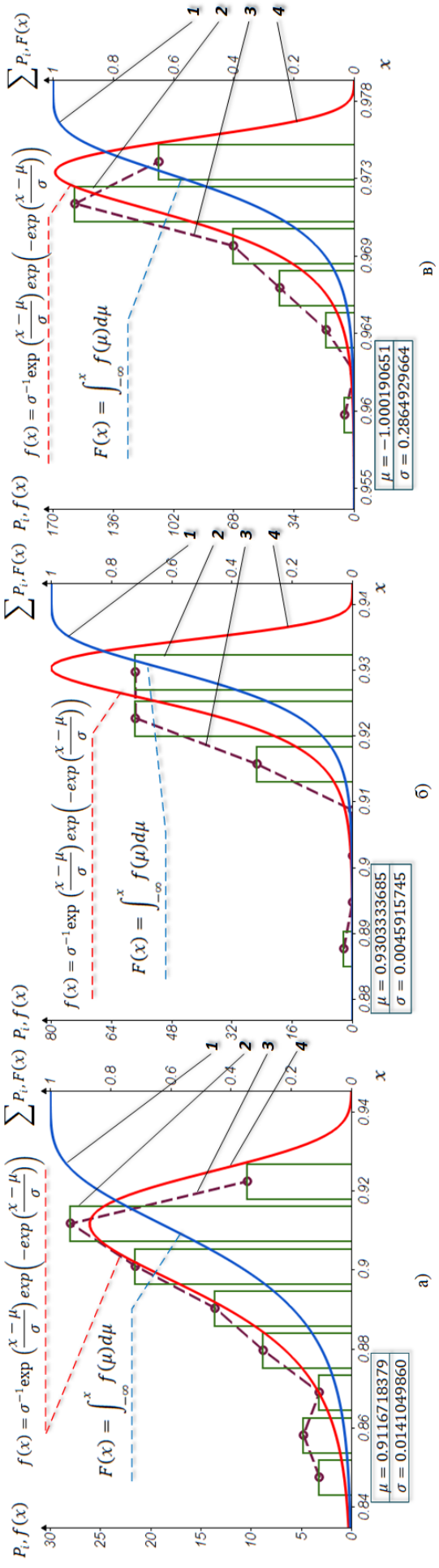


Рис. 16. Ймовірність безвідмовної роботи а) зернозбиральні комбайни; б) бурякозбиральні машини; в) зернозбиральні комбайни; г) бурякозбиральні машини

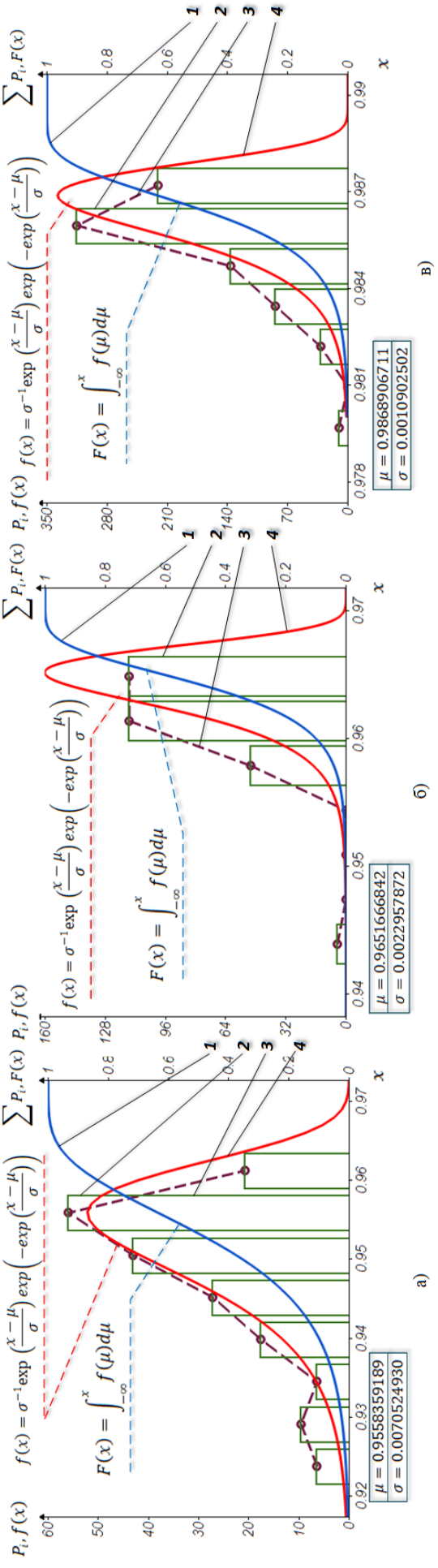


Рис. 17. Коефіцієнт готовності а) зернозбиральні комбайни; б) зернозбиральні комбайни; в) кормозбиральні комбайни; г) кормозбиральні комбайни

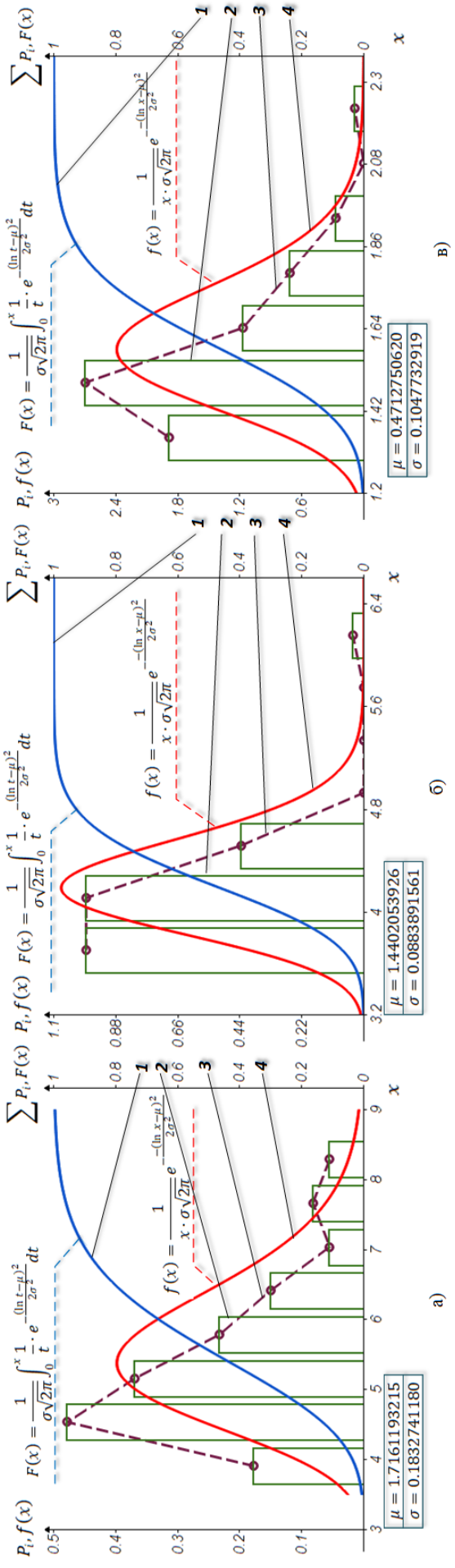


Рис. 18. Кількість відмов а) зернозбиральні комбайни; б) бурякозбиральні комбайни; в) кормозбиральні комбайни

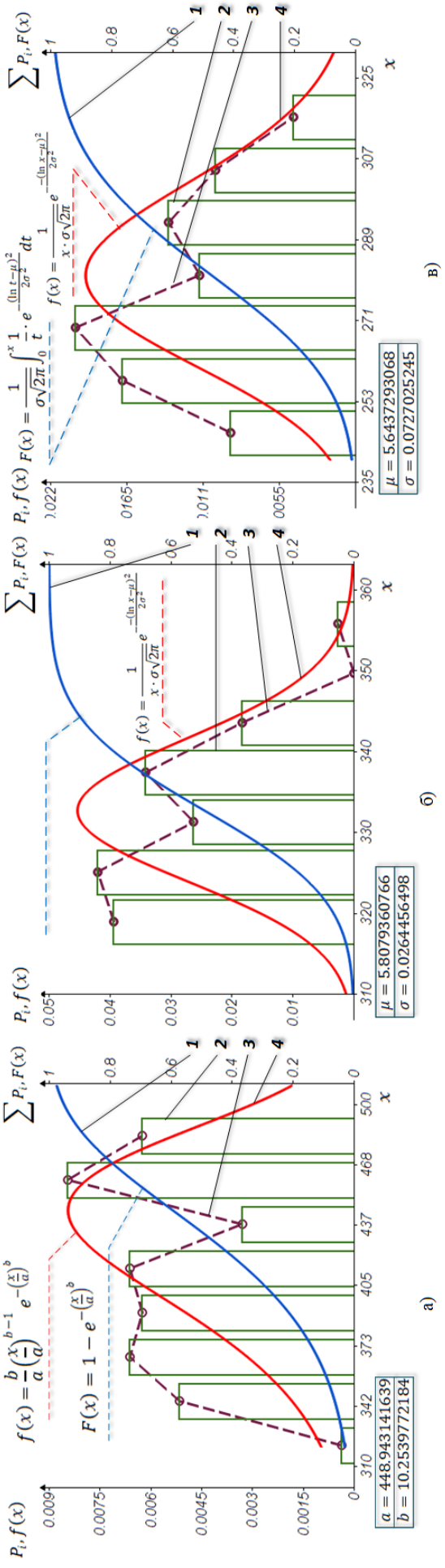


Рис. 19. Міжремонтний ресурс а) зернозбиральні комбайни; б) бурякозбиральні комбайни; в) кормозбиральні комбайни

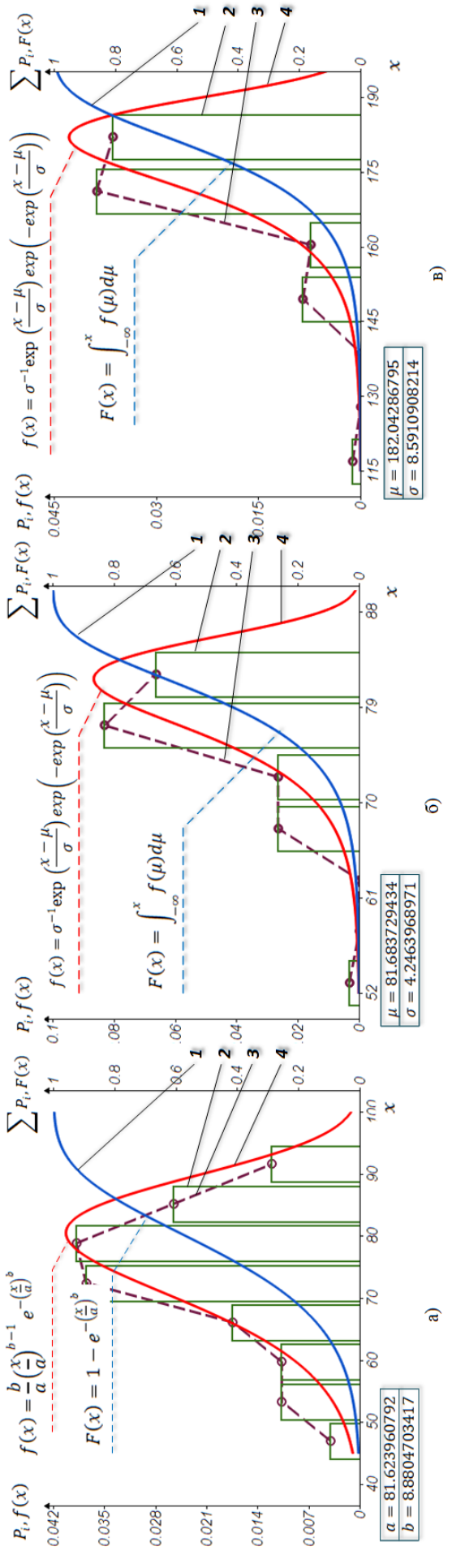


Рис. 20. Наробіток між відмовами а) зернозбиральні комбайни; б) бурякозбиральні комбайни; в) кормозбиральні комбайни

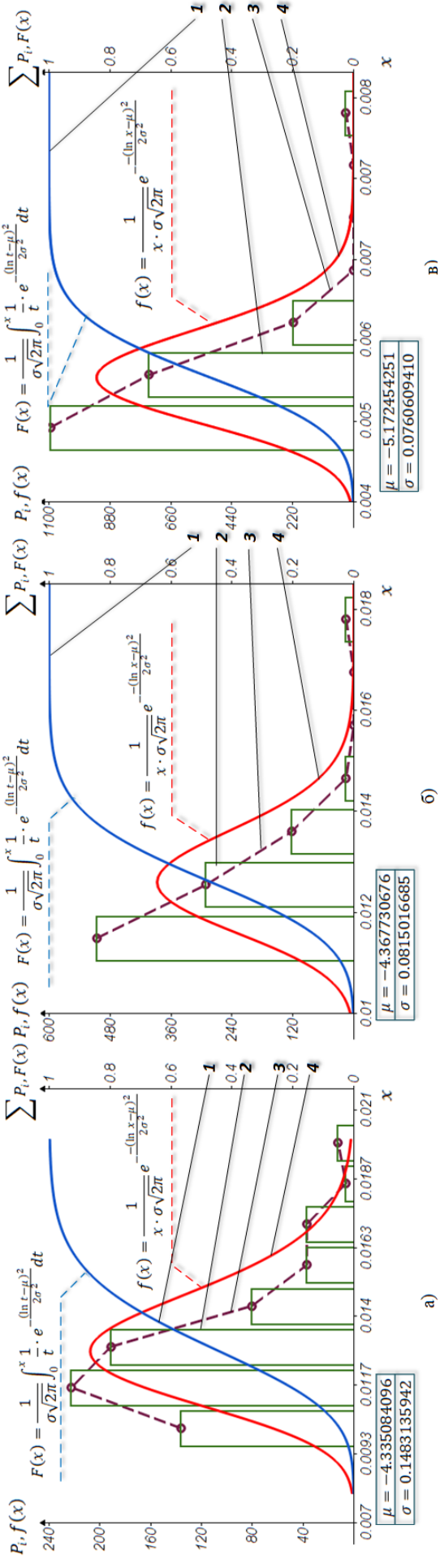


Рис. 21. Параметр потоку відмов а) зернозбиральні комбайни; б) бурякозбиральні комбайни; в) кормозбиральні комбайни

Встановлено, що наробіток між відмовами сільськогосподарських машин за запропонованою стратегією підвищення працездатності не суперечить диференціальній функції теоретичного закону розподілу нормальний (рис. 20а) і Гамбеловський (рис. 20б,в) і характеризується математичним очікуванням для зернозбиральних комбайнів – 81,6 га, бурякозбиральних машин – 79,1 га, кормозбиральних комбайнів – 76,8 га, що, відповідно, на 11,2%, 12,4% і 11,8% більше в порівнянні з базовою стратегією за фактичним станом.

