

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
УМАНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ САДІВНИЦТВА
Інженерно-технологічний факультет
Кафедра агроінженерії
(заочна форма)

Допущено до захисту
“__” _____ 2023р.
Зав. кафедри к.т.н., доцент
(науковий ступінь, вчене звання)
А.В. Войтік
(підпис) (ініціали, прізвище)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА (дипломний проект)
магістр
(назва освітнього ступеня)

тема роботи **«Обґрунтування режимів технічного контролю і параметрів
технічного стану зернозбиральних комбайнів»**

Виконав: студент 2 курсу, групи 21м-3-ім
освітньої програми магістр
спеціальності _____
208 «Агроінженерія»
Звіжинський Р.С.
(прізвище та ініціали)

Керівник к.т.н. доцент Шевчук В.В.
(науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

м. Умань – 2023 рік

ЗМІСТ

Ст.

Вступ.....	5
АНАЛІЗ ОСНОВНИХ МЕХАНІЗМІВ І МЕТОДІВ КЕРУВАННЯ ТЕХНІЧНОЮ ГОТОВНІСТЮ ЗЕРНОЗБИРАЛЬНИХ КОМБАЙНІВ У ПРОЦЕСІ ЕКСПЛУАТАЦІЇ.....	6
1.1 Особливості зернозбиральних комбайнів, як об'єкта технічного контролю.....	6
1.2 Методи аналізу технічної готовності зернозбиральних комбайнів за параметрами технічного стану.....	13
1.3 Узгодженість режимів технічного стану зернозбиральних комбайнів за методом інтервальних нейронних мереж.....	17
1.4 Висновки до першого розділу.....	20
РОЗДІЛ 2 ПРОЕКТНО-ОРГАНІЗАЦІЙНА ЧАСТИНА.....	21
2.1 Аналітичні підходи визначення режимів технічного контролю зернозбиральних комбайнів.....	21
2.2 Аналітичні моделі режимів технічного контролю зернозбиральних комбайнів.....	25
2.3 Розподіл агрегатів зернозбирального комбайна за технічним контролем у залежності від їх фактичного технічного стану.....	31
2.4 Складальні частини процесу технічного контролю зернозбирального комбайнів і їх напруженість.....	34
Висновки до другого розділу.....	37
РОЗДІЛ 3 ОХОРОНА ПРАЦІ.....	38
3.1 Моделювання виробничих небезпек під час проведення механізованих робіт.....	38
3.2 Вимоги безпеки під час роботи на зернозбиральних комбайнах.....	40
3.3 Висновки до третього розділу.....	41

РОЗДІЛ 4 ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	42
Техніко-економічний ефект і рекомендації щодо організації технічного контролю зернозбиральних комбайнів.....	42
Висновки до четвертого розділу.....	46
ВИСНОВКИ.....	46
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	47

РЕФЕРАТ

Звіжинський Р.С. Обґрунтування режимів технічного контролю і параметрів технічного стану зернозбиральних комбайнів (Дипломна робота, Уманський національний університет садівництва, 2023: пояснювальна записка на 50 сторінках, у т.ч. 4 розділів, 12 рисунки, 6 таблиць, 38 джерела літератури).

Швидкорозвиваючий зерновий експорт України [21] в теперішній час вимагає особливої уваги до питань забезпечення технічної готовності високопродуктивних зернозбиральних комбайнів. Так як ефективність експлуатації комбайна в першу чергу пов'язана з його використанням за призначенням, тому основна задача керування процесом заключається в підвищенні частки часу експлуатації при раціональних затратах на технічний контроль і усунення несправностей. Ця наукова проблема вирішується методами підвищення структурної надійності комбайнів, оптимальним вибором системи технічного контролю і норм витрат запасних частин. Тому для досягнення необхідного рівня технічної готовності комбайнів є актуальним розроблення наукових основ нормативно-технічного забезпечення інженерного менеджменту агропромислового комплексу з врахуванням ризиків відмов, аварій, технічного контролю і параметрів технічного стану зернозбиральних комбайнів, виробничих і природних умов збирання зернового збіжжя.

Мета роботи – зменшити витрати на забезпечення технічної готовності експлуатації зернозбиральних комбайнів в умовах сільськогосподарських підприємств шляхом обґрунтування режимів технічного контролю і функціонально-структурних параметрів технічного стану комбайну.

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

Предмет дослідження – встановлення закономірностей зміни параметрів технічного стану зернозбиральних комбайнів в процесах експлуатації та відновлення працездатності.

Ключові слова: КОМБАЙН, ЖНИВАРКА, ЗЕРНО, ПОПЕРЕДНІЙ ОБМОЛОТ.

ВСТУП

Технічна готовність комбайнів характеризується невизначеністю, випадковістю виникнення подій, результатом яких є збиток аграріїв від простоїв комбайнів під час жнив. Тому міра технічної готовності має включати міру можливості (ризик) настання не прийнятної події (частоту або ймовірність) і міру збитку при її настанні.

Технічний контроль параметрів технічного стану зернозбиральних комбайнів охоплює три основні напрями: превентивність або зменшення рівня зовнішніх впливів на комбайн; запобігання не нормативних дій і застосування інженерних заходів протягом життєвого циклу комбайна; нормативний прогноз технічного стану комбайна в реальних виробничих умовах і при відмовах чи аваріях.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ ОСНОВНИХ МЕХАНІЗМІВ І МЕТОДІВ КЕРУВАННЯ ТЕХНІЧНОЮ ГОТОВНІСТЮ ЗЕРНОЗБИРАЛЬНИХ КОМБАЙНІВ У ПРОЦЕСІ ЕКСПЛУАТАЦІЇ

1.1. Особливості зернозбиральних комбайнів, як об'єкта технічного контролю

Аграріями України лише в період 2019-2022 років завезено понад 11032 зернозбиральних комбайнів (рис. 1), з них 52% нових і 48% вживаних [AgroPolit.com 07.12.2022]. Витрачено 1 млрд. 45 млн доларів США на придбання імпорتنих зернозбиральних комбайнів [Landlord.ua 07.12.2022]. Крім того ринок лізингу комбайнів зріс на 28% і склав майже 6 млрд грн [business.ua]. Серед них в першій трійці: New Holland, John Deere Claas [Український клуб аграрного бізнесу].

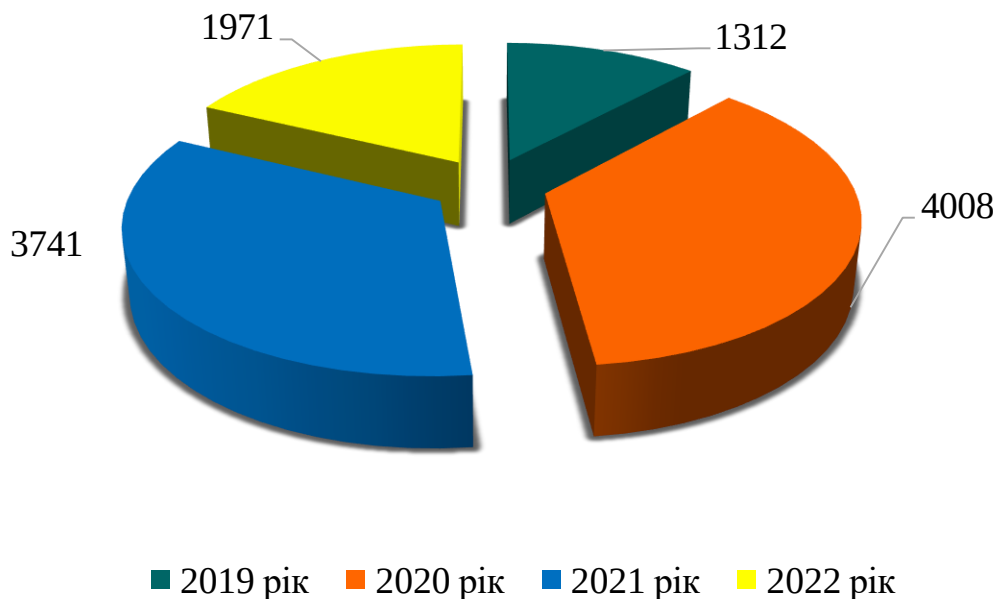


Рис. 1.1. Чотирирічна динаміка закупівлі аграріями України імпорتنих зернозбиральних комбайнів, одиниць

Зернозбиральні комбайни складаються з деталей різного розміру, які з часом зношуються і приходять в непридатність [9]. Їх поломка тягне за собою зупинку всього процесу збору врожаю сільськогосподарських культур, тому такі несправності необхідно не усувати якомога швидше, а не допускати [18].

Сільськогосподарська техніка під назвою зернозбиральний комбайн призначена для збору врожаю зернових культур [7]. Установка спеціальних пристосувань дозволяє використовувати її для збирання: соняшнику, кукурудзи, сої, ріпаку, гречки [19].

Процес збирання супроводжується виконанням таких технологічних процесів (рис. 1.2), як зрізання і підбір стебел, а також подача їх на обмолот. Тут відбувається вимолот і сепарація зерна, що надходить в бункер по транспортеру. Стебла подрібнюються і розкидаються на полі або в причіпне обладнання [16].

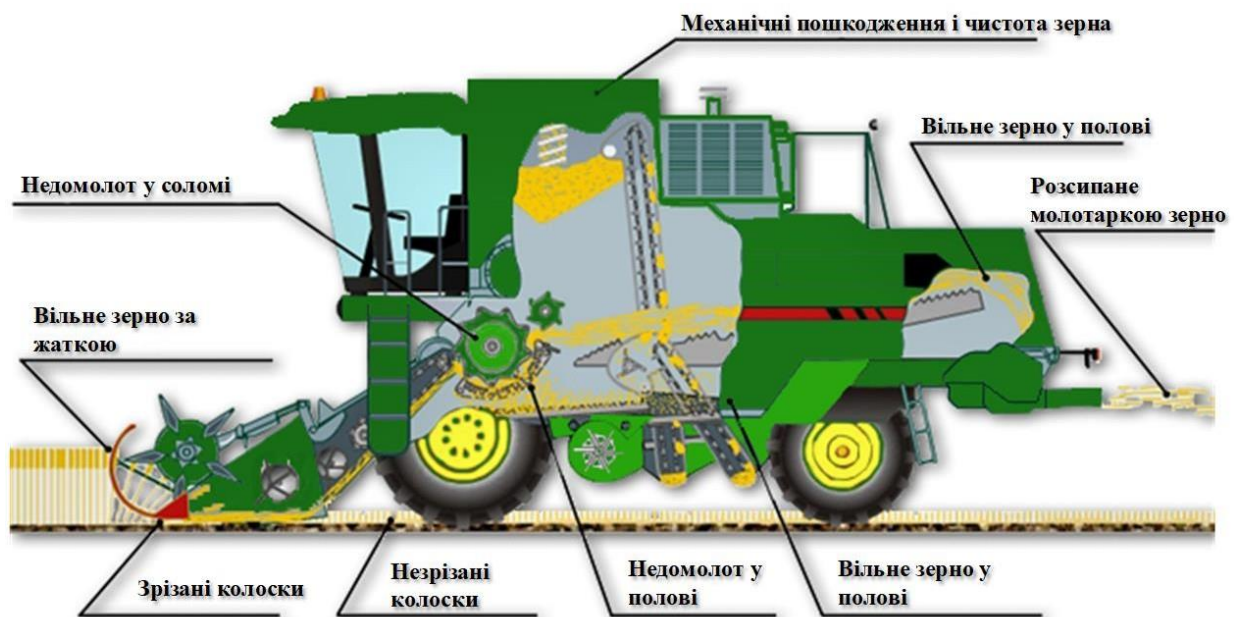


Рис. 1.2. Технологічність зернозбирального комбайна

Виконання всіх операцій відбувається за рахунок відповідних механізмів, що складаються з різних деталей і вузлів [8]. Якщо одна із запчастин на комбайні виходить з ладу, то це сприяє відмові роботи відповідного механізму [18]. Відновити його працездатність часто можливо тільки після заміни деталі, що вийшла з ладу [17].

Іноді виникають ситуації, коли несвоєчасне виявлення або усунення поломки може призвести до виникнення аварійної ситуації [5]. Нормальна і безвідмовна робота зернозбиральних комбайнів можлива тільки при ретельному і систематичному технічному контролі за нею [3].

Розглянемо результати власних досліджень за реальними умовами збирання зернового збіжжя сезону 2021 року на агропідприємстві Київської

області (табл. 1.1, табл. 1.2., рис. 1.3): площа під зернові 2012 га; середня врожайність 47 ц/га; середня довжина гону 1082 м.

Таблиця 1.1

Дані з безвідмовності і ремонтпридатності зернозбиральних комбайнів

Показники	Номер комбайна				
	1	2	3	4	5
Рік експлуатації	2	4	3	2	5
Ширина жнивarki, м	7	7	7	7	6
Намолот зерна (за бортовим ПК), т	1042,7	1532,4	1436,4	1412,1	925,9
Наробіток молотарки (за бортовим ПК), год	122	117	126	124	112
Основний час, год	112,8	107,6	122,3	123,1	106,3
Експлуатаційний час, год	182,6	182,5	182,7	182,4	182,6
Сума складових експлуатаційного часу, год	51,9	49,1	50,2	52,4	47,8
Тривалість усунення несправностей, год	17,2	24,3	12,3	11,8	26,1
Коефіцієнт готовності	0,923	0,812	0,911	0,932	0,806

Аналіз причин низької безвідмовності конкретних зернозбиральних комбайнів (табл. 1.1) є науковою задачею, за результатами якої реалізуються інженерні заходи технічного контролю із забезпечення ефективності збирання зернового збіжжя [17]. Велике навантаження сприймає молотильний механізм, що стає причиною виходу з ладу його складових частин (рис. 1.3). Прискорюється знос при попаданні металевих предметів всередину молотильного апарату. Залежно від конструктивних елементів зернозбирального обладнання, з ладу найчастіше виходять такі деталі: жнивarka – ножі і шків, муфти, транспортер і пальці; молотарка – зірочки, паси, муфти та вентилятори; подрібнювач – барабан і ножі.

Таблиця 1.2

Розподіл за групами складності відмов зернозбиральних комбайнів

Група складності відмов	Математичне очікування		
	кількості відмов на комбайн, од.	тривалості усунення відмов, год	сумарного часу на усунення відмов, год.
I	8,45	0,87	7,88
II	12,22	1,32	16,37
III	1,38	5,24	6,74

Найбільша кількість відмов I групи складності при наробітку на відмову 7,2 га приходить на жниварку і двигун, II групи – 13,9 га на жниварку, двигун, трансмісію, копнувач і очистку, III групи – 127,3 га на жниварку, двигун, трансмісію, молотарку.

