

**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА  
ДО МАГІСТЕРСЬКОЇ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ  
РОБОТИ**

01.12 – МР.2224«С».07.12.2023.041

**Бащук Роман Васильович**

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І  
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ**

Факультет \_\_\_\_\_ механіко-технологічний \_\_\_\_\_

УДК 629.017:631.3

<p><b>ПОГОДЖЕНО</b> Декан факультету механіко-технологічного (назва кафедри) проф. _____ Братішко В.В. (підпис) (ПІБ) “ ____ ” _____ 2024 р.</p>	<p><b>ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ</b> Завідувач кафедри надійності техніки (назва кафедри) доц. _____ Новицький А.В. (підпис) (ПІБ) “ ____ ” _____ 2024 р.</p>
--	--

**МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**  
на «Моніторинг зміни технічного стану та забезпечення експлуатаційної  
надійності транспортно-технологічних машин»

Спеціальність \_\_\_\_\_ 274 - «Автомобільний транспорт» \_\_\_\_\_  
(код і назва)

Спеціалізація \_\_\_\_\_ - \_\_\_\_\_

Магістерська програма «Автомобільний транспорт» \_\_\_\_\_  
(назва)

Орієнтація освітньої програми \_\_\_\_\_ освітньо-професійна \_\_\_\_\_  
(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

**Гарант освітньої програми**

\_\_\_\_\_ Д.Т.Н., проф. \_\_\_\_\_ Войтюк В.Д. \_\_\_\_\_  
(науковий ступінь та вчене звання) (підпис) (ПІБ)

**Керівник магістерської роботи**

К.Т.Н., доцент \_\_\_\_\_ Новицький А. В. \_\_\_\_\_  
(науковий ступінь та вчене звання) (підпис) (ПІБ керівника)

**Виконав**

\_\_\_\_\_ Бащук Р. В. \_\_\_\_\_  
(підпис) (ПІБ студента)

**КИЇВ – 2024**

Форма № Н-9.01

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ  
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ

Факультет \_\_\_\_\_ механіко-технологічний \_\_\_\_\_

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри надійності техніки

к.т.н., доцент \_\_\_\_\_ Новицький А.В.  
(науковий ступінь, вчене звання) (підпис) (ПІБ)  
“ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 20\_\_ року

## ЗАВДАННЯ

ДО ВИКОНАННЯ МАГІСТЕРСЬКОЇ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ  
СТУДЕНТА

\_\_\_\_\_ Башуку Роману Васильовичу \_\_\_\_\_

(прізвище, ім'я, по батькові)

Спеціальність \_\_\_\_\_ 274 «Автомобільний транспорт» \_\_\_\_\_

(код і назва)

Спеціалізація \_\_\_\_\_

(назва)

Магістерська програма \_\_\_\_\_ «Автомобільний транспорт» \_\_\_\_\_

(назва)

Орієнтація освітньої програми \_\_\_\_\_ освітньо-професійна \_\_\_\_\_

(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Тема магістерської роботи **«Моніторинг зміни технічного стану та забезпечення експлуатаційної надійності транспортно-технологічних машин»**

затверджена наказом ректора НУБіПУ від «07»12.2023 р. №2224 «С» \_\_\_\_\_

2. Термін подання завершеної роботи на кафедру 11.11.2024 р. \_\_\_\_\_

(рік, місяць, число)

3. Вихідні дані магістерської роботи: 3.1. Сучасні транспортно-технологічні машини. 3.2. Типові норми праці на ТО і ремонт транспортно-технологічних машин. 3.3. Перспективні методи забезпечення надійності транспортно-технологічних машин. \_\_\_\_\_

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Вступ. 4.1. Стан питсння і завдання досліджень. 4.2. Теоретичні дослідження транспортно-технологічних машин. 4.3. Програма і методика експериментальних досліджень. 4.4. Результати досліджень надійності транспортно-технологічних машин. 4.5. Висновки. Літературні джерела. Додатки.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)  
5.1. Тема МР, предмет, об'єкт і методи дослідження. 5.2. Мета і задачі дослідження 5.3 Аналіз властивостей та показників надійності ТТМ. 5.4. Система планово-попереджувального ремонту ТТМ. 5.5. Рівні цілей процесів функціонування системи технічного сервісу ТТМ. 5.6. Структурно-функціональна схема зв'язків у складній організаційно-технічній системі технічного сервісу ТТМ 5.7. Методика проведення досліджень надійності ТТМ. 5.9. Априорна діаграма рангів досліджуваних факторів. 5.10. Схема впливу різних факторів на жорсткість умов експлуатації ТТМ. Висновки

Дата видачі завдання «22» жовтня 2023 р.

Керівники магістерської роботи \_\_\_\_\_ Новицький А.В.  
( підпис ) (прізвище та ініціали)

Завдання прийняв до виконання \_\_\_\_\_ Бащук Р.В.  
( підпис ) (прізвище та ініціали студента)

## ЗМІСТ

ВСТУП	8
РОЗДІЛ 1. СТАН ПИТАННЯ І ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ	11
1.1 Роль систем моніторингу та безперервного контролю та технічних змін стану ТТМ	11
1.2 Надійність транспортно-технологічних машин та її показники	12
1.3 Розвиток системи технічного обслуговування та ремонту машин	20
1.4. Технічна експлуатація транспортно-технологічних машин	22
1.5. Аналіз та призначення систем технічного обслуговування та ремонту	25
1.6. Задачі досліджень магістерської кваліфікаційної роботи	32
РОЗДІЛ 2. ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ МАШИН	33
2.1 Характеристика, аналіз та моделювання процесів функціонування ТТМ	33
2.1.2 Характеристики поведінки ТТМ в експлуатації	34
2.1.3 Характеристики процесів керування експлуатацією ТТМ	35
2.1.4 Процеси експлуатуючої організації	36
2.2 Передумови моделювання процесів функціонування транспортно-технологічних машин	38
2.3 Моделювання процесів системи технічного обслуговування	43
РОЗДІЛ 3. МЕТОДИКИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ	45
3.1 Мета та завдання методичного забезпечення експериментальних досліджень	45
3.2 Загальна методика проведення експериментального дослідження	45
3.3 Методика планування експериментального дослідження	47
3.4 Методика збирання та обробки статистичної інформації	47

РОЗДІЛ 4. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ НАДІЙНОСТІ ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ МАШИН	50
4.1. Результати апріорного ранжування факторів, що впливають на технічний стан транспортно-технологічних машин	50
4.2 Використання результатів апріорного ранжування	56
4.3 Обґрунтування схеми впливу різних факторів на жорсткість умов експлуатації ТТМ	58
РОЗДІЛ 5. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ	62
5.1 Розрахунок техніко-економічного ефекту від впровадження індивідуального підходу до коригування періодичності технічного обслуговування	62
ВИСНОВКИ	64
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	65
ДОДАТКИ	71

## ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

МКР – магістерська кваліфікаційна робота

ПН – показники надійності

ППР – планово-попереджувальна система ремонтів;

ТТМ – транспортно-технологічна машина

ТС – технічний стан

ТО – технічне обслуговування

ТОР – технічне обслуговування і ремонт

ТД – технічне діагностування

РОД – ремонтно-обслуговуючі дії

ПР – поточний ремонт

СТОР – система технічного обслуговування і ремонту

СТС – складна технічна система

СОТСТС – складна організаційно-технічна система технічного сервісу

## ВСТУП

Оновлення парку транспортно-технологічних машин за рахунок надходження в експлуатацію нових вітчизняних та зарубіжних зразків, насичених вбудованими електронними пристроями контролю технічного стану, створило проблемну ситуацію у сфері технічного обслуговування цих машин. Нові машини мають покращені експлуатаційні характеристики, у тому числі досить високу експлуатаційну надійність. Однак інтенсивність експлуатації цих машин суттєво зросла. Існуюча система технічного обслуговування і ремонту орієнтована на дещо інші умови використання машин за їх призначенням, а також на усунення наслідків відмов машин, конструкції та параметри яких вже застаріли морально та фізично. Таким чином, в більшості випадків, СТОР орієнтована на виконання ремонтно-відновлювальних операцій, ніж виконання технічного обслуговування. Рівень експлуатаційної надійності нових ТТМ, який підтримується фірмовим обслуговуванням, в складних умовах експлуатації виявляється недостатньо високим, відмови елементів, вузлів, агрегатів і систем ТТМ все одно зростають. Разом з тим, статистика відмов ТТМ поки не визначена і потребує не лише уточнення, але й контролю.

У зв'язку із зазначеним, виконання цього дослідження спрямоване виявлення статистики відмов ТТМ, разом з тим, повинні бути вирішені завдання, пов'язані з удосконаленням ТО. Необхідність прогнозування відмов ТТМ, які обладнані вбудованими засобами контролю технічного стану, з метою визначення найбільш ймовірного часу їх появи залежно від часу експлуатації, реалізованого напрацювання та кількості виконаних ТО за контрольний період. Для реалізації завдань потребує розробка відповідних математичних моделей.

При організації системи технічного сервісу ТТМ необхідно враховувати постійну варіацію навантаження за зміни у широких межах кліматичних та місцевих умов їх експлуатації. Впровадження високо вартісних засобів

періодичної діагностики основних вузлів та агрегатів в умовах обмежених ресурсів експлуатації та технічного сервісу ТТМ є недоцільним.

Робоча гіпотеза: ефективність процесів ТО ТТМ в умовах обмежених ресурсів можна значно підвищити використанням діагностико-інформаційної підсистеми моніторингу, принципи функціонування якої враховують умови експлуатації машин та регіональні особливості попиту на послуги СТОР.

**Об'єкт дослідження** – процеси технічного сервісу ТТМ із використанням діагностико-інформаційної підсистеми моніторингу умов експлуатації та зміни технічного стану машин.

**Предмет дослідження** – закономірності функціонування системи технічного сервісу ТТМ при використанні діагностико-інформаційної підсистеми моніторингу умов експлуатації, що дозволяє контролювати умови експлуатації та зміни параметрів технічного стану машин.

**Метою роботи** є забезпечення експлуатаційної надійності ТТМ підвищенням ефективності процесів технічного сервісу з використанням розробленої діагностико-інформаційної підсистеми моніторингу умов експлуатації та змін їх технічного стану.

**Методи дослідження** - емпіричні (спостереження, порівняння, вимірювання), експериментально-теоретичні, методи планування експериментів, методи експертної оцінки, опитування, статистичні методи обробки даних, аналізу, синтезу та узагальнення отриманих результатів.

Зміна умов експлуатації ТТМ впливає, в першу чергу, на статистику їх відмов та виконання непланових ремонтно-обслуговуючих дій. Практика технічної експлуатації та відновлення працездатності ТТМ та результати раніше виконаних наукових та виробничих досліджень дозволяють виділити значення основних техніко-експлуатаційних характеристик машин, суттєві коливання яких впливають на кількість та обсяг непланових ремонтів [19, 21, 22].

Умови експлуатації ТТМ повинні контролюватись методами системи моніторингу з метою врахування їх зміни під час планування етапів ТО. Однак безперервний контроль умов використання ТТМ та дотримання основних правил експлуатації неймовірно складний.

У існуючих системах ТО ТТМ, у тому числі і при технічному сервісі, враховується дія постійних або майже незмінних факторів умов експлуатації. Це є одним з основних недоліків систем.

При розробці методів моніторингу умов експлуатації ТТМ необхідно враховувати, що швидкість руху ТТМ, навантаження в різних умовах експлуатації постійно змінюються. Основний вплив мають: вплив стану та міцності ґрунту, робочі швидкості та навантаження ТТМ). Навіть для різних машин одного парку ТТМ умови експлуатації можуть значно відрізнитися та змінюватись як у часі. Найбільш ефективною альтернативою впровадження дорогих засобів періодичної діагностики при реалізації процесів технічного сервісу ТТМ є контроль значень факторів експлуатації та контроль їх впливу на зміну технічного стану ТТМ засобами діагностико-інформаційної підсистеми моніторингу.

**Апробація роботи.** Матеріали досліджень доповідались та отримали схвалення на 3 міжнародних науково-практичних конференціях.

Публікації. Основний зміст магістерської кваліфікаційної роботи опубліковано в 3 тезах та матеріалах доповідей [19, 21, 22].

## РОЗДІЛ 1. СТАН ПИТАННЯ І ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ

### 1.1 Роль систем моніторингу та безперервного контролю та технічних змін стану ТТМ

Використання систем безперервного контролю змін технічного стану різних машин спрямоване на вдосконалення технічного сервісу та підвищення ефективності експлуатації машин загалом. Зазначені системи орієнтовані на застосування розроблених програмних продуктів, що дозволяють, з використанням спеціальних датчиків, JPS-зв'язку, безперервно відстежувати найбільш істотні зміни технічного стану машин, формувати план виконання робіт з їх ТОР, що дозволяє забезпечити безпеку та ефективність експлуатації машин [9,10, 23]. Крім цього, системи дозволяють відстежувати умови експлуатації машин, фіксувати величини навантажень на силові установки, ходову систему та робоче та навісне обладнання.

На думку авторів [9, 11, 12] застосування системи безперервного контролю змін технічного стану ТТМ має забезпечити підтримку працездатності парків машин на рівні  $K_{ms} = 0,75 \dots 0,85$ , зниження витрат на запасні частини та експлуатаційні матеріали приблизно на 15 ... 20%. Розробка та впровадження системи та технології застосування моніторингу змін технічного стану вузлів, агрегатів та систем машин дозволяє автоматизувати процеси діагностування, підвищити якість планування робіт з ТОР машин, забезпечити зниження витрат на запасні частини та експлуатаційні матеріали, підвищити можливості безперервного контролю над використанням машин на будівельних об'єктах та в тваринництві [7, 8].

Необхідність пошуку альтернатив традиційним методам ТОР машин виникла у зв'язку з умовами господарювання, що змінилися, у сферах експлуатації машин різного призначення. Первинний аналіз показує, що для досягнення вищого технічного рівня експлуатації складних, особливо мобільних машин,

підвищення якості їх технічного сервісу необхідно використовувати різні методи та засоби технічної діагностики. Для багатьох аграрних, транспортних та будівельних підприємств та фірм, що експлуатують різні машини, більш прийнятним виявляється проведення ТОР машин за їх технічним станом з використанням при цьому адаптивних систем технічного сервісу та моніторингових принципів діагностування. На жаль, прийнятних для використання вітчизняних адаптивних систем технічного сервісу машин поки що не створено [9, 11, 35].

## **1.2 Надійність транспортно-технологічних машин та їх показники**

До ТТМ можна віднести транспортні машини і наземні мобільні технологічні машини, транспортно-технологічні комплекси сільськогосподарського, будівельного, транспортного і транспортно-технологічного призначення [ 16, 19, 36].

Якістю будь-якої машини називають сукупність властивостей, що визначають ступінь придатності її для використання за призначенням. Залежно від типу та призначення машини, конкретних умов експлуатації, вимоги до їх властивостей неоднакові і можуть бути змінені в широких межах. Можливості реалізації властивостей, які закладені у конструкцію будь-якої ТТМ, більшою мірою визначаються її надійністю. Надійність одна із найважливіших властивостей машини, від якої, насамперед, залежить ефективність її використання за призначенням, реалізації параметрів на протязі життєвих циклів машин [15, 16, 38].

Під надійністю розуміють властивість машини, агрегату або механізму (об'єкта) виконувати задані функції, зберігаючи в часі встановлені експлуатаційні показники в заданих межах, що відповідають заданим режимам та умовам використання, ТО, ремонтів, зберігання та транспортування [38, 39].

На думку А.І. Кубарьова, А.С. Пронікова, надійність – це властивість об'єкта зберігати в часі в встановлених межах всі параметри, що забезпечують виконання необхідних функцій в заданих умовах експлуатації [15, 38, 39]. Надійність об'єкта оцінюють за допомогою сукупності з чотирьох одиничних властивостей: безвідмовності, довговічності, ремонтпридатності та збереженості [38]. Безвідмовність – це властивість машини безперервно зберігати працездатність протягом деякого часу або деякого напрацювання [38].