Проведені експериментальні дослідження дозволили стверджувати, що параметр потоку відмов сільськогосподарських машин за запропонованою стратегією підвищення працездатності не суперечить диференціальній функції теоретичного закону розподілу логнормальний (рис. 21) і характеризується математичним очікуванням для зернозбиральних комбайнів – 0,013 відмов/га, бурякозбиральних машин – 0,011 відмов/га, кормозбиральних комбайнів – 0,012 відмов/га, що, відповідно, на 12,7%, 13,1% і 12,8% менше в порівнянні з базовою стратегією за фактичним станом.

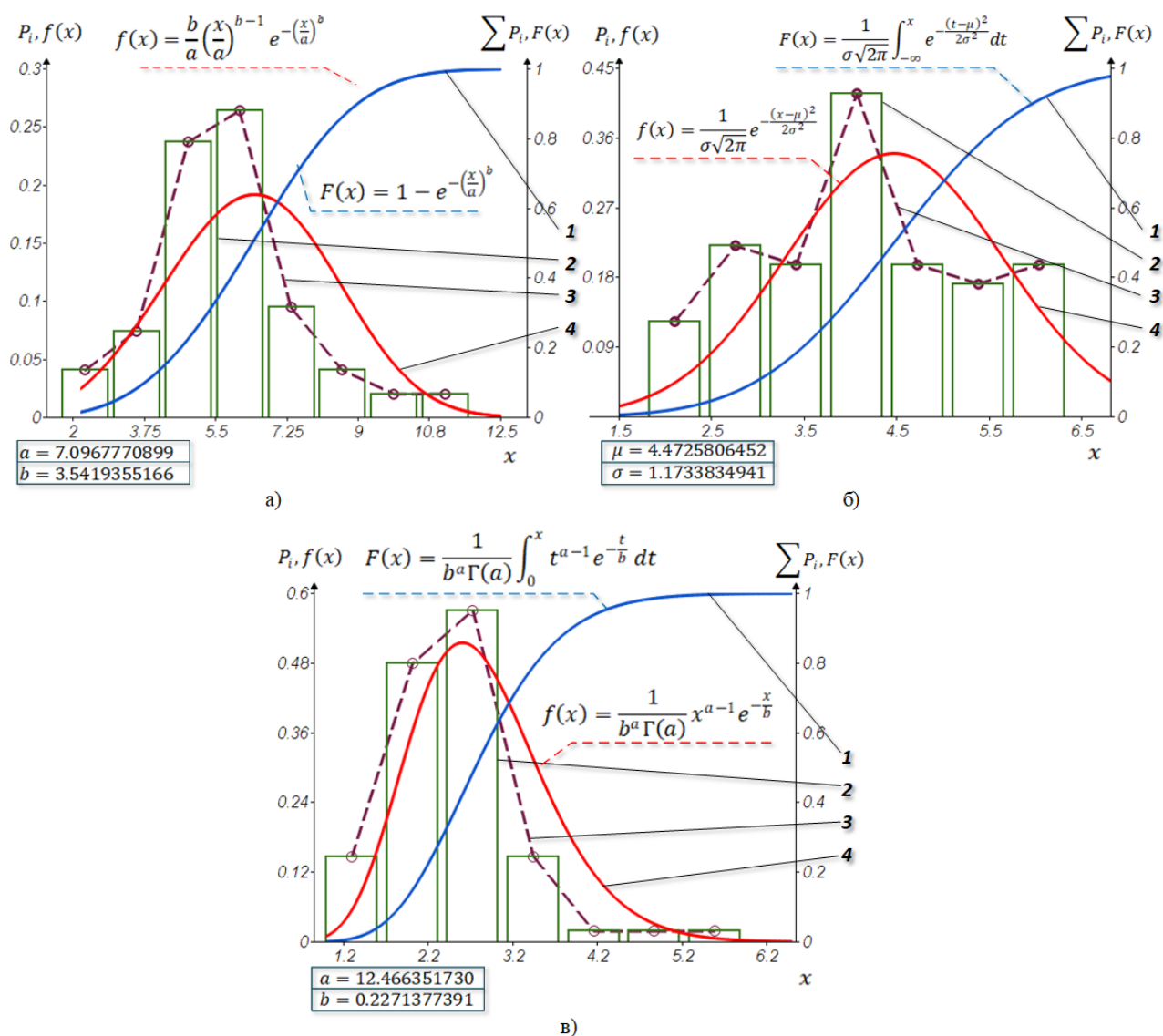


Рис. 22. Тривалість відновлень а) зернозбиральні комбайни; б) бурякозбиральні машини; в) кормозбиральні комбайни

Проведені експериментальні дослідження довели, що тривалість відновлень сільськогосподарських машин за запропонованою стратегією підвищення працездатності не суперечить диференціальній функції теоретичного закону розподілу Вейбула-Гнеденко (рис. 22а), нормальний (рис. 22б) і гама (рис. 22в) та характеризується математичним очікуванням для зернозбиральних комбайнів – 6,41 люд.-годин, бурякозбиральних машин – 4,47 люд.-годин, кормозбиральних комбайнів – 2,83 люд.-годин, що, відповідно, на 15,2%, 18,3% і 16,3% менше в порівнянні з базовою стратегією за фактичним станом.

П'ятий розділ «Експериментальні дослідження оцінювання пристосованості до технічного обслуговування сільськогосподарських машин». Встановлено, що характерними конструктивними недоліками, які зменшують пристосованість зернозбиральних комбайнів до технічного обслуговування, є такі: низька контролепридатність – відсутність зручно розташованих уніфікованих пристосувань для під'єднання; відсутність спадковості технологічних процесів технічного обслуговування; обмежений доступ до місць технічного обслуговування. Якість профілактичних заходів з технічного обслуговування зернозбиральних комбайнів оцінено за результатами перевірки фактичного технічного стану машини при контрольному огляді (таблиця 1).

Таблиця 1

Порушення правил технічного обслуговування комбайна

Перелік порушень	K_{yi}^*
Неправильне регулювання тиску початку впорскування палива, неякісний розпил	0,463
Зазори в клапанному механізмі газорозподільника за межами допустимих значень	0,348
Гранична забрудненість касет повітроочисника; порушення герметичності впускного тракту	0,307
Неправильна установка кута випередження подачі палива	0,233
Несправність рульового керування, гальм	0,220
Несвоєчасна заміна і очищення оливних фільтруючих елементів системи мащення двигуна	0,215
Несвоєчасне очищення оливного фільтра коробки передач	0,193
Невідповідність оливи двигуна рекомендованому	0,174
Несвоєчасність заміни паливних фільтруючих елементів	0,152
Несвоєчасність заміни оливи в двигуні	0,133
Несправність агрегатів електрообладнання (генератора, реле-регулятора, стартера)	0,130
Тиск повітря в шинах не відповідає виду виконуваних робіт; різний в правому і лівому колесах, спрацювання протектора вище допустимого	0,122
Понижений рівень електроліту в акумуляторній батареї, щільність електроліту не відповідає допустимим значенням	0,104
Несвоєчасність очищення оливного фільтра гідравлічної системи	0,114

Перелік порушень	K_{yi}^*
Рівень оливи в картерах дизеля і паливного насосу нижче допустимого	0,096
Несправність контрольно-вимірювальних приладів	0,085
Рівень оливи в коробці передач нижче допустимого	0,078
Невідповідність сорту оливи в гідросистемі	0,074
Ненадійне кріплення вузлів і агрегатів; неправильний натяг привідних пасів	0,067
Рівень оливи в проміжній опорі і картері ведучого моста нижче допустимого рівня	0,059
Порушення герметичності з'єднання паливопроводів, оливопроводів; наявність підтікання палива, оливи, охолоджуючої рідини	0,056
Невідповідність сорту оливи в коробці передач рекомендованому	0,045

Виявлено порушення правил технічного обслуговування зернозбирального комбайна та встановлено вагомість події: неправильне регулювання тиску початку впорскування палива, неякісний розпил – 0,463; зазори в клапанному механізмі газорозподільника за межами допустимих значень – 0,348; гранична забрудненість касет повітроочисника; порушення герметичності впускного тракту – 0,307; неправильна установка кута випередження подачі палива – 0,233.

Результати досліджень зернозбирального комбайна дозволяють констатувати, на частку контрольно-заправних і мастильно-заправних робіт при технічному обслуговуванні приходиться біля 30% всієї трудомісткості технічного обслуговування. Загальна кількість точок мащення 24-76, заправлення і зливання досягає 2-15 одиниць, а сортів застосовуваних оливи і мастил – 3-8. Низькі показники стабільності кріплення на машинах пояснюється відсутністю самоконтролюючих різьбових з'єднань, низькою якістю матеріалів кріпильних матеріалів (табл. 2). Дані характеризують те, що для зернозбирального комбайна до 36% трудомісткості приходиться на виконання допоміжних робіт з причини низької доступності до місць контролю і під'єднання контрольно-регулювальних засобів.

Таблиця 2

Коефіцієнт доступності при проведенні технічного обслуговування

Вид технічного обслуговування	Коефіцієнт доступності		
	Комбайни збиральні		Бурякозбиральні машини
	зерно-	кормо-	
Щозмінне	0,96	0,95	0,97
Перше номерне	0,71	0,68	0,78
Друге номерне	0,64	0,62	0,71

Ергономічність машини характеризується зручністю виконання операцій в процесі його технічного обслуговування. Так зміна поз дозволяє на мастильних операціях змінити продуктивність праці з 520 до 260 рухів в годину. В цілому конструктивні фактори визначають особливості сільськогосподарських машин, стабільність показників у процесі технічного обслуговування, прийнятність конструкції на профілактичні заходи технічного обслуговування. Реалізація запропонованих конструкторсько-технологічних заходів дозволила підвищити коефіцієнт готовності зернозбирального комбайна на 10-15%, скоротити затрати праці і часу на технічне обслуговування до 12%.

Шостий розділ «**Виробнича ефективність комплексних техніко-технологічних заходів підвищення працездатності сільськогосподарських машин**». Для оцінки формування ступенів операцій ефективності заходів підвищення працездатності сільськогосподарських машин порівнюємо дані з підприємства до впровадження заходів підвищення працездатності сільськогосподарських машин і після (рис. 23: 1 – без техніко-технологічних заходів; 2 – для техніко-технологічних заходів; 3 – найбільш корисна область поєднання імовірнісного P_B і логічного P_L параметра; 4 – для ймовірнісно-логічної методики визначення технічного стану сільськогосподарських машин).

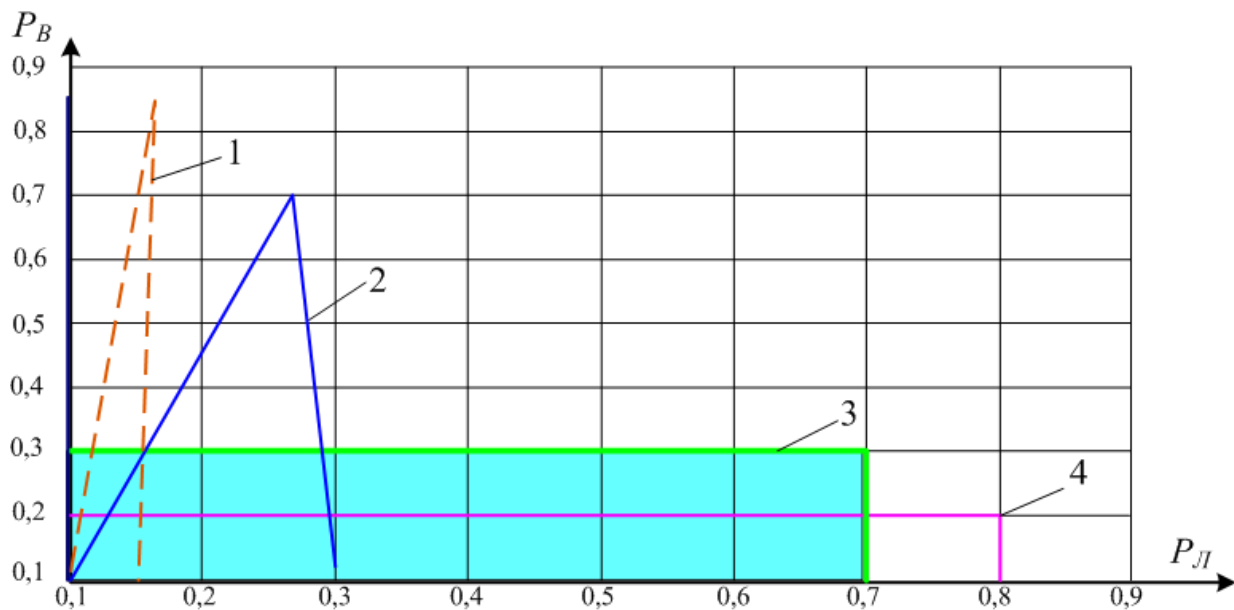


Рис. 29. Розподіл коефіцієнтів з досліджуваних заходів

Запровадження комплексних техніко-технологічних заходів підвищення працездатності сільськогосподарських машин на агропідприємстві істотно покращує показники щодо скорочення часу простою на 15-18% в порівнянні з діючою на підприємстві планово-попереджувальною системою обслуговування сільськогосподарських машин. При експлуатації сільськогосподарських машин (рис. 24) з системою комплексних техніко-технологічних заходів підвищення працездатності середнє напрацювання на відмову збільшилося на 18,9%, при цьому питомі витрати знизилися на 26,8%, що є відповідним значенням і знаходиться в межах точності моделювання. Однак це можна пояснити тим, що

елементи, які вибирали, мають низьку ймовірністю на відмову, яка для більшості елементів знаходиться в межах 0,5-0,7.