Несправність зернозбирального механізму, двигуна, трансмісії або елементів керування сприяє припиненню робіт зі збору врожаю [12]. Кожна хвилина простою комбайнів це великі збитки для її власника [38]. Досвідчені комбайнери і механіки знають не тільки особливості ремонту зернозбиральних комбайнів [184], а й значимість якості технічного контролю [2].

Загальна ймовірність працездатності зернозбирального комбайна після його r -го контролю і регулювання визначається за відомою формулою 1.1:

$$P^{(r)} = \prod_{i=1}^{n_1} D_i^{(r)} \prod_{i=1}^{n_1} P_{\sigma i/i-1} \prod_{i=n_1+1}^n P_{\sigma i/i-1} \quad (1.1)$$

де $D_i^{(r)}$ – достовірність r -го контролю і регулювання i -го параметра технічного стану зернозбирального комбайна, $P_{\sigma i/i-1}$ – умовна ймовірність безвідмовної

роботи по i -му контрольованому параметру, n – загальне число параметрів, які характеризують працездатність об'єкта, n_1 – число контрольованих параметрів. У

загальному випадку достовірність r -го контролю і регулювання i -го контрольованого параметра зернозбирального комбайна залежить від ймовірності невиявлених [20] і тих неправдивих відмов [10], які при налаштуванні переходять в невиявлені відмови [9]. Достовірність r -го контролю і регулювання i -го контрольованого параметра зернозбирального комбайна визначається за формулою 1.2:

$$D_i^{(r)} = 1 - P_{hi}^{(r)} - P_{f \rightarrow hi}^{(r)} \quad (1.2)$$

де $P_{hi}^{(r)}$ – ймовірність існування невиявленої відмови, $P_{f \rightarrow hi}^{(r)}$ – ймовірність невиявлених і тих неправдивих відмов, які при налаштуванні переходять в невиявлені відмови.

В [6] також наголошується, що одним із шляхів підтримки необхідного рівня надійності зернозбирального комбайна в процесі їх експлуатації є контроль працездатності та пошук несправностей. Важливе значення має також контроль в процесі виробництва зернозбирального комбайна [24]. Незалежно від того, якими способами і засобами повинен проводитися технічний контроль, завжди важливо мати якомога менше витрат часу і апаратури контролю [17]. У зв'язку з цим має велике значення впровадження методів отримання мінімальних сукупностей впливів і контрольних параметрів [5], а також методів оптимізації програм перевірок [5, 7]. При цьому розглядається методика побудови оптимальних універсальних систем контролю на основі теорії статистичних рішень за класифікації систем технічного контролю (рис. 1.3). Структурно система контролю складається з формувача (перетворює простір станів у простір сигналів), класифікатора (що вказує по прийнятим сигналам приналежність стану до відповідного класу) і інформатора (видає повідомлення на основі прийнятих сигналів і вказівок класифікатора).

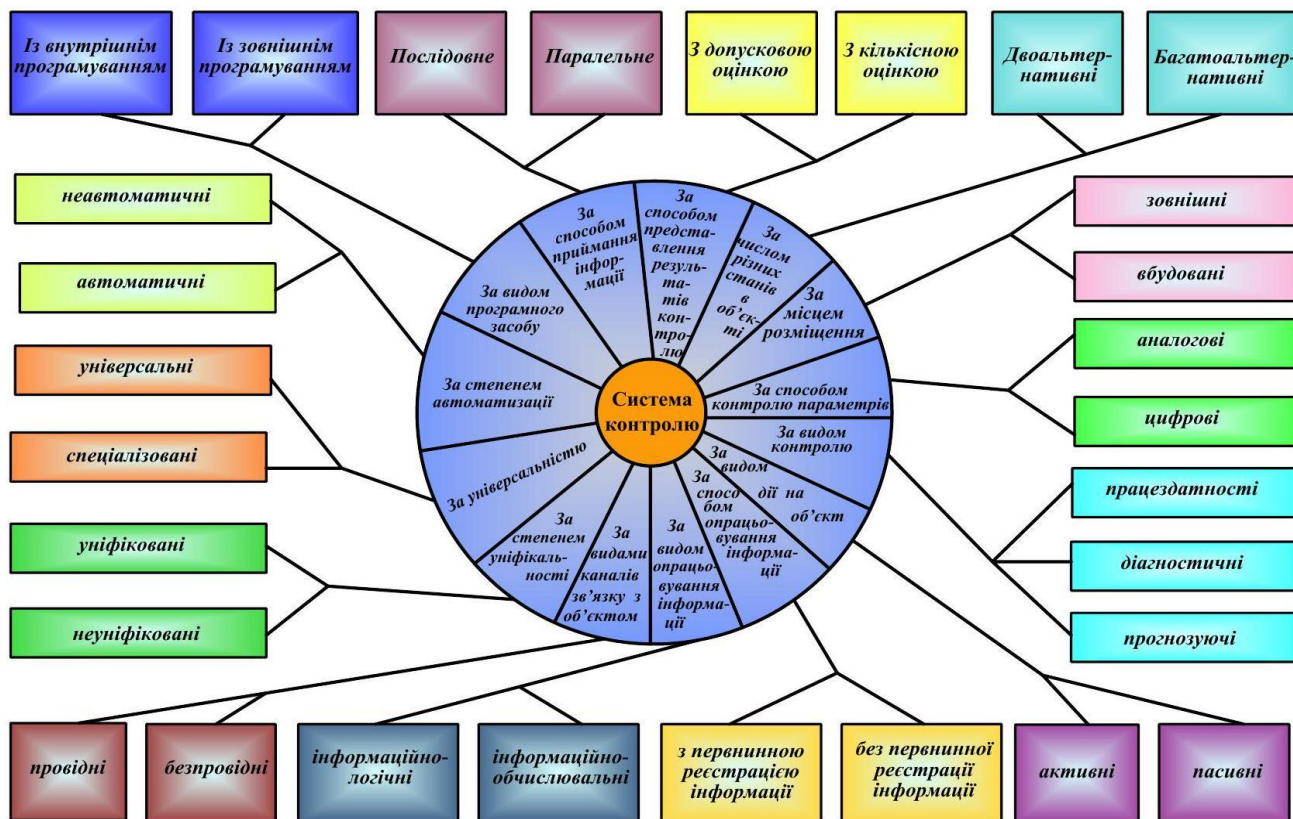


Рис. 1.3. Класифікація систем технічного контролю зернозбиральних комбайнів

Згідно [28] з основними характеристиками якості розпізнавання є помилки розпізнавання і середні втрати. Там же наводяться статистичні критерії виявлення: мінімального ризику Байеса, ідеального спостерігача Зигерта-Котельникова, максимальної правдоподібності Фішера, мінімаксий, спостерігач Неймана-Пірсона, мінімальна тривалість експерименту Вальда; а також статистичні критерії розпізнавання: мінімального ризику надійності [11], продуктивності [6] і складність зернозбирального комбайна [4]. Сучасні зернозбиральні комбайни відрізняються високою складністю структурної організації [22], великою кількістю вхідних в їх склад елементів, здатністю виконувати одночасно цілий набір функцій [5].

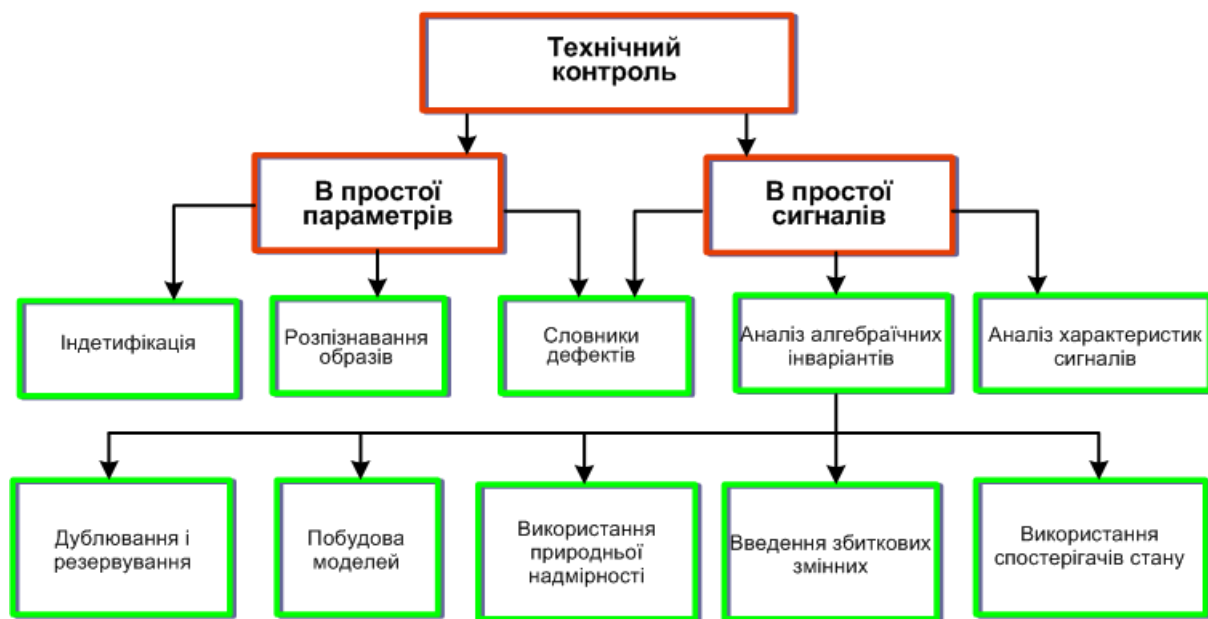


Рис. 1.4. Класифікація методів технічного контролю зернозбиральних комбайнів

Для таких досить складних систем практично не існує загальноприйнятого поняття відмови, тому що відмови елементів призводять [16], як правило, до деякого погіршення якості функціонування, але не до повного порушення. Це може бути застосовано в надлишкових структурах з резервуванням [8]. Для оцінки [22] функціональних систем можна вводити показники надійності по кожній функції. Але більш доцільно взяти глобальний показник ефективності [18], наприклад, коефіцієнт збереження ефективності (коефіцієнт оперативної готовності). Класифікація методів і принципів функціонального технічного контролю зернозбиральних комбайнів показана на рис. 1.4. При контролі технічного стану зернозбиральних комбайнів в просторі параметрів [16, 21]

визначаються їх поточні значення коефіцієнтів передавальних функцій, тестування більш складних класів стикається зі значними труднощами [16]. З огляду на те, що реальні модулі містять велику кількість входів і внутрішніх станів, ясно, що практично неможливо реалізувати процедуру контролю на основі повного перебору за прийнятний час.

Перше завдання автоматизації процедур [14, 20] технічного контролю полягає в розробці оптимальних по тимчасовим співвідношенням (по довжині) тестів контролю, що включає в себе автоматизоване складання тестових впливів і очікуваних реакцій (рис. 1.5).

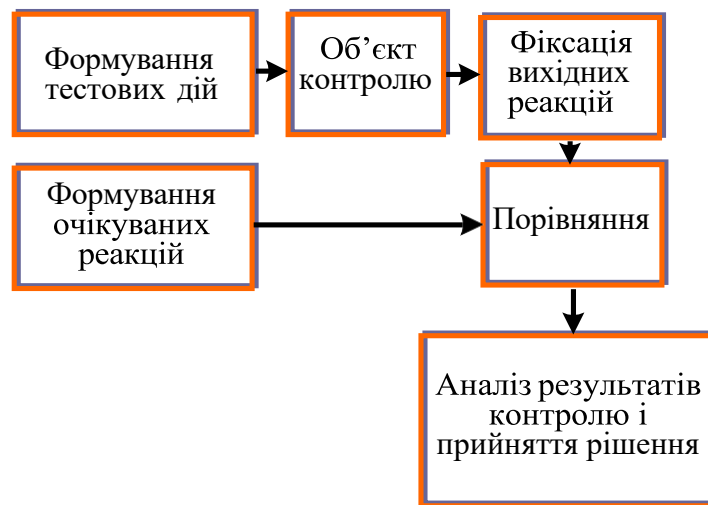


Рис. 1.5. Організація процедури технічного контролю зернозбиральних комбайнів

Друге завдання автоматизації процедур [1, 2] технічного контролю зернозбиральних комбайнів полягає в створенні автоматизованої системи контролю, що дозволяє задавати тестові впливи, фіксувати вихідні реакції, виробляти їх порівняння з очікуваними, приймати рішення про придатність і повідомляти оператору. Очікувані реакції можуть моделюватися або зніматися з еталонного модуля. Процедура пошуку дефекту складніше технічного контролю.

1.2. Методи аналізу технічної готовності зернозбиральних комбайнів за параметрами технічного стану

Наукову основу аналізу технічної готовності зернозбиральних комбайнів складає [18]:

- фізика, хімія і механіка відмов;

- математичне моделювання сценаріїв відмов і аварій;
- методи і принципи технічного контролю і моніторингу параметрів технічного стану;
- біомеханіка взаємодії оператора технічного стану і комбайнів в ситуаціях відмов;
- методи і принципи захисту персоналу комбайнів під час відновлення працездатності і навколишнього середовища;
- критерії нормативного обґрунтування і підвищення технічної готовності.

Фундаментальна проблема аналізу технічної готовності зернозбиральних комбайнів [14] зводиться до створення узагальнених моделей технічних систем забезпечення технічної готовності для аналізу виникнення і розвитку відмов. Ці моделі характеризуються багаторівневою структурою з глобальними, локальними і об'єктивними аспектами [23].

Інформаційно-математичне забезпечення і системні математичні моделі [98], які розробляються з метою запобігання відмов і моніторингу параметрів технічного стану, прогнозів і оперативної ліквідації їх наслідків, орієнтовані на рішення задач побудови узагальнених математичних моделей складних технічних систем, якими є зернозбиральні комбайни, на різних стадіях виникнення відмов і динаміки зміни параметрів технічного стану [16, 22].