В роботі [38], зазначено, що безвідмовність – це властивість технічної системи виконувати задані функції протягом деякого напрацювання з моменту введення в експлуатацію до граничного стану без перерв на ТОР [39].

Для оцінки якості безвідмовності застосовують такі основні показники.

Ймовірність безвідмовної роботи машини (елемента, вузла, агрегату) до певного пробігу  $P(l)$  (або напрацювання  $P(t)$ ) визначається [16, 38]:

$$P(l) = \int_l^{\infty} f(l) dl = 1 - F(l), \quad (1.1)$$

де  $f(l)$  щільність розподілу напрацювання повністю;  $F(l)$  – можливість відмови машини (елемента, вузла, агрегату).

Ймовірність безвідмовної роботи також може бути оцінена відносною кількістю працездатних елементів [38]:

$$P(l) = \frac{N_0 - n(l)}{N_0} = 1 - \frac{n(l)}{N_0}, \quad (1.2)$$

де  $N_0$  – число елементів на початку експлуатації;  $n(l)$  - кількість елементів, що відмовили за пробіг  $l$ .

Отже, ймовірність безвідмовної роботи елементів до пробігу  $l$  – це частка працездатних елементів на момент досягнення пробігу  $l$ .

Відмова – це випадкове подія, полягає у порушенні працездатності машини (агрегату, складальної одиниці чи системи), тобто такий стан, коли машина не

здатна виконувати задані функції з параметрами, встановленими вимогами технічної документації [15, 16].

Середнє напрацювання до відмови (середній безвідмовний пробіг) [20, 69]:

$$l_{\text{ср}} = \int_0^{\infty} l f(1) dl = \int_0^{\infty} P(1) dl. \quad (1.3)$$

Якщо  $l_1, l_2, \dots, l_{N_0}$  є напрацюваннями елементів до відмови, тоді середнє напрацювання складе [69]:

$$l_{\text{ср}} \frac{l_1 + l_2 + \dots + l_{N_0}}{N_0} = \frac{1}{N_0} \sum_{i=1}^{N_0} l_i \quad (1.4)$$

Безвідмовна робота та відмова – взаємно протилежні (несумісні) події, сума їх ймовірностей дорівнює 1 [75]:

$$P(t) + F(t) = 1. \quad (1.5)$$

Розподіл відмов елементів технічних систем за часом характеризується функцією щільності розподілу  $f(t)$  напрацювання до відмови. У статистичному трактуванні вираз має вигляд

$$f(t) = \frac{\Delta n}{N \cdot \Delta t} = \frac{\Delta F(t)}{\Delta t}, \quad (1.6)$$

де  $\Delta n$  і  $\Delta F(t)$  – збільшення кількості елементів, що відмовили, і, відповідно, ймовірності відмов за час  $\Delta t$ .

У імовірнісному трактуванні [75]:

$$f(t) = \frac{\Delta F(t)}{dt}. \quad (1.7)$$

Інтенсивність відмов  $\lambda(t)$  на відміну від щільності розподілу відноситься до елементів  $N_p$ , що залишилися працездатними, а не до загального числа елементів [38]. Відповідно у статистичному трактуванні, маємо:

$$\lambda(t) = \frac{\Delta n}{N_p \cdot \Delta t}, \quad (1.8)$$

а в імовірнісному трактуванні, враховуючи, що  $N_p/N = P(t)$

$$\lambda(t) = \frac{\Delta f(t)}{P(t)}. \quad (1.9)$$

Залежність, яка встановлює зв'язок між ймовірністю безвідмовної роботи та інтенсивністю відмов, називається основним рівнянням теорії надійності [38]:

$$P(t) = e^{-\int_0^t \lambda(t) dt}. \quad (1.10)$$

Довговічність – це властивість машини зберігати працездатність до граничного стану з необхідними перервами для технічних обслуговувань та ремонтів [2, 16, 37].

До основних показників довговічності ставляться гамма-відсотковий ресурс, гамма-відсотковий термін служби, середній ресурс, середній термін служби [38].

Гамма-відсотковий ресурс – напрацювання, протягом якого об'єкт не досягне граничного стану із заданою ймовірністю  $\gamma$  відсотків [38]. Величина  $\gamma$  є регламентованою ймовірністю:

$$P(T_\gamma) = \frac{\gamma}{100}. \quad (1.11)$$

Численні показники довговічності машин є статистичними величинами, розрахованими для заданих умов експлуатації [38].

На думку авторів [6, 10] оптимальна довговічність автомобіля визначається величиною його пробігу, при якому собівартість одного кілометра (за весь період експлуатації) досягає найменшого значення [1].

Ремонтопридатність – це властивість машини (агрегату, механізму), що полягає у її пристосованості до попередження та виявлення причин виникнення відмов, пошкоджень та усунення їх наслідків шляхом проведення ремонтів та технічного обслуговування [16, 38].

Автори статей та монографій зазначають [2, 9, 12], що найважливішим показником якості ремонтпридатності є середній час відновлення  $T_6$ , що

припадає в середньому на усунення одного і-го відмови  $t_i$  за загального числа  $m$ , воно визначається за формулою [16, 38]:

$$T_B = \frac{1}{m} \sum_{t=1}^m t_1. \quad (1.12)$$

Збереженість – це властивість машини зберігати в заданих межах значення параметрів, що характеризують здатність виконувати необхідні функції протягом та після зберігання та (або) транспортування [16].

З аналізу ряду літературних джерел вітчизняних та закордонних авторів [5, 6, 18], представлені властивості характеризують здатність технічної системи протистояти негативному впливу умов та тривалості зберігання та транспортування, зберігати при цьому значення показників безвідмовності, довговічності та ремонтпридатності [38]. Основні властивості показників надійності машин наведено на рис. 1.1, який реалізовано з аналізу [15, 16, 31].

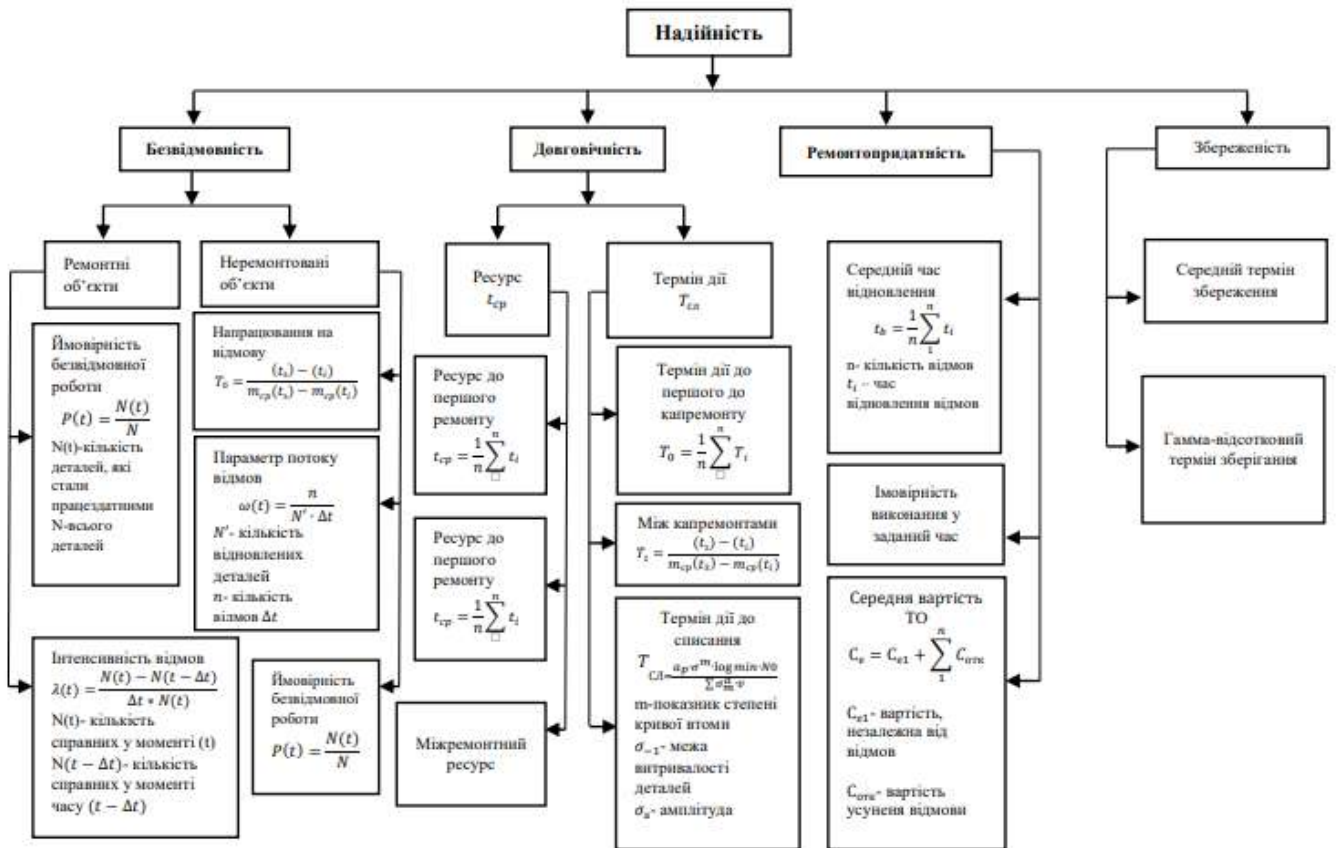


Рис. 1.1. Основні показники надійності машин

Експлуатаційна надійність машин значною мірою залежить від рівня організації їх технічної експлуатації, яка визначається багатьма експлуатаційними та ремонтними факторами, такими як кваліфікація обслуговуючого та ремонтного персоналу, рівень оснащення ремонтних майстерень необхідним обладнанням, наявність запасних частин, ремонтних матеріалів тощо [36, 39].

При оцінці експлуатаційної надійності МЕЗ, найбільшого поширення набули такі показники, як середнє напрацювання між відмовами  $T_o$ , середній час відновлення працездатного стану  $T_v$ , коефіцієнт готовності  $K_g$  та коефіцієнт технічного використання  $K_{me}$  [16, 38, 39].

За статистичними даними напрацювання на відмову об'єктів досліджень, значення наведених показників надійності визначаються :

$$T_o = \frac{\sum_{i=1}^{n_o} t_{oi}}{n_o} \qquad T_v = \frac{\sum_{i=1}^{n_o} t_{vi}}{n_o} \qquad 1.13$$

$$K_r = \frac{T_o}{T_o + T_v} = \frac{t_{\text{сум}}}{t_{\text{сум}} + t_{\text{вос}}} \qquad K_{\text{ТВ}} = \frac{t_{\text{сум}}}{t_{\text{сум}} + t_{\text{вос}} + t_{\text{обсл}}} \qquad 1.14$$

де  $t_{oi}$  – напрацювання між відмовами;

$t_{vi}$  – час відновлення після  $i$ -го відмови;

$n_o$  – кількість відмов протягом напрацювання  $\sum_{i=1}^{n_o} t_{oi}$ ;  $t_{\text{сум}} = \sum_{i=1}^{n_o} t_{oi}$ ,  
 $t_{\text{вос}} \sum_{i=1}^{n_o} t_{vi}$  – відповідно сумарний напрацювання та сумарний час усунення наслідків відмов;

$t_{\text{обсл}}$  – сумарний час простоїв, викликаних плановими ТО та ремонтами.

У вітчизняній та зарубіжній практиці деякі показники надійності, такі як час відновлення машини, трудомісткість ТО оцінюються за 1000 годин роботи.

У цьому випадку залежності коефіцієнтів технічного використання та готовності перетворюються таким чином [16]:

$$K_{ТВ} = \frac{t_{\text{сум}}}{t_{\text{сум}} + t_{\text{відн}} + t_{\text{обсл}}} = \frac{1}{1 + 0,001(t_{\text{відн}} + t_{\text{обсл}})}, \quad 1.15$$

$$K_r = \frac{T_o}{T_o + T_B} = \frac{t_{\text{сум}}}{t_{\text{сум}} + t_{\text{відн}}} = \frac{1}{1 + 0,001(t_{\text{відн}})}. \quad 1.16$$

За відповідний період експлуатації, згідно з діючими нормативними документами, для МЕЗ проводяться відповідні РОД. Зазначені РОД включають: два ТО-1 (періодичність проведення 250 мото-год.); одне ТО-2 (періодичність проведення 500 мото-год.), два сезонних технічних обслуговування та 0,5 планового ПР (періодичність проведення 2000 мото-год.).

Час відновлення можна подати як суму трудомісткостей планового ремонту в майстерні ( $t_{PV}$ ) та аварійного ремонту в процесі використання ( $t_{PH}$ ). Навіть якщо всі етапи проєктування, виробництва, експлуатації, повторного використання машини виконані вірно, з використанням науково обґрунтованих методик, розробленої нормативно-технічної документації та перевірених на практиці інструкцій з експлуатації, в процесі експлуатації машини в реальних умовах спостерігаються відмови та несправності (рис. 1.2) [13, 16, 35].

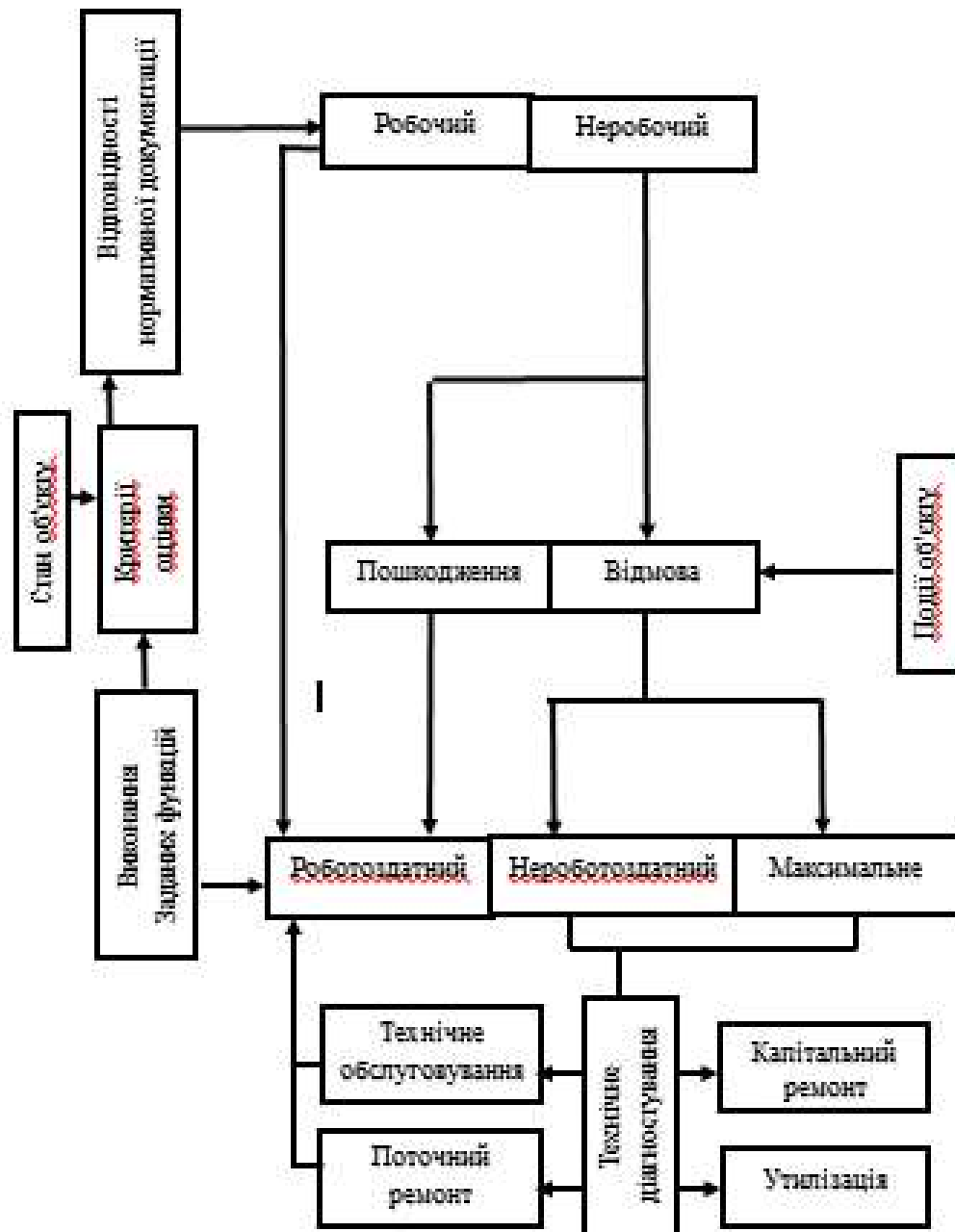


Рис. 1.2. Відмови та несправності МЕЗ в реальних умовах експлуатації

Причини подібних відмов необхідно шукати у представлених фізичних та міцнісних властивостях матеріалів, нестабільності технологічних процесів під впливом широкої різноманітності зовнішніх впливів та навантажень []. Надійність

об'єкта оцінюють за допомогою сукупності чотирьох одиничних властивостей: безвідмовності, довговічності, ремонтпридатності та збереженості [38].