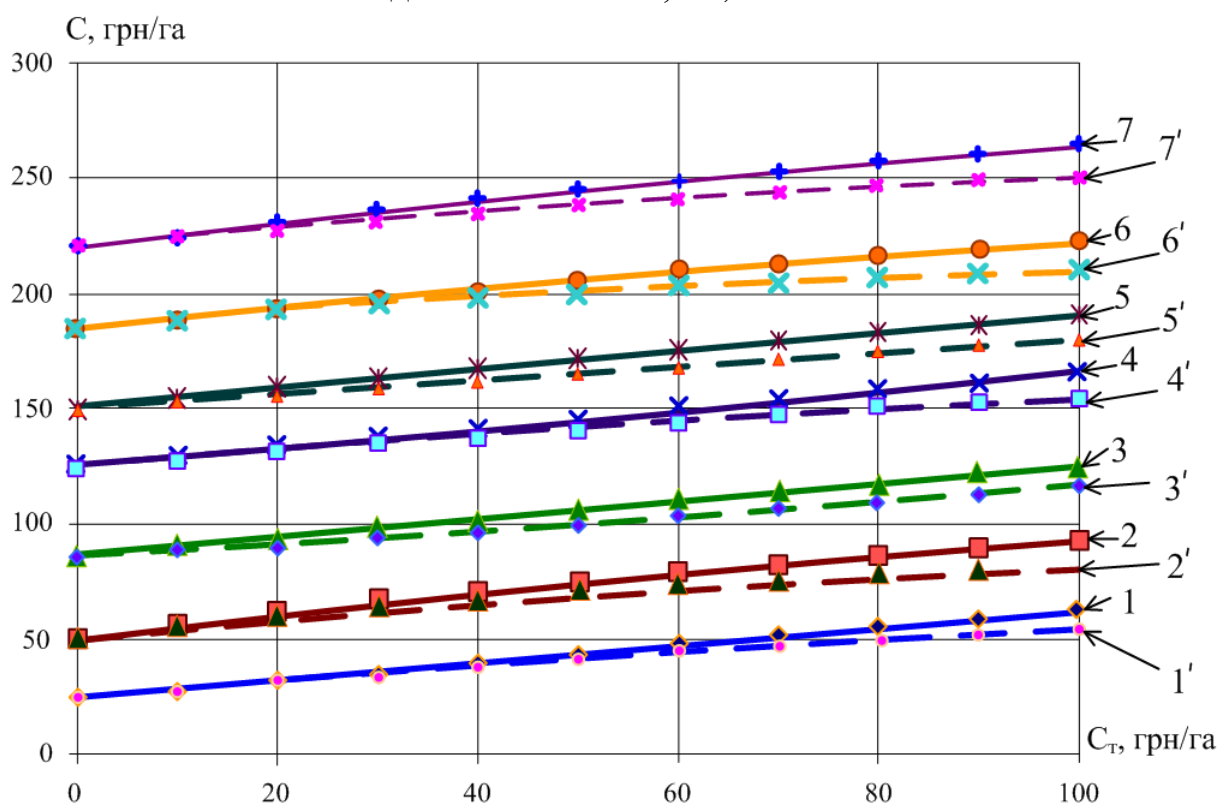


Рис. 24. Графіки зміни питомих сумарних витрат для планово попереджувальної системи і комплексних техніко-технологічних заходів підвищення працездатності сільськогосподарських машин в залежності від годинної тарифної ставки C_t і вартості однієї години простою $C_{пр}$: 1, 1' – 0; 2, 2' – 20; 3, 3' – 40; 4, 4' – 60; 5, 5' – 80; 6, 6' – 100; 7, 7' – 120;

————— для планово-попереджувальної системи; - - - - комплексних техніко-технологічних заходів підвищення працездатності сільськогосподарських машин

За результатами таблиці 3 можемо стверджувати, що із збільшенням наробітку сільськогосподарських машин відхилення фактичної кількості технічних обслуговувань від прогнозованої зростає. Але за цим ймовірність їх співпадання теж збільшується. Так, при коефіцієнті варіації 0,30 відхилення фактичної кількості технічних обслуговувань від прогнозованих складало: при $n_{np} = 1$ – 0,50, а при $n_{np} = 7$ – 1,48. Ймовірність співпадіння при цьому збільшилась з 0,50 до 0,90. Перше номерне технічне обслуговування виконується в середньому через 8 днів, тоді у відповідності з даними таблиці 1 при коефіцієнті варіації 0,30 межі варіювання фактичної кількості технічних обслуговувань складе від 0,50 до 1,5. Це значить, що проміжок часу між першими номерними технічними обслуговуваннями буде дорівнювати від 4 до 12 днів, а другого номерного технічного обслуговування при ($t_{cp} = 32$) від 16 до 48 днів. Цей період також можна визначити за відомою формулою $t = t_{cp,t} \pm U_{\alpha} \cdot \sigma_t$ (де $t_{cp,t}$ - середній час між однорідними технічними

обслуговуваннями). При коефіцієнті варіації рівному 0,36 і 0,35 стандартне відхилення з першого номерного технічного обслуговування складає $\sigma_{t,1} = 3$ дні, а для другого номерного технічного обслуговування $\sigma_{t,2} = 12$ дні. Межі варіювання першого номерного технічного обслуговування $t_1 = 8 \pm 1,35 \cdot 3$, тобто від 4 до 12 днів, і другого – $t_2 = 32 \pm 1,35 \cdot 12$, тобто від 16 до 48 днів. У відповідності з проведеними дослідженнями числові характеристики часу виконання операцій характеризуються визначеними даними (табл. 4). Для практичного користування важливо знати як змінюється кількість технічних обслуговувань і коефіцієнт варіації.

Таблиця 3

Відхилення фактичної кількості технічних обслуговувань від прогнозованої і ймовірність їх співпадіння

Показники		Прогнозована кількість технічних обслуговувань						
V		1	2	3	4	5	6	7
0,40	$P(V)$	0,6	0,75	0,82	0,84	0,86	0,87	0,88
	Δn	0,66	1,32	1,47	1,58	1,64	1,75	1,82
	n_{ϕ}	0,44-1,66	0,68-3,32	1,43-4,47	2,32-5,58	3,36-6,64	4,25-7,75	5,18-8,82
0,30	$P(V)$	0,50	0,75	0,85	0,86	0,89	0,90	0,90
	Δn	0,50	0,90	1,10	1,31	1,36	1,42	1,48
	n_{ϕ}	0,50-1,50	1,10-2,90	1,90-4,10	2,69-5,31	3,64-6,36	4,58-7,42	5,52-8,48
0,20	$P(V)$	0,75	0,86	0,90	0,91	0,92	0,93	0,94
	Δn	0,33	0,66	0,93	1,14	1,23	1,26	1,32
	n_{ϕ}	0,67-1,33	1,34-2,66	2,07-3,93	2,86-5,14	3,77-6,23	4,74-7,26	6,06-8,32
0,10	$P(V)$	0,85	0,92	0,94	0,95	0,96	0,97	0,98
	Δn	0,17	0,24	0,28	0,29	0,32	0,33	0,35
	n_{ϕ}	0,83-1,17	1,76-2,24	2,72-3,28	3,71-4,29	4,68-5,32	5,67-6,33	6,65-7,35
0,05	$P(V)$	0,92	0,94	0,95	0,96	0,97	0,98	0,99
	Δn	0,08	0,12	0,14	0,17	0,19	0,22	0,23
	n_{ϕ}	0,92-1,08	1,88-2,12	2,86-3,14	3,83-4,17	4,81-5,19	5,78-6,22	6,77-7,23

Таблиця 4

Числові характеристики часу виконання технологічних операцій за номерними техобслуговуваннями

Номерне технічне обслуговування	t_{cp} , годин	$\sigma_{заг}^2$, годин	$\sigma_{заг}$, годин	V
Перше	1,1	0,06	0,24	0,22
Друге	4,0	1,0	1,0	0,25

Для відповіді на поставлене питання розглянемо показники технічних обслуговувань (табл. 3) при різних коефіцієнтах варіації проміжків часу між технічними обслуговуваннями. При коефіцієнті варіації 0,10 відхилення фактичної кількості технічних обслуговувань від теоретичних при $n_{np} = 1$ складає $\pm 0,17$, а із зменшенням коефіцієнта варіації до 0,05 – зменшується до 0,08. відхилення від прогнозованого терміну постановки сільськогосподарської машини на технічне обслуговування складає: $\pm U_{\frac{\alpha}{2}} \cdot \sigma_t = \pm 1,5 \cdot 0,8 = \pm 1,2$ дні – при коефіцієнті варіації 0,10; $\pm U_{\frac{\alpha}{2}} \cdot \sigma_t = \pm 1,5 \cdot 0,4 = \pm 0,6$ дня – при коефіцієнті варіації 0,05. При умові стабільності в наробітку сільськогосподарської машини в процесі їх технічної експлуатації коефіцієнт варіації часу між технічними обслуговуваннями за сільськогосподарською машиною має малі значення до 0,05...0,10, в зв'язку з чим відбувається незначне відхилення фактичної кількості технічних обслуговувань від прогнозованих, а також має місце висока до 0,85...0,95 ймовірність співпадіння прогнозованих і фактичних термінів до 0,85. На рис. 25 наведено полігон розподілу тривалості змінної зайнятості на усуненні відмов за участю спеціалізованої бригади.

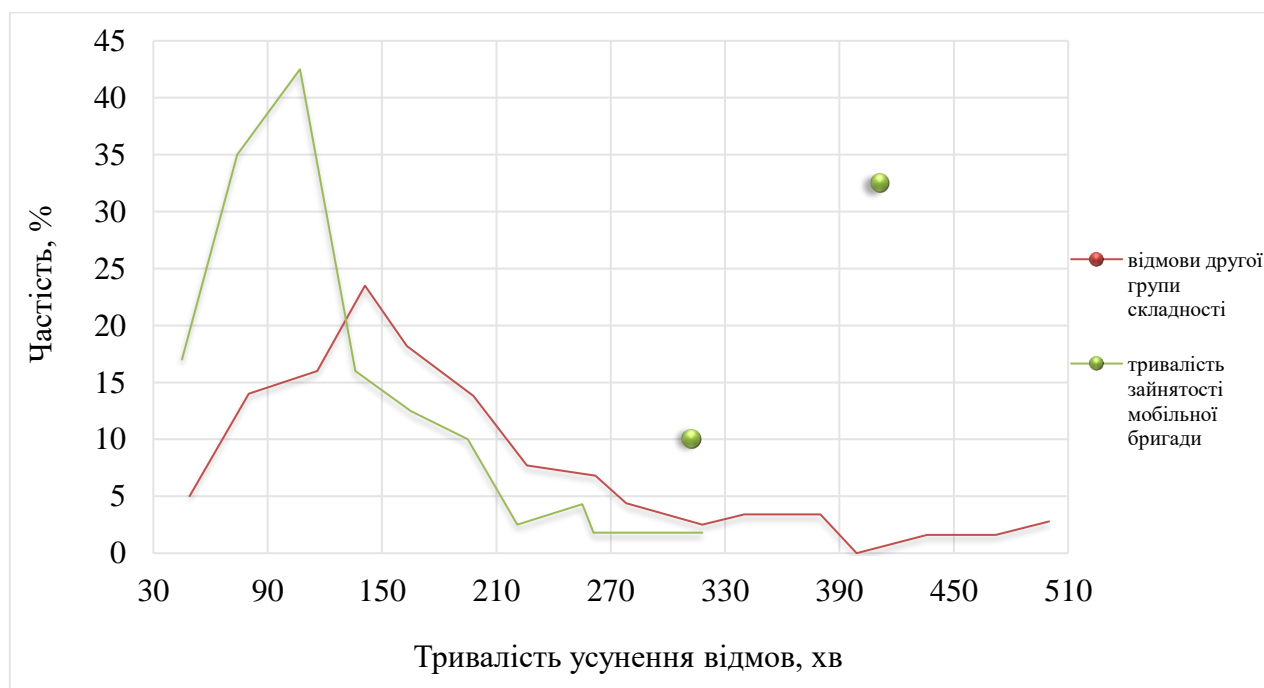


Рис. 25. Розподіл тривалості усунення відмов другої групи складності і тривалості зайнятості мобільної бригади на усуненні відмов

Межі зміни тривалості змінного прийняття участі дорівнюють 1,0...5,5 годин, а середня тривалість – 2,2 години. На усунення чотирьох відмов, які надійшли від восьми комбайнів, затрачається 8,8 годин чистого часу зміни і 1,8 годин на переїзди, всього 10,6 годин при середній тривалості зміни без врахування щозмінного технічного обслуговування 10,44 годин. Таким чином, одна бригада може забезпечувати виконання робіт з усунення несправностей і техобслуговування за 8 зернозбиральними комбайнами.