Важливішою особливістю відмов зернозбиральних комбайнів є неможливістю їх повного запобігання і забезпечення гарантованого сто відсоткового коефіцієнта готовності з нульовим ризиком [3, 21]. Всебічна оцінка ризику виникнення відмов базується на аналізі причин їх виникнення (відмов механізмів, вузлів і агрегатів зернозбиральних комбайнів, помилок комбайнера або оператора технічного контролю, зовнішніх впливів) та умов розвитку [1], спричинення матеріальних збитків і шкідливого впливу на навколишнє природне середовище [37].

Узагальнена процедура аналізу технічної готовності зернозбиральних комбайнів складається із встановлення рішень наступних задач [31]:

- визначення досліджуваного зернозбирального комбайна, режимів і умов його експлуатації, функціональних зв'язків [19];

- визначення всіх вимог або цілей технічної готовності і працездатності зернозбирального комбайна [25], а також характеристик системи, режимів його експлуатації, умов навколишнього середовища і вимог технічного контролю;

- розподілення вимог або цілей технічної готовності за підсистемами на гарантійній стадії зернозбирального комбайна (за необхідності) [13];

- якісний і кількісний аналіз технічної готовності на основі методів надійності і відповідних даних ефективності експлуатації [19].

Існуючі методи рішення загальних задач технічної готовності зернозбиральних комбайнів узагальнені в таблиці 1.3.

Таблиця 1.3

Методи рішення загальних задач технічної готовності зернозбиральних комбайнів

Метод	Розподіл вимог / цілі технічної готовності	Якісний аналіз	Кількісний аналіз
Прогнозування інтенсивності відмов	Діє в межах послідовних систем без резервування	Діє при аналізі стратегій технічного контролю	Визначення інтенсивності відмов для деталей і складальних одиниць
Аналіз дерева несправностей	Дієвий при поведінці відмов комбайнів в залежності від часу або послідовності подій	Аналіз комбінацій несправностей	Визначення показників безвідмовності і відносного впливу підсистем в системі
Аналіз дерева відмов	Дієвий з обмеженнями	Аналіз послідовності відмов	Визначення інтенсивності відмов комбайнів
Аналіз структурної схеми технічної готовності	Діє для комбайнів, у яких відмови можна виділити незалежні блоки	Аналіз шляхів відновлення працездатності	Визначення показників безвідмовності і коефіцієнта готовності комбайна
Марковський аналіз	Дієвий для рішення задачі	Аналіз послідовності відмов	Визначення показників безвідмовності і коефіцієнта готовності комбайна

Аналіз мережі Петрі	Дієвий для рішення задачі	Аналіз послідовності відмов	Підготовка показників безвідмовності для марковського аналізу
Аналіз FMA(C)A режимів і наслідків критичності відмов	Діє для комбайнів, у яких відмови мають одиничний характер	Аналіз впливу відмов	Визначення інтенсивності відмов і критичності показників
Аналіз HAZOP	Дієвий для рішення частини задачі	Аналіз причин і наслідків відхилень параметрів технічного стану	Визначення похибки зміни параметрів технічного стану
Аналіз людського фактора	Дієвий для рішення задачі	Аналіз впливу дій ефективності людини на технічну готовність	Визначення ймовірності помилок людини (комбайнер або оператор техконтролю)
Аналіз міцності деталей	Не дієвий для рішення задачі	Аналіз для запобігання несправностей	Визначення показників безвідмовності деталей
Таблиця дійсності (аналіз функціонально і структури)	Не дієвий для рішення задачі	Можливий	Визначення показників безвідмовності і коефіцієнта готовності комбайна
Статистичні методи технічної готовності	Дієвий з обмеженнями	Аналіз впливу несправностей	Визначення показників безвідмовності з невизначеністю

На теперішній час сформульовані наступні основні методи кількісної оцінки, аналізу і прогнозування параметрів технічного стану зернозбиральних комбайнів [3, 5, 22]:

- екстраполяційні – параметри технічного стану на визначеному відрізку часу визначається із заданою достовірністю за статистичними даними про основні реалізовані ситуації відмов на попередньому відрізку часу [19];

- ймовірнісні – базуються на дереві відмов або дереві подій з декомпозицією складної потенційно відмовної технічної системи, поетапним дослідженням

сценарієм відмов на базі статистичної інформації визначаються параметри технічного стану і ризиків відмов елементів комбайнів [20];

Практика показує, що застосування складних кількісних методів аналізу технічної готовності і параметрів технічного стану зернозбиральних комбайнів частіше дає значення, точність якого не висока [5, 23].

В зв'язку з цим проведення повної кількісної оцінки більш ефективно для порівняння джерел виникнення відмов [9, 25] або різних заходів запобігання їх виникнення, ніж для створення висновку про ступінь технічної готовності комбайна [20]. Однак, кількісні методи аналізу завжди дієві, а в де-яких ситуаціях є єдиний можливий, для порівняння відмов комбайнів в різних умовах експлуатації або наслідків крупних аварій комбайнів [18, 25].

1.3. Узгодженість режимів технічного стану зернозбиральних комбайнів за методом інтервальних нейронних мереж

За кордоном більше 20 років тому стали з'являтися системи, які представляли собою цілісний автоматизований комплекс для підвищення ефективності в задачах управління режимами технічного стану зернозбиральних комбайнів на аграрних підприємствах [35]. При розробці системи узгодженості режимів технічного стану зернозбиральних комбайнів за методом інтервальних нейронних мереж виходили з того, що вона повинна бути інструментом зв'язку [19], так як сервісні підприємства потребують значних обсягах інформації [12]. Пакет програм даної системи передбачає доступ до бази даних і має дозволяти оформляти робочі листи, накладні, рахунки [10]. Крім того, користувачі мають отримувати оновлений каталог про постачання фірми із зазначенням цін [63]. За бажанням в систему можна було вносити дані про інших фірм-виробниках, якщо підприємство має намір співпрацювати з ними [21]. В Болгарії софійським науково-дослідним технологічним інститутом [1] була розроблена автоматизована система контролю, яка призначалася для збору і обробки інформації з робочих постів про вимірювання контрольованих параметрів деталі, вузла або агрегату. Блок-схема робочого поста приведена на рис. 1.6. Існуючі системи ЕАМ-системи (від англ. Enterprise Asset Management), які в основному застосовувалися для підтримки зернозбиральних комбайнів в технічно справному стані [8, 15]. Дані системи

дозволяють злагоджено управляти наступними процесами: технічне обслуговування і ремонт; управління складськими запасами; матеріально-технічне постачання; управління фінансами, якістю і трудовими ресурсами в рамках єдиної стратегії [15, 23]. При впровадженні даних систем на підприємстві орієнтуються на скорочення витрат на сервіс зернозбиральних комбайнів без зниження рівня надійності, або на підвищення певних виробничих параметрів без збільшення витрат [16].

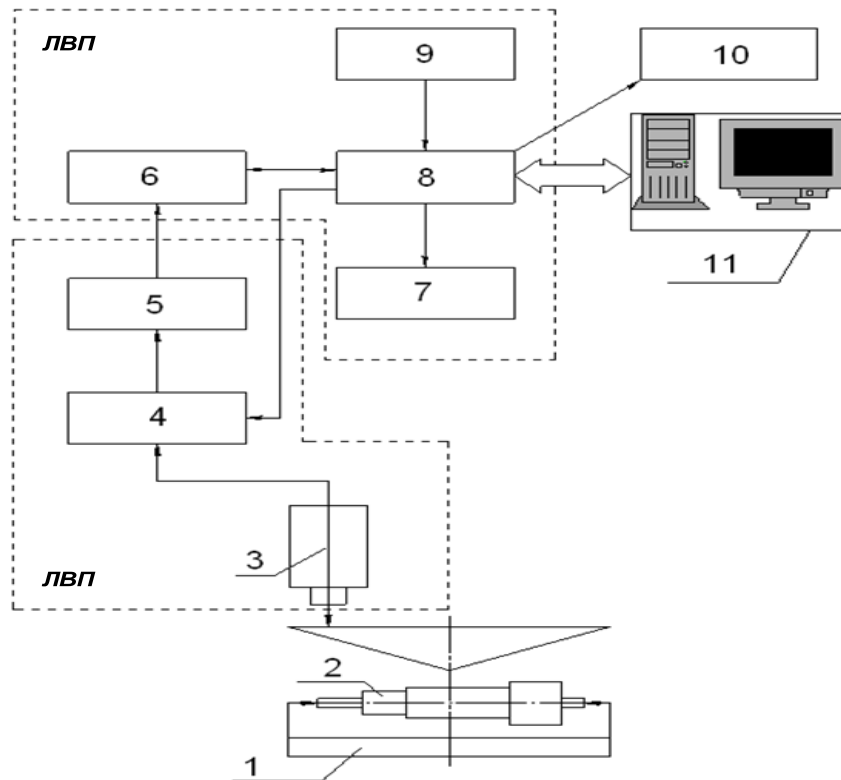


Рис. 1.6. Блок-схема робочого поста: ЛВП – локальний вимірювальний пристрій; 1 – пристосування для закріплення деталі; 2 – контрольована деталь; 3 – первинні перетворювачі; 4 – мультиплексор; 5 – підсилювач-перетворювач; 6 – аналого-цифровий перетворювач; 7 – блок індикації; 8 – мікропроцесор; 9 – блок управління; 10 – принтер; 11 – комп’ютер

Із ЕАМ-систем для аграрної сфери з’явилися системи комплексного управління технічного обслуговування і ремонтами [12, 18]. МРО-системи (від англ. Maintenance, Repair and Overhaul), основне призначення яких - це автоматизація планування діяльності персоналу [4], що займаються виконанням технічного обслуговування і ремонтів зернозбиральних комбайнів [16], і забезпечення їх необхідними ресурсами [13]. Крім того, дані системи мають на увазі функціонал для інформаційного забезпечення та вирішення ряду

завдань [33]:

- управління термінами служби і списання;
- оптимізація структури і чисельності комбайнів;
- зберігання інформації про кожну одиницю зернозбиральних комбайнів;
- відмови в процесі експлуатації, а також виконаних технічних обслуговувань і ремонтах;
- підтримка територіальних підрозділів підприємств, що займаються технічним обслуговуванням і ремонтами комбайнів, в рамках єдиної стратегії.

В Україні і за кордоном застосовується «система інформаційної підтримки життєвого циклу зернозбиральних комбайнів» [10]. В основі якої лежить стандартизоване уявлення даних комбайн передбачається фірмове сервісне гарантійне та післягарантійне обслуговування [13]. Подібні технології, як правило, включають в себе систему управління надійністю: здійснюється збір відомостей про відмови, планових і аварійних ремонтах, а також про технічний стан виявлених за допомогою спеціальних контрольних засобів [10]. Подібні системи активно впроваджуються в агрофірмах і агрохолдингах [17].

В даний час в теорії управління режимами технічного контролю зернозбиральних комбайнів популярно застосування методики, орієнтованої на надійність роботи машин – відома в світі як RCM (Reliability-centered Maintenance), яка була створена в 60-х роках минулого століття для цивільної авіаційної промисловості [9, 14]. Згідно з цією методикою, підтримка всіх одиниць комбайнів в бездоганному стані не є самоціллю, головне це працездатність виробничої системи в цілому, а не працездатність кожної одиниці [9].

Мета RCM – забезпечення надійності роботи особливо важливих об'єктів (відповідно до їх критичності), вихід з ладу яких спричинить за собою значні наслідки [4, 8]. При оцінці наслідків враховуються різні ризики – зрив виробничих планів, недотримання норм якості збирання зернового збіжжя, продукції сільськогосподарських культур, екологічні катастрофи тощо [2].

Загальні етапи RCM аналізу [8]:

- А – визначення меж системи і/або підсистеми;
- В – визначення всіх функцій системи і/або підсистеми;
- С – виявлення функціонально значущих елементів (FSI);

D – виявлення причин відмов функціональних елементів, прогнозування відмов і ймовірностей їх виникнення;

E – застосування дерева рішення проблем для класифікації результатів відмов функціонально значущих елементів;

F – вибір операцій для початкової програми технічного контролю;

G – в разі, якщо якісь операції при технічному контролі не можуть бути встановлені, то набір операцій переглядається;

H – створення динамічної програми технічного контролю в результаті планового і систематичного оновлення шляхом моніторингу (систематичного контролю), збору і аналізу оперативних даних.

Першим кроком при використанні методики RCM є визначення обмежень або меж підсистеми [11, 14, 24]. Це означає, що систему поділяють на підсистеми більш простого рівня складності. Другим кроком є визначення функціонально значущих елементів.

В наступний крок відбувається виявлення причин відмов функціонально значущих елементів і прогнозування ймовірності їх появи [10]. Якісні методи (засновані на колективному професійному думці і практичному застосуванні) і кількісні методи (наприклад, метод аналізу характеру і наслідків відмов (FMEA-Failure Mode and Effect Analysis) або метод аналізу ризиків), можуть використовуватися для виявлення причин і результатів відмови елементів.

Висновки до першого розділу

Нагальні проблеми технічної науки з механізації сільськогосподарського виробництва, технічної готовності зернозбиральних комбайнів і виробничої аграрної діяльності в цілому наполегливо окреслюють наукову проблему розробки системного підходу до дослідження довільних явищ і процесів втрати працездатності комбайна. Цілковито природно, що до проблеми оцінки параметрів технічного стану зернозбиральних комбайнів також необхідно застосувати системний підхід.

РОЗДІЛ 2

ПРОЕКТНО-ОРГАНІЗАЦІЙНА ЧАСТИНА

2.1. Аналітичні підходи визначення режимів технічного контролю зернозбиральних комбайнів

Експлуатація або застосування за призначенням – самий відповідальний період в життєвому циклі будь-якої сільськогосподарської техніки, і зернозбирального комбайна зокрема, протягом якого він сприймає різного виду навантаження і знаходиться під впливом зовнішніх факторів. В процесі експлуатації перевіряються технології, методи і прийоми, які закладались на всіх попередніх етапах, чітко проявляються їх недоліки, приховані дефекти конструкційних матеріалів, похибки конструкторів, помилки виробників, складання і монтажу.

Експлуатація зернозбиральних комбайнів – безперервний процес, який вимагає нормативного і регламентованого технічного контролю і впливає на систему підтримання працездатності в цілому або на його складальні одиниці, елементи, механізми, вузли і агрегати, що повинні забезпечувати їх справний стан і високий рівень експлуатаційної безвідмовності, яка може бути забезпечена при вирішенні двох основних задач – забезпечення нормативних режимів експлуатації елементів і комбайна в цілому та прогнозування ресурсу або призначення оптимальних регламентів технічного контролю параметрів технічного стану зернозбирального комбайна.