### 1.3 Розвиток системи технічного обслуговування та ремонту машин

Вимоги до організації технічної експлуатації ТТМ регламентуються такими основними нормативними документами, як національні або ж державні стандарти та правила ЄЕК ООН, ДСТУ [9, 15, 16]. Представлені документи стосуються безпеки використання машин та їхньої екологічної безпеки.

Крім цього, вимоги обумовлюються в технічних регламентах, що встановлюють норми періодичності, трудомісткості, змісту та обсягів ТО та ремонтів ТТМ. Система технічного обслуговування та ремонту МЕЗ – сукупність взаємопов'язаних засобів, нормативно-технічної та конструкторської документації та виконавців, для підтримки та відновлення працездатності МЕЗ [1, 9, 19].

У 1928-1933 рр. вченими вперше у світі створюється і впроваджується в практику багатовступінчаста планово-попереджувальна система ТОР автотранспортних засобів (таблиця 1.1).

Таблиця 1.1.

Багатовступінчаста планово-попереджувальна система ТОР  
автотранспортних засобів

Багатовступінчаста система ТО та ремонту 1933 р. Найменування ремонту	Міжремонтний пробіг, км	Трудомісткість в залежності від стану автомобіля	
		старого	нового
0	ЩО	0.65	0.5
1	650	20	17
2	13000	275	250
3	39000	850	800

У запропонованій системі профілактичні ремонти поділені на декілька видів періодичних технічних впливів: нульове обслуговування; перший вид ремонту;

другий ремонт тощо. Визначено міжремонтний пробіг автомобілів. Запропоновано першу класифікацію та показники оцінки трудомісткості відновлення агрегатів автомобілів, що враховують їх технічний стан. Розроблено перші рекомендації щодо ТО та ремонту автомобілів у вигляді інструкцій, що випускаються безпосередньо заводами-виробниками [35, 37, 39].

З аналізу літературних джерел було встановлено, що в 30-х роках. було створено прообраз системи профілактики автомобілів, що на той час було видатним досягненням науково-технічної думки [35-39]. На рис. 1.3 представлена схема еволюції підходів до технічного обслуговування та ремонту машин та обладнання [36, 39].

Наступними етапами розвитку СТОР було:

1) опублікування в 1943 р. «Положення про профілактичне обслуговування автомобілів»;

2) розробка в 1962 р. «Положення про технічне обслуговування та ремонт рухомого складу автомобільного транспорту»;

3) розробка в 1972 р. нового «Положення про технічне обслуговування та ремонт рухомого складу автомобільного транспорту», в якому вдосконалено систему коригування нормативів залежно від умов експлуатації.

У 1984 р. було затверджено останнє «радянське» «Положення про технічне обслуговування та ремонт рухомого складу автомобільного транспорту». У цьому документі запроваджено можливість оперативного коригування нормативів ТО та ремонту [36, 37, 39].

На сьогоднішній день «Положення про технічне обслуговування та ремонт рухомого складу автомобільного транспорту» втратило свою актуальність, т.к. воно було спрямовано експлуатацію автомобілів у складі автопарків і автобаз, тобто. досить великих експлуатаційних підприємств. Для більшості сучасних машин перелік операцій ТО та періодичності їх виконання вказуються у сервісних книжках.

Технічне забезпечення системи ППР базується на тому, що, маючи статистичні дані історії відмов обладнання, і, знаючи характеристики процесів зношування вузлів механізму в залежності від напрацювання, можна визначити та встановити такий термін експлуатації обладнання, як міжремонтний інтервал, при якому ймовірність інтенсивного зношування та відмов мала (рис. 1.3) [38, 31].

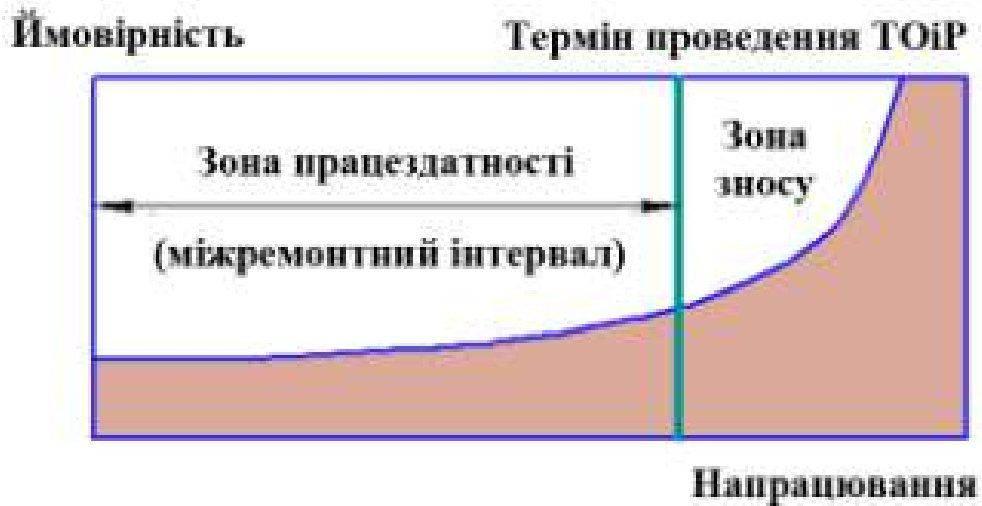


Рис. 1.3 Класична схема, що лежить в основі системи ППР

Ефективність СТОР машин визначається ступенем її адаптації до виконання певного ряду функцій щодо забезпечення експлуатаційної надійності та прийняттого технічного стану ТТМ у процесі експлуатації.

#### 1.4. Технічна експлуатація транспортно-технологічних машин

Технічну експлуатацію ТТМ здійснюють відповідно до рекомендацій «Положення про ТО та ремонт рухомого складу автомобільного транспорту», ДСТУ «Експлуатація будівельних машин, Загальні вимоги», МДС 12-820. організації технічного обслуговування та ремонту будівельних машин» [9, 15, 36]. У дорожньому будівництві та системі експлуатації автомобільних доріг розроблено та рекомендовано до використання відомчі будівельні норми ВСН 36-90 «Вказівки з експлуатації дорожньо - будівельних машин».

На думку авторів наукових статей [1,10, 35], перелічені нормативні документи визначають основні правила експлуатації машин, починаючи з їх приймання, запуску в експлуатацію, і, закінчуючи списанням, розбракуванням та утилізацією непридатних до подальшого використання складових частин. Даними документами, зокрема, регулюються системи ТОР дорожньо-будівельних машин.

За період розвитку систем технічної експлуатації машин та обладнання сільськогосподарського виробництва, розробили, використовувались і використовуються наступні системи технічної експлуатації машин (рис. 1.4).

У зв'язку з умовами господарювання, що змінилися, у сферах експлуатації машин різного призначення, виникла необхідність пошуку альтернатив традиційним методам ТОР. Перехід більшості промислових галузей на ринкові механізми господарювання потребує значного підвищення ефективності експлуатації використовуваних машин, що, своєю чергою, викликають необхідність удосконалення їх технічного сервісу, акцентуючи увагу на ТО та ТОР [39].

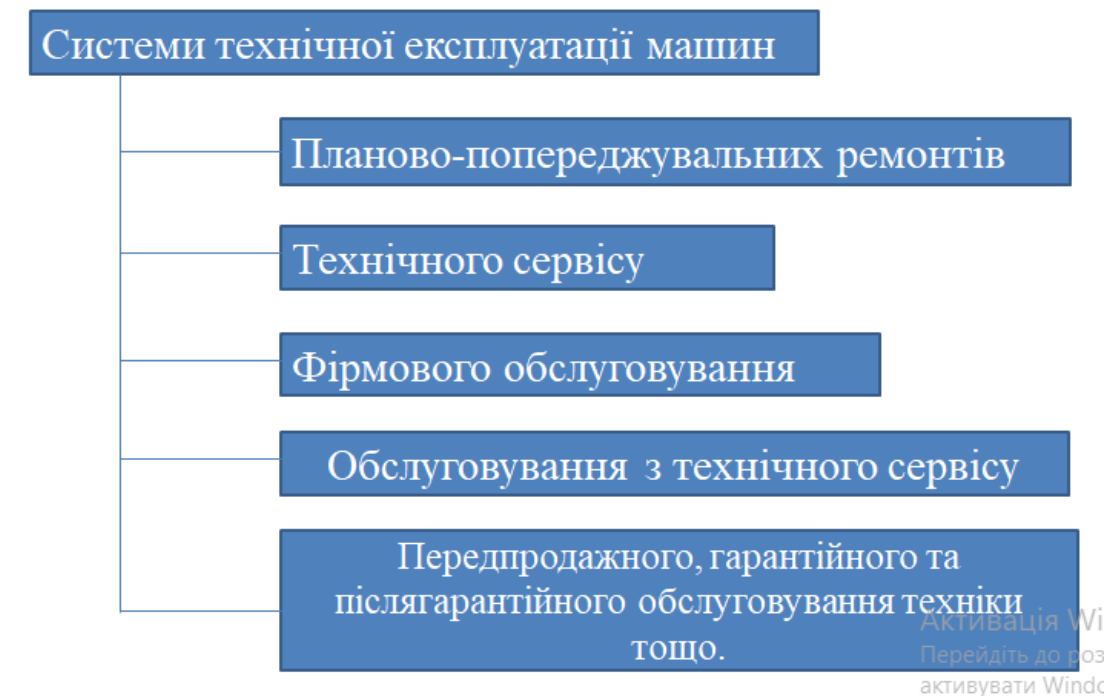


Рис. 1.4. Системи технічної експлуатації ТТМ

Попередньо виконаний аналіз показує, що в Україні найбільшого поширення набула система ППР машин, у той час як основні системи технічної експлуатації МЕЗ за кордоном застосовуються системи фірмового обслуговування та технічного сервісу [35-37].

Система ППР машин та обладнання, що склалася відповідно до вимог ДСТУ [15, 39], представлена на рис. 1.5. Система ППР відрізняється від ремонтних технологій, прийнятих у зарубіжних країнах, спрямованістю підтримки працездатності устаткування шляхом проведення ТО, поточних і капітальних ремонтів. Заслугує на увагу проаналізована оновлена система обслуговування машин гірничодобувної промисловості під назвою планово-необхідно-попереджувальна система була свого часу запропонована в дослідженнях [17, 35].

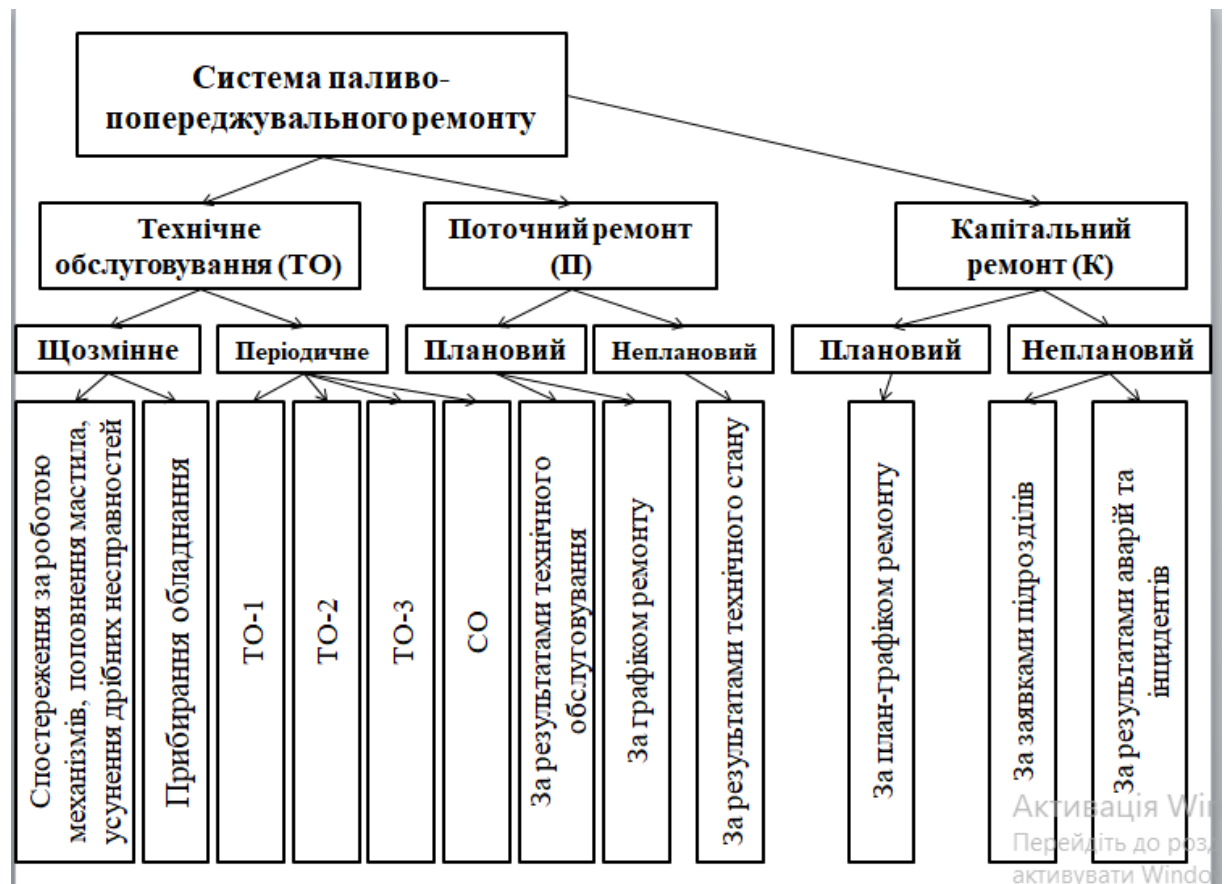


Рис. 1.5. Диференціація робіт у системі планово-попереджувального ремонту

Основна відмінність цієї системи забезпечення необхідної працездатності машин полягає в тому, що відновлення окремих вузлів та агрегатів регламентується не часом, а показниками їх граничного стану. Система заснована на отриманні поточної інформації про стан вузлів та агрегатів та зв'язків між ними шляхом безрозбірного інструментального контролю – діагностування.

### **1.5. Аналіз та призначення систем технічного обслуговування та ремонту**

Відмінною рисою сучасних МЕЗ є значна складність їх конструкцій, через що зростає ймовірність виникнення несправностей та відмов у роботі, стають складнішими процеси виявлення та усунення відмов, що, у свою чергу, призводить до зростання витрат часу, праці та засобів на забезпечення працездатності та усунення їх наслідків [35, 39].

Ускладнення конструкцій систем і вузлів МЕЗ та ТТМ призвело до збільшення складності різних механізмів і, як наслідок, до різних рівнів їх експлуатаційної надійності. Для таких складних об'єктів, як правило, дуже непросто спрогнозувати терміни виконання ТО та ремонту.

Сам процес роботи МЕЗ неминуче веде до погіршення їх ТС, що може спричинити часткову або повну втрату працездатності, тобто призвести до несправностей або відмов. Існують два способи забезпечення працездатності ТТМ в експлуатації: підтримка працездатності за рахунок системи ТО; відновлення працездатності, за рахунок проведення поточних та капітальних ремонтів.