Сьомий розділ «Техніко-економічний аналіз комплексних техніко-технологічних заходів підвищення працездатності сільськогосподарських машин». В існуючій нормативній документації із забезпечення працездатності сільськогосподарських машин наявні наступні недоліки: 48% посилання на національні і галузеві стандарти, які втратили чинність дії; 23% занижені і 7% взагалі не обумовлюють показники якості виконання технологічного процесу підвищення працездатності сільськогосподарських машин; 11% не вказують умови експлуатації сільськогосподарських машин; 18% містять занижені експлуатаційні показники надійності сільськогосподарських машин. На сьогоднішній день систему техніко-технологічних заходів підвищення працездатності сільськогосподарських машин унормовують шість законодавчі і чотири нормативні документи та не діє жодна державна цільова економічна програма. З урахуванням методик розроблених в попередніх розділах дисертації сформовано методологію управління комплексних техніко-технологічних заходів підвищення працездатності сільськогосподарських машин на всіх інтервалах її життєвого циклу із застосуванням інструментів регулювання (рис. 26).

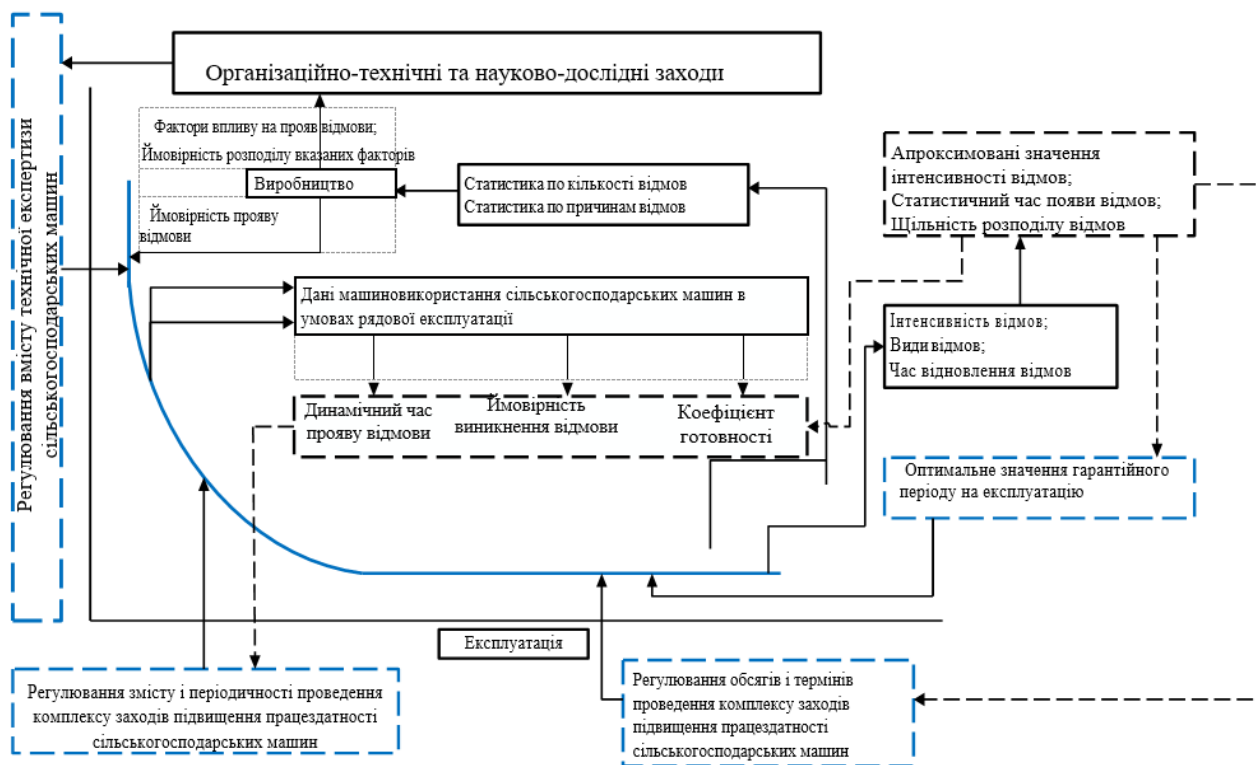


Рис. 26. Схема методології управління комплексних техніко-технологічних заходів підвищення працездатності сільськогосподарських машин на всіх її стадіях життєвого циклу

Відповідно до рис. 33 регулювання комплексних техніко-технологічних заходів підвищення працездатності сільськогосподарських машин здійснюється в результаті реалізації науково-дослідних і організаційно-технічних заходів, як на стадії її виробництва, так і на стадії експлуатації. Для служб технічного сервісу та інженерного менеджменту агропромислового комплексу

рекомендуються мобільні засоби забезпечення працездатності сільськогосподарських машин (рис. 27), ІТ виконання, яке являє собою портативну ПК типу notebook, конфігурація якого узгоджується з замовником, з крейтом для встановлення вимірювальних модулів. у крейті встановлений крейт-контролер і може бути встановлено до 7-ми вимірювальних модулів. крейт-контролер з'єднується з notebook за допомогою цифрового інтерфейсу. розроблено алгоритмічно-програмне забезпечення та інформаційна технологія «agrotechmaintenapance» (рис. 28) з формування оптимальної періодичності обслуговування, мінімізації часу простоїв, оптимальних режимів безвідмовної роботи і розрахунку економічних критеріїв оцінки якості функціонування технічного обслуговування із урахуванням підвищення рівня працездатності сільськогосподарських машин дозволяє реалізувати комплексні техніко-технологічні заходи.



Рис. 27. Мобільний засіб забезпечення працездатності сільськогосподарських машин

На основі проведеної класифікації по кожному з масивів операцій для кожної групи досліджуваних машин проводилась типізація операцій, яка заключалась у виявленні однакових операцій по кожному виду технічного

обслуговування за зразком. Розроблений методологічний підхід дослідження дозволив значно скоротити строки розробки нормативно-технічної документації по технічному обслуговуванню нових марок вітчизняних сільськогосподарських машин. Так для десяти нових марок сільськогосподарських машин було затрачено на розробку нормативного документа всього два роки.

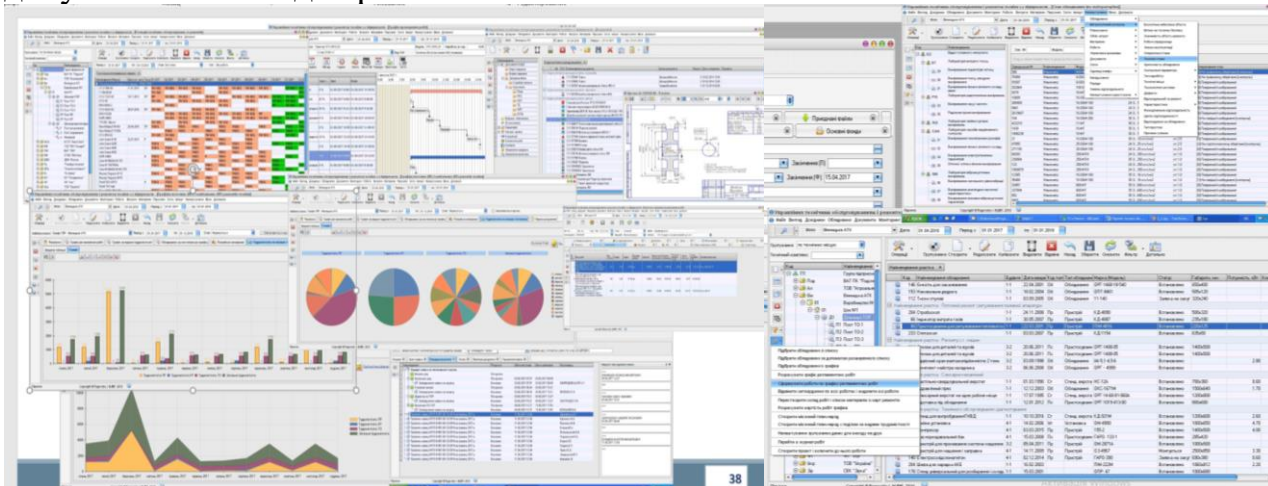


Рис. 28. Вікно інформаційної технології «AgroTechMaintenance»

Запропоновані комплексні заходи дозволили підвищити готовність сільськогосподарських машин на 0,07 і забезпечити при інших рівних умовах збільшення загальної маси прибутку на 2862571 грн в рік. В розрахунку на одиницю якості на один пункт збільшення коефіцієнта готовності сільськогосподарської машини збільшення маси прибутку у споживача складе 408939 грн в рік на один комбайн. Термін окупності проекту в заданих умовах проведення аналізу становить 4,82 роки.

ВИСНОВКИ

1. Виконавши аналіз сучасних методологічних основ і техніко-технологічних заходів підвищення працездатності сільськогосподарських машин встановлено, що на теоретико-множинному рівні весь процес розробки може бути представлений аналітичним виразом (2), який містить сім груп:

I група – множина функцій процесів моніторингу за параметрами технічного стану і відновлення працездатності сільськогосподарських машин;

II група – множина задач, які вирішуються в процесі інженерного моніторингу за параметрами технічного стану і відновлення працездатності сільськогосподарських машин;

III група – множина властивостей і характеристик, які визначаються в процесі інженерного моніторингу за параметрами технічного стану і відновлення працездатності сільськогосподарських машин;

IV група – множина результату інженерного моніторингу за параметрами технічного стану і відновлення працездатності сільськогосподарських машин;

V група – множина персоналу, який відповідає за розробку техніко-технологічних заходів підвищення працездатності сільськогосподарських машин;

VI група – множина об'єктів і процесів інженерного моніторингу за параметрами технічного стану і відновлення працездатності сільськогосподарських машин;

VII група – множина в'язів між компонентами розробки техніко-технологічних заходів підвищення працездатності сільськогосподарських машин.

2. На основі формули Байеса були визначені моделі (8) і (9) періодичність проведення інженерного моніторингу параметрів технічного стану сільськогосподарських машин для виявлення працездатності або непрацездатності з врахуванням зміни з наробітком помилок першого і другого роду. При цьому ймовірність першого виходу параметра технічного стану сільськогосподарської машини за межу допуску a для випадкової функції розраховується за виразом (10). А момент наробітку проведення регулювань параметрів технічного стану сільськогосподарської машини за випадкової функції і перетворивши їх для коефіцієнта варіації і враховуючи, що розподіл випадкової величини із зростаючою інтенсивністю відмов регулюючий вплив доцільний тільки після виходу параметра за межі допуску без апріорної інформації можна визначити за виразом (11).

3. Оптимізація стратегії підвищення працездатності сільськогосподарських машин за відхиленням параметра технічного стану полягає у виборі періодичності T , що відповідає максимуму ймовірності стану працездатності. Для опису зазначеної стратегії приймемо дворівневу (E_+/E_-) модель станів сільськогосподарських машин у вигляді спрямованого графа (рис. 6), за яким модель стратегії підвищення працездатності сільськогосподарських машин за відхиленням параметра технічного стану має підвищення чутливості за рахунок зменшення кількості можливих станів в процесі експлуатації, підвищення достовірності за рахунок розширення з двох до трьох кількості інженерного моніторингу параметрів технічного стану і розширена область ефективного застосування за рахунок врахування ймовірності випадкового процесу виникнення несправності і її розвитку до відмови. Для запропонованої стратегії (рис. 6) встановили аналітичні моделі (12), (13), (14), (15) залежності математичних очікувань сезонного наробітку і частоти позаштатних та сезонного наробітку і частоти нормативних періодичностей інженерного моніторингу параметрів технічного стану сільськогосподарських машин. Варто відмітити монотонний характер отриманих залежностей від досліджуваного параметра керування інженерного моніторингу параметра технічного стану, що є необхідною умовою при виборі його оптимального значення за одним із цільових критеріїв. Запропоновано модель визначення ймовірності працездатності (16) та коефіцієнта готовності (17) сільськогосподарських машин для удосконаленої моделі стратегії. Проведені дослідження підтверджують, що критерій $K_r(t) \Rightarrow \max$ менш чутливий до визначення екстремального значення функції при зміні часу в порівнянні з критерієм $P_1(t) \Rightarrow \max$. Значення оптимальних параметрів отриманих на основі критеріїв $P_1(t) \Rightarrow \max$, $K_r(t) \Rightarrow \max$, $\bar{\omega}_n(t) \Rightarrow \min$ має принципову відмінність з точки зору розробленої дворівневої удосконаленої моделі стратегії підвищення працездатності сільськогосподарських машин.

4. Застосування для визначення оптимального періоду інженерного моніторингу параметрів технічного стану сільськогосподарських машин має бути обмежений з причини достовірності результатів. Значення оптимальних параметрів отриманих на основі критеріїв $P_1(t) \Rightarrow \max$, $K_r(t) \Rightarrow \max$, $\bar{\omega}_n(t) \Rightarrow \min$ має принципову відмінність з точки зору розробленої дворівневої удосконаленої моделі стратегії підвищення працездатності сільськогосподарських машин. Для критеріїв, які характеризують готовність сільськогосподарської машини межа розділу фазового простору станів проявляє максимальну чутливість тільки до закінчення інженерного моніторингу, який має ймовірність $e^{-\omega_d \cdot \tau}$, що робить результат оптимізації дещо завищеним. Для критерія, який характеризує безвідмовність сільськогосподарської машини, межа розділу фазового простору однаково чутливий до всіх можливих виходів інженерного моніторингу, а отримані на його основі оптимальні періоди мають більш низькі значення. Отже існує можливість для формування області прийняття рішення за вибором оптимального періоду підвищення працездатності сільськогосподарських машин в координатах $T_{\text{опт}}(\tau)$ (рис. 11).