Вирішення першої задачі передбачає розробку спеціальних заходів інженерного менеджменту, які забезпечують зниження граничних режимів завантаженості, зношення і старіння, зменшення динамічних навантажень. Вирішення другої задачі включає вибір оптимального режиму технічного контролю зернозбиральних комбайнів, техконтрольних заходів, моніторингу і обробки інформації про показники машиновикористання, прийняття оптимальних з точки зору техніко-економічних критеріїв різних етапів експлуатації, підвищення рівня відновлення працездатності.

При нормуванні режимів технічного контролю зернозбиральних комбайнів вихідні дані можуть бути задані у виді функцій ймовірності безвідмовної роботи $P(t)$ або відмови $Q(t)$, щільності розподілу наробітку на відмови $f(t)$ або інтенсивністю відмов $\lambda(t)$.

В залежності від виду і умов виробничого циклу збирання зернового збіжжя та видів відмов зернозбиральних комбайнів для визначення режимів технічного контролю використовуємо різні методи.

При дослідженні зернозбиральних комбайнів, у яких можливі тільки явні відмови, за результатами технічного контролю проводиться повне відновлення працездатності. Якщо в попередньому періоді відмов не було, то технічний контроль проводиться через інтервал часу і наробітку τ (рис. 2.1). Якщо до моменту технічного контролю була відмова, після якої працездатність була відновлена, то графік технічного контролю перебудовується (на рис. 2.1 тривалість відновлення не показано).

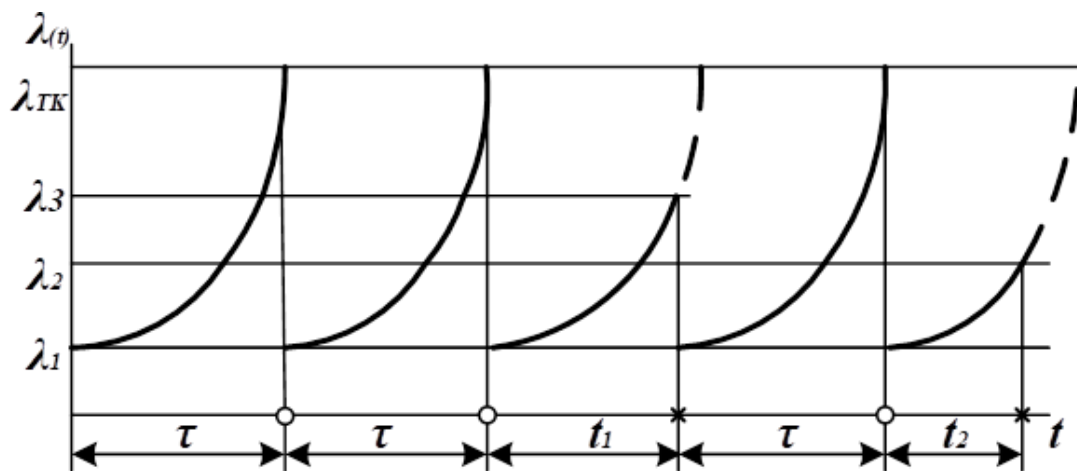


Рис. 2.1. Зміна інтенсивності відмов при технічному контролі зернозбиральних комбайнів: о – стан технічного контролю; х – стан відмови

Вважається, що проведення технічного контролю зернозбиральних комбайнів (рис. 2.1) знижує інтенсивність відмов $\lambda(t)$ до початкового значення λ_0 і тим самим підвищує безвідмовність комбайна. В такому випадку технічний контроль ефективний тільки при зростаючій в часі інтенсивності відмов $\lambda(t)$, які пов'язані із зношенням, старінням або накопиченням пошкоджень елементів. При $\lambda = \text{const}$ технічний контроль економічно не вигідний і технічно

недоцільний, а при спадаючій функції $\lambda(t)$ технічний контроль навіть може знижувати безвідмовність комбайна.

При оптимальному плануванні індивідуального ресурсу елементів зернозбирального комбайна основний принцип призначення терміну t_{k+1} наступного технічного контролю може бути представлено у виді:

$$Q(t_k + \tau_k) = Q^* \quad (2.1)$$

де: $\tau_k = t_{k+1} - t_k$ – нормативний залишковий ресурс, Q^* – гранично допустиме значення ймовірності відмови.

Зазвичай, при призначенні технічного контролю зернозбирального комбайна інтервал часу τ_k зменшується по мірі накопичення пошкоджень в елементах, однак при цьому загальний рівень ймовірності відмови зростає (рис. 2.2).

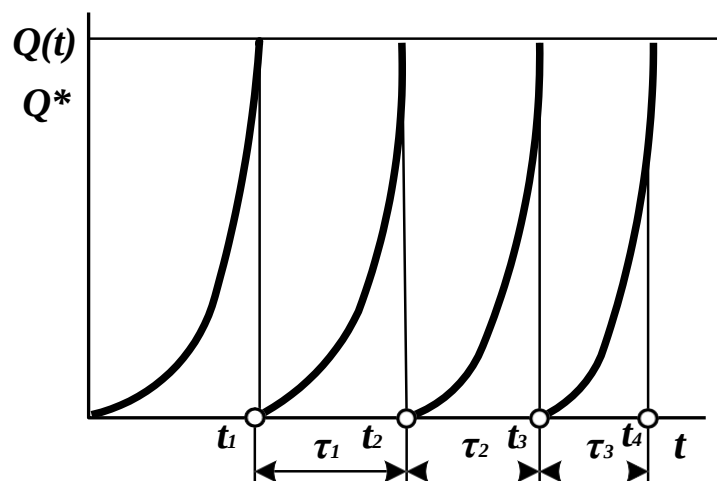


Рис. 2.2. Зміна ймовірності відмови зернозбирального комбайна при його технічному контролі

Наприклад, для оптимізації режимів технічного контролю зернозбирального комбайна необхідно використати цільову функцію ефективності $I(t)$, яка рівна математичному сподіванню вкладу технічної готовності в структурі виробничого циклу збирання зернового збіжжя або ж корисний економічний ефект при його експлуатації на відріжку часу (t_k, t) :

$$I(t) = \Delta S(t) - R(t) - \Sigma B(t), \quad (2.2)$$

де: $\Delta S(t)$ – різниця між вартістю зібраного зернового збіжжя і його собівартістю виробництва (тобто чистий прибуток), $R(t)$ – вартість заходів з технічного

контролю зернозбирального комбайна, $\sum B(t)$ – сума прямих і непрямих втрат з причини досягнення комбайном граничного стану під час експлуатації.

Для вибору оптимального моменту проведення наступного технічного контролю зернозбирального комбайна необхідне виконання умови:

$$I(t_k + \tau_k) \rightarrow \max_{\tau_k} \quad (2.3)$$

По мірі накопичення пошкоджень і зниження ефективності нормативний залишковий ресурс зменшується (рис. 2.3). При певному значенні $t > t_k$ експлуатації зернозбирального комбайна має бути призупинена через порушення обмеження на ймовірність відмови $Q(t) \leq Q^*$.

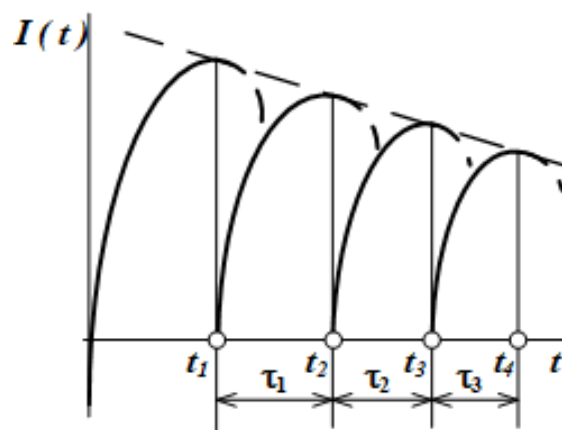


Рис. 2.3. Зміна цільової функції ефективності режимів технічного контролю зернозбирального комбайна

Оптимальну тривалість експлуатації зернозбирального комбайна між технічними контролюями можна оцінити за допомогою безрозмірного критерія ε :

$$\varepsilon = \frac{d}{dt} [\ln I(t_k + \tau_k)]. \quad (2.4)$$

Експлуатації зернозбирального комбайна зупиняється, коли значення параметра ε досягає визначеного граничного значення. Рішення задач оптимізації технічного контролю зернозбирального комбайна включає, як правило, побудову графа станів, складання моделі технічної готовності і визначення режимів технічного контролю. При цьому зазвичай розглядаються усталені режими і, відповідно, стаціонарні моделі технічної готовності і фінальні значення ймовірностей знаходження комбайна в кожному із станів. Визначення оптимальних режимів технічного контролю зазвичай заключається в виборі із

значень, при яких фінансові витрати на підтримання працездатності комбайна мінімальні.

В період рядової експлуатації зернозбиральних комбайнів інтенсивність відмов наближено постійна і умова стаціонарності дотримується за визначенням. В період же припрацювання для того, щоб відмінність індивідуальних законів розподілу наробітку елементів комбайна мало впливали на форму потоку відмов комбайна в цілому, необхідним є виконання відношення:

$$\frac{N}{m(t)} > 10 \frac{\lambda_0}{(\lambda - 1)} \quad (2.5)$$

де: N – кількість елементів зернозбирального комбайна, які впливають на його технічну готовність, $m(t)$ – математичне очікування кількості відмов або несправностей на визначеному відрізку часу, λ_0 і λ – інтенсивність (параметри потоків) відмов або несправностей комбайна в початковий момент часу і сталі значення, відповідно.

Для перевірки гіпотези про стаціонарність потоку відмов або несправностей можливо також використати стандартні процедури перевірки статистичних гіпотез, однак при інтенсивності відмов або несправностей менше 10^{-3} – 10^{-4} годин⁻¹ наявність періоду припрацювання практично не викликає відхилень потоку від простішого.

2.2. Аналітичні моделі режимів технічного контролю зернозбиральних комбайнів

В більшості практично значимих випадках оптимальності режимів технічного контролю зернозбиральних комбайнів може бути оцінена визначенням рішень двох задач:

- забезпечення нормативного рівня технічної готовності зернозбирального комбайна (тобто значення якого-небудь показника ремонтпридатності і безвідмовності) за мінімальних витрат трудових і затрат фінансових ресурсів на технічний контроль;

- забезпечення максимального з можливих рівня технічної готовності за обмежених витрат трудових і затрат фінансових ресурсів на технічний контроль (обернена задача оптимізації).

Для найбільш складних і вартісних зернозбиральних комбайнів, відмова або зниження працездатності яких нижче допустимого рівня може призвести до аварійних наслідків, показники безвідмовності і ремонтпридатності, як більш впливові характеристики, зазвичай розглядаються в якості обмеження, а фінансові затрати – як цільова функція оптимізації. Тому в більшості випадків вирішується пряма задача оптимізації.

Вирішення задач оптимізації режимів технічного контролю зернозбиральних комбайнів включає, як правило, побудову як моделей функціонування і можна виділити ряд характерних груп потоків (переходів з одного стану в другий): виникнення відмов і несправностей, усунення відмов і несправностей, вивід комбайна на різні режими технічного контролю, вивід із стану проведення технічного контролю. При цьому марковська апроксимація можлива, якщо випадкові потоки є простішими, тобто задовольняють умовам ординарності, стаціонарності і відсутності наслідків. В більшості задач прикладного характеру використання марковської апроксимації приводить до отримання рішень з похибкою в межах точності вихідних даних і, в більшості випадків, не перевищує 3-5%. Тому використання властивостей марковських процесів для рішення практичних задач технічної готовності зернозбиральних комбайнів, як правило, є достатньо виправданим.

Так приймемо простіший випадок безперервно контролюваного параметру технічного стану зернозбиральних комбайнів в процесі експлуатації (рис. 2.4) можливі тільки два стани (працездатність і стан відмови) і при визначеній інтенсивності відмов λ модель режимів технічного контролю включає тільки один керований параметр – середній час T_B або інтенсивність відновлення μ (при цьому $T_B = 1/\mu$).

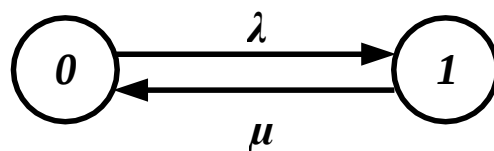


Рис. 2.4. Граф простішого випадку безперервно контролюваного параметру технічного стану зернозбиральних комбайнів в процесі експлуатації: 0 – працездатність, 1 – відмова

Для усталеного режиму експлуатації зернозбиральних комбайнів ($t \rightarrow \infty$) система диференціальних рівнянь відносно ймовірності стану комбайна $P_0(t)$ і $P_1(t)$ перетворюється в систему алгебраїчних рівнянь відносно граничних ймовірностей $P_0(t)$ і $P_1(t)$:

$$-\lambda P_0 + \mu P_1 = 0, \quad -\mu P_1 + \lambda P_0 = 0, \quad (2.6)$$

з якої (2.6), з врахуванням нормуючої умови $P_0 + P_1 = 1$, можливо отримати:

$$\mu = \lambda \frac{P_0}{1 - P_0} = \lambda \frac{1 - P_1}{P_1}. \quad (2.7)$$

При визначеній інтенсивності відмов комбайна λ і заданому рівні технічної готовності P_0 (ймовірність готовності комбайна до безвідмовної експлуатації) або ймовірності аварійної відмови $Q = P_1 = 1 - P_0$ (технічний ризик) можливо визначити граничне значення математичного очікування часу відновлення комбайна і, відповідно, інші значення режиму технічного контролю.

В більш складних випадках для рішення задач оптимізації режимів технічного контролю зернозбирального комбайна необхідно визначити деякі додаткові характеристики, які не можуть бути заданими виходячи з експериментальних досліджень або виробничої практики експлуатації комбайна. Для цього доцільно скористатись основними властивостями марковських процесів з безперервним часом.

Так в моделі нерезервованої відмови зернозбирального комбайна з періодичним технічним контролем (рис. 2.5) можливі переходи чотирьох видів.