Основні поняття про систему ТОР викладені у ДСТУ «Системи технічного обслуговування та ремонту техніки» [39]. На думку авторів наукової роботи [38, 39], системою ТОР називають сукупність взаємопов'язаних елементів: об'єктів та засобів для ТО та ремонту, виконавців та інженерно-технічної служби, програми

та іншої технічної документації щодо прийняття стратегії, а також за методами та режимами ТО та ремонту та т.п.

З аналізу спеціальної технічної літератури та наукових джерел встановлено, що для визначення працездатності машин застосовують наступні три стратегії [39], характеристики яких наведено рис. 1.6.

Технічне обслуговування – це комплекс операцій або операція з підтримки працездатності або справності виробу при використанні за призначенням, очікуванні, зберіганні і транспортуванні [39].

Професор Крамаренко Г. В. дає наступні визначення технічного обслуговування: ТО – це сукупність операцій (прибирально-мийних, кріпильних, регулювальних, мастильних та інших), основною метою яких є – попередити виникнення несправностей і зменшити ймовірність зношування деталей, а, отже, час підтримувати МЕЗ у стані постійної технічної справності та готовності до ввикористання [38, 39].

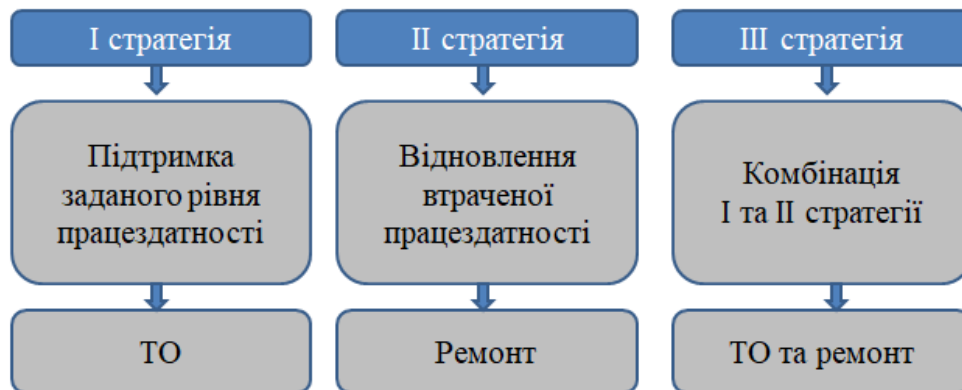


Рис. 1.76. Види стратегій забезпечення працездатності ТТМ

Основною метою комплексу робіт з ТОР є попередження та віддалення моменту досягнення машинами та обладнанням граничного стану [120]. Вона може бути досягнута, по-перше, запобіжним контролем та доведенням параметрів технічного стану зразка МЕЗ або ж ТТМ (агрегату, механізму) до номінальних або близьких до них значень, тобто. шляхом запобігання виникненню відмов. По-

друге, зниженням темпів зношування сполучених деталей, що призводить до попередження відмов у результаті зниження інтенсивності змін параметрів технічного стану вузлів, механізмів та агрегатів.

Технічне обслуговування призначене для підтримки належного зовнішнього вигляду машин, їхнього санітарного стану, а також забезпечення безпеки руху, надійності та економічності роботи та захисту навколишнього середовища [6].

На думку авторів наукових робіт [18, 31], основним призначенням ТО є виявлення несправностей та попередження відмов шляхом своєчасного виконання контрольних-діагностичних, кріпильних, мастильних, заправних, регулювальних, електротехнічних та інших видів робіт без розбирання агрегатів та зняття з машин окремих вузлів. Основні завдання ТО представлені в таблиці 1.1.

Регулярне виконання операцій та комплексів ТО дає можливість підтримувати параметри технічного стану ТТМ у заданих межах, проте зношування деталей, руйнування та інші причини фактично призводять до зниження ресурсу ТТМ (агрегатів, механізмів), що призводить до порушення процесу їх нормальної експлуатації. У цьому випадку профілактичні процедури ТО не можуть знизити ймовірності досягнення граничного стану ТТМ і пнеобхідні більш радикальні заходи – ремонтно-обслуговуючі дії [].

Таблиця 1.1.

#### Основні завдання технічного обслуговування

<b>ОСНОВНІ ЗАВДАННЯ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ</b>	Попередження відмов і несправностей
	Відтермінування моменту досягнення системою граничного значення
	Підтримання санітарно-гігієнічного стану та задовільного зовнішнього вигляду ТТМ, а також створення умов для ефективного проведення технічного обслуговування і ремонту

Ремонт – це комплекс операцій з відновлення справності чи працездатності виробів та відновлення ресурсів виробів чи його складових частин [24].

На думку авторів робіт [39], ремонт призначений для відновлення та підтримки працездатності виробу та його елементів, а також усунення наслідків відмов та несправностей, що виникають у процесі експлуатації.

Ремонт, будучи відновним процесом, забезпечує відновлення працездатності механізмів, вузлів та агрегатів загалом шляхом усунення наслідків відмов та несправностей, що виникають при роботі та виявлених під час проведення операцій ТО [39].

Ремонт, як правило, класифікують за наявністю регламенту (регламентований і виконуваний за потребою), планованості (плановий, неплановий), а також призначення, характеру і обсягу виконуваних робіт (поточний і капітальний).

Ремонт поділяють на два види: поточний ремонт (може виконуватись у плановому порядку, або як неплановий); капітальний ремонт.

Системи ТОР, у більшості випадків, формувалися під впливом характеру та умов експлуатації ТТМ, а також їх конструктивно-технічних особливостей.

В наукових статтях автори виділяють три системи обслуговування [36, 39]:

- 1) технічне обслуговування та ремонт машин з напрацювання (пробігу) до окремих видів впливів;
- 2) система обслуговування за технічним станом;
- 3) змішана система, що поєднує у собі елементи перших двох систем.

Перша система – технічне обслуговування та ремонт машин з напрацювання (пробігу) полягає в тому, що через певний напрацювання (пробіг), незалежно від технічного стану агрегатів ТТМ, виконується технічна дія (певний вид технічного обслуговування, ремонт, заміна). Ця проста модель, через значну вартість може застосовуватися тільки для спеціальних машин, а на автомобільному транспорті - для окремих вузлів і деталей, від яких залежить безпека руху. За такої системи

значна частина ресурсу не використовується, тому вона дуже дорога (неекономічна).

Друга система – система обслуговування за технічним станом полягає в тому, що технічний вплив проводиться при досягненні контрольованим параметром свого критичного рівня (гранично допустимого стану). Ця система дозволяє не робити «зайвих» ремонтів, якщо ризик відмови невеликий. Вона дешевша (економічна), але вимагає вміння вимірювати періодично або безперервно контрольовані (діагностичні) параметри. Для її здійснення необхідне спеціальне контрольо-діагностичне обладнання [9, 3, 10].

Третя система – змішана, поєднує елементи першої та другої систем. Залежно від методу встановлення періодичності та обсягу технічних впливів поділяють на середньостатистичну та діагностичну [39].

На думку авторів статей [6, 38, 37] СТОР з напрацювання має бути замінена на систему обслуговування за фактичним станом. Зазначена система дозволить підвищити середнє напрацювання агрегатів без збільшення кількості відмов.

За кордоном зазначена система отримала назву «Condition Monitoring». Система обов'язкової діагностики з обслуговуванням і ремонтом за потребою успішно впроваджується багатьма зарубіжними фірмами [9, 14].

Саме така система обслуговування застосовується в авіації, на атомних електростанціях.

Системи ТО та ремонту, які реалізуються на сьогоднішній момент, наказують проводити ТО та ремонт профілактично або після відмови. Профілактична система ТО та ремонту ТТМ з планового напрацювання передбачає види ТО, що відрізняються періодичністю, переліком та трудомісткістю виконуваних робіт. Усі види технічного обслуговування даної системи є обов'язковими, тобто повинні примусово виконуватися точно в призначені терміни протягом усього терміну експлуатації ТТМ. Планово-попереджувальна система ТО та Р є жорсткою. Жорсткі системи порівняно прості

і забезпечують зручність організації технічного обслуговування, водночас де вони гарантують економічного і взагалі ефективного витрачання зусиль і коштів (оскільки роботи виконуються за регламентом, незалежно від реального стану машини) [19, 26]. Зазначений вид ТО називається профілактичним, проводиться примусово, за планом-графіком, через певний пробіг чи термін роботи МЕЗ або ТТМ.

Своєчасність проведення ТО має забезпечувати постійну технічну готовність, встановлені міжремонтні пробіги, усунення причин, що викликають передчасне зношування та несправності вузлів та агрегатів ТТМ, також має мінімізувати витрату палива, масел та інших експлуатаційних матеріалів.

Попереджувальна мета системи полягає і в тому, що вона пропонує проведення технічного обслуговування агрегатів та машин загалом до настання періоду прискореного зношування базових та основних деталей. Подальше використання зразків з базовими та основними елементами, що досягли цієї стадії в процесі зношування, пов'язане з небезпекою аварії і неминуче призводить до збільшення обсягу, складності та вартості ремонтних робіт [37, 38].

Основним недоліком даної системи є те, що дуже часто випадки, коли машина, що пройшла напрацьовану напрацювання (пробіг), за своїм технічним станом ще не потребує технічного обслуговування, і це тягне за собою простої машин під час проведення ТО (використання не за призначенням), а звідси з'являються зайві витрати на запасні частини.

ППС ТОР у минулому була дуже ефективною, вона і зараз, покладаючись на обов'язкове виконання певного обсягу робіт у встановлені терміни, показує непогану ефективність. Більше 20 років використання цієї системи ТО в країні дозволили внести до неї корективи шляхом практичного обслуговування машин у народному господарстві, включаючи сільське господарство та будівництво.

В даний час все частіше починає застосовуватися профілактична СТОР ТТМ за їх фактичним технічним станом. Інформаційну базу цього виду ТО формує ТД і

прогнозування стану об'єкта [3, 13]. Системи та засоби ТД сприяють проведенню безперервного або періодичного контролю параметрів технічного стану. За допомогою прогнозування, яке виконується при безперервному контролі, визначається час, протягом якого збережеться працездатний стан, а при періодичному контролі – визначається момент часу виконання наступного контролю.

За допомогою технічної діагностики, яка повторюється періодично, досягається раннє виявлення дефектів і несправностей, що сприяє усуненню відмов у процесі ТО, але при цьому підвищується надійність і ефективність експлуатації ТТМ, оскільки обсяг і періодичність виконуваних робіт визначається фактичним технічним станом агрегатів, систем, вузлів і машини в цілому [118]. Періодичний контроль технічного стану ТТМ за основними діагностичними параметрами дозволяє забезпечити своєчасне виконання регламентних робіт, завдяки чому підвищується рівень експлуатаційної надійності ТТМ.

Для підвищення ефективності ТОР ТТМ необхідна індивідуальна характеристика ТС до і після обслуговування або ремонту. Реалізувати отримання характеристик потрібно без додаткових робіт з розбирання агрегатів та механізмів, і великих витрат праці. Володіння індивідуальною інформацією про приховані та назріваючі відмови дає можливість запобігти передчасному або запізнілому ремонту та профілактиці, а також контролювати якість виконуваних робіт. Для отримання подібної інформації застосовується ТД.

Система управління якістю технічної експлуатації ТТМ передбачає виконання ТД у складі робіт з ТОР, забезпечуючи їх проведення за фактичним технічним станом машини [23, 24]. Важливе значення при цьому відводиться людині-оператору, людині-досліднику [4, 18, 24]

## 1.6. Задачі досліджень магістерської кваліфікаційної роботи

1. Провести аналіз систем моніторингу та безперервного контролю та технічних змін стану ТТМ
2. Проаналізувати надійність ТТМ та її показники при забезпеченні працездатності
3. Провести аналіз та призначення систем технічного обслуговування та ремонту ТТМ
4. Дослідити фактори умов експлуатації, а також режими роботи ТТМ та їхніх елементів, що чинять найбільш суттєвий вплив на зміну технічного стану.
5. Сформуванати структурну модель процесів функціонування складної організаційно-технічної системи технічного сервісу ТТМ із включенням до неї підсистеми діагностико-інформаційного моніторингу.
6. Розробити математичну модель процесів технічного сервісу та методикку оптимізації періодичності й обсягів технічного обслуговування з використанням діагностико-інформаційної підсистеми моніторингу умов експлуатації та зміни технічного стану ТТМ.
7. Провести виробничу перевірку результатів наукового дослідження і дати техніко-економічну оцінку.

## **РОЗДІЛ 2. ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ МАШИН**

Для реалізації цілей та стратегій досліджень, аналізу та моделювання процесів функціонування ТТМ та організації їх СТОР, необхідно використовувати системно-орієнтований процесний підхід.

### **2.1 Характеристика, аналіз та моделювання процесів функціонування ТТМ**

Транспортно-технологічні машини є складними технічними системами, тому процеси, що відбуваються в них, важко алгоритмізуються і описати їх у вигляді математичних співвідношень, буває дуже непросто. Фахівці, як правило, змушені використовувати запозичені теорією систем терміни теорії автоматичного регулювання, біологічної, філософії спеціальні терміни. Таким чином, функціонування ТТМ можна характеризувати як процес переробки вхідної інформації на вихідну СТС.

Станом технічної системи прийнято називати сукупність істотних властивостей, якими система має у кожний момент часу [19, 38].

Знання про стан основних функціональних елементів та систем ТТМ дозволяють прогнозувати значення вихідних змінних параметрів. Однак це досягається лише при аналізі стаціонарних процесів функціонування ТТМ.

Якщо основні функції ТТМ практично не змінюються протягом певного періоду її функціонування, то процес її використання прийнято вважати стаціонарним. У цьому випадку реакція на один і той самий вплив для ТТМ не залежить від моменту застосування цього впливу. Ситуація значно ускладнюється, якщо основні функції ТТМ не змінюються у часі, що є характерним для нестаціонарних процесів функціонування СТС.

Процес функціонування ТТМ вважається нестационарним, якщо його основні функції змінюються на протязі певного періоду часу.

В процесі експлуатації ТТМ здійснюється дія з боку середовища, людини-оператора та з боку інших СТС. Це призводить до порушення стаціонарного стану ТТМ. При разовому впливі ТТМ, як правило, з часом ТТМ приходять до нового рівноважного стану. Однак значення координат стану, в цьому випадку, будуть вже іншими. Таким чином, спостерігається процес переходу СТС до нового стану, який називається перехідним процесом.

Якщо ТТМ, як складна технічна система, виводиться з рівноважного стану одноразовим впливом, але самостійно повертається у вихідний стан, ми спостерігаємо стан стійкої рівноваги. Якщо ж найменший, навіть випадковий вплив призводить ТТМ до виходу з рівноважного стану, і вона може повернутися до рівноваги самостійно, ми спостерігатимемо стан нестійкого рівноваги.

### **2.1.2 Характеристики поведінки ТТМ в експлуатації**

Процес переходу ТТМ з одного стану в інший прийнято називати поведінкою її в експлуатації. Цей термін вживається у тих випадках, коли ТТМ змінює свої параметри під впливом або випадкових і невизначених факторів, або певних факторів, але механізм впливу яких не визначений.

З метою характеристики процесів, пов'язаних зі зміною поведінки ТТМ в експлуатації можуть використовуватися наступні поняття та терміни: людина-оператор; середовище; стан системи; цілісність; діяльність; функціонування; зміна адаптації, акомодация; еволюція; розвиток; навчання [4, 25].

Жорсткої ієрархічності та послідовності СТС ТТМ у перерахуванні ознак систем усередині описаної структури понять немає. У різних випадках тих чи інших компонентів може і не бути і співвідношення між ними може бути різним.