5. Проведені експериментальні дослідження дозволили стверджувати, що експлуатаційної довговічності, безвідмовності, ремонтпридатності сільськогосподарських машин за запропонованою стратегією підвищення працездатності не суперечать диференціальній функції теоретичного закону розподілу: логнормальний – інтенсивність відмов (рис. 14б), інтенсивність відновлень (рис. 15), кількість відмов (рис. 18), міжремонтний ресурс (рис. 19б,в), параметр потоку відмов (рис. 21); Гамбеловський – ймовірність безвідмовної роботи (рис. 16); коефіцієнт готовності (рис. 17), наробіток між відмовами (рис. 20б,в); нормальний – міжремонтний ресурс (рис. 19а), наробіток між відмовами (рис. 20а); параметр потоку відмов (рис. 21), тривалість відновлень (рис. 22б); Вейбула-Гнеденко – інтенсивність відмов (рис. 14а,в), тривалість відновлень (рис. 22а); гама – тривалість відновлень (рис. 22в). При цьому математичне очікування показників характеризується:

- інтенсивність відмов для зернозбиральних комбайнів – $0,196 \text{ відмов}^{-1}$, бурякозбиральних машин – $0,237 \text{ відмов}^{-1}$, кормозбиральних комбайнів – $0,654 \text{ відмов}^{-1}$, що, відповідно, на 11,2%, 9,8% і 12,3% більше в порівнянні з базовою стратегією;

- інтенсивність відновлень для зернозбиральних комбайнів – $0,172 \text{ люд.-годин}^{-1}$, бурякозбиральних машин – $0,242 \text{ люд.-годин}^{-1}$, кормозбиральних комбайнів – $0,384 \text{ люд.-годин}^{-1}$, що, відповідно, на 10,8%, 10,1% і 11,7% більше в порівнянні з базовою стратегією;

- ймовірність безвідмовної роботи для зернозбиральних комбайнів – $0,903$, бурякозбиральних машин – $0,928$, кормозбиральних комбайнів – $0,972$, що, відповідно, на 10,6%, 9,3% і 12,1% більше в порівнянні з базовою стратегією;

- коефіцієнт готовності для зернозбиральних комбайнів – $0,952$, бурякозбиральних машин – $0,964$, кормозбиральних комбайнів – $0,986$, що, відповідно, на 7,1%, 7,3% і 6,9% більше в порівнянні з базовою стратегією;

- кількості відмов для зернозбиральних комбайнів – $5,66 \text{ відмов}$,

бурякозбиральних машин – 4,25 відмов, кормозбиральних комбайнів – 4,61 відмов, що, відповідно, на 11,3%, 12,7% і 12,8% менше в порівнянні з базовою стратегією;

- міжремонтний ресурс для зернозбиральних комбайнів – 427,4 га, бурякозбиральних машин – 333,1 га, кормозбиральних комбайнів – 283,2 га, що, відповідно, на 14,3%, 16,7% і 14,9% більше в порівнянні з базовою стратегією;

- наробіток між відмовами для зернозбиральних комбайнів – 81,6 га, бурякозбиральних машин – 79,1 га, кормозбиральних комбайнів – 76,8 га, що, відповідно, на 11,2%, 12,4% і 11,8% більше в порівнянні з базовою.

- параметр потоку відмов для зернозбиральних комбайнів – 0,013 відмов/га, бурякозбиральних машин – 0,011 відмов/га, кормозбиральних комбайнів – 0,012 відмов/га, що, відповідно, на 12,7%, 13,1% і 12,8% менше в порівнянні з базовою стратегією.

- тривалість відновлень для зернозбиральних комбайнів – 6,41 люд.-годин, бурякозбиральних машин – 4,47 люд.-годин, кормозбиральних комбайнів – 2,83 люд.-годин, що, відповідно, на 15,2%, 18,3% і 16,3% менше в порівнянні з базовою стратегією.

6. Результати досліджень сільськогосподарських машин дозволяють констатувати, на частку контрольно-заправних і мастильно-заправних робіт при технічному обслуговуванні приходиться біля 30% всієї трудомісткості технічного обслуговування. Загальна кількість точок мащення 24-76, заправлення і зливання досягає 2-15 одиниць, а сортів застосовуваних олив і мастил – 3-8. Низькі показники стабільності кріплення на машинах пояснюється відсутністю самоконтруючих різьбових з'єднань, низькою якістю матеріалів кріпильних матеріалів. До 36% трудомісткості приходиться на виконання допоміжних робіт з причини низької доступності до місць контролю і під'єднання контрольно-регулювальних засобів. Ергономічність машини характеризується зручністю виконання операцій в процесі його технічного обслуговування. Так зміна поз дозволяє на мастильних операціях змінити продуктивність праці з 520 до 260 рухів в годину. Виявлено порушення правил технічного обслуговування зернозбирального комбайна та встановлено вагомість події: неправильне регулювання тиску початку впорскування палива, неякісний розпил – 0,463; зазори в клапанному механізмі газорозподільника за межами допустимих значень – 0,348; гранична забрудненість касет повітроочисника; порушення герметичності впускного тракту – 0,307; неправильна установка кута випередження подачі палива – 0,233.

7. Запровадження комплексних техніко-технологічних заходів підвищення працездатності сільськогосподарських машин на агропідприємстві істотно покращує показники щодо скорочення часу простою на 15-18% в порівнянні з діючою на підприємстві планово-попереджувальною системою обслуговування сільськогосподарських машин. При експлуатації сільськогосподарських машин з системою комплексних техніко-технологічних заходів підвищення працездатності середнє напрацювання на відмову збільшилося на 18,9%, при цьому питомі витрати знизилися на 26,8%, що є

відповідним значенням і знаходиться в межах точності моделювання. Однак це можна пояснити тим, що елементи, які вибирали, мають низьку ймовірністю на відмову, яка для більшості елементів знаходиться в межах 0,5-0,7.

8. Вплив числових характеристик часу виконання технологічних операцій на зміну фактичної кількості технічних обслуговувань практично достатньо мале 0,5%. При умові стабільності в наробітку сільськогосподарської машини в процесі їх технічної експлуатації коефіцієнт варіації часу між технічними обслуговуваннями за сільськогосподарською машиною має малі значення до 0,05...0,10, в зв'язку з чим відбувається незначне відхилення фактичної кількості технічних обслуговувань від прогнозованих, а також має місце висока до 0,85...0,95 ймовірність співпадіння прогнозованих і фактичних термінів до 0,85.

9. В діючій нормативній документації із забезпечення працездатності сільськогосподарських машин наявні наступні недоліки: 48% посилення на національні і галузеві стандарти, які втратили чинність дії; 23% занижені і 7% взагалі не обумовлюють показники якості виконання технологічного процесу підвищення працездатності сільськогосподарських машин; 11% не вказують умови експлуатації сільськогосподарських машин; 18% містять занижені експлуатаційні показники надійності сільськогосподарських машин. На сьогоднішній день систему техніко-технологічних заходів підвищення працездатності сільськогосподарських машин унормовують шість законодавчих і чотири нормативні документи та не діє жодна державна цільова економічна програма.

10. Запропоновані комплексні заходи дозволили підвищити готовність сільськогосподарських машин на 0,07 і забезпечить при інших рівних умовах збільшення загальної маси прибутку на 2862571 грн в рік. В розрахунку на один пункт збільшення коефіцієнта готовності сільськогосподарської машини збільшення прибутку у споживача складе 408939 грн в рік на один комбайн. Термін окупності проєкту в заданих умовах проведення аналізу становить 4,82 роки.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Статті у наукових фахових виданнях України:

1.Роговський І. Л. Обґрунтування періодичності профілактичних регулювань або замін деталей при технічному обслуговуванні сільськогосподарських машин. Вісник Харківського державного технічного університету сільського господарства. Харків. 2003. Вип. 20. С. 346–352.

2.Роговський І. Л. Обґрунтування періодичності проведення профілактичних заходів технічного обслуговування сільськогосподарських машин. Вісник Харківського державного технічного університету сільського господарства. Харків. 2003. Вип. 21. С. 366–373.

3.Роговський І. Л. Аналітичні дослідження обґрунтування періодичності технічного обслуговування сільськогосподарських машин. Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. Кіровоград. 2003. Вип. 33. С. 209–215.

4.Роговський І. Л. Удосконалення технології технічного обслуговування зернозбиральних комбайнів. Праці Таврійської державної агротехнічної академії. Мелітополь. 2003. Вип. 16. С. 123–127.

5.Роговський І. Л. Аналіз форм процесу технічного обслуговування сільськогосподарських машин. Механізація виробничих процесів рибного господарства, промислових і аграрних підприємств. Керч. 2004. Вип. 5. С. 278–285.

6.Роговський І. Л. Фактична періодичність проведення технічного обслуговування сільськогосподарських машин. Вісник Харківського державного технічного університету сільського господарства. Харків. 2004. Вип. 23. С. 338–342.

7.Роговський І. Л. Методичне обґрунтування періодичності технічного обслуговування сільськогосподарських машин. Вісник Львівського державного аграрного університету. Серія: агроінженерні дослідження. Дубляни. 2004. Вип. 8. С. 149–157.

8.Роговський І. Л. Показники технічного стану зернозбиральних комбайнів і послідовність їх визначення при технічному обслуговуванні. Науковий вісник Національного аграрного університету. Київ. 2004. Вип. 73. С. 192–197.

9.Роговський І. Л. Аналітичне визначення факторів впливу на коефіцієнт готовності сільськогосподарських машин в системі їх технічного обслуговування. Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. Кіровоград. Вип. 35. С. 224–228.

10.Роговський І. Л. Відмови зернозбиральних комбайнів в умовах рядової експлуатації та їх класифікація. Науковий вісник Національного аграрного університету. Київ. 2005. Вип. 80. С. 200–206.

11.Роговський І. Л. Пристосованість до технічного обслуговування кормозбирального комбайна. Праці Таврійської державної агротехнічної академії. Мелітополь. 2006. Вип. 36. С. 39–44.

12.Роговський І. Л. Безвідмовність складальних одиниць сільськогосподарських машин при поступових відмовах. Праці Таврійської державної агротехнічної академії. Мелітополь. 2006. Вип. 37. С. 67–71.

13.Роговський І. Л. Сезонні показники експлуатаційної безвідмовності і ремонтпридатності зернозбиральних комбайнів. Науковий вісник Національного аграрного університету. Київ. 2006. Вип. 101. С. 199–203.

14.Роговський І. Л. Методологічність технічного обслуговування при зберіганні сільськогосподарських машин. Праці Таврійської державної агротехнічної академії. Мелітополь. 2006. Вип. 41. С. 112–118.

15.Роговський І. Л. Оцінювання пристосованості до технічного обслуговування зернозбирального комбайна. Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства України. Дослідницьке. 2006. Вип. 9. Кн. 2. С. 236–241.

16.Роговський І. Л. Оцінка безвідмовності газорозподільного механізму зернозбирального комбайна "Славутич" і періодичність його регулювання при

технічному обслуговуванні. Механізація і електрифікація сільського господарства. Глеваха. 2006. Вип. 90. С. 135–142.

17.Роговський І. Л. Методично-технологічний підхід до технічного обслуговування сільськогосподарських машин. Вісник Львівського державного аграрного університету. Серія: агроінженерні дослідження. Дубляни. 2006. Вип. 10. С. 86–92.

18.Роговський І. Л. Загальні вимоги до технічного обслуговування сільськогосподарських машин. Вісник Сумського національного аграрного університету: Серія: механізація та автоматизація виробничих процесів. 2006. Вип. 9 (15). С. 72–77.

19.Роговський І. Л. Аспект стандартизації в оцінюванні складової ремонтпридатності – пристосованості до технічного обслуговування сільськогосподарських машин. Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. Харків. 2007. Вип. 51. С. 84–89.

20.Роговський І. Л. Класифікаційні ознаки засобів технічного обслуговування сільськогосподарських машин. Праці Таврійської державної агротехнічної академії. Мелітополь. 2007. Вип. 7. Т. 2. С. 20–24.

21.Роговський І. Л. Методичні положення до експлуатаційних вимог безпеки технічного стану самохідних сільськогосподарських машин. Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства України. Дослідницьке. 2007. Вип. 10. С. 132–140.

22.Роговський І. Л. Методи оцінювання зручності і доступності технологічних операцій технічного обслуговування сільськогосподарських машин. Праці Таврійської державної агротехнічної академії. Мелітополь. 2007. Вип. 7. Т. 4. С. 136–141.

23.Роговський І. Л. Методичні положення оцінювання пристосованості до технічного обслуговування сільськогосподарських машин. Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. Кіровоград. 2007. Вип. 37. С. 175–180.

24.Роговський І. Л. Методичні принципи організації технології технічного обслуговування сільськогосподарських машин. Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. Харків. 2007. Вип. 67. Т. 1. С. 55–61.

25.Роговський І. Л. Оцінювання пристосованості сільськогосподарських машин до зберігання. Науковий вісник Національного аграрного університету. Київ. 2007. Вип. 115. С. 161–166.

26.Роговський І. Л. Ефективність технічного обслуговування зернозбиральних комбайнів. Вісник Львівського національного аграрного університету. Серія: агроінженерні дослідження. Дубляни. 2008. Вип. 12. Т. 1. С. 472–478.

27.Роговський І. Л. Системність засобів оснащення технічного обслуговування сільськогосподарських машин. Праці Таврійського державного агротехнічного університету. Мелітополь. 2008. Вип. 8. Т. 9. С. 60–65.

28.Роговський І. Л. Методичні положення опису працездатності сільськогосподарських машин з резервуванням. Сільськогосподарські машини. Луцьк. 2008. Вип. 17. С. 113–118.

29.Роговський І. Л. Формалізація умов виробництва з технічного обслуговування сільськогосподарських машин. Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства України. Дослідницьке. 2009. Вип 3. Кн. 1. С. 137–145.

30.Роговський І. Л. Формалізація процесу відновлення в системі технічного обслуговування сільськогосподарських машин. Праці Таврійської державного агротехнічного університету. Мелітополь. 2009. Вип. 9. Т. 1. С. 120–124.

31.Роговський І. Л. Оцінка ефективності контролю параметрів технічного стану сільськогосподарських машин. Праці Таврійської державного агротехнічного університету. Мелітополь. 2009. Вип. 9. Т. 4. С. 22–30.