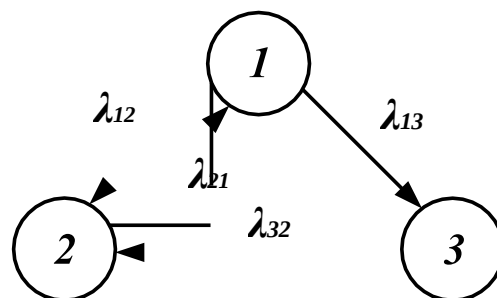


Рис. 2.5. Граф стану нерезервованої відмови зернозбирального комбайна з періодичним технічним контролем: 1 – працездатність; 2 – технічний контроль; 3 – нерезервована відмова (до проведення технічного контролю)

Перший вид (рис. 2.5). З працездатності (або стан технічної готовності комбайна до експлуатації) 1 в стані технічного контролю 2 з періодичністю t_{tc} і, відповідно, з інтенсивністю переходів $\lambda_{12} = 1/t_{tc}$.

Другий вид (рис. 2.5). Стан технічної готовності комбайна 1 в стані відмови 3 з інтенсивністю переходів, рівною інтенсивності відмов λ (або параметру потоку відмов): $\lambda_{13} = \lambda$.

Третій вид (рис. 2.5). Стан за режимом технічного контролю 2 в стані технічної готовності комбайна 1 з інтенсивністю, яка визначається тривалістю технічного контролю τ_{tc} : $\lambda_{21} = 1/\tau_{tc}$.

Четвертий вид (рис. 2.5). Стан за відмови комбайна 3 в стані за режимом технічного контролю 2 (перехід обумовлений віднайденням прихованої відмови при технічному контролі) з інтенсивністю λ_{32} .

Єдиним стан за повної працездатності комбайна є стан технічної готовності 1 і тому основним показником необхідно вважати ймовірність цього стану P_1 . При аналізі технічної готовності комбайна основним значенням є ймовірність відмови (технічний ризик) $Q = P_3$.

Значення t_{tc} , λ , τ_{tc} і, відповідно, інтенсивність переходів λ_{12} , λ_{13} , λ_{21} можуть бути отримані за результатами експериментальних досліджень і випробувань або задаються регламентом технічного контролю комбайна і при побудові моделі їх можна вважати дійсними. Для віднайдення невідомих інтенсивностей λ_{32} можна скористатись властивостями марковських процесів з безперервним часом. Так як перехід 3-2 одиничний, то $p_{32} = 1$, і, очевидно, $t_3 = t_{tc} - t_{13}$, а $t_{13} = t_1$, тоді:

$$\lambda_{32} = p_{32}/t_3 = 1/t_3 = 1/(t_{tc} - t_{13}) = 1/(t_{tc} - t_1). \quad (2.8)$$

Крім того $\lambda_1 = \lambda_{12} + \lambda_{13} = \lambda + 1/t_{tc}$ і для простішого потоку відмов:

$$t_1 = \int_0^{\infty} [1 - F_1(t)] dt = \int_0^{\infty} \exp(-\lambda_1 t) dt = \int_0^{\infty} \exp[-(\lambda + 1/t_{tc})t] dt = \frac{1}{\lambda + 1/t_{tc}}. \quad (2.9)$$

Тоді,

1

$$t_3 = t_{tc} - t_1 = t_{tc} - \frac{1}{\lambda + 1/t_{tc}}, \quad (2.10)$$

і у відповідності до формули (2.8):

$$\lambda_{32} = \frac{1}{t_{tc} - \frac{1}{\lambda + 1/t_{tc}}} = \frac{1 + \lambda t_{tc}}{\lambda t_{tc}^2}. \quad (2.11)$$

Крім того, результати обрахунків дозволяють констатувати про тривалість перехідних процесів, протягом яких ймовірність стану технічної готовності комбайна знижується до нормативної фінальної ймовірності, і, відповідно, про можливість застосування для визначення стаціонарної моделі. Так, наприклад, при $\lambda = 10^{-4}$, год⁻¹ ТК-1 і $t_{tc}=2$ доби після 3 років експлуатації значення P_1 практично не змінюється (рис. 2.6).

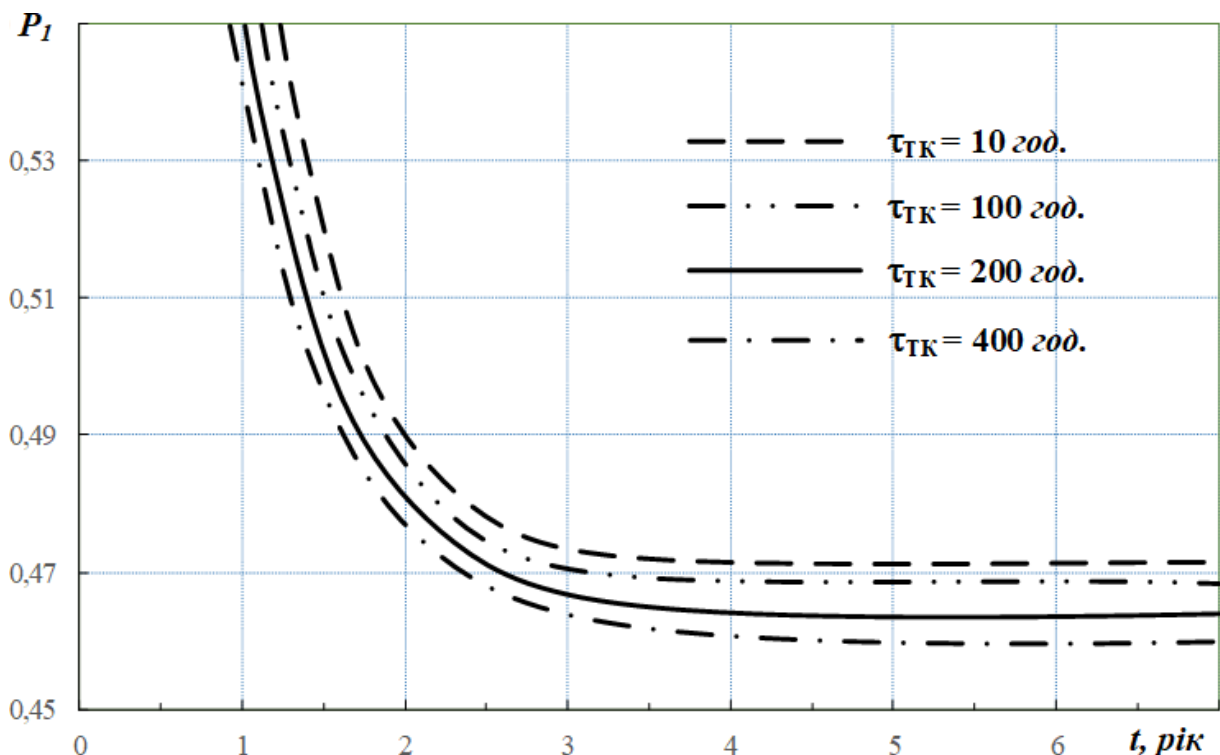
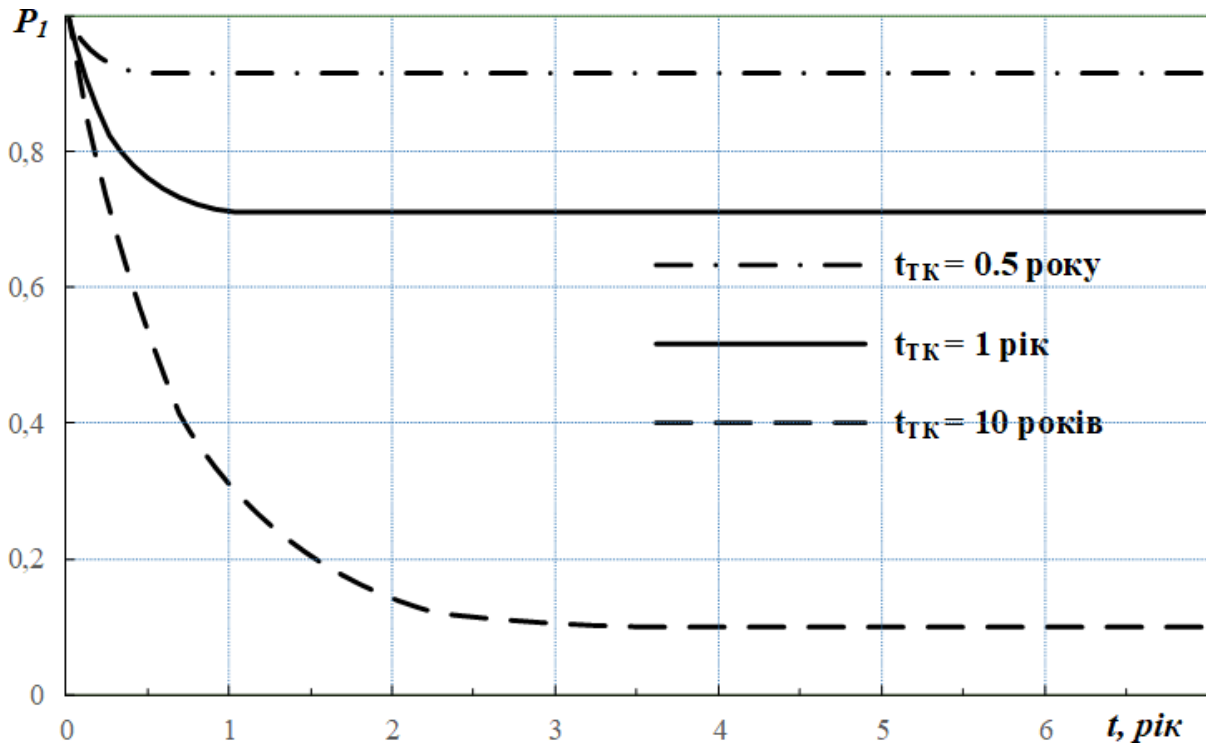


Рис. 2.6. Залежність ймовірності технічного стану зернозбирального комбайна від терміну експлуатації.

Таблиця 2.1

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

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

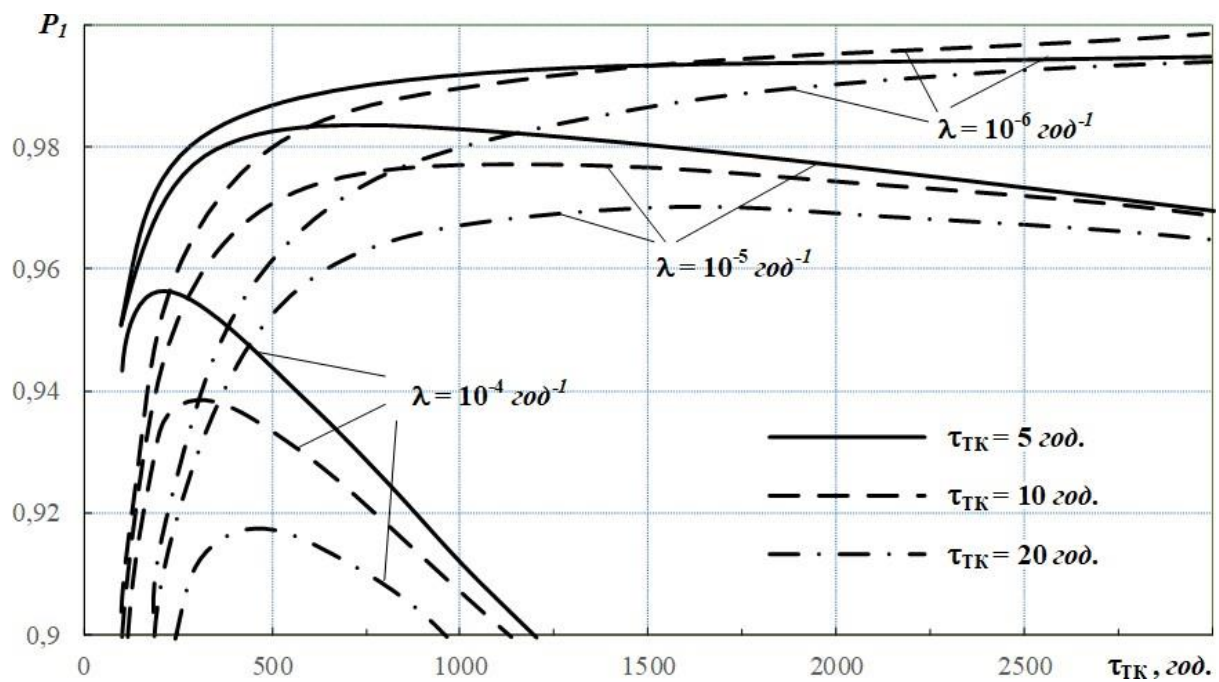


Рис. 2.7. Залежність ймовірності стану технічної готовності від періодичності технічного контролю комбайна

2.3 Розподіл агрегатів зернозбирального комбайна за технічним контролем у залежності від їх фактичного технічного стану

Отримання поєднання виявлених дефектів дизельних двигунів зернозбиральних комбайнів використовувалися в якості тестового набору даних при вирішенні наступного завдання, розподіл агрегатів ремонтного фонду по комплексу технічного контролю агрегатів зернозбиральних комбайнів, згідно блок-схемі алгоритму на рис. 2.7, в рамках загальної методики досліджень.

Навчальний набір даних для поточного завдання було сформовано на основі вибірових поєднань з ЦПГ, КШМ, ГРМ, яким був призначений певний технологічний маршрут, ґрунтуючись на висновках про оптимальність числа і складу комплексів технічного контролю агрегатів зернозбиральних комбайнів, і згідно з критерієм розподілу – обсяг навчальної вибірки був складений.

Кожен можливий дефект, з сукупності дефектів всіх основних вузлів об'єкта досліджень, буде окремим нейроном вхідного шару штучної нейронної мережі. Кожен нейрон вихідного шару буде відповідати певному комплексу технічного контролю агрегатів зернозбиральних комбайнів, яким будуть привласнені сигнали 0 або 1 відповідно, в залежності від виявленої приналежності поєднань дефектів до того чи іншого комплексу технічного контролю агрегатів зернозбиральних комбайнів.

Отримані результати роботи алгоритму розподілу агрегатів ремонтного фонду по комплексу технічного контролю агрегатів зернозбиральних комбайнів в залежності від розпізнаних поєднань дефектів основних вузлів представлені в таблиці 2.2, а також у вигляді графіків на рис. 2.8, 2.9.