### 2.1.3 Характеристики процесів керування експлуатацією ТТМ

Використання систем моніторингу процесів дозволяє значно підвищити ефективність прийняття рішень щодо ситуацій, що виникають в системах управління процесами експлуатації та забезпечення надійності ТТМ. Однак, процедурами управління процесами експлуатації ТТМ не можуть бути передбачені способи вирішення всього безлічі ситуацій і невизначеностей. Моніторинг, що є безперервним процесом збору, обробки, оцінки інформації та підготовки рішень, спрямованих на досягнення цілей і завдань експлуатації ТТМ, дозволяє знизити ентропію стану СТОР ТТМ, оскільки дає підстави судити про правильність прийнятих рішень з конкретних проблем.

У сучасному складному механізованому виробництві використання інформації, інформаційних систем та комунікацій має вирішальне значення для успіху застосування ТТМ за їх призначенням. Інформація, а також системи та комунікації, які їй надають, пронизує всі рівні сучасних організацій.

ДСТУ ISO 9001-2001 та ДСТУ 2861-94 [15] вимагає, щоб експлуатуюча організація застосовувала відповідні методи моніторингу і, де це доцільно, вимірювання процесів [16]. Для виконання цієї вимоги кожному експлуатаційному або ж сервісному підприємству необхідно визначити свої вимоги до моніторингу процесів, вимірювань та правил їх виконання. Це дозволяє продемонструвати здатність процесів досягати запланованих результатів, інакше необхідно розробляти та впроваджувати коригувальні та попереджувальні, а також покращувальні дії для забезпечення відповідності вимогам якості та ефективності.

В експлуатуючій організації повинна існувати чітка процедура ведення постійної звітності про проведення моніторингу та вимірювань, яка необхідна для того, щоб оцінити рівень розвитку системи експлуатації ТТМ, забезпечення надійності ТТМ та її вплив на техніко-економічні показники підприємства.

### 2.1.4 Процеси експлуатуючої організації

Стандарт ISO 9000:2000 визначає процес як сукупність взаємопов'язаних та взаємодіючих видів діяльності, що перетворює входи у виходи, іншими словами, будь-яка діяльність або комплекс діяльності, в якій використовуються ресурси для перетворення входів у виходи, може розглядатися як процес [15, 16]. При цьому до ресурсів можуть належати: обладнання, засоби його обслуговування, технологія, персонал та методики його роботи.

Будь-який процес управління повинен являти собою розгорнуту в часі і підлеглу керуючому впливу послідовність дій. Ця послідовність повинна бути забезпечена необхідними ресурсами та мати встановлені вимоги до параметрів входу, параметрів виходу та параметрів самого процесу. З метою підтвердження виконання цих вимог на вході та виході процесу, а також у різних фазах процесу повинні проводитися відповідні вимірювання.

Процеси технічного сервісу ТТМ завжди спрямовані на будь-яке перетворення об'єкта обслуговування (або ремонту), при цьому об'єкту, що перетворюється, додається певна вартість. Ця вартісна добавка пояснюється витрачанням ресурсів, у тому числі трудових та тимчасових. Процеси технічного сервісу ТТМ, перетворюючи об'єкт праці, додають йому цінність, причому цінність з погляду споживача – як зовнішнього, і внутрішнього. Чим більше процеси технічного сервісу додає цінність ТТМ і менше витрат ресурсів, тим вище ефективність цих процесів. По суті, тільки через управління процесами в експлуатуючій або сервісній організації може бути досягнуто загальне керівництво якістю функціонування ТТМ.

Відповідно до вимоги стандарту ISO 9001:2000 (розділ 8) система управління повинна забезпечити постійне поліпшення процесів у будь-якій організації. Виконання цієї вимоги викликає необхідність визначення показників

якості процесу, що вимірюються. ДСТУ виділяється три групи цих показників [15, 16].

До першої групи віднесені показники результативності виконання процесу, оскільки оперативне управління процесом будується, як правило, на основі непрямих показників, що відображають в основному технічну складову. Непрямими показниками якості процесу, які можна віднести до показників результативності виконання процесу, служать такі узагальнені характеристики: точність процесу; можливості процесу (показник стабільності); надійність процесу; продуктивність процесу; керованість процесу; безпека процесу; ергономічність процесу та екологічність процесу. Як оцінку результативності виконання процесу може також використовуватися ступінь відповідності фактичних показників процесу плановим (встановленим) з урахуванням фактора ризику невідповідності.

До другої групи віднесено показники результативності управління процесом. Основним показником результативності управління процесом є рівень поліпшення показника якості процесу. Це пояснюється тим, що для процесів, що знаходяться під управлінням системи управління якістю, повинні бути сформульовані цілі у сфері якості. Ці цілі повинні співвідноситися з політикою у сфері якості та як мінімум ставити завдання підвищення результативності.

До третьої групи віднесено показники ефективності процесу, оскільки саме прямі показники ефективності процесів можуть дати найбільш цінну фактичну основу для прийняття управлінських рішень керівництвом експлуатаційних та сервісних підприємств. До того ж, показники ефективності процесу відображають його «коефіцієнт корисної дії».

Слід зазначити, що з управління процесами технічного сервісу (МС) ТТМ необхідно виконання таких дій:

- визначення цілей та формування очікуваних результатів процесу ТЗ ТТМ;

- визначення якісних характеристик процесу ТЗ ТТМ, включаючи критерії результативності виконання процесу, критерії результативності управління процесом і узагальнений прямий показник якості - ефективність процесу;
- визначення потреби у ресурсах, зокрема трудових, необхідні виконання процесу ТЗ ТТМ;
- визначення застосовності методів та засобів виконання процесу ТЗ ТТМ та можливості досягнення поставлених цілей;
- Управління витрачанням ресурсів, виділених для здійснення процесу ТЗ ТТМ (в управління включається і мотивація використовуваного персоналу);
- керування параметрами процесу ТЗ ТТМ, з урахуванням результатів аналізу вхідних та вихідних даних.

Експлуатуюча організація зобов'язана (згідно з ГОСТ 25866-83) реалізувати, перш за все, процеси використання ТТМ за призначенням. Друге завдання експлуатуючої організації є організація процесів технічного обслуговування та ремонту ТТМ, тобто. процесів технічного обслуговування. При цьому необхідно враховувати, що система технічного обслуговування та ремонту ТТМ є складовою системи експлуатації машин. Проте в сучасній системі господарювання, з використанням принципів аутсорсингу, процеси технічного обслуговування та ремонту ТТМ можуть бути з повним правом передані спеціалізованим сервісним організаціям.

## **2.2 Передумови моделювання процесів функціонування транспортно-технологічних машин**

Одним з найважливіших питань, що виникають при моделюванні процесів технічної експлуатації сучасних ТТМ (процесів функціонування системи технічного сервісу (СТС)), є визначення необхідної глибини опису. При

проведенні декомпозиції моделей ТТМ і систем їх технічного сервісу, що розглядаються, кількість об'єктів на діаграмі зростає в геометричній прогресії. У зв'язку з цим найважливішим моментом є необхідність початкового визначення практично доцільного ступеня деталізації опису процесів функціонування СТС ТТМ. У цьому спочатку необхідно визначити рівні цілей процесів функціонування СТС ТТМ, які відображені рис. 2.1.

Для досягнення попередньо визначених нормативних показників виконання процесу функціонування СТС ТТМ встановлюються цілі першого рівня. Початкове створення та реалізація ідеального процесу СТС ТТМ практично неможливі, оскільки передбачення та запобігання появі всіх проблем вимагатиме обсягу ресурсів, що прагне нескінченності. З урахуванням цього, на першому етапі доцільно використання інструментів математичної статистики (статистичних методів управління процесами, наприклад, аналізу Парето, діаграм Ісікави, контрольних карт та інші [15, 38, 39]).

Реалізацією цілей другого рівня досягається підвищення результативності процесів СТС ТТМ і «посилення» нормативних показників. Для досягнення цих цілей необхідний обов'язковий аналіз необхідних ресурсів, оскільки саме обмеження по ресурсах визначають і обмеження щодо встановлення цілей. Досягнення цілей у сфері якості функціонування СТС ТТМ ставить нові завдання щодо результативності процесу їх експлуатації. На цьому етапі можна скористатися такими механізмами забезпечення та контролю якості, як ланцюгова реакція Демінга або цикл Демінга-Шухарта (PDCA) [15, 38, 39]. Визначення цілей третього рівня спрямовано зниження витрат ресурсів у разі підвищення результативності процесів СТС ТТМ і управління процесом («ККД» процесу).

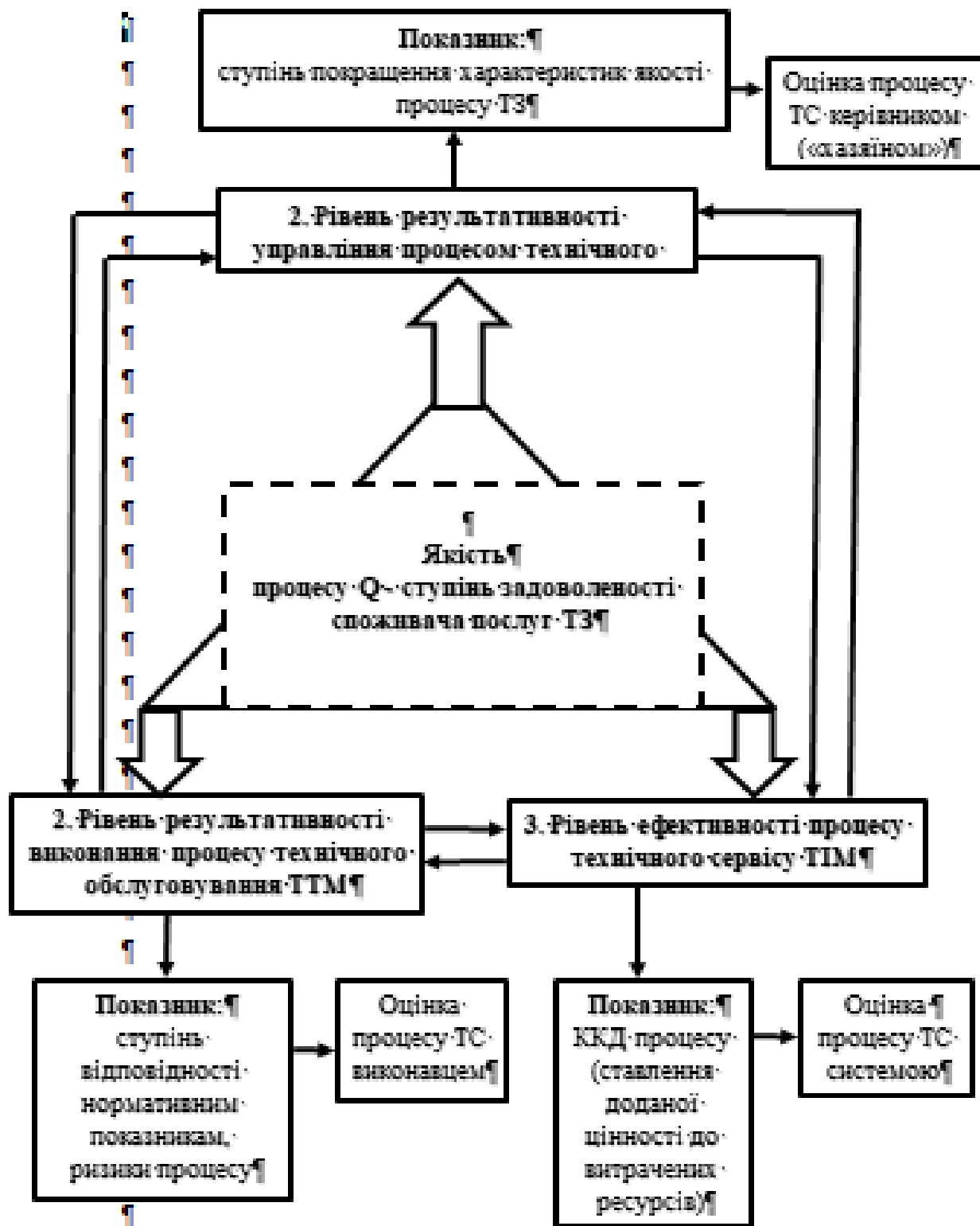


Рис. 2.1. Рівні цілей процесів функціонування системи технічного сервісу

TTM

Виділення із загальної цінності і максимізація для споживача частини цінності, що додається процесом технічного сервісу, є істинним показником ефективності цього процесу. Максимізація, в цьому випадку, стає головною метою менеджменту процесу ТЗ і ставить нові завдання підвищення результативності виконання процесу та результативності управління процесом. Функціонально-фізичний аналіз, функціонально-вартісний аналіз, система обліку витрат на якість, розгортання функцій якості, SWOT - аналіз – ось, де інструменти фінансового аналізу, які працюють на цьому етапі. Фінансовий аналіз сервісної організації необхідний визначення пріоритетів розвитку процесів і структурних одиниць, і навіть до ухвалення рішення «позбавитися» від тих процесів (чи з можливості мінімізувати їх), які витрачають ресурси, невідповідні з додається продукції (послугами) цінністю.

Наявність зв'язків між елементами будь-якої системи є головною умовою її існування та розвитку. Поняття про зв'язок є одним з фундаментальних понять у системному підході при описі СТС ТТМ, оскільки зв'язки виражають закони функціонування системи. Зв'язки в СТС ТТМ розрізняють характером взаємозв'язку як прямі і зворотні, а за видом прояви (описи) як детерміновані і ймовірнісні.

Безумовно, зв'язки є елементами, що здійснюють безпосередню взаємодію структурних ланок (елементів або підсистем) СТС ТТМ, а також з елементами та підсистемами оточення. Характеристика системних зв'язків вимагає уточнення відмінностей між прямими та зворотними, а також безпосередніми та опосередкованими зв'язками. Прямий або зворотний вид зв'язку в СТС ТТМ задається тільки напрямом дії цього зв'язку. Однак організація цих зв'язків може бути різною. В одному випадку ці зв'язки утворюються без допомоги проміжних елементів, отримуючи назву безпосередніх. В іншому випадку взаємодія між

двома елементами системи здійснюється завдяки опосередкованим зв'язкам, що складаються з ланцюжка проміжних елементів СТС і зв'язків між ними.

З метою забезпечення заданої функціональної передачі, перш за все, інформації, а також речовин (матеріали, запасні частини), енергії або їх комбінацій – від одного елемента СТС ТММ до іншого у напрямку основного процесу необхідно використовувати прямі зв'язки.

Виконання обізнаних функцій, що відбивають зміна стану СТС ТММ внаслідок керуючого на неї, доручається зворотні зв'язки. Особливо важливою подією у розвитку СТС, що має винятково важливі наслідки, стало відкриття, свого часу, принципу зворотного зв'язку. Без використання зворотних зв'язків неможливе нормальне перебіг процесів управління, адаптації, саморегулювання, самоорганізації, розвитку СТС ТММ.

Зворотний зв'язок у вигляді сигналу або ж отримання-передачі інформації з виходу системи (об'єкта управління) забезпечує передачу необхідної інформації в орган управління. Цей сигнал, що містить інформацію про роботу, виконану об'єктом управління, порівнюється з сигналом, що задає зміст і обсяг роботи, формування плану. Виникаюча неузгодженість між фактичним та плановим станом виконуваної роботи викликають необхідність вжиття заходів щодо його усунення.

Основними функціями зворотного зв'язку в процесі функціонування СТС ТММ є:

1) протидія змінам, що відбуваються з ТММ, коли вони виходять за встановлені межі. Для прикладу, такими встановленими межами є реагування на зниження якості палива або ж моторної оливи, порушення агротехнічних або ж зоотехнічних вимог;

2) компенсація обурень та підтримання стійкого стану СТС ТММ. Для прикладу, регульоване виконання процесів ТО або ж регульоване виконання процесів ремонту);

3) синтез зовнішніх і внутрішніх збурень, які прагнуть вивести СТС ТТМ зі стану стійкої рівноваги, зведення цих збурень до відхилень однієї або кількох керованих величин. Для прикладу, вироблення керуючих команд на компенсацію одночасного впливу негативних зовнішніх факторів);

4) вироблення управляючих впливів на об'єкт управління за погано формалізованим законом. Для прикладу, рівень професіоналізму операторів машин та обладнання, водіїв, механіків, сервісних інженерів викликає різні складні зміни. При цьому змінюються кінцеві результати функціонування СТС ТТМ, потрібно внесення змін до процесів ТО і ремонту шляхом впливів, які неможливо описати за допомогою аналітичних виразів

Порушення зворотних зв'язків у виробничо-технічних системах з різних причин призводить до тяжких наслідків. Окремі локальні під

### **2.3 Моделювання процесів системи технічного обслуговування**

Для цілей аналізу та декомпозиції досліджуваної системи, виконано синтез процесів функціонування СТС ТТМ, з включенням до неї підсистеми діагностико-інформаційного моніторингу (рис. 2.2). Подальший аналіз дозволив сформулювати алгоритм реалізації процесів діагностико-інформаційного моніторингу умов експлуатації та зміни технічного стану ТТМ. Як вихід алгоритму визначена методика оперативного коригування періодичності та трудомісткості ТОРТТМ.