32.Роговський І. Л. Аналітичний опис потреби в засобах технічного обслуговування сільськогосподарських машин. Праці Таврійської державного агротехнічного університету. Мелітополь. 2009. Вип. 9. Т. 5. С. 108–114.

33.Роговський І. Л. Аналітичні положення стандартизації оцінки технічного рівня продукції сільськогосподарського машинобудування. Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. Харків. 2010. Вип. 93. С. 238–245.

34.Роговський І. Л. Технічні вимоги до гарантійного технічного обслуговування сільськогосподарських машин. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК. Київ. 2010. Вип. 144. Ч. 3. С. 286–291.

35.Роговський І. Л. Аналітична формалізація мети системи технічного обслуговування сільськогосподарських машин. Праці Таврійської державного агротехнічного університету. Мелітополь. 2011. Вип. 11. Т. 1. С. 177–183.

36.Роговський І. Л. Формалізація ергономічності сільськогосподарських машин в системі їх технічного обслуговування. Праці Таврійської державного агротехнічного університету. Мелітополь. 2011. Вип. 11. Т. 2. С. 161–170.

37.Роговський І. Л. Фактори впливу на надійність сільськогосподарських машин в системі технічного обслуговування. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК. Київ. 2011. Вип. 166. Ч. 2. С. 244–253.

38.Роговський І. Л. Нормативність оцінки технічного рівня сільськогосподарських машин. Праці Таврійської державного агротехнічного університету. Мелітополь. 2012. Вип. 2. Т. 3. С. 120–130.

39.Роговський І. Л. Технологічний підхід до технічного обслуговування сільськогосподарських машин. Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. Харків. 2013. Вип. 134. С. 276–281.

40.Роговський І. Л. Відновлення працездатності складальних одиниць сільськогосподарської машини. Вісник Харківського національного технічного

університету сільського господарства імені Петра Василенка. Харків. 2015. Вип. 159. С. 224–232.

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

41.Роговський І. Л. Методологія оцінення технології технічного обслуговування сільськогосподарських машин. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК. Київ. 2012. Вип. 170. Ч. 2. С. 368–375.

42. **Роговський І. Л.,** Дубровін В. О. Методологія технічного обслуговування сільськогосподарських машин. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК. Київ. 2013. Вип. 185. Ч. 2. С. 372–379. *(Здобувачем виконано структурування та опис методологічних ознак технічного обслуговування).*

43.Роговський І. Л. Стохастичність забезпечення працездатності сільськогосподарських машин. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК. Київ. 2014. Вип. 196. Ч. 3. С. 226–232.

44.Роговський І. Л. Методологічність виконання технологічних операцій відновлення працездатності сільськогосподарських машин при обмежених ресурсах. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК. Київ. 2015. Вип. 212. Ч. 1. С. 314–322.

45. **Rogovskii I. L.,** Melnyk V. I. Model of parametric synthesis rehabilitation agricultural machines. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК. Київ. 2016. Вип. 241. С. 387–395. *(Здобувачем виконано структурування та опис моделей відновлення сільськогосподарських машин).*

46. **Rogovskii I. L.,** Melnyk V. I. Analyticity of spatial requirements for maintenance of agricultural machinery. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК. Київ. 2016. Вип. 251. С. 400–407. *(Здобувачем виконано структурування та опис просторових вимог на технічне обслуговування сільськогосподарських машин).*

47. Rogovskii I. L. Analysis of model of recovery of agricultural machines and interpretation of results of numerical experiment. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК. Київ. 2016. Вип. 254. С. 424–431.

48. Rogovskii I. L. Probability of preventing loss of efficiency of agricultural machinery during exploitation. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК. Київ. 2017. Вип. 258. С. 399–407.

49. Rogovskii I. L. Conceptual framework of management system of failures of agricultural machinery. Науковий вісник Національного університету біоресурсів

і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК. Київ. 2017. Вип. 262. С. 403–411.

50.Роговський І. Л. Загальні теоретичні положення технічного контролю паливної апаратури сільськогосподарських машин за параметрами процесу паливоподачі. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК. Київ. 2017. Вип. 275. С. 356–371.

51.Роговський І. Л. Основні чинники забезпечення продуктивності процесів відновлення працездатності сільськогосподарських машин. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК. Київ. 2018. Вип. 282. С. 379–394.

52.Роговський І. Л. Методологічні підходи ефективності забезпечення коефіцієнта готовності сільськогосподарських машин. *Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research*. Kyiv. Ukraine. 2019. Vol. 10. No 1. P. 177–187. <http://dx.doi.org/10.31548/machenergy2019.01.177>.

53.Роговський І. Л. Аналітичність механізму відновлення працездатності сільськогосподарських машин на основі залишкового ресурсу. *Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research*. Kyiv. Ukraine. 2019. Vol. 10. No 2. P. 175–179. <http://dx.doi.org/10.31548/machenergy2019.02.175>.

54.Роговський І. Л. Системний підхід обґрунтування нормативів відновлення працездатності сільськогосподарських машин. *Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research*. Kyiv. Ukraine. 2019. Vol. 10. No 3. P. 181–187. <http://dx.doi.org/10.31548/machenergy2019.03.181>.

55.Роговський І. Л. Системність забезпечення відновлення працездатності сільськогосподарських машин за ступенем витрат їх ресурсу. *Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research*. Kyiv. Ukraine. 2019. Vol. 10. No 4. P. 145–150. <http://dx.doi.org/10.31548/machenergy2019.04.145>.

56.Роговський І. Л. Алгоритмічність визначення періодичності відновлення працездатності сільськогосподарських машин за ступенем витрат їх ресурсу. *Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research*. Kyiv. Ukraine. 2020. Vol. 11. No 1. P. 155–162. <http://dx.doi.org/10.31548/machenergy2020.01.155>.

57.Роговський І. Л. Узагальнена математична модель індексу технічного стану сільськогосподарської машини при втраті її працездатності. *Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research*. Kyiv. Ukraine. 2020, Vol. 11. No 2. P. 187–196. <http://dx.doi.org/10.31548/machenergy2020.02.187>.

58.Роговський І. Л. Модель стохастичного процесу відновлення працездатності сільськогосподарської машини в безінерційних системах із запізненням. *Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research*. Kyiv. Ukraine. 2020. Vol. 11. No 3. P. 143–150. <http://dx.doi.org/10.31548/machenergy2020.03.143>.

59.Роговський І. Л. Узагальнення сучасних методологій розробки системи відновлення працездатності сільськогосподарських машин. Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. Мелітополь, 2020. Вип. 20. Т. 3. С. 19–28. doi:10.31388/2078-0877-2020-20-3-19-27.

Статті у наукових виданнях інших держав:

60. Rogovskii Ivan. Methods of solution adaptivity of system of technical service of agricultural machines. MOTROL. Lublin. 2010. Vol. 12B. P. 153–158.
61. Rogovskii Ivan. Impact of reliability on frequency of maintenance of agricultural machinery. MOTROL. Lublin. 2011. Vol. 13B. P. 92–97.
62. **Rogovskii Ivan**, Dubrovin Valeriy. Procedure of prediction of final resource of mechanisms of agricultural machines. MOTROL. Lublin. 2012. Vol. 14. No 3. P. 200–205. (*Здобувачем виконано структурування та опис методу*).
63. Rogovskii Ivan. Methodology of development of normative documents ensure the efficiency of agricultural machines. MOTROL. Lublin. 2014. Vol. 16. No 2. P. 253–264.
64. Rogovskii Ivan. Stochastic models ensure the efficiency of agricultural machines. MOTROL. Lublin. 2014. Vol. 16. No 3. P. 296–302.
65. Rogovskii Ivan. Graph-modeling when the response and recovery of agricultural machinery. MOTROL. Lublin. 2016. Vol. 18. No 3. P. 155–164.
66. Rogovskii Ivan. Analytical provision of regular preventive maintenance of agricultural machinery and system implementation. MOTROL. Lublin. 2017. Vol. 19. No 3. P. 185–191.
67. Rogovskii Ivan. Choice of model class and method of modeling the resilience of agricultural machinery. ТЕКА. Lublin–Rzeszów. 2017. Vol. 17. No 3. P. 101–114.
68. Rogovskii Ivan. Methodological bases of adaptive system of maintenance of agricultural machines. LUCRĂRI ȘTIINȚIFICE. Chișinău. 2018. Vol. 51: Inginerie agrară. P. 250–254.

Національні і галузеві стандарти України:

69. Сільськогосподарська техніка. Правила побудови, викладання, оформлення та вимоги до змісту документації на технічне обслуговування і ремонт. Галузевий стандарт України: СОУ 29.3-37-123:2004. Людвиченко Г., Ніколенко А., Примакова Г., Молодик М, Моргун А., **Роговський І.**, Чумак В., Шаповал Л. Мін-во агропромислового комплексу України. На заміну ОСТ 10.05.0001.001-87. Чинний від 01.03.05. Київ. 2004. 31 с. (*Здобувачем розроблено п. 6.4 Настанова з технічного обслуговування. С. 15–16.*).
70. Трактори і машини сільськогосподарські. Засоби технічного обслуговування. Загальні технічні вимоги. Галузевий стандарт України: СОУ 29.3-37-445:2006. Молодик М., **Роговський І.** Мін-во агропромислового комплексу України. На заміну ОСТ 70.0001.112-83. Чинний від 01.04.07. Київ. 2006. 28 с. (*Здобувачем розроблено розділи 3-5, додаток А. С. 8–23.*).
71. Машини сільськогосподарські. Методи оцінювання пристосованості до технічного обслуговування. Національний стандарт України: ДСТУ 4748:2007. Молодик М., **Роговський І.** Держспоживстандарт України. На заміну ГОСТ 26026-83. Чинний від 01.01.09. Київ. 2008. 32 с. (*Здобувачем розроблено розділи 3-8, додатки А-К. С. 3–24.*).

Патент України на винахід:

72. Патент на винахід України №121624, МПК (2006) F02M 65/00. Пристрій для діагностування паливної апаратури дизельних двигунів. **Роговський І. Л.**, Топчій С. І., Кириченко О. М., Попик П. С. Державна служба інтелектуальної власності України. Київ. № u201812152, заявлено від 07.12.2018; опубліковано 25.06.2020, Бюлетень № 12/2020. *(Здобувачем обґрунтовано формулу винаходу).*

Патенти України на корисну модель:

73. Патент на корисну модель України №15051, G01L 3/10. Пристрій для визначення технічного стану ходових систем та силових передач сільськогосподарської техніки за моментом опору провертанню. **Роговський І. Л.**, Ляшенко М. В., Соколенко О. М., Півень М. Д. Державний департамент інтелектуальної власності. Київ. № u 200511511, заявлено від 05.12.2005; опубліковано 15.06.2006, Бюлетень № 6/2006. *(Здобувачем обґрунтовано формулу винаходу).*

74. Патент на корисну модель України №115438, B66F 5/00. Ручний підіймач технічного обслуговування сільськогосподарської техніки. Войтюк В. Д., **Роговський І. Л.**, Тітова Л. Л., Надточій О. В. Державна служба інтелектуальної власності України. Київ. № u 201612548, заявлено від 09.12.2016; опубліковано 10.04.2017, Бюлетень № 7/2017. *(Здобувачем обґрунтовано формулу винаходу).*

75. Патент на корисну модель України №124127, B60P 3/00. Мобільний засіб відновлення працездатності сільськогосподарських машин. Роговський І. Л. Державна служба інтелектуальної власності України. Київ. № u201709304, заявлено від 22.09.2017; опубліковано 26.03.2018, Бюлетень № 6/2018.

76. Патент на корисну модель України №124718, B66F 5/00. Мобільний засіб відновлення працездатності сільськогосподарських машин. Роговський І. Л. Державна служба інтелектуальної власності України. Київ. № u201709305, заявлено від 22.09.2017; опубліковано 24.04.2018, Бюлетень №8/2018.

77. Патент на корисну модель України №124719, B66F 5/00. Мобільний засіб відновлення працездатності сільськогосподарських машин. Роговський І. Л. Державна служба інтелектуальної власності України. Київ. № u201709306, заявлено від 22.09.2017; опубліковано 24.04.2018, Бюлетень №8/2018.

Статті в інших наукових виданнях України:

78. Роговський І. Л. Технологія технічного обслуговування вітчизняних бурякозбиральних машин в постамортизаційний термін. Збірник наукових праць Подільської державної аграрно-технічної академії. Кам'янець-Подільський. 2003. Вип. 11. С. 330–333.

79. Роговський І. Л. Регламентування профілактичних заходів технічного обслуговування сільськогосподарських машин. Вісник Полтавської державної аграрної академії. Полтава. 2006. № 4 (43). С. 83–86.

80. Роговський І. Л. Методичні положення класифікації трудових процесів ремонту і технічного обслуговування техсервісних підприємств АПК. Продуктивність агропромислового виробництва. Київ. 2008. Вип. 9. С. 25–35.

Науково-методичні рекомендації:

81. **Роговський І. Л.**, Голопапа В. М., Роговський Л. Л., Смашнюк О. В. Настанови з технічного обслуговування зернозбиральних комбайнів: рекомендації для агропромислових підприємств України. Глеваха. 2003. 98 с. *(Здобувачем виконано структурування та опис технології технічного обслуговування)*.

82. Гуков Я. С., Молодик М. В., **Роговський І. Л.**, Моргун А. М., Шаповал Л. І., Чумак В. К., Тивоненко І. Г., Науменко О. А., Сідашенко О. І., Тихонов О. В., Харченко Б. Г. Концепція розвитку технічного сервісу в агропромисловому комплексі України: рекомендації для агропромислових підприємств України. Глеваха. 2004. 59 с. *(Здобувачем обґрунтовано концепцію підтримання працездатності сільськогосподарських машин)*.