Таблиця 2.2

Значення помилок при розподілі дизельних двигуні зернозбиральних комбайнів по технологічних маршрутах в залежності від розпізнаних поєднань дефектів основних вузлів

L	Розпізнавання навчальних прикладів, %	Значення максимальної помилки при навчанні	Розпізнавання тестових прикладів, %	Значення максимальної помилки при тестуванні
2	46	0,093	0	0,3889
3	63	0,052	12	0,2152
4	87	0,026	44	0,0925
5	95	0,014	66	0,0681
6	100	0,000	85	0,0398
7	100	0,000	100	0,0238
8	100	0,000	100	0,0144
9	100	0,000	100	0,0056
10	100	0,000	100	0,0091
11	100	0,000	100	0,017
12	100	0,000	100	0,026

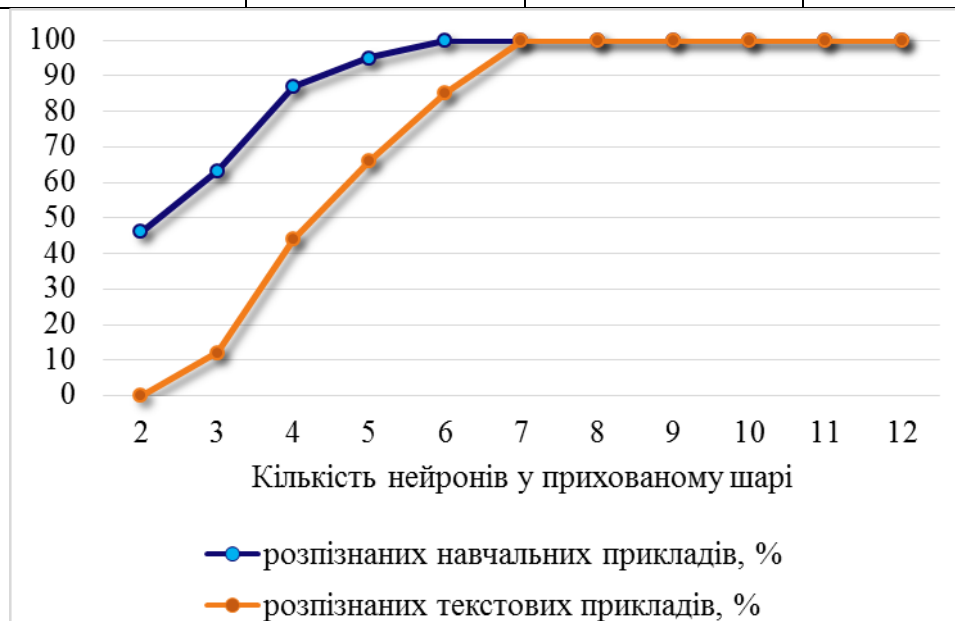


Рис. 2.8. Збіжності при розподілі дизельних двигуні зернозбиральних комбайнів по комплексу технічного контролю агрегатів при навчанні і тестуванні штучної нейронної мережі

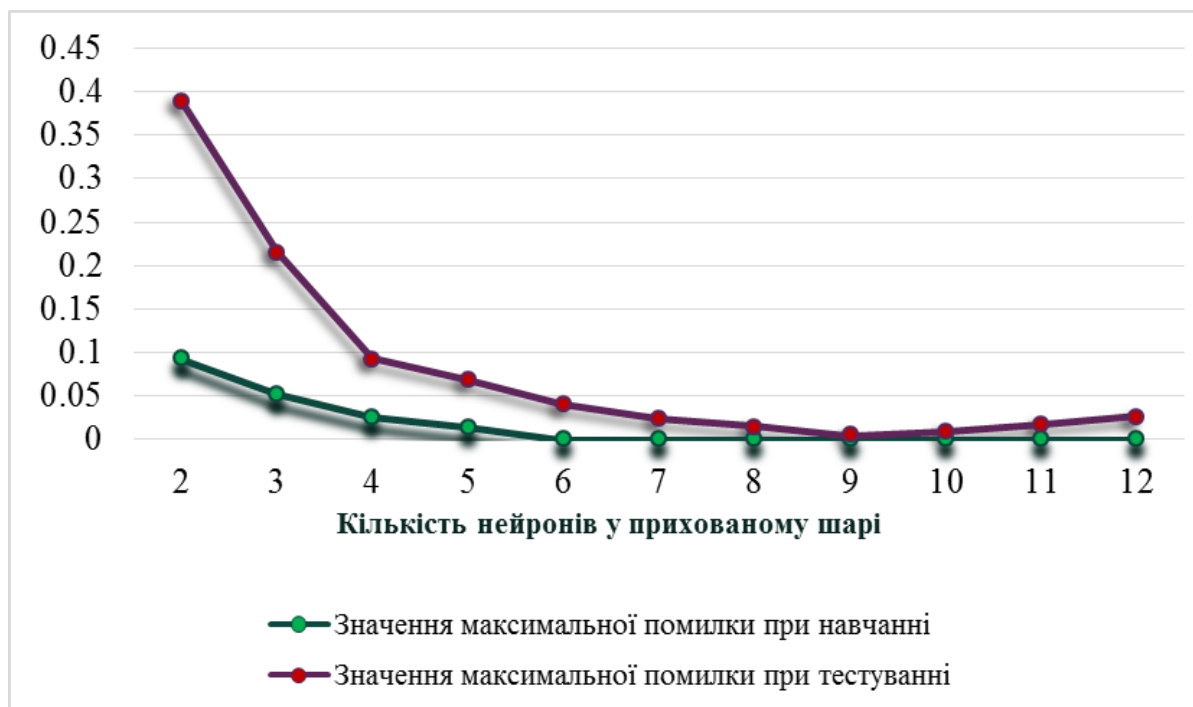


Рис. 2.9. Збіжності значень максимальної помилки при розподілі дизельних двигунів зернозбиральних комбайнів по комплексу технічного контролю агрегатів при навчанні і тестуванні штучної нейронної мережі

Таблиця 2.3

Результати визначення оптимального числа нейронів у прихованому шарі для завдання розподілу дизельних двигунів зернозбиральних комбайнів по комплексу технічного контролю агрегатів

Найменування вузла	N_x	N_y	Обсяг навчальної вибірки	Максимальна кількість нейронів у прихованому	Оптимальна кількість нейронів у прихованому
Сукупність вузлів (ЦПГ, КШМ, ГРМ)	14	4	56	21	9

Таблиця 2.3 містить результати визначення оптимальної кількості нейронів у прихованому шарі для даного завдання, виявлені методом ітераційного нарощування числа нейронів згідно з алгоритмом на рис. 2.7.

Отримані результати також представлені на рис. 2.10 у вигляді побудованої граф-моделі штучної нейронної мережі.

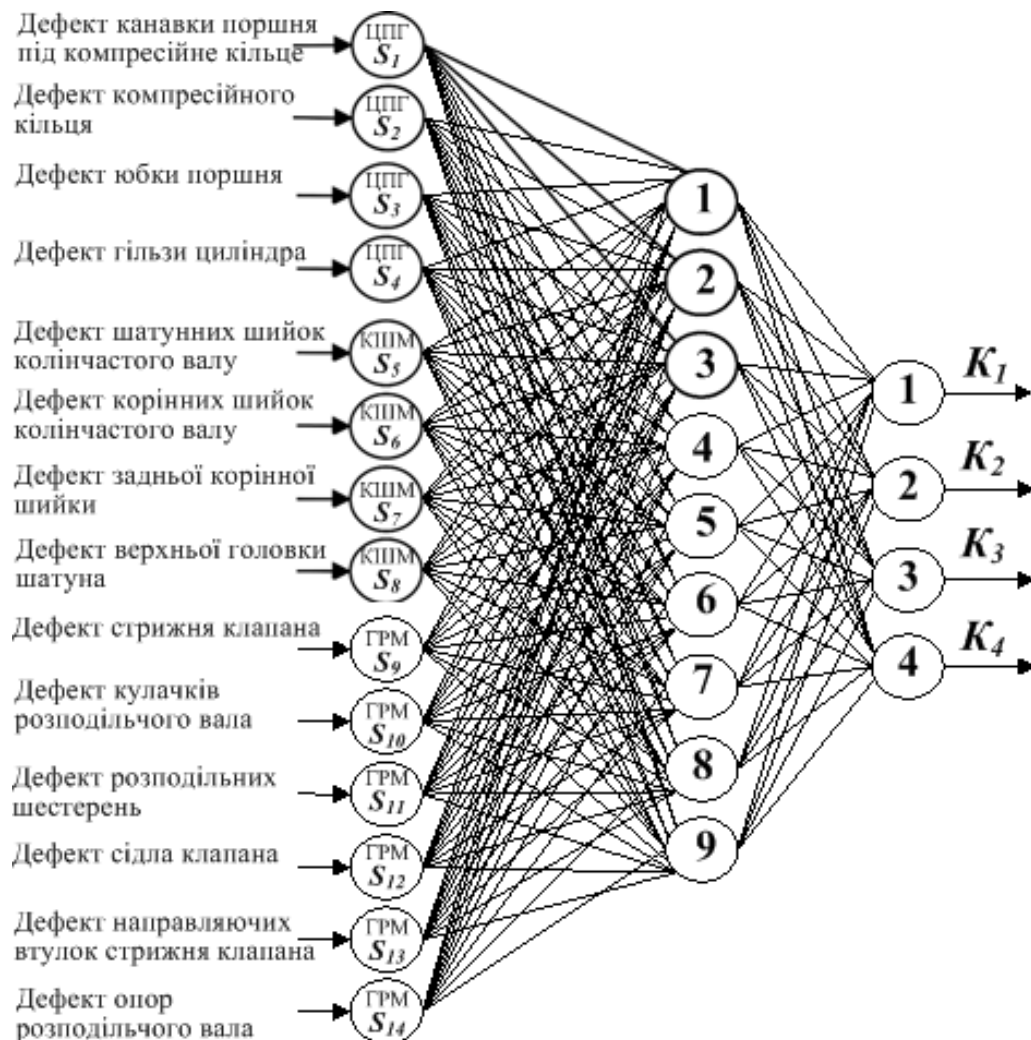


Рис. 2.10. Граф-модель штучної нейронної мережі для завдання розподілу агрегатів по комплексу техконтролю агрегатів зернозбиральних комбайнів

У таблиці 2.3 кількість нейронів вхідного шару (N_x) дорівнює числу дефектів що утворюють поєднання, всіх вузлів об'єкта досліджень, а число нейронів вихідного шару (N_y) – кількості комплексів ремонтних робіт, між якими будуть розподілятися агрегати ремонтного фонду в залежності від виявлених сполучень дефектів.

Таким чином, за результатами тестування побудованої моделі штучної нейронної мережі для вирішення поточної задачі, всі агрегати (на прикладі дизельних двигунів зернозбиральних комбайнів) були успішно розподілені по

технологічних маршрутах ремонту, в залежності від розпізнаних поєднань дефектів.

2.4 Складальні частини процесу технічного контролю зернозбирального комбайнів і їх трудонапруженість

На основі хронометражних спостережень процесів технічного контролю при технічному обслуговуванні досліджуваних комбайнів отримані експериментальні дані основного нормованого показника ефективності – сумарної оперативної трудомісткості технічного контролю за цикл технічного контролю, які представлені у вигляді діаграми на рис 4.13. Заштрихована частина діаграми показує, що трудомісткість процесу технічного контролю розглянутих комбайнів складає 24...48% від нормованої трудомісткості їх технічного обслуговування. Це цілком закономірно і пояснює ускладнення конструкцій в зв'язку із зростом їх енергонасиченості.

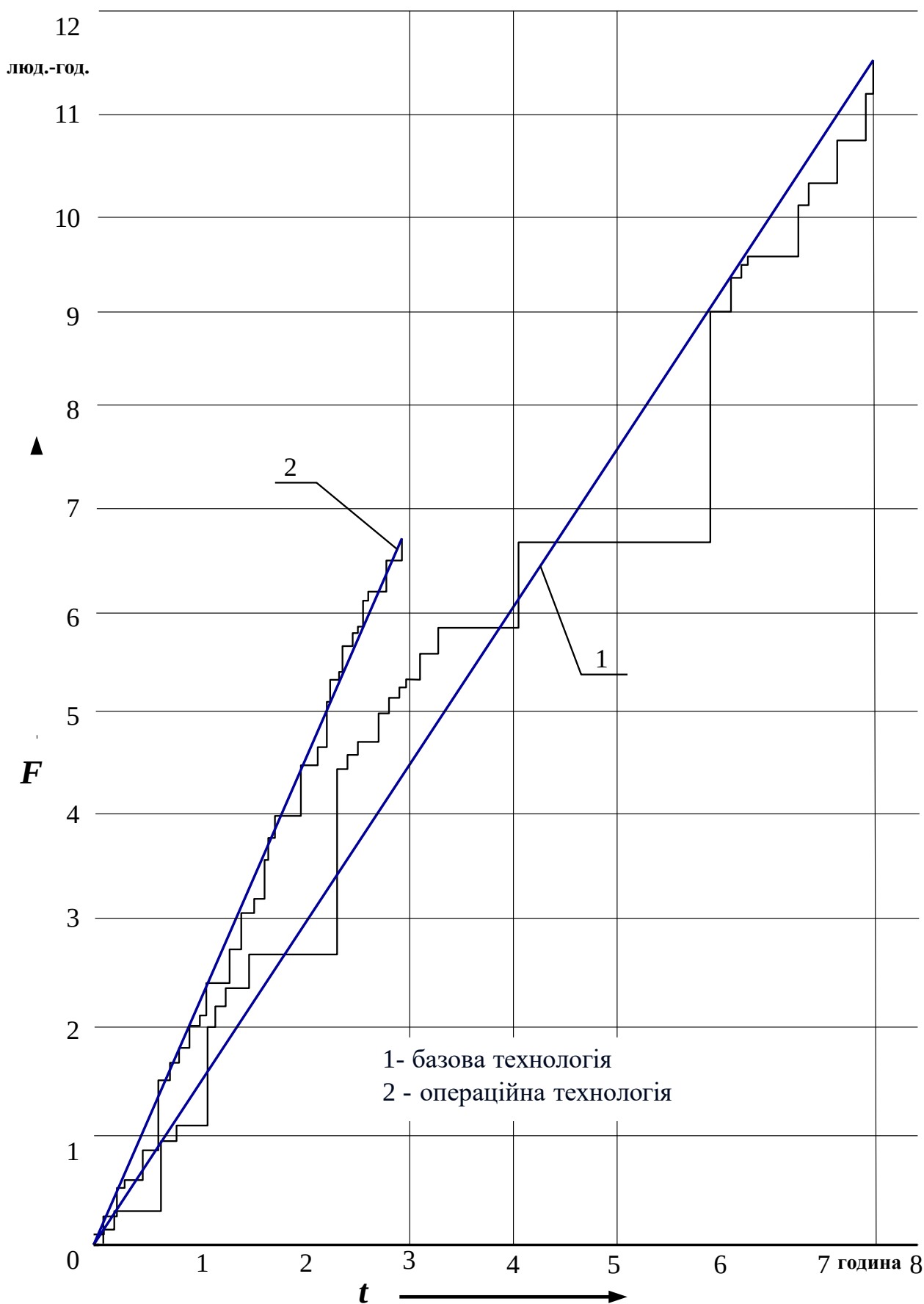
Найбільший об'єм робіт технічного контролю по відношенню до всього об'єму за цикл технічного контролю передбачається інструкціями комбайнів №2 (48%) і №4 (39%), а найменший в №1 (33,4%). Така відмінність пояснюється не тільки різною складністю конструкції, але і різною повнотою технічного контролю.