Розвиток аналізу СТС ТТМ та необхідність виявлення характеру зв'язків у аналізованій системі призвели до розробки структурно-функціональної схеми (рис. 2.2) складної організаційно-технічної системи технічного сервісу (СОТСТС) ТТМ із включенням до неї підсистеми діагностико-інформаційного моніторингу. СОТСТС втрачають здатність до самонавчання та розвитку, а також науково обґрунтованого прогнозування своєї діяльності на тривалий період часу, ефективного пристосування до постійно змінних умов зовнішнього середовища.

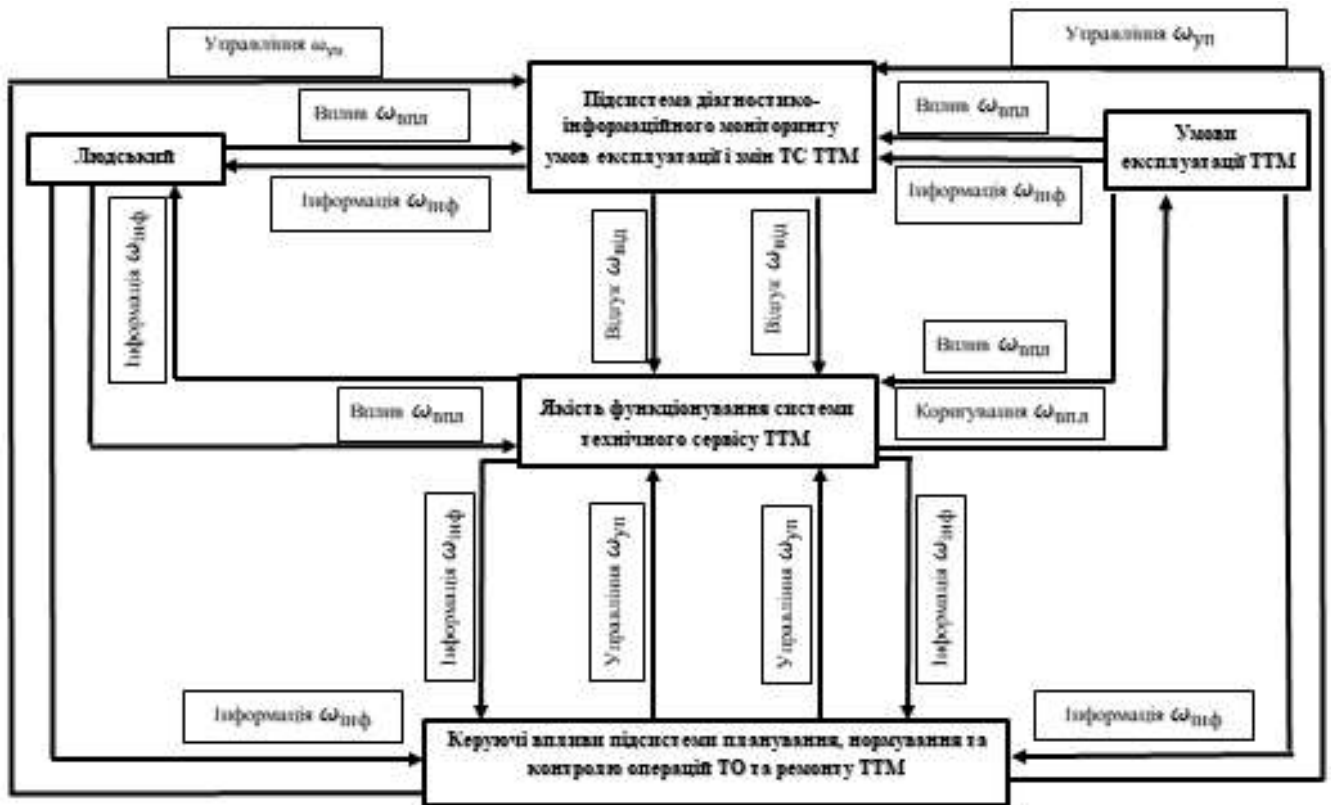


Рис. 2.2. Структурно-функціональна схема зв'язків у складній організаційно-технічній системі технічного сервісу ТТМ

За характером, зв'язки в СТС ТТМ поділяються на позитивні, негативні і гармонізовані. Розвиток і функціонування СТС ТТМ, внаслідок впливу позитивних зв'язків, призводить до поліпшення структури системи, зростання системи. Позитивні зв'язки дають позитивний імпульс системного розвитку.

Негативно впливають на СТС ТТМ негативні зв'язки. Результатом їхнього впливу є погіршення механізму функціонування системи, її структури, скорочення розмірів системи. Негативні зв'язки передають негативний імпульс системному розвитку, її деградації.

Підтримка СТС ТТМ у стані рівноваги забезпечують гармонізовані зв'язки. В результаті взаємодії комплексу підсистем та елементів системи вони перебувають у стані динамічної рівноваги.

## **РОЗДІЛ 3. МЕТОДИКИ ЕКСПЕРЕМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ**

### **3.1 Мета та завдання методичного забезпечення експериментальних досліджень**

Метою написання представленого розділу магістерської кваліфікаційної роботи стала необхідність розробки загальної та індивідуальних методик у рамках проведеного дослідження [19]. Основними завданнями методичного забезпечення експериментальних досліджень є:

- 1) розробка загальної та індивідуальних методик експериментального дослідження ТТМ;
- 2) розробка методики оцінки змін технічного стану ТТМ та визначення основних показників їх надійності.

### **3.2 Загальна методика проведення експериментального дослідження**

Метою загальної методики є розробка алгоритму визначення режимів технічного сервісу (ТОР) ТТМ з урахуванням умов експлуатації та заходів для забезпечення ефективної експлуатації та забезпечення надійності машин.

Використання відомих та загальноприйнятих методик дозволило виконати планування експерименту, проаналізувати вплив умов експлуатації. Умови експлуатації формуються факторами, що визначають умови руху ТТМ, кліматичні фактори, організаційно-технологічні фактори, режим роботи, якість керування машиною, система та культура обслуговування на зміну технічного стану ТТМ, а також виконати регресійно-кореляційний аналіз отриманих у результаті експерименту даних. Оскільки величини рівня навантажувального впливу визначаються з урахуванням індексу жорсткості умов експлуатації ТТМ, загальна методика проведення експериментального дослідження спрямована на розробку

алгоритму визначення оптимальної періодичності ТО та ремонту індивідуально для кожної ТТМ (рис. 3.1) і включає індивідуальні методики дослідження.

Розробка індивідуальних методик орієнтована на забезпечення можливості виконати збору статистичних даних, обробку та аналіз отриманої інформації. Для збору статистичної інформації, її обробки, отримання результатів та їх аналізу розроблено відповідні загальні та індивідуальні методики.



Рис. 3.1 Методика проведення досліджень надійності ТТМ

### 3.3 Методика планування експериментального дослідження

Планування експериментальних досліджень виконують з метою визначення необхідного та достатнього обсягу випробувань (об'єму вибірки), що забезпечує задану експериментатором точність отримання результатів [38]. Фактичні значення фіксованих (вимірюваних) параметрів при експериментальних дослідженнях залежить від впливу об'єкт дослідження багатьох випадкових зовнішніх чинників  $\Phi_1, \Phi_2, \dots, \Phi_m$ . Точність експериментальних досліджень можна значно збільшити, якщо збільшити кількість проведених випробувань  $n$ . Тому дуже важливо визначити необхідний та достатній обсяг випробувань. Для знаходження необхідної кількості випробувань  $n$  застосовується відомий метод перевірки статистичних гіпотез [38, 39]. Відповідно до методу перевірки статистичних гіпотез, перед проведенням експериментів необхідно визначити мінімальну кількість випробувань  $n_i$ , що забезпечує необхідну точність виконаних вимірів. Для кожного випробування перевіряється припущення про те, що середньоквадратичне відхилення вимірюваних в експерименті параметрів не перевищує деякий, заданий дослідником, рівень похибки  $\delta_i: \delta \geq \varepsilon, I$  (3.1) Заданий рівень похибки  $\delta_i$  визначається за таким виразом:  $Y, I \delta = \beta \cdot$  (3.2) де:  $\beta = 0,05$  – коефіцієнт, що враховує частку похибки щодо середнього значення вимірюваного параметра  $Y$

### 3.4 Методика збирання та обробки статистичної інформації

Метою зазначеної методики є визначення порядку, послідовності та термінів збирання та обробки статистичної інформації, яка необхідна для отримання достовірних експериментальних даних. При виконанні досліджень по магістерській кваліфікаційній роботі було вибрано пасивний статистичний експеримент з використанням засобів діагностики інформаційної підсистеми

технічного сервісу, основним призначенням якої був моніторинг умов експлуатації та змін технічного стану ТТМ, які формують її рівень надійності. Експериментальні дослідження виконувались на базі аграрних та будівельних підприємств Сумської області. Діагностико-інформаційна підсистема технічного сервісу ТТМ з метою моніторингу реалізована за допомогою програмно-діагностичного комплексу.

За допомогою програмно-діагностичного комплексу безперервно та в режимі реального часу реєструвались експлуатаційні показники (час експлуатації, напрацювання машини на відмову, періодичність виникнення відмов, час на усунення відмов, витрата палива, температура охолоджувальної та гідравлічної рідин, тощо). Крім цього, ведеться аналіз даних щодо відмов із класифікацією їх за видами відмов.

Алгоритм роботи програмно-діагностичного комплексу дозволяє:

- постійно отримувати від машин, що випробовуються, діагностичну інформацію;
- відображати всі дані, що діагностуються в режимі on-line;
- отримувати інформацію про експлуатаційні показники надійності та будувати графіки за отриманими даними;
- отримувати інформацію про місцезнаходження машини та інтенсивність її роботи;
- відображати та записувати в пам'ять ПК дані діагностування;
- на основі отриманих даних розраховувати та відображати оптимальний час проведення ТО та ремонту по всьому парку машин;
- видавати всю накопичену інформацію для проведення ТОР на друк.

Таким чином, за допомогою програмно-діагностичного комплексу за процесом експлуатації парку ТТМ може стежити один кваліфікований фахівець.

Збирання статистичної інформації при проведенні експерименту проводиться в наступній послідовності:

- по-перше, вибираються машини, обладнані системою вбудованої діагностики зміни технічного стану;
- по-друге, системою вбудованої діагностики змін технічного стану перевіряється справність (несправність) кожної машини;
- по-третє, виконується налаштування програмного забезпечення для отримання та обробки результатів діагностування (контролю змін технічного стану);
- по-четверте, виробляються процеси виміру (запис даних датчиків системи вбудованої діагностики змін технічного стану) під час експлуатації машини;
- результати експериментальних вимірювань фіксуються та за допомогою засобів програмно-діагностичного комплексу будуються графіки отриманих характерних залежностей.

## РОЗДІЛ 4. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ НАДІЙНОСТІ ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ МАШИН

### 4.1. Результати апріорного ранжування факторів, що впливають на технічний стан транспортно-технологічних машин

Результати апріорного ранжування факторів, що впливають на технічний стан транспортно-технологічних машин, опубліковані в [17, 18].

Вихідні позиції апріорного ранжирування Визначено значущі фактори умов експлуатації, представлені на рис. 4.1, які негативно впливають на зміну технічного стану ТТМ в експлуатації. У проведенні опитування взяли участь вісім експертів із трьох аграрних підприємств, які обіймають інженерні посади. Сукупність зовнішніх факторів, що впливають на виріб при його експлуатації, формує умови експлуатації [29]. З класифікаційних груп умов експлуатації ТТМ, відібрано десять основних факторів, що найбільш істотно впливають на зміну технічного стану ТТМ.

Виконане порівняння свідчить про наявність суттєвої подібності думок експертів, значущості коефіцієнта конкордації та не випадковості збігу думок експертів, відповідно можна зробити висновок, що результати, отримані апріорним ранжуванням, можуть бути визнані задовільними та адекватними. За сумою рангів  $\Delta k$  здійснено ранжування факторів. Мінімальній сумі рангів  $(\Delta k)_{\min}$  відповідає найбільш важливий фактор, далі фактори розташовуються у міру зростання суми рангів.

Методика реалізована в наступній послідовності. В таблиці апріорного ранжирування вказані індивідуальні оцінки всіх експертів (за питаннями листа опитування, які представлені в табл. 4.1. За кожним фактором визначена сума рангів усіх експертів:

$$\Delta_k = \sum_{m=1}^m a_{km}, \quad (4.1)$$

Перевіряємо правильність заповнення таблиці в наступній послідовності:

- максимальний рейтинг за конкретним фактором  $a_{km}$  не може бути більшим за порівняні фактори  $k$ :

$$a_{km} \leq k, \quad (4.2)$$

$$10 \leq 10 \times k$$

- максимальне значення суми рангів по кожному фактору не може бути більше добутку максимально можливого рангу на число експертів:

$$(\Delta_k)_{\max} \leq (a_{km})_{\max} \cdot m, \quad (4.3)$$

$$72 \leq 80 = 10 \times 80.$$

- мінімально можлива сума рангів по кожному фактору не може бути меншою мінімального рангу помноженого на число експертів:

$$(\Delta_k)_{\min} \geq (a_{km})_{\min} \cdot m, \quad (4.4)$$

$$13 \geq 8 = 1 \times 8.$$

- визначаємо загальну суму рангів:

$$\sum_{k=1}^k \Delta_k = \Delta_1 + \Delta_2 + \dots + \Delta_a, \quad (5)$$

$$\sum_{k=1}^k \Delta_k = 13 + 6 + 25 + 72 + 25 + 61 + 26 + 20 + 49 + 60 = 440.$$

- визначаємо середню суму рангів:

$$\bar{\Delta} = \sum_{k=1}^k \frac{\Delta_k}{k}, \quad (4.6)$$

$$\bar{\Delta} = \sum_{k=1}^k \frac{440}{10} = 44.$$

Результати апріорного ранжирування факторів умов експлуатації, що визначають негативний вплив на зміну технічного стану ТТМ заносимо в таблицю.

Наступним кроком буде операція для проведення перевірки правильності визначення суми рангів:

$$\sum_{k=1}^k \Delta_k = m \times k \times \bar{a}, \quad (4.7)$$

$$\sum_{k=1}^k \Delta_k = 8 \times 10 \times 5,5 = 440.$$

де  $\bar{a}$  - середній ранг оцінки факторів кожним експертом:

$$\bar{a} = \frac{\sum_{k=1}^k \Delta_k}{k}. \quad (4.8)$$

$$\bar{a} = \frac{55}{10} = 5,5$$

Далі визначаємо відхилення суми рангів кожного фактора від середньої суми рангів:

$$\Delta'_k = \Delta_k - \bar{\Delta}. \quad (4.9)$$

$$\Delta'_k = 13 - 44 = -31.$$

Після цього за допомогою коефіцієнта конкордації Кенделла  $W$  оцінюємо ступінь узгодженість думок експертів:

$$W = \frac{12 \times S}{m^2 \times (k^3 - k)}, \quad (4.10)$$

де  $k$  - число факторів,  $k = 10$ ;

$m$  - число експертів,  $m = 8$ ;

$S$  - сума квадратів відхилень,  $S = 4012$ .

$$W = \frac{12 \times 4012}{8^2 \times (10^3 - 10)}$$

Коефіцієнт конкордації Кенделла може змінюватися від 0 до 1. При цьому, чим ближче значення коефіцієнта буде наближуватись до 1, тим тісніше ступінь узгодженості думок експертів. При  $W \geq 0,5$  перевіряється гіпотеза про невинновість згоди експертів, для цього використовується критерій Пірсона, який визначається за наступною формулою:

$$\chi_p^2 = W \times m \times (k - 1), \quad (4.11)$$

де  $k$  - число ступенів свободи ( $k-1$ ).