83. Вітвіцький В. В., **Роговський І. Л.**, Лосина М. С., Смаглюк А. М., Александров М. С., Весна О. М., Хауха Н. М., Арестенко В. В., Галушка Н. К., Апполонова Л. А., Нерубайська Н. І., Кожушко М. М., Степаненко В. М. Методика розробки та типові норми часу на ремонт і технічне обслуговування зерно- та кукурудозбиральних комбайнів: рекомендації для агропромислових підприємств України. Київ. 2007. 649 с. *(Здобувачем обґрунтовано норми на технічне обслуговування і класифікацію трудових процесів)*.

84. Вітвіцький В. В., **Роговський І. Л.**, Лосина М. С., Александров М. С., Хауха Н. М., Гайдай Н. Є., Весна О. М., Суховій О. П., Соловей А. І. Методика розробки та типові норми часу на ремонт і технічне обслуговування кормозбиральних та зерноочисних машин: рекомендації для агропромислових підприємств України. Київ. 2008. 353 с. *(Здобувачем обґрунтовано норми на технічне обслуговування і класифікацію трудових процесів)*.

85. Вітвіцький В. В., **Роговський І. Л.**, Лосина М. С., Александров М. С., Хауха Н. М., Арестенко В. В., Нечипорук А. А., Хохуляк В. Т., Біденко О. П., Довжан Л. Л., Сунко М. В., Ничипоренко І. І., Максимчук М. А., Джулай В. І. Методика розробки та типові норми часу на ремонт і технічне обслуговування машин для вирощування та збирання технічних і овочевих культур: рекомендації для агропромислових підприємств України. Київ. 2009. 336 с. *(Здобувачем обґрунтовано норми на технічне обслуговування і класифікацію трудових процесів)*.

86. Вітвіцький В. В., Лосина М. С., **Роговський І. Л.**, Хауха Н. М., Гайдай Н. Є. Класифікатор трудових процесів ремонту і технічного обслуговування зерно- та кукурудозбиральних комбайнів: рекомендації для агропромислових підприємств України. Київ. 2007. 52 с. *(Здобувачем*

обґрунтовано структурування та здійснено опис класифікаційних ознак технічного обслуговування).

87. Роговський І. Л. Експлуатаційні вимоги безпеки до технічного стану сільськогосподарських самохідних машин: рекомендації для агропромислових підприємств України. Київ. 2013. 40 с.

88. Войтюк В. Д., **Роговський І. Л.**, Тітова Л. Л., Грубрін О. М. Методичні рекомендації з обґрунтування параметрів системи технічного обслуговування сільськогосподарської техніки: рекомендації для агропромислових підприємств України. Київ. 2015. 84 с. *(Здобувачем обґрунтовано структурування та здійснено опис параметрів системи технічного обслуговування).*

89. Войтюк В. Д., **Роговський І. Л.**, Тітова Л. Л., Грубрін О. М. Методичні рекомендації з обґрунтування режимів системи технічного обслуговування сільськогосподарської техніки: рекомендації для агропромислових підприємств України. Київ. 2016. 28 с. *(Здобувачем обґрунтовано структурування та здійснено опис режимів системи технічного обслуговування).*

90. Войтюк В. Д., **Роговський І. Л.** Технологія технічного обслуговування сільськогосподарської техніки: рекомендації для агропромислових підприємств України. Київ. 2016. 86 с. *(Здобувачем обґрунтовано структурування та здійснено опис технології технічного обслуговування).*

Тези наукових доповідей:

91. Роговський І. Л. Ймовірність співпадання прогнозованих і фактичних технічних обслуговувань сільськогосподарських машин. Агромех-2004: Міжнародна науково-практична конференція, смт. Дубляни, Україна, 22–24 вересня 2004 року: матеріали конференції. Дубляни. 2004. С. 205–212.

92. Роговський І. Л. Оцінка безвідмовності сільськогосподарських машин через характеристику потоку відмов. Вісник Степу: I Всеукраїнська науково-практична конференція молодих вчених і спеціалістів, смт. Созонівка, Україна, 15–17 березня 2005 року: матеріали конференції. Созонівка. 2005. С. 108–110.

93. Роговський І. Л. Загальні вимоги до технічного обслуговування сільськогосподарських машин. Технологія XXI сторіччя: XIII Міжнародна наукова конференція, м. Алушта, Україна, 11–17 вересня 2006 року: матеріали конференції. Алушта. 2006. С. 68–69.

94. Роговський І. Л. Методичний підхід до технічного обслуговування сільськогосподарських машин. Теорія і практика розвитку АПК: Міжнародна науково-практична конференція, смт. Дубляни, Україна, 19–20 вересня 2006 року: матеріали конференції. Дубляни. 2006. Т. 2. С. 317–322.

95. Роговський І. Л. Методологічні етапи технології технічного обслуговування сільськогосподарських машин. Технічний прогрес у сільськогосподарському виробництві: XIV Міжнародна науково-практична

конференція. смт. Глеваха, Україна, 10–13 жовтня 2006 року: тези конференції. Глеваха, 2006. С. 52–61.

96. Роговський І. Л. Аналіз місця проведення операцій технічного обслуговування сільськогосподарських машин. Технологія ХХІ сторіччя: XIV Міжнародна наукова конференція, м. Алушта, Україна, 11–17 вересня 2007 року: матеріали конференції. Алушта. 2007. С. 19–21.

97. Роговський І. Л. Аналіз методичних положень обґрунтування періодичності технічного обслуговування сільськогосподарських машин. Вісник Степу: III Всеукраїнська науково-практична конференція молодих вчених і спеціалістів, смт. Созонівка, Україна, 14–16 березня 2007 року: матеріали конференції. Созонівка. 2007. Вип. 4. С. 248–253.

98. Молодик М. В., **Роговський І. Л.** Перспективи структур з надання послуг технічного обслуговування сільськогосподарських машин. Перспективна техніка і технології – 2007: III Міжнародна науково-практична конференція, м. Миколаїв, Україна, 11–13 вересня 2007 року: матеріали конференції. Миколаїв. 2007. С. 101–103. (*особистий внесок – аналіз та схематизація структур технічного обслуговування*).

99. Роговський І. Л. Методичні положення оцінювання пристосованості до зберігання сільськогосподарських машин. Сучасні проблеми землеробської механіки: IX Міжнародна науково-практична конференція, смт. Дубляни, Україна, 17–18 жовтня 2008 року: матеріали конференції. Дубляни. 2008. Вип. 12. Т. 2. С. 67–75.

100. Роговський І. Л. Показники надійності продукції сільськогосподарського машинобудування під час сезону її експлуатації. Прогресивна техніка та технологія – 2009: X Міжнародна науково-практична конференція, м. Севастополь, Україна, 22–25 червня 2009 року: тези конференції. Севастополь, 2009. С. 34.

101. Роговський І. Л. Аналітичні положення опису процесу відновлення з обмеженнями в системі технічного обслуговування сільськогосподарських машин. Вісник Степу: V Всеукраїнська науково-практична конференція молодих вчених і спеціалістів, смт. Созонівка, Україна, 26–27 березня 2009 року: матеріали конференції. Созонівка. 2009. Вип. 6. С. 171–173.

102. Роговський І. Л. Стандартизація вимог до засобів технічного обслуговування сільськогосподарських машин. X вузівська конференції науково-педагогічних працівників та аспірантів Навчально-наукового технічного інституту Національного університету біоресурсів і природокористування України, м. Київ, Україна, 15–19 березня 2010 року: тези конференції. Київ. 2010. С. 44–45.

103. Роговський І. Л. Нормативність пристосованості до технічного обслуговування сільськогосподарських машин. XI вузівська конференції науково-педагогічних працівників та аспірантів Навчально-наукового технічного інституту Національного університету біоресурсів і природокористування України, м. Київ, Україна, 21–25 березня 2011 року: тези конференції. Київ. 2011. С. 8–10.

104. Роговский И. Л. Инновационность стандартизации сельскохозяйственных машин в системе их технического обслуживания. Международная научно-практическая конференция, посвященная 5-летию Института ДПО кадров АПК ФГБОУ ВПО Саратовский ГАУ имени Н. И. Вавилова, г. Саратов, Российская Федерация, 24–26 апреля 2012 года: материалы конференции. Саратов, 2012. С. 244–250.

105. Роговський І. Л. Метод визначення трудомісткості за видами технічного обслуговування сільськогосподарських машин. Технічний прогрес у сільськогосподарському виробництві: XX Міжнародна науково-технічна конференція, смт. Глеваха, Україна, 22–24 травня 2012 року: матеріали конференції. Глеваха, 2012. С. 141–142.

106. Роговський І. Л. Структуризація чинників впливу на трудомісткість технічного обслуговування сільськогосподарських машин. Проблеми та перспективи розвитку технічних та біоенергетичних систем природокористування: XII всеукраїнська конференція науково-педагогічних працівників та аспірантів Навчально-наукового технічного інституту Національного університету біоресурсів і природокористування України, м. Київ, Україна, 2–6 квітня 2012 року: тези конференції. Київ. 2012. С. 43–44.

107. Роговський І. Л. Аналітична модель режимів технічних обслуговувань сільськогосподарських машин. Екобіотехнології та біопалива в АПК – Energia 2012: VI Міжнародна наукова конференція, м. Київ, Україна, 27 вересня – 03 жовтня 2012 року: тези конференції. Київ. 2012. С. 144–146.

108. Роговський І. Л. Визначення коефіцієнту готовності сільськогосподарських машин в системі технічного обслуговування. Earth Bioresources and Environmental Biosafety: Challenges and Opportunities: Міжнародна наукова конференція, м. Київ, Україна, 4–8 листопада 2013 року: тези конференції. Київ. 2013. С. 56–57.

109. Роговський І. Л. Коефіцієнт готовності сільськогосподарських машин системи технічного обслуговування. 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 конференції. Київ. 2013. С. 120–121.

110. Роговський І. Л. Основні положення концепції системи технічного обслуговування сільськогосподарських машин. Перспективи та тенденції розвитку конструкцій сільськогосподарських машин та знарядь: I всеукраїнська науково-практична конференція студентів та молодих науковців, м. Житомир, Україна, 16–17 жовтня 2014 року: тези конференції. Житомир. 2014. С. 39–40.

111. Роговський І. Л. Вибір параметрів технічного стану сільськогосподарських машин. Проблеми та перспективи розвитку технічних та біоенергетичних систем природокористування: XV міжнародна конференція науково-педагогічних працівників, наукових співробітників та аспірантів, м. Київ, Україна, 23–27 березня 2015 року: тези конференції. Київ. 2015. С. 73–76.

112. Роговський І. Л. Інновації системи відновлення працездатності сільськогосподарських машин. Інноваційний розвиток аграрної сфери: III Міжнародна наукова конференція, м. Київ, Україна, 19–21 березня 2015 року: тези конференції. Київ. 2015. С. 66–67.

113. Роговський І. Л. Оцінення економічної ефективності системи забезпечення працездатності сільськогосподарських машин. Крамаровські читання: II Міжнародна науково-технічна конференція, м. Київ, Україна, 17–18 лютого 2015 року: тези конференції. Київ. 2015. С. 142–146.

114. Роговський І. Л. Завдання із працездатності сільськогосподарських машин у виробництві органічної продукції АПК. Інноваційне забезпечення виробництва органічної продукції та біопалива в АПК: III Міжнародна наукова конференція, м. Київ, Україна, 5–6 червня 2015 року: тези конференції. Київ. 2015. С. 24–26.

115. Роговський І. Л. Обґрунтування системності відновлення працездатності сільськогосподарських машин. Інженерія систем природокористування: I Міжнародна науково-практична конференція, м. Київ, Україна, 11 листопада 2015 року: тези конференції. Київ. 2015. С. 101–103.

116. Роговський І. Л. Адаптація системи інженерно-технічного забезпечення АПК. Аграрна наука, освіта, виробництво: європейський досвід для України: Міжнародна науково-практична конференція, м. Житомир, Україна, 17–18 листопада 2015 року: матеріали конференції. Житомир. 2015. С. 204–207.

117. Rogovskii I. L. Entropy algorithm performance quality recovery efficiency of agricultural machinery. Крамаровські читання: III Міжнародна науково-технічна конференція, м. Київ, Україна, 17–18 лютого 2016 року: тези конференції. Київ. 2016. С. 20–23.

118. Роговський І. Л. Технічна готовність і стан сільськогосподарських машин як цілі управління. Крамаровські читання: III Міжнародна науково-технічна конференція, м. Київ, Україна, 17–18 лютого 2016 року: тези конференції. Київ. 2016. С. 95–97.

119. Роговський І. Л. Стаціонарні обслуговуючі системи відновлення працездатності сільськогосподарських машин. Обухівські читання: XI Міжнародна науково-практична конференція, м. Київ, Україна, 1 березня 2016 року: тези конференції. Київ. 2016. С. 77.

120. Роговський І. Л. Аналітичні передумови послідовності виконання робіт з відновлення працездатності сільськогосподарських машин при обмежених ресурсах. Раціональне використання енергії в техніці: II Міжнародна наукова конференція, м. Київ, Україна, 17–20 травня 2016 року: тези конференції. Київ. 2016. С. 77–79.

121. Роговський І. Л. Адаптивність в системі відновлення працездатності сільськогосподарських машин. Сучасні проблеми землеробської механіки: XVI Міжнародна наукова конференція, м. Суми, Україна, 17–18 жовтня 2016 року: тези конференції. Суми, 2016. С. 292–295.

122. Rogovskii Ivan. Deoendency analytical model to determine parameters of technical state of combine harvesters. Сучасні технології аграрного виробництва:

II Міжнародна науково-практична конференція, м. Київ, Україна, 9–10 листопада 2016 року: тези конференції. Київ. 2016. С. 226–228.

123. Роговський І. Л. Особливості системності відновлення працездатності сільськогосподарських машин. Передові технології виробництва і переробки сільськогосподарської продукції, енергозбереження та забезпечення тепловою й електричною енергією. Перспективи та проблеми впровадження в сільське господарство Полісся: VI Всеукраїнська науково-практична конференція, м. Житомир, Україна, 24 листопада 2016 року: тези конференції. Житомир. 2016. С. 23–26.