Таблиця 4.4

Тривалість технічного контролю за базовими і операційними технологіями

Комбайн, Технологія	ТК-1, хв.	ТК-2, хв.	ТК-3, год.	Цикл ТК год.
Комбайн №1				
базова	16,0	50,9	3,86	9,6
операційна	9,3	32,8	1,88	5,38
Комбайн №2				
базова	11,6	40,2	7,63	11,96
операційна	7,2	31,4	2,85	6,04
Середнє значення				
базова	18,83	73,05	6,14	13,55
операційна	8,88	50,98	2,69	7,48

Із залученням апарату регресійної-кореляційного аналізу і методів перевірки статистичних гіпотез сформована раціональна сукупність параметрів технічного стану для ефективної оцінки технічного стану об'єкта дослідження.



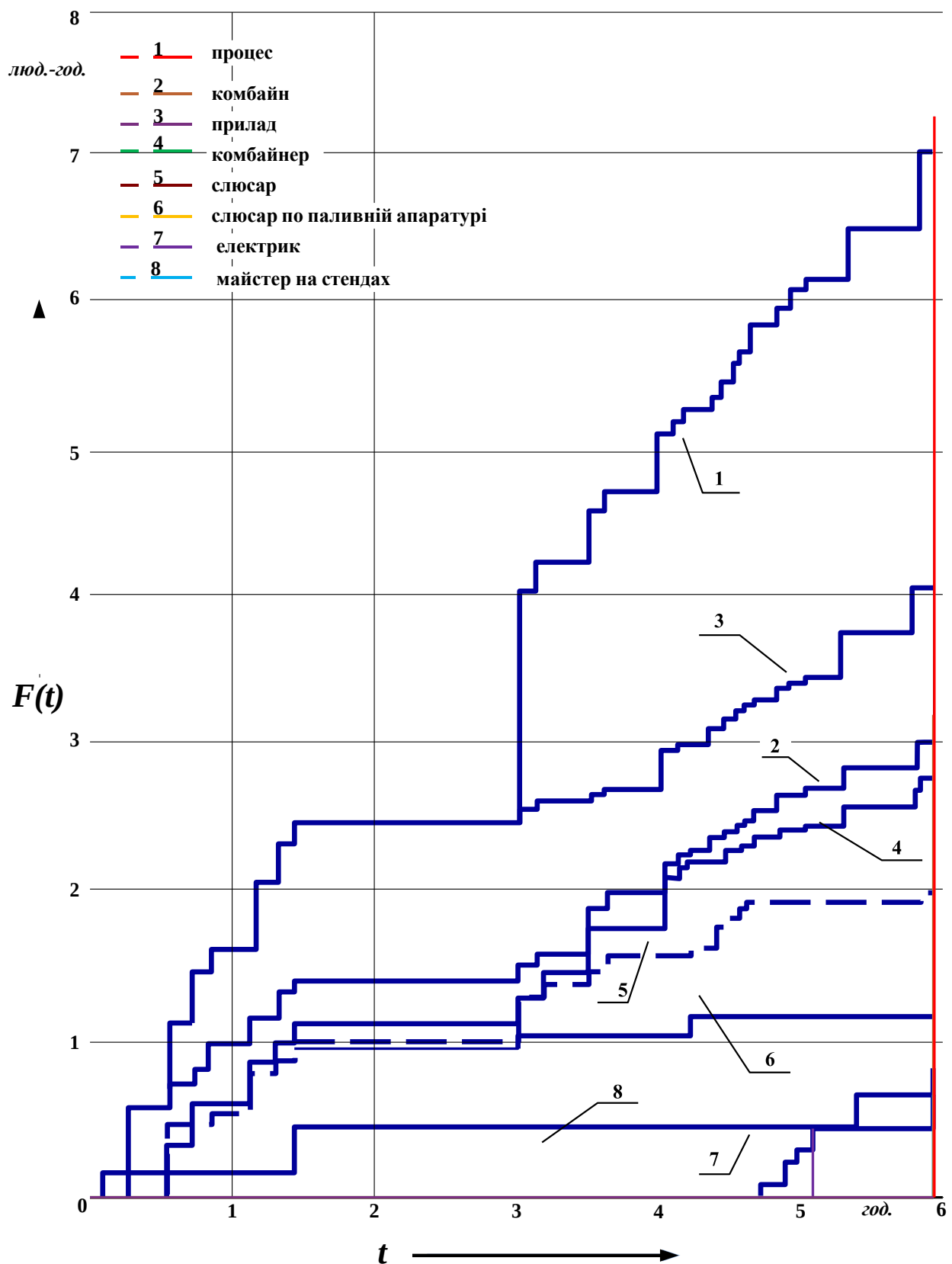


Рис. 4.26. Технологічність процесу технічного контролю і робіт, які залежать від компонентів – зернозбирального комбайна, приладів, виконавців

Висновки до другого розділу

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

2. Трудомісткість технічного контролю зернозбиральних комбайнів складає 24...48% від нормованої оперативної трудомісткості технічного контролю цих комбайнів.

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

РОЗДІЛ 3

ОХОРОНА ПРАЦІ

З метою недопущення нещасних випадків під час проведення зернозбиральних робіт управління праці та соціального захисту населення звертається до керівників всіх сфер господарств взяти під особистий контроль питання стану безпеки праці під час проведення жнивної кампанії.

Необхідно знати, що всі види робіт ремонтних, налагоджувальних та технічного обслуговування сільськогосподарської техніки проводять тільки після повної зупинки всіх агрегатів.

3.1 Моделювання виробничих небезпек під час проведення механізованих робіт

В господарському виробництві є багато небезпек. Увагу необхідно звертати потенційно небезпечним (особливо небезпечним) об'єктам. Це такі об'єкти, робота з якими при порушенні вимог безпеки може призвести до травм або інших тяжких наслідків. Особливо небезпечними об'єктом в виробництві є рухомі машини і механізми.

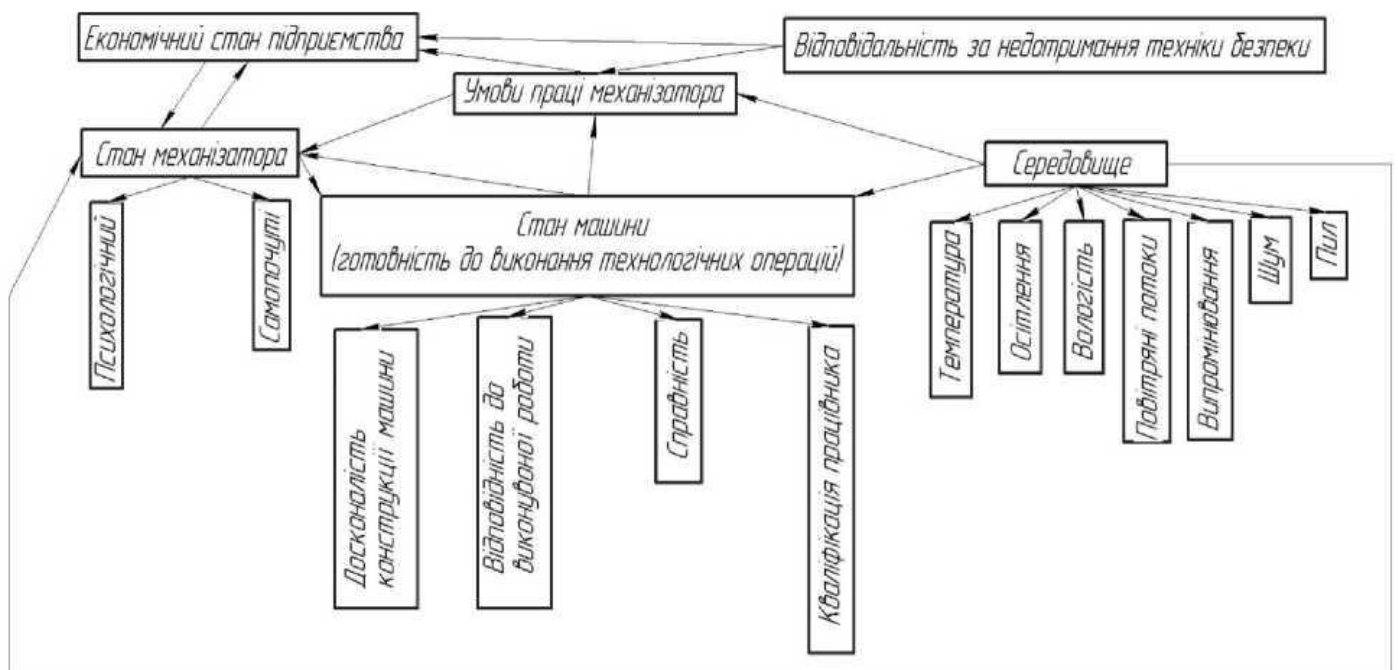


Рис. 3.1 Умови праці характеризуються технічним та технологічним рівнем засобів праці – ступенем механізації, автоматизації, оснащенням галузі і вдосконаленням існуючої технології новітніми досягненнями.

В межах одного і того ж галузевого об'єкта можуть мати місце комфортні, допустимі або несприятливі умови праці. Тому для аналізу умов праці ставить собі за мету виявлення причин та травмуючих чинників, що є характерними для даного технологічного процесу, для конкретного робочого місця та визначення їх впливу на рівень травматизму, стан здоров'я та працездатність працюючих для підвищення рівня безпеки галузевих виробництв.

Процес пошуку потенційних небезпек на виробництві ґрунтується на більш точному і ефективному проведенні існуючого оперативного контролю, який також повинен бути відповідно удосконалений. Для кращого розуміння методу моделювання виробничих небезпек слід розглянути основні поняття, такі як: небезпечна зона, небезпечна дія, небезпечна умова, небезпечна ситуація і як результат травма та нещасний випадок.

3.2 Вимоги безпеки під час роботи на зернозбиральних комбайнах

Не передавати керування комбайном особам не закріпленим за даним комбайном.

Не допускати знаходження будь-кого, в тому числі і помічника комбайнера, на комбайні під час руху.

Перевіряти і регулювати робочі органи і механізми, надівати і натягувати паси, ланцюги, усувати несправності, проводити змащування, очищати ріжучий апарат, молотильний барабан, копнувач тільки при заглушеному двигуні. Перед виконанням цих робіт на рульовому колесі вивішують табличку "Не включати! "Працюють люди!".

Забороняється керувати комбайном стоячи. Постійно стежити за місцями жатки і комбайна, де намотується солома. Очищення проводити спеціальними крючками і обов'язково в рукавицях.

При вивантаженні зерна в машину обслуговуючому персоналу не можна сидіти на бортах автомобіля, знаходитись під вивантажуючим шнеком, зерно в бункері не можна проштовхувати руками чи ногами, для цього необхідно використовувати дерев'яні лопати.

Під час транспортування зерна забороняється знаходження людей у кузові.

Місце відпочинку повинно бути відмічено видимими віхами, а при настанні темряви — освітлюватися.

Очищати ріжучий апарат слід спеціальними чистиками.

Заміну ножа проводити при заглушеному двигуні.

При підготовці комбайна до роботи в нічний час перевіряється справність освітлення, проводиться його регулювання, для забезпечення освітлення фронту роботи і робочих органів, перевіряється освітлення щитка вимірювальних приладів.

У разі вимушеної заправки в нічний час користуватися переносною електролампою або освітлення від іншого комбайна, автомобіля.

Висновки до третього розділу

Розробивши розділ з охорони праці можна провести такий аналіз що при роботі з комбайнами та агрегатними комплектуючими потрібно здійснювати роботу з особливою обережністю і дотриманням питань з охорони праці.

Коли відбувається початок зернозбиральних робіт відповідальні за керування господарством, чи підприємством повинні бути проведені деякі організаційні та профілактичні заходи для недопущення випадків травмування працюючих в жнивний період.

РОЗДІЛ 4

ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ

4.1 Техніко-економічний ефект і рекомендації щодо організації технічного контролю зернозбиральних комбайнів

Оцінити економічний ефект пропонованих можна шляхом порівняння результатів проведених в рамках даного дослідження експериментів з результатами, опублікованими в роботах аналогічної тематики. Порівняння отриманих результатів з базовими технологіями технічного обслуговування недоцільно, так як при цьому технічний контроль надходить до ремонтного фонду позбавлене сенсу за визначенням. Поточний ремонт є, як правило заявочним і не має індустріальної основи організації виробництва (відсутність предметної спеціалізації, невеликі обсяги робіт, відсутність типових технологій відновлення працездатності зернозбиральних комбайнів і т.д.).

Тому розрахувати очікуваний економічний ефект від впровадження розроблених методик вдосконалення процесу визначення технічного стану ремонттованих агрегатів зернозбиральних комбайнів можна шляхом порівняння виробничих втрат від помилок розпізнавання дефектів.