Згідно розрахунків за формулою (4.11), отримаємо:

$$\chi_p^2 = 0,76 \times 8 \times (10 - 1) = 54.$$

Отримане розрахункове значення коефіцієнта порівнюється з табличним, що визначений при числі ступенів свободи  $k-1$ , при рівні значущості 0,01.

$$\chi_p^2 = \chi_m^2. \quad (4.12)$$

Перевіряємо гіпотезу про невинновість згоди експертів згідно критерію Пірсона з табличним значенням:  $54 \geq 21,7$  при рівні значущості 0,01.

Таким чином, за результатами виконаного дослідження можна стверджувати, що фактори умов експлуатації, які негативно впливають на зміну технічного стану ТТМ за ступенем впливу, розподілилися наступним чином:

- 1-е місце – кліматичні умови  $\Phi_1$  ( $\Delta k=13$ );
- 2-е місце – система та культура обслуговування  $\Phi_8$  ( $\Delta k=20$ );
- 3 місце – категорія вантажів  $\Phi_3$  ( $\Delta k = 25$ );
- 4-е місце – інтенсивність експлуатації  $\Phi_7$  ( $\Delta k=26$ );
- 5-е місце – організаційно-технологічні фактори  $\Phi_9$  ( $\Delta k=49$ );
- 6-е місце – навантаження на двигун та робоче обладнання  $\Phi_5$  ( $\Delta k=50$ );
- 7-е місце – кваліфікація машиніста  $\Phi_{10}$  ( $\Delta k=60$ );
- 8-е місце – характер керування машиною  $\Phi_6$  ( $\Delta k=61$ );
- 9-е місце – тип та стан рельєфу місцевості  $\Phi_2$  ( $\Delta k=64$ );
- 10-е місце – швидкість руху  $\Phi_4$  ( $\Delta k=72$ ).

Для наочності подання вагомості факторів побудовано апріорну діаграму рангів (рис. 4.2); Визначено питому вагу показників за рівнем їхнього впливу на досліджувану систему за формулою:

$$q_k = \frac{2 \times (k - M + 1)}{k \times (k + 1)} \quad (4.13)$$

де  $M$  – місце фактора за результатами ранжування.

Питома вага показника для першого фактора:

$$q_k = \frac{2 \times (10 - 1 + 1)}{10 \times (10 + 1)} = 0,18$$

Усі інші результати зведено до таблиці 4.1.

Таблиця 4.1.

Результати апріорного ранжування чинників умов експлуатації, що чинять негативний вплив на зміну технічного стану ТТМ

Найменування факторів	Умовні номери експериментів								Сума рангів	Відхилення суми рангів	Квадрат відхилення	Місце	Всі показники
	1	2	3	4	5	6	7	8					
	Ранги оцінки $a_{km}$												
Кліматичні умови	1	2	2	2	1	2	2	1	13	-31	961	1	0,18
Тип і стан рельєфу місцевості	7	10	5	7	10	9	8	8	64	20	400	9	0,04
Категорія вантажів	4	1	3	4	2	3	4	4	25	-19	361	3	0,15
Швидкість руху	9	8	9	10	9	10	7	10	72	28	784	10	0,02
Навантаження на двигун і робоче обладнання	5	5	6	9	5	5	6	9	50	6	36	6	0,09
Характер керування машиною	8	9	7	6	8	7	9	7	61	17	289	8	0,05
Інтенсивність експлуатації	2	4	4	5	4	1	1	5	26	-18	324	4	0,13
Система і культура обслуговування	3	3	1	3	3	4	3	2	20	-24	576	2	0,16
Організаційно-технологічні фактори	6	7	8	3	6	8	5	6	49	5	25	5	0,11
Кваліфікація машиніста	10	6	10	8	7	6	10	3	60	16	256	7	0,07
Разом	55	55	55	55	55	55	55	55	440		4012		1,0

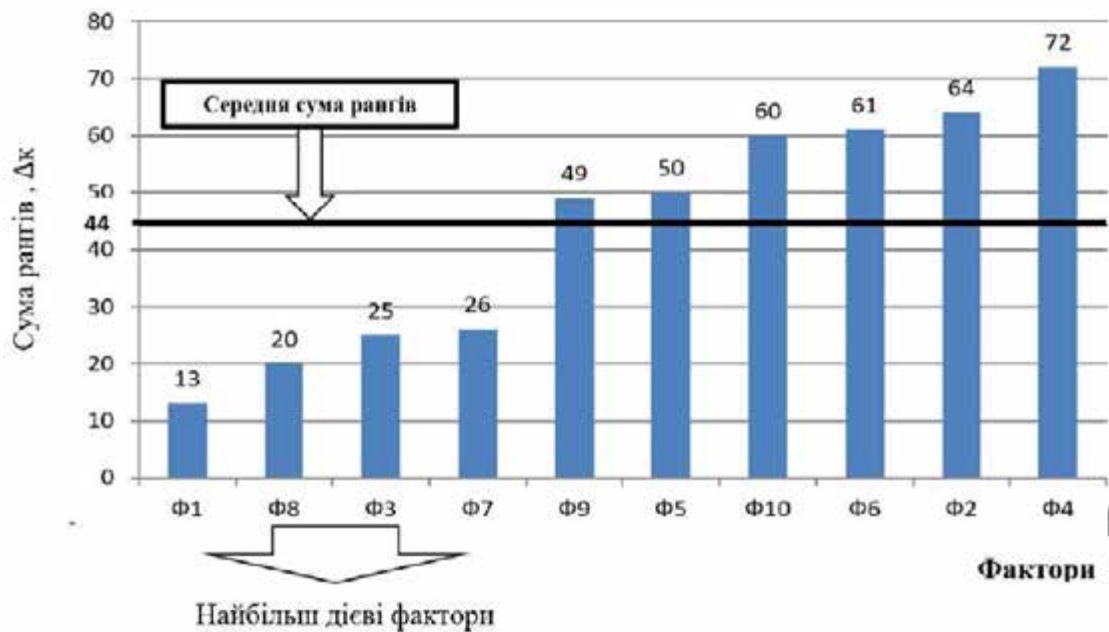


Рис. 4.2. Априорна діаграма рангів досліджуваних факторів

З діаграми априорного ранжування факторів робимо висновок про те, що чотири фактори, такі як кліматичні умови, система і культура обслуговування, категорія вантажів, інтенсивність експлуатації мають найбільший вплив на зміну технічного стану ТТМ.

#### 4.2 Використання результатів априорного ранжування

Перш за все, необхідно зазначити, що відповідно до результатів априорного ранжування висунута в другому розділі МКР дослідження гіпотеза про те, що рівні жорсткості умов експлуатації ТТМ можуть бути розділені на кілька груп, відповідно до умов експлуатації, отримала практичне підтвердження.

З урахуванням характеристик різних умов експлуатації машин виділено та визначено рівні жорсткості умов експлуатації ТТМ. Для цієї мети використовувалася методика, описана в другому та третьому розділах МКР, націлена на визначення індексів жорсткості умов експлуатації, яка дозволяє

виділити та оцінити величини технічного індексу жорсткості умов експлуатації  $J_i$  техн. На основі зазначеної методики, як приклад, визначено та піддано аналізу чисельні значення технічного індексу жорсткості умов експлуатації землерийно-транспортних машин (ЗТМ).

При цьому в розрахунках прийнято чотири різні види виконуваних ними робіт:

- 1) Навантаження вантажів різних габаритних розмірів;
- 2) Перевантаження вантажів розсипних;
- 3) Переміщення вантажів;
- 4) Планування вантажів по поверхні майданчика.

Значення технічного індексу жорсткості умов експлуатації визначалося за формулою, зазначеною у другому розділі 2 МКР:

$$J_i^{\text{техн}} = \sum_{k=1}^K \sum_{t=1}^T J_{kt}^{\text{техн}} \cdot \frac{w_k}{K \cdot T}, \quad (4.14)$$

Отримані розрахункові значення технічного індексу жорсткості умов експлуатації ЗТМ, що розглядаються, наведено в таблиці 4.2.

Після визначення чисельних значень технічного індексу жорсткості умов експлуатації машин вони поділені на три групи і їм відповідно поставлені рівні жорсткості умов експлуатації машин:

- 1) значення  $J$  техн. менше 1 - прийятна жорсткість експлуатації;
- 2) значення  $J$  техн. у межах від 1 до 2 – усереднена жорсткість експлуатації;
- 3) значення  $J$  техн. понад 2 – збільшена жорсткість експлуатації.

Таблиця 4.2

## Технічні індекси жорсткості умов експлуатації

Види робіт що виконуються за допомогою ЗТМ	Індекс технічної складності робіт, $J_{\text{КГ}}^{\text{техн}}$	Календарна тривалість виконання цього виду робіт, 138А138Н.	Коефіцієнт, враховуючих значимостей виконуваних робіт ( $w_k$ )	Технічний індекс жорсткості умов експлуатації ЗТМ, $J_i^{\text{техн}}$
Навантаження вантажів різних габаритних розмірів	10	5	4,5	2,25
Перевантаження вантажів розсипних	6	2	2,5	1,875
Переміщення вантажів	5	2	2	1,25
Планування вантажів по поверхні майданчика	4	3	2,6	0,866

### 4.3 Обґрунтування схеми впливу різних факторів на жорсткість умов експлуатації ТТМ

Виходячи з проведених вище досліджень, на рис. 4.3 наведено розроблену схему для оцінки впливу різних факторів на зміну ТЗ ТТМ, яка дозволяє розмежувати рівні жорсткості умов експлуатації ТТМ. Під жорсткістю умов експлуатації розуміється сукупність зовнішніх впливів та умов функціонування, що викликають зміну технічного стану машин.

На схемі виділено чотири рівні жорсткості умов експлуатації машин: 1) прийнятний; 2) усереднений; 3) збільшений та 4) критичний. Результати апріорного ранжування факторів умов експлуатації підтвердили припущення про

існування кількох рівнів жорсткості умов експлуатації ТТМ. Тим самим було підтверджено гіпотезу про можливість існування різних рівнів жорсткості умов експлуатації машин.

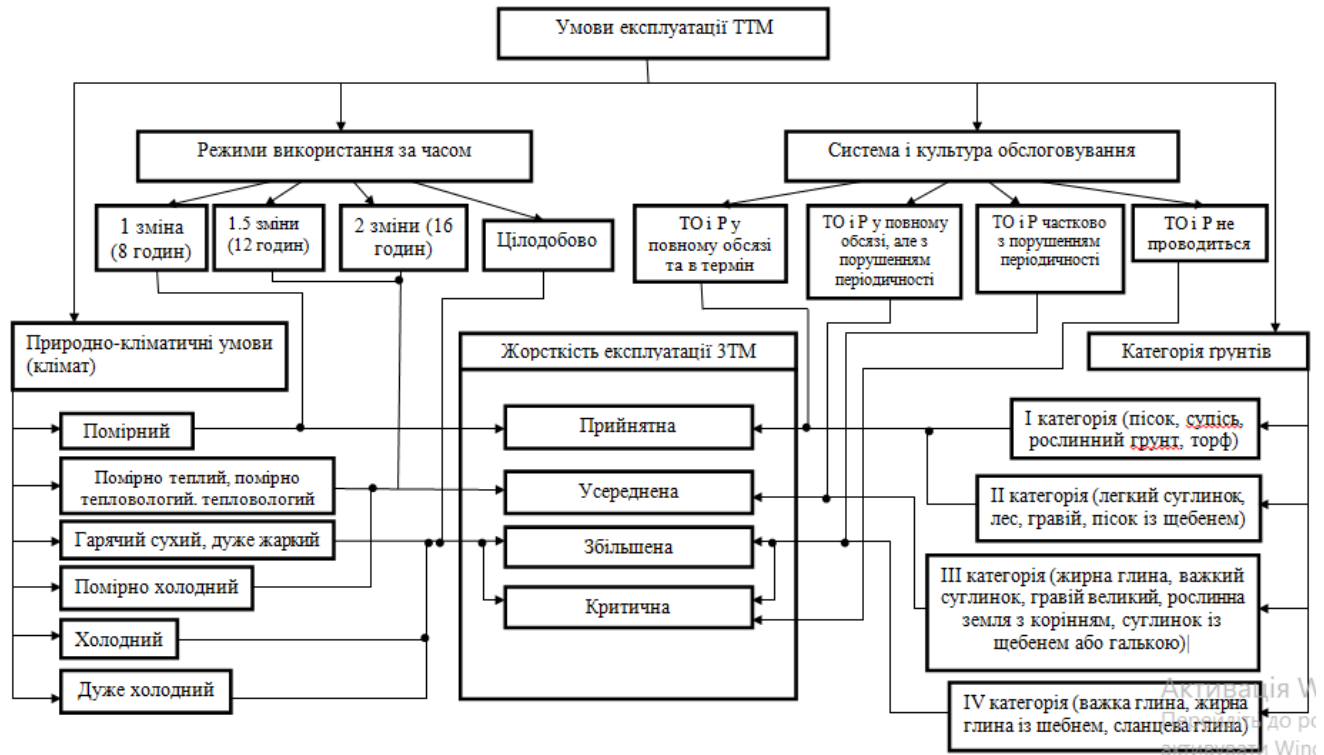


Рис. 4.3. Схема впливу різних факторів на жорсткість умов експлуатації ТТМ

Відповідно до рекомендацій [17, 38] основними факторами впливу прийнято природно-кліматичні умови, режим використання за часом, система та культура обслуговування, категорія ґрунтів. Природно-кліматичні фактори умов експлуатації машин характеризуються температурами навколишнього повітря, величинами вологості та атмосферного тиску, швидкістю вітру, кількістю атмосферних опадів, рівнем сонячної радіації, тривалістю зимового періоду та деякими іншими факторами. До основних кліматичних факторів відносяться температура повітря, відносна вологість повітря та швидкість вітру. Режими використання машин за часом характеризуються величинами напрацювання

машин протягом доби. Виділено чотири режими: однозмінний (8 год.), півторазмінний (12 год.), двозмінний (16 год.) та цілодобовий.

Система та культура обслуговування ТТМ розділені на чотири групи:

- 1) технічне обслуговування та ремонт (ТО та Р) проводиться в повному обсязі та без порушення періодичності;
- 2) ТО та Р проводиться у повному обсязі, але з порушеннями періодичності;
- 3) ТО та Р проводиться частково та з порушеннями періодичності;
- 4) ТЕ не виконується. Стан ґрунтів розглядається за I, II, III, IV категоріями (інші категорії ґрунтів не розглядалися тому що вони розробляються лише вибуховими методами). Усі перелічені чинники відбито на запропонованій схемі (рис. 4.3), де вони об'єднані умовними зв'язками.

У цьому виділено чотири рівня жорсткості умов експлуатації ЗТМ: 1) прийнятний; 2) усереднений; 3) збільшений та 4) критичний. Види виконуваних механізованих робіт приведені у відповідність до розрахункових значень технічного індексу жорсткості умов експлуатації:

- навантаження вантажів різних габаритних розмірів – збільшена жорсткість експлуатації;
- Перевантаження вантажів розсипних – усереднена жорсткість експлуатації;
- переміщення вантажу – усереднена жорсткість експлуатації;
- планування вантажів по поверхні майданчика – прийнятна жорсткість експлуатації.

Прийнятний рівень жорсткості експлуатації означає, що машина розробляє I, II категорії ґрунтів, режим використання оптимальний, на машину діють сприятливі погодні умови, вона отримує повні та своєчасні ТО та Р. Середній рівень жорсткості експлуатації характеризується роботою машини на ґрунтах III категорії, помірними погодними умовами та режимом використання, повними ТО та Р, але з порушенням їх періодичності. Збільшений рівень жорсткості

експлуатації характеризується роботою машини на ґрунтах IV категорії в умовах холодного і дуже холодного клімату, цілодобовим режимом використання, з частково проведеними та невчасними ТО та Р. Критичний рівень жорсткості експлуатації відрізняється від збільшеного тим, що ТО не проводяться.

Системи втрачають здатність до самонавчання та розвитку, а також науково обґрунтованого прогнозування своєї діяльності на тривалий період часу, ефективного пристосування до постійно змінних умов зовнішнього середовища.

За характером, зв'язки в СТС ТТМ поділяються на позитивні, негативні і гармонізовані.

Розвиток і функціонування СТС ТТМ, внаслідок впливу позитивних зв'язків, призводить до поліпшення структури системи, зростання системи. Позитивні зв'язки дають позитивний імпульс системного розвитку.

Негативно впливають на СТС ТТМ негативні зв'язки. Результатом їхнього впливу є погіршення механізму функціонування системи, її структури, скорочення розмірів системи. Негативні зв'язки передають негативний імпульс системному розвитку, її деградації.

Підтримка СТС ТТМ у стані рівноваги забезпечують гармонізовані зв'язки. В результаті взаємодії комплексу підсистем та елементів системи вони перебувають у стані динамічної рівноваги.

## РОЗДІЛ 5. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ

### 5.1 Розрахунок техніко-економічного ефекту від впровадження індивідуального підходу до коригування періодичності технічного обслуговування

Техніко-економічна оцінка результатів досліджень МКР виконана на прикладі експлуатації ТТМ в аграрних підприємствах Конотопського району Сумської області. Розглянуто впровадження запропонованої методики індивідуального підходу до коригування періодичності технічного обслуговування як інструменту зниження простоїв ТММ при усуненні наслідків відмов.

Економічна ефективність заходів визначається різницею між кількістю днів простою до та після впровадження методики індивідуального підходу до коригування періодичності технічного обслуговування. Розрахунок економічної ефективності розглянемо з прикладу автокрану працюючого на будівельних та сільськогосподарських (навантаження сільськогосподарської продукції, мінеральних добрив) роботах. Середня годинна продуктивність автокрану  $V_{\text{ч}} = 40 \text{ м}^3 / \text{год.}$ , причому середня вартість однієї тони вантажу  $C_2 = 1700 \text{ грн.}$  Питома вага  $1 \text{ м}^3$  вантажу 1,4 т. Середня кількість годин простою автокрану у ремонті в даний час складає 54 год. (таблиця 5.1 за 2023 р.). За рахунок впровадження методики індивідуального підходу до коригування нормативів зниження кількості годин простою автокрану, що знаходиться в ремонті, становитиме  $\Delta K_{mi} = 18,5\%$ . Це підтверджує доцільність проведення заходів, що розробляються.

Ефект  $R_t$ , що виражається скороченням прямих втрат від простою автокрану після проведення заходів щодо підвищення експлуатаційної надійності, може бути визначений прямим розрахунком за формулою:

$$R_t = \Delta A_t \cdot C , \quad (5.1)$$

де  $\Delta A_t$  – очікуване зниження кількості годин простою від застосування заходів;

$C$  - прямі втрати від однієї години простою автокрану, грн .

Прямі втрати від однієї години простою автокрану розраховуються за формулою:

$$C = V_q \cdot C_r, \text{ грн.}$$

де  $V_q$  - середня продуктивність за годину роботи, м<sup>3</sup> /год.;

$C_r$  - середня вартість вантажу, грн.

Таким чином, прямі втрати від однієї години простою автокрану становитимуть:

$$C = 40 \cdot 1700 \cdot 1,4 = 95200 \text{ грн.}$$

Очікуване зниження кількості годин простою визначається за формулою:

$$\Delta A_t = \frac{A_t \cdot \Delta K_{Ti}}{100\%},$$

де  $A_t$  – кількість годин простою автокрану;

$\Delta K_{mi}$  – розрахункова зміна коефіцієнта технічного використання, що дорівнює 18,5%.

$$\Delta A_t = \frac{54 \cdot 18,5\%}{100\%} = 9,99 \approx 10 \text{ год.}$$

Ефект від підвищення експлуатаційної надійності автокрану за рахунок збільшення коефіцієнта технічного використання становитиме:

$$R_t = 10 \cdot 95200 = 952000 \text{ грн.}$$

Річний економічний ефект від застосування методики індивідуального коригування періодичності технічного обслуговування на одну одиницю ТТМ, що працює на навантаженні вантажу, становить 952 000 грн.

## ВИСНОВКИ

1. Працездатність ТТМ може підтримуватися і відновлюватися в процесі експлуатації. Для того, щоб своєчасно провести ТО або визначити можливу потребу в ремонті, необхідно знати: закономірності зміни технічного стану ТТМ; граничні та допустимі значення параметрів технічного стану.
2. Підтверджено використання системно-орієнтованого процесного підходу, який дав змогу отримати якісні та кількісні характеристики системи технічного сервісу ТТМ. Виконано структурно-логічний аналіз складної організаційно-технічної системи технічного сервісу ТТМ.
3. Підвищення надійності та ефективності експлуатації ТТМ, а також скорочення витрат на їх технічне обслуговування та ремонт безпосередньо залежать від своєчасності та якості контролю змін технічного стану.
4. Система безперервного контролю технічного стану формує передумови створення регламенту заміни деталей, які лімітують надійність, а також впровадження інформаційно-технічної підтримки експлуатації ТТМ.
5. Отримані результати апріорного ранжування чинників умов експлуатації, які чинять негативний вплив на зміну технічного стану ТТМ (автомобільного крану): кліматичні умови; система і культура обслуговування; категорія вантажів; інтенсивність експлуатації.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Aulin, V., Hrynkiv, A., Lyashuk, O., Vovk, Y., Lysenko, S., Holub, D., Zamota, T., Pankov, A., Sokol, M., Ratynskiy, V., Lavrentieva, O. Increasing the functioning efficiency of the working warehouse of the "Uvk Ukraine" company transport and logistics center (2020) Communications - Scientific Letters of the University of Zilina, 22 (2), pp. 3–14.
2. Boyko A., Novitskiy A. Mathematical model of reliability of human-machine system under reduced efficiency of its generalized work. Machinery & Energetics. Kyiv. Ukraine. 2018. Vol. 9. No. 3. 271. P. 165–174.
3. Novitskiy A., Karabinhosh S. Some aspects of information support for operability of complex agricultural machinery. Machinery & Energetics. Kyiv. Ukraine. 2018. Vol. 9. No. 2. 241. P. 106–121.
4. Novitskiy Andrey. Professional Reliability of Personnel in System of Development of Innovative Processes. ТЕКА. An International Quarterly Journal on Motorization, Vehicle Operation, Energy Efficiency and Mechanical Engineering. Lublin-Rzeszow. 2018. Vol. 18. No 2, P. 93–102.
5. Rebenko V., Khmelovskyi V. Study of elements of biotechnical system in production of livestock products. Machinery & Energetics. 2018, Vol. 9, No. 4, P. 150–165.
6. Rogovskii Ivan, Titova Liudmyla, Novitskii Andriy, Rebenko Victor. Research of vibroacoustic diagnostics of fuel system of engines of combine harvesters. Proceedings of 18th International Scientific Conference “Engineering for rural development”. Jelgava, Latvia, May 22-25, 2019, Latvia University of Agriculture. Faculty of Engineering. Vol. 18, pp. 291–298. DOI: 10.22616/ERDev2019.18.N451. Scopus.
7. Vasyl Khmelovskyi, Volodymyr Otchenashko, Semen Voloshyn, Olena Pinchevska. Providing processes of preparation and distribution of feed for cattle on

animal husbandry farms. Proceedings of 18th International Scientific Conference “Engineering for rural development”. Jelgava, Latvia, May 20-22, 2020. pp. 778–783. Scopus. WoS.

8. Andriy Novitskiy. Forming reliability of means for preparation and disposal of forage. MOTROL. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture. 2017. Vol. 19. No 3. P. 123–128.

9. Методологічні основи проектування та функціонування інтелектуальних транспортних і виробничих систем : монографія / В. В. Аулін, А. В. Гриньків, А. О. Головатий [та ін.] ; під заг. ред. В. В. Ауліна. Кропивницький : Лисенко В. Ф., 2020. 428с.

10. Аулін В. В. Трибофізичні основи підвищення надійності мобільної сільськогосподарської та автотранспортної техніки технологіями триботехнічного відновлення: монографія / Аулін В. В. [та ін.] ; за ред. проф. Ауліна В. В. Кропивницький : Лисенко В. Ф., 2016. 303 с.

11. Аулін В. В., Гриньків А. В. Методика вибору діагностичних параметрів технічного стану транспортних засобів на основі теорії сенситивів. Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів. 2016. №5. С. 109–116.

12. 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.

13. Аулін В.В. Стан проблеми підвищення ефективності технічного сервісу СГТ в нових умовах господарювання. Конструювання, виробництво та експлуатація с/г машин / В.В. Аулін, О.М. Лівіцький, О.Ю. Жулай //

Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. Кіровоград: КНТУ. 2007. Вип. 37. С. 158-162.

14. Аулін В.В., Голуб Д.В., Біліченко В.В., Великодний Д.О. Методологія підходів до дослідження шляхів і сукупності факторів забезпечення належного рівня ефективності і надійності транспортних систем. - Вісник машинобудування та транспорту. №2. Вінниця: ВНТУ, 2017. - С. 4-14.

15. ДСТУ 2861-94. Надійність техніки. Аналіз надійності. Основні положення. Видання офіційне. Держстандарт України. Київ. 16 с.

16. ДСТУ 2860-94 Надійність техніки. Терміни та визначення. Видання офіційне. Держстандарт України. Київ. 16 с.

17. Новицький А. В. Методичні підходи до формування програми забезпечення надійності сільськогосподарської техніки. Центральноросійський науковий вісник. Технічні науки, Кропивницький. Україна. 2022. Вип. 6(37), ч. I. С. 134–143.

18. Новицький А. В. Інноваційність надійного функціонування операторів складних технічних систем «людина-машина» в рослинництві. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК, 2018. Випуск 282, С. 236–244.

19. Новицький А. В., Новицький Ю. А., **Башук Р. В.** Оцінювання експлуатаційної надійності транспортно-технологічних машин //Збірник тез доповідей XI Міжнародної науково-технічної конференції «Крамаровські читання» з нагоди 117-ї річниці від дня народження доктора технічних наук, професора, віцепрезидента УАСГН Крамарова В. С. 22-23 лют. 2024 р., м. Київ: МОН України, НУБіПУ. К.: Видавничий центр НУБіП України, 2024.С. 92-94.

20. Башук Л. В. Автомобільний ринок Європи та України. //Збірник тез доповідей XI Міжнародної науково-технічної конференції «Крамаровські читання» з нагоди 117-ї річниці від дня народження доктора технічних наук,

професора, віцепрезидента УАСГН Крамарова В. С. 22-23 лют. 2024 р., м. Київ: МОН України, НУБіПУ. К.: Видавничий центр НУБіП України, 2024. С. 476-478.

21. Новицький А. В., Щербак О. О., **Бащук Р. В.** Сучасні підходи до відновлення працездатності гідравлічних розподільників. Збірник тез доповідей X Міжнародної науково-технічної конференції «Крамаровські читання» з нагоди 116-ї річниці від дня народження доктора технічних наук, професора, члена-кореспондента ВАСГНІЛ, віце-президента УАСГН Крамарова В. С. (1906-1987) 23-24 лют. 2023 р., м. Київ / МОН України, НУБіП України. К.: Видавничий центр НУБіП України, 2023. С. 125-127.

22. Новицький А. В., Ясінський В. О., **Бащук Р. В.**, Лавріненко Є. В. Розвиток фільтрувальних систем: фільтри салону мобільних енергетичних засобів. Збірник тез доповідей IX Міжнародної науково-технічної конференції «Крамаровські читання» з нагоди 115-ї річниці від дня народження д.т.н., проф., члена-кор. ВАСГНІЛ, віце-президента УАСГН Крамарова В.С. (1906-1987) 24-25 лют. 2021 р., м. Київ / МОН України, НУБіП України. К.: Видавничий центр НУБіП України, 2022. С. 110-111.

23. Новицький А. В. Моніторинг матеріально-технічного забезпечення та надійності техніки АПК в системі розвитку інноваційних процесів. *Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research*. Kyiv. Ukraine. 2019, Vol. 10, No 3, P. 87–94.

24. Новицький А. В. Моніторинг надійності людини-оператора при дослідженні складних технічних систем в сільському господарстві. Збірник наукових праць ЖНАУ, з нагоди ХУ Міжнародної наукової конференції «Сучасні проблеми землеробської механіки». Житомир, ЖНАУ, №2 (45), Т. 4, Ч. 2. 2014. С. 110–120.

25. Новицький А. В. Огляд теоретичних досліджень надійного функціонування складних технічних систем у тваринництві. *Науковий вісник*

Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК. К., 2016. Вип. 254, ч. 3. С. 334-338.

26. Новицький А. В., Банний О. О. Надійність сільськогосподарської техніки в системі інноваційних процесів з досвіду зарубіжних компаній. *Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research*. Kyiv. Ukraine. 2020, Vol. 11, No 2, p. 115-124.

27. Новицький А. В., Каменецька А. В., Чеботар І. Е. Моніторинг напрямків забезпечення надійності лісогосподарської техніки. Збірник наукових праць Луцького НТУ, Сільськогосподарські машини. Випуск 33. Луцьк. 2015. С. 107–116.

28. Новицький А. В., Новицький Ю. А. Технічна оцінка споживчих якостей сільськогосподарської техніки. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК. К., 2017. Вип. 264. С. 293–303.

29. Новицький А. В., Ружи́ло З. В. Визначення функції готовності систем «людина – машина» при зростанні інтенсивностей відмов. *Machinery & energetics. Journal of Production Research*. Kyiv. Ukraine. 2019, Vol. 10, No. 2. P. 89–96.

30. Новицький А. В., Ружи́ло З. В. Моніторинг забезпечення молочного скотарства машинами та обладнанням. Науковий Журнал «Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів». Харків, 2014, вип. 1 С. 56-63.

31. Новицький А. В., Ружи́ло З. В., Котречко О. О. Забезпечення надійності сільськогосподарської техніки в системі розвитку інноваційних процесів. *Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research*. Kyiv. Ukraine. 2019, Vol. 10, No 3, P. 151–157.

32. Ружи́ло З. В., Новицький А. В. Огляд теоретичних досліджень надійного функціонування систем «ЛМС» під впливом технічного обслуговування

і ремонту. Науковий Журнал «Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів». Харків. 2016, Вип. 2. С. 223 – 231.

33. Тітова Л. Л., Роговський І. Л., Надточій О. В. Імітаційність місцеперебування засобу відновлення працездатності машин для лісотехнічних робіт. Збірник наукових праць Луцького НТУ, Сільськогосподарські машини. Випуск 33. Луцьк. 2015. С. 140–149.

34. Хмельовський В. С., Ребенко В. І. Обґрунтування елементів біотехнічної системи при виробництві тваринницької продукції. Науковий вісник НУБіП України. Серія: Техніка та енергетика АПК. К., 2018. Вип. 298. С. 79–84.

35. Хітров І. О., Бундза О. З., Бабич Я. О. Організація технічного сервісу машин дилерським підприємством. Сільськогосподарські машини : зб. наук. ст. Луцьк, 2018. Вип. 40. С. 121-130. URL: <https://cutt.ly/aR8KvZi>.

36. Хітров І., Коляда Д. Відновлення та розвиток системи сервісного забезпечення транспортних засобів.: зб. матеріалів III Всеукр. наук.-техн. інтернет-конф., 10-11 листоп. 2021 р. Рівне : НУВГП, 2021. С. 60-63. URL: <https://cutt.ly/iFZ2lbK>.

37. Хітров І. О., Бабич Я