124. Rogovskii Ivan. Data analysis in problem of identification of parameters of systems restore functionality of agricultural machinery. Сучасні технології виробництва зернових культур 2017: Міжнародна науково-практична конференція, м. Київ, Україна, 16 лютого 2017 року: тези конференції. Київ. 2017. С. 80–82.

125. Роговський І. Л. Аналітичні передумови послідовності виконання робіт з відновлення працездатності сільськогосподарських машин при обмежених ресурсах. Раціональне використання енергії в техніці. TechEnergy 2016: XII Міжнародна наукова конференція, м. Київ, Україна, 17–19 травня 2016 року: тези конференції. Київ. 2016. С. 77–79.

126. Роговський І. Л. Виробничі процеси забезпечення відновлення працездатності сільськогосподарських машин в умовах ризиків середовища. Перспективи і тенденції розвитку конструкцій та технічного сервісу сільськогосподарських машин і знарядь: III всеукраїнська науково-практична конференція, м. Житомир, Україна, 29–31 березня 2017 року: тези конференції. Житомир, 2017. С. 241–243.

127. Rogovskii Ivan. Analytical model changes current aggregate technical readiness of agricultural machinery. Обухівські читання: XII Міжнародна науково-практична конференція, м. Київ, Україна, 21 березня 2017 року: тези конференції. Київ. 2017. С. 85–88.

128. Rogovskii Ivan. Architecture of simulation model data of complex system of restoration of agricultural machinery. Проблеми та перспективи розвитку технічних та біоенергетичних систем природокористування: XVII Міжнародна конференція науково-педагогічних працівників, наукових співробітників та аспірантів, м. Київ, Україна, 20–24 березня 2017 року: тези конференції. Київ. 2017. С. 119–122.

129. Роговський І. Л. Розподіл операцій за видами технічного обслуговування сільськогосподарських машин. Раціональне використання енергії в техніці. TechEnergy 2017: XIII Міжнародна наукова конференція, м. Київ, Україна, 17–19 травня 2017 року: тези конференції. Київ. 2017. С. 89–90.

130. Роговський І. Л. Термінологічність адаптації системи технічного обслуговування сільськогосподарських машин. Інноваційне забезпечення виробництва органічної продукції в АПК: V Міжнародна наукова конференція, м. Київ, Україна, 5–6 червня 2017 року: тези конференції. Київ. 2017. С. 2–33.

131. Роговський І. Л. АРМ в системі відновлення працездатності сільськогосподарських машин. Автоматика – 2017: XXIV Міжнародна конференція з автоматичного управління, м. Київ, Україна, 13–15 вересня 2017 року: тези конференції. Київ. 2017. С. 168–169.

132. Роговський І. Л. Підходи до визначення періодичності контролю параметрів технічного стану сільськогосподарських машин. Проблеми конструювання, виробництва та експлуатації сільськогосподарської техніки: XI Міжнародна науково-практична конференція. м. Кропивницький, Україна, 1–3 листопада 2017 року: матеріали конференції. Кропивницький. ЦНТУ. 2017. С. 136–138.

133. Rogovskii I. L. Method of assessment of technical condition of internal combustion engines agricultural machinery. Сучасні технології аграрного виробництва: III Міжнародна науково-практична конференція, м. Київ, Україна, 7–9 листопада 2017 року: тези конференції. Київ. 2017. С. 71–74.

134. Роговський І. Л. Дерево цілей системи відновлення працездатності сільськогосподарських машин. Обуховські читання: XIII Міжнародна науково-практична конференція, м. Київ, 6 березня 2018 року: тези конференції. Київ. 2018. С. 77–81.

135. Роговський І. Л. Системність технологічності процесів відновлення працездатності сільськогосподарських машин. Проблеми та перспективи розвитку технічних та біоенергетичних систем природокористування. XVIII Міжнародна конференція науково-педагогічних працівників, наукових співробітників та аспірантів: збірник тез. м. Київ, Україна, 26–30 березня 2018 року. Київ. 2018. С. 170–172.

136. Роговський І. Л. Наявність, стан та характерні відмови зернозбиральних комбайнів. 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. ЖАТК. 2018. С. 218–221.

137. Rogovskii I. L. Identifying parameters of adaptive resilience of agricultural mashines. Раціональне використання енергії в техніці. TechEnergy 2018: XIV Міжнародна наукова конференція, м. Київ, Україна, 19–22 травня 2018 року: тези конференції. Київ. 2018. С. 140–141.

138. Роговський І. Л. Показники економічності системи відновлення працездатності сільськогосподарських машин. 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. 220–223.

139. Rogovskii I. L. Method of determining optimal period of technical maintenance of agricultural machines. Інноваційне забезпечення виробництва органічної продукції в АПК: VI Міжнародна наукова конференція. м. Київ, Україна, 6–9 червня 2018 року: матеріали конференції. Київ. 2018. С. 73–75.

140. Rogovskii I. L. Methodological bases of adaptive system of maintenance of agricultural machines. Achievements and Perspective in Agricultural Engineering

and Auto Transport: International scientific symposium, Chisinau, Moldova, October 4-6, 2018: proceedings. Chisinau. 2018. P. 84–85.

141. Rogovskii I. L. Methodological approaches to assessment of timing data during response and recovery of agricultural machinery. 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. 150–152.

142. Rogovskii I. L. Engineering management solutions to criterion of choice of combine harvesters. Рациональне використання енергії в техніці. TechEnergy 2019: XV Міжнародна наукова конференція. м. Київ, Україна, 19-22 травня 2019 року: збірник тез доповідей. Київ. 2019. С. 83–85.

143. Роговський І. Л. Схема підтримання працездатності сільськогосподарських машин під час їх експлуатації. Інноваційне забезпечення виробництва органічної продукції в АПК: VII Міжнародна наукова конференція. м. Київ, Україна, 4–7 червня 2019 року: матеріали конференції. Київ. 2019. С. 123–124.

144. Роговський І. Л. Аналітична модель визначення позицій мінімізації групових зв'язків комплексної системи відновлення працездатності сільськогосподарських машин. Сучасні проблеми землеробської механіки: XX Міжнародна наукова конференція, м. Миколаїв, Україна, 17–19 жовтня 2019 року: матеріали конференції. Миколаїв. 2019. С. 186–188.

145. Роговський І. Л. Підходи управління системою відновлення працездатності сільськогосподарських машин. Перспективи і тенденції розвитку конструкцій та технічного сервісу сільськогосподарських машин і знарядь. VI Всеукраїнська науково-практична конференція. м. Житомир, Україна, 9–10 квітня 2020 року: тези конференції. Житомир. 2020. С. 74–75.

146. Роговський І. Л. Обґрунтування схеми системності розробки засобів технологічного оснащення технічного обслуговування. Технічне забезпечення інноваційних технологій в агропромисловому комплексі. II Міжнародна науково-практична інтернет-конференція. м. Мелітополь, Україна, 02–27 листопада 2020 року: тези конференції. Мелітополь. 2020. С. 432–435.

АННОТАЦІЯ

Роговський І. Л. Розробка комплексних техніко-технологічних заходів підвищення працездатності сільськогосподарських машин. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

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

Дисертація присвячена підвищенню працездатності сільськогосподарських машин шляхом розробки системи, нормативів, технологій та технічних засобів їх технічного обслуговування і вивчення показників надійності цих машин в умовах експлуатації.

В результаті досліджень здійснено аналіз сучасних методологічних основ і техніко-технологічних заходів підвищення працездатності сільськогосподарських машин. Здобувачем виконано аналітичне дослідження моделей комплексних техніко-технологічних заходів підвищення працездатності сільськогосподарських машин. Ним обґрунтовано загальні методичні підходи і розроблено методику експериментальних досліджень комплексних техніко-технологічних заходів підвищення працездатності сільськогосподарських машин. Також проведено експериментальні дослідження сезонних показників експлуатаційної довговічності, безвідмовності, ремонтпридатності і комплексного показника надійності сільськогосподарських машин. В дисертації проведено експериментальні дослідження оцінювання пристосованості до технічного обслуговування сільськогосподарських машин. Дисертант апробував виробничу ефективність комплексних техніко-технологічних заходів підвищення працездатності сільськогосподарських машин. Здобувачем здійснено техніко-економічний аналіз комплексних техніко-технологічних заходів підвищення працездатності сільськогосподарських машин.

Ключові слова: сільськогосподарська машина, працездатність, параметр, технічне обслуговування, технічний стан, система, комплексний захід.

АННОТАЦІЯ

Роговский И. Л. Разработка комплексных технико-технологических мероприятий по повышению работоспособности сельскохозяйственных машин. – Квалификационная научный труд на правах рукописи.

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

Диссертация посвящена повышению работоспособности сельскохозяйственных машин путем разработки системы, нормативов, технологий и технических средств их технического обслуживания и изучения показателей надежности этих машин в условиях эксплуатации.

В результате исследований осуществлен анализ современных методологических основ и технико-технологических мероприятий по повышению работоспособности сельскохозяйственных машин. Соискателем выполнено аналитическое исследование моделей комплексных технико-технологических мероприятий по повышению работоспособности сельскохозяйственных машин. Им обоснованно общие методические подходы и разработана методика экспериментальных исследований комплексных технико-технологических мероприятий по повышению работоспособности сельскохозяйственных машин. Также проведены экспериментальные исследования сезонных показателей эксплуатационной долговечности, безотказности, ремонтпригодности и комплексного показателя надежности сельскохозяйственных машин. В диссертации проведены экспериментальные исследования оценки приспособленности к техническому обслуживанию сельскохозяйственных машин. Дисертант апробировал производственную эффективность комплексных технико-технологических мероприятий по

повышению работоспособности сельскохозяйственных машин. Соискателем осуществлено технико-экономический анализ комплексных технико-технологических мероприятий по повышению работоспособности сельскохозяйственных машин.

Ключевые слова: сельскохозяйственная машина, работоспособность, параметр, техническое обслуживание, техническое состояние, система, комплексное мероприятие.

ANNOTATION

Rogovskii I. L. Development of complex technical and technological measures to increase efficiency of agricultural machinery. – Qualification scientific work on the manuscript.

The dissertation on competition of a scientific degree of doctor 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 improving the performance of agricultural machines by developing a system, norms, technologies and technical means of their maintenance and studying indicators of reliability of these machines in operating conditions.

As a result of research, an analysis of modern methodological foundations and technical and technological measures to increase the performance of agricultural machines is carried out. An analytical study of models of comprehensive technical and technological measures to increase the performance of agricultural machines is carried out. The general methodological approaches are substantiated and developed a method for experimental studies of complex technical and technological measures to increase the performance of agricultural machines. Experimental studies of seasonal indicators of operational durability, failure, reparability and complex indicator of reliability of agricultural machines were conducted. In the dissertation experimental studies of assessment of adaptability to the maintenance of agricultural machines were conducted. The dissertation tested the production efficiency of complex technical and technological measures to increase the performance of agricultural machines. The applicant has a technical and economic analysis of comprehensive technical and technological measures to increase the performance of agricultural machines.

The results of researches of agricultural machines allow to state, the share of control and gas-filling works in maintenance comes about 30% of all labour intensity of maintenance. The total number of points of oiling 24–76, refuelling and drainage reaches 2–15 units, and varieties of oils and lubricants are used – 3–8. Low indicators of stability of fastening on machines is due to the lack of self-controlling threaded joints, low quality of mounting materials. Up to 36% of labour intensity comes to perform auxiliary work due to low availability to places in control and connecting control and regulators. The ergonomics of the machine is characterized by the convenience of performing operations in the process of its maintenance. So change the allows for lubricating operations to change productivity from 520 to 260 movements per hour. Violation of the rules for maintenance of a grain harvester and an evaluation of the events: incorrect regulation of the pressure of the start of fuel

injection, low-quality screw – 0.463; gaps in the valve mechanism of the gas distributor outside the permissible values – 0.348; marginal contamination of air cleaning cassettes; violation of tightness of the inlet tract – 0.307; incorrect installation angle of fuel supply – 0.233.

The introduction of comprehensive technical and technological measures to increase the performance of agricultural machines on the agricultural enterprise significantly improves the indicators for reducing the time by 15–18% compared to the operating system of agricultural machinery. It operating agricultural machines with a system of integrated technical and technological measures to increase the performance, the average work on refusal increased by 18.9%, while specific costs decreased by 26.8%, which is an appropriate value and is within the accuracy of simulation. However, this can be explained by the fact that the elements selected have a low probability of refusal, which for most elements is within 0.5–0.7.

The influence of numerical characteristics of the time of technological operations to change the actual number of technical services is practically sufficiently small 0.5%. In the condition of stability in the accommodation of the agricultural machine in the process of their technical operation, the coefficient of time variation between technical services on a agricultural machine has a small value to 0.05...0.10, in connection with which there is a slight deviation of the actual number of technical services from the projected, as well as high to 0.85...0.95 probability of coinciding of predicted and actual terms up to 0.85.

In the current normative documentation for ensuring the performance of agricultural machines, the following disadvantages are available: 48% reference to national and sectoral standards that have lost validity; 23% underestimated and 7% do not determine the quality indicators of the technological process of increasing the performance of agricultural machines; 11% do not indicate the operating conditions of agricultural machines; 18% contain underestimate performance indicators of reliability of agricultural machines. To date, the system of technical and technological measures to increase the performance of agricultural machines is normalized by six legislative and four normative documents and no state target economic program.

Key words: agricultural machine, performance, parameter, maintenance, technical condition, system, complex measure.

Підписано до друку 12.04.2021 року. Формат 60x84\16
Ум. друк. арк. 1,9 Обл.-вид.арк. 1,9
Наклад 100 прим. Зам. № 210236

Віддруковано у редакційно-видавничому відділі НУБіП України
вул. Героїв Оборони, 15, Київ, 03041, тел.: 527-81-55, e-mail: nubip_druk@ukr.net
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 4097 від 17.06.2011