В цілому для розрахунку очікуваного економічного ефекту після впровадження технічного контролю зернозбирального комбайна на агропідприємстві слід прийняти (5.1) адитивної функції річних приведених витрат на існуючий і пропонований спосіб організації ремонтного фонду:

$$E = \left\{ \left(C_{\Sigma(1)} + Y_H \cdot K_{(1)} / N_{(1)} \right) - \left(C_{\Sigma(2)} + Y_H \cdot K_{(2)} / N_{(2)} \right) \right\} \cdot N_{(2)} \quad (4.1)$$

де $C_{\Sigma(1)}$ і $C_{\Sigma(2)}$ - узагальнені внутрішньовиробничі втрати від помилок на етапі технічного контролю дизельних двигунів зернозбиральних комбайнів, відповідно, за першим та другим варіантами, грн.;

$K_{(1)}$, $K_{(2)}$ - капіталовкладення в створення виробничої бази, відповідно, за

першим та другим варіантами, грн.;

U_H - нормативний коефіцієнт ефективності капіталовкладень, який по галузі в цілому дорівнює $U_H = 0,15$;

варіантами організації розрізняються лише витратами на придбання у другому варіанті оригінального програмного забезпечення та формування автоматизованого робочого місця, розмір яких в порівнянні з капіталовкладеннями порівняно малий, з розрахунків їх можна виключити. Виробничі програми $N_{(1)}$ і $N_{(2)}$ так само можна прийняти однаковими і виключити з розрахунків.

Із поточних витрат слід виключити витрати на сировину, матеріали, напівфабрикати, паливо і енергію, які використовуються при технічному контролю ремонтів агрегатів.

Таким чином, з огляду на розроблену раніше модель формування технологічних процесів моделі комплексів технічного контролю агрегатів зернозбиральних комбайнів (2.4), розрахунковий вираз для визначення очікуваного економічного ефекту після впровадження пропонованого варіанту організації технічного контролю буде виглядати наступним чином:

$$E = \left\{ \left(C_{\Sigma^{вн}(1)} - C_{\Sigma^{вн}(2)} \right) \right\} =$$

$$\left(\left(C_{\Sigma^{изл}(1)} + C_{\Sigma^{прон}(1)} + C_{\Sigma^{розн}(1)} \right) - \left(C_{\Sigma^{изл}(2)} + C_{\Sigma^{прон}(2)} + C_{\Sigma^{розн}(2)} \right) \right)$$

Підставляючи відповідні значення у вираз (5.2), отримуємо ефект, виражений в економії витрат на один двигун, на етапі технічного контролю якого були допущені помилки 1-го і 2-го роду:

$$E = \left\{ (4194,42 + 4407,00 + 6921,81)_{(1)} - (1224,03 + 1312,18 + 2046,42)_{(2)} \right\} =$$

$$\left\{ (15523,25)_{(1)} - (4582,63)_{(2)} \right\} = 10940,62 \text{ грн. / двиг}$$

Економічна ефективність є одним з основних показників оцінки будь-якого технологічного процесу в сільському господарстві.

Річний економічний ефект від впровадження результатів дослідження визначимо на один гектар за формулою:

$$E_p = \frac{B_1 - B_2}{F}, \quad (4.2)$$

де B_1 - сумарні витрати, які включають в себе витрати на технічний контроль, до впровадження нової технології, грн.:

$$B_1 = B_{TK-1} + B_{TK-3} + B_{відм} \quad (4.3)$$

де B_{TK-1} - сумарні витрати на ТК-1 для зернозбиральних комбайнів, грн.;

B_{TK-2} - сумарні витрати на ТК-2 для зернозбиральних комбайнів, грн.;

$B_{відм}$ - сумарні витрати на усунення відмов для зернозбиральних комбайнів, грн.;

$$B_1 = 122976,00 + 292732,00 + 804720,00 = 1220428,00$$

B_2 - сумарні затрати на ТК-1, ТК-2 після впровадження нової технології технічного контролю агрегатів зернозбиральних комбайнів, грн.:

$$B_2 = B'_{TK} + B''_{TK} \quad (4.4)$$

де B'_{TK} - сумарні витрати на технічний контроль (ТК-2 нової проводимо в об'ємі ТК-2 за базової) для зернозбиральних комбайнів:

$$B'_{TK} = n_{TK} \cdot t_{TK} \cdot C_{zv} \quad (4.5)$$

де n_{TK} - кількість ТК-2, шт.;

t_{TK} - середня тривалість ТК-2, год;

C_{zv} - вартість години простою комбайна, грн.;

B''_{TK} - сумарні витрати на технічний контроль (ТК-3 нової проводимо в об'ємі ТК-3 за базової) для зернозбиральних комбайнів (Розрахунок показника аналогічний розрахунку по формулі (5.5)), грн.;

Розрахуємо B'_{TK} :

$$B'_{TK} = 38 \cdot 8,25 \cdot 250 = 78375,00 \text{ грн.}$$

Розрахуємо B''_{TK} :

$$B''_{TK} = 4 \cdot 9,15 \cdot 250 = 9150,00 \text{ грн.}$$

Коли сумарні витрати на ТК-2, ТК-3 після впровадження нової технології технічного контролю агрегатів зернозбиральних комбайнів складуть:

$$B_2 = 78375,00 + 9150,00 = 87525,00 \text{ грн.};$$

F - площа ріллі під зернові сільськогосподарські культури, га.

Річний економічний ефект від впровадження результатів дослідження у №1:

$$E_p = \frac{1220428,00 - 87525,00}{1662} = 681,65 \text{ грн./га}$$

За формулами (4.1) - (4.4) проводимо розрахунок для №3. Значення річного економічного ефекту від впровадження результатів дослідження складе 721,83 грн./га.

Висновки до четвертого розділу

Із розрахунків економічного ефекту результатів досліджень були виключені одноразові витрати на організацію підсистеми технічного контролю зернозбиральних комбайнів, як константні і для першого і для другого варіантів.

При розрахунку очікуваного економічного ефекту (економії витрат на один двигун на етапі технічного контролю) мінімізувалася адитивна функція внутрішньовиробничих втрат від помилок I-го роду, помилок II-го роду і помилок маршрутизації.

Значення річного економічного ефекту від впровадження результатів дослідження складає 721,83 грн./га.

ВИСНОВКИ

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

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

2. Розробивши розділ з охорони праці можна провести такий аналіз що при роботі з комбайнами та агрегатними комплектуючими потрібно здійснювати роботу з особливою обережністю і дотриманням питань з охорони праці.

- Коли відбувається початок зернозбиральних робіт відповідальні за керування господарством, чи підприємством повинні бути проведені деякі організаційні та профілактичні заходи для недопущення випадків травмування працюючих в жнивний період.

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

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Abbas Rohani, Mohammad Hossein Abbaspour-Fard, Shamsolla Abdolapour. Prediction of tractor repair and maintenance costs using. Artificial Neural Network. Expert Systems with Applications. 2011. Vol. 38. P. 8999–9007.
2. Abdelkarim D. Elfadil, Mamoun I. Dawelbeit, Abdalla S. Abdalla, Yousof E. Youfof. Breakdowns and Associated Downtime for Trucks Employed in Sugarcane Transportation. Gezira Journal of Engineering and Applied Sciences. 2013. Vol. 3, № 1. P. 1–5.
3. Affene M. A., Kartoshkin A. P. Post-graduate qualification improvement agro-engineers on the problems of technical devices. International Conference on Engineering Education and Research «ICEER-2013», Marrakesh, 2013. P. 410–417.
4. Badretdinov I., Mudarisov S., Lukmanov R., Permyakov V., Ibragimov R., Nasyrov R. Mathematical modeling and research of the work of the grain combine harvester cleaning system. Computers and Electronics in Agriculture. 2017. Vol. 165. No.104966.
5. Baerdemaeker J. D., Saeys W. Advanced Control of Combine Harvesters. IFAC Proceedings. 2013. Vol. 46, issue 5. <https://doi.org/10.3182/20130828-2-SF-3019.00069>.
6. Balinova A. Ion-pairing mechanism in the solid-phase extraction and reversed-phase high-performance liquid chromatographic determination of acidic herbicides in water. Journal Chromatogr. 2016. Vol. 728. P. 319–324.
7. Becker R., Bubner B., Remus R., Wirth S., Ulrich A. Impact of multi-resistant transgenic Bt maize on straw decomposition and the involved microbial communities. Appl Soil Ecol. 2014. Vol. 73 (1). P. 9–18. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2013.08.002>.
8. Berenghem C., Schladover S., Coelingh E. Overview of platooning systems. In Proceedings of the 19th ITS World Congress, Oct 22-26, Vienna, Austria. 2012. https://www.researchgate.net/publication/256670304_Overview_of_platooning_systems.
9. Bhondave Babu. Design and development of electro hydraulics hitch control for agricultural combine. SAE international journal of commercial vehicles. 2017. Vol. 10, Issue 1. P. 405–410.

10. Sheychenko V., Anelak M., Kuzmych A., Gritsaka O., Dudnikov I., Tolstushko N. Investigation of the grain separation process in the three-drum threshingseparating device of a combine harvesterscientific. VI International scientific congress agricultural machinery. 25.06 – 28.06.2018 Burgas, Bulgaria, P. 27-32.
11. Shinnars K. J., Schlessner W. M. Reducing baler losses in arid climates by steam re-hydration. *Appl Eng Agr.* 2014. Vol. 30 (1). P. 11–16.
12. Shpokas L., Adamchuk V., Bulgakov V., Nozdrovicky L. The experimental research of combine harvesters. *Research in Agricultural Engineering.* 2016. Vol. 62. P. 106–112.
13. Singh K. P., Pardeshi I. L., Kumar M., Srinivas K., Srivastva A. K. Optimisation of machine parameters of a pedal-operated paddy thresher using RSM. *Biosyst Eng.* 2008. Vol. 100 (4). P. 591–600. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2008.05.004>.
14. Артёмов М. П. Динамічна стабільність мобільних сільськогосподарських агрегатів : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня д-ра техн. наук : 05.05.11. Харків, 2014. 41 с.
15. Асланян А. Е., Бельська О. А. Локалізація несправностей в лінійних динамічних системах ОБТ. Збірник наукових праць ЦНДІ ОБТ. Київ. ЦНДІ ОБТ. 2017. Вип. 18. С. 3–8.
16. Аулін В. В., Лисенко С. В., Голуб Д. В., Гриньків А. В., Мартиненко О. Д. Теоретико-фізичний підхід до діагностичної інформації про технічний стан агрегатів мобільної сільськогосподарської техніки. Вісник Харківського нац. техн. університету сільського господарства. Ресурсозберігаючі технології, матеріали та обладнання у ремонтному виробництві. Харків. 2015. Вип. 158. С. 252–262.
17. Аулін В. В. Проблеми підвищення експлуатаційної надійності та можливості удосконалення стратегій технічного обслуговування мобільної сільськогосподарської техніки. Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація. 2015. Вип. 28. С. 126–131.
18. Аффен Мохамед Али. Совершенствование организации технического обслуживания тракторов и автомобилей в условиях Республики

Тунис: Дисс. ... канд. техн. наук. 05.20.03 Технологии и средства технического обслуживания в сельском хозяйстве. СПбГАСУ. Санкт-Петербург. 2015. 233 с.

19. Бальченко І. В. Інформаційна технологія планування робіт в автоматизованій системі управління сільськогосподарським підприємством : дис. ... канд. техн. наук : 05.13.06. Чернігівський національний технологічний університет. Чернігів, 2015. 150 с.

20. Бердникова Р. Г. Техническое обслуживание тракторов с использованием системы информационного обеспечения: Дисс. ... канд. техн. наук. 05.20.03 Технологии и средства технического обслуживания в сельском хозяйстве. ГНУ СибИМЭ. Новосибирск. 2013. 151 с.

21. Гринченко А. С. Механическая надежность мобильных машин: оценка, моделирование, контроль: монография. Харьков: Апостроф, 2012. 259 с.

22. Дерев'янюк Д. А. Вплив технічних засобів та технологічних процесів на травмування і якість насіння: монографія. Житомир, 2018. 772 с.

23. Дерев'янюк Д. А. Механіко-технологічне обґрунтування процесів зниження травмування насіння зернових культур технічними засобами : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня д-ра техн. наук : 05.05.11. Тернопіль, 2018. 47 с.

24. Дерев'янюк Д. А. Синтез конструкцій високопродуктивних самохідних зернозбиральних комбайнів. *Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research*. Kyiv. Ukraine. 2020. Vol. 11. No 2. 131-136.

25. Домущи Д. А., Игнатов В. Д., Енакиев Ю. И. Эксплуатационное обеспечение работоспособности зерноуборочных комбайнов Дон-1500 на уборке зерновых культур. *Аграрний вісник Причорномор'я: технічні науки*. Одесса. 2004. № 24. С. 138–145.

26. Домущі Д. П. Методи обґрунтування оптимальної тривалості збирання урожаю зернових культур. *Аграрний вісник Причорномор'я: технічні науки*. Одеса. 2014. № 74. С. 64–68.

27. Дринча В. М., Мошкин Н. И. Диагностирование систем и агрегатов АТС с помощью ЭВМ. *Тракторы и сельскохозяйственных машины*. 2017. №7. С. 45–47.

28. Думенко К., Шевченко Е. Моделирование процесса обеспечения надежности зерноуборочного комбайна. *MOTROL. Lublin–Rzeszów*. 2012. Vol. 14. № 2. Р. 51–56.

29. Калініченко Д. Ю., Роговський І. Л. Аналіз систем і стратегій технічного контролю зернозбиральних комбайнів та їх складових частин. *Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК*. Київ. 2017.

Вип. 258. С. 380–390.

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

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

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

33. Логойда В. С. Метод индивидуального прогнозирования технического состояния лесотранспортных машин. Системы. Методы. Технологии, 2017. №3(35). С. 154–159.

34. Люгер Дж. Ф. Искусственный интеллект: стратегии и методы решения сложных проблем. Москва. Издательский дом «Вильямс», 2016. 864 с.

35. Самсонов В. А., Зангиев А. А., Дидманидзе О. Н. Автоматизированное диагностирование ресурсосберегающих машинно-тракторных агрегатов: монография. Москва. Колос, 2017. 212 с.

36. Селезнёва Н. И. Разработка методики оценки качества оборудования для ремонтных предприятий: Дисс. ... канд. техн. наук. 05.20.03 Технологии и средства технического обслуживания в сельском хозяйстве. ФГБОУ ВПО РГАУ-МСХА имени К. А. Тимирязева. Москва. 2016. 177 с.

37. Сидорчук О. В., Гадзало Я. М. Системні засади дослідження машин. Механізація та електрифікація сільського господарства. Глеваха, 2013. Вип. 98. Т. 2. С. 444–452.

38. Шепелев С. Д., Черкасов Ю. Б. Обоснование рационального уровня надежности технологических машин в зерноуборочном процессе. Вестник Красноярского государственного аграрного университета. 2015. № 5. С. 58–63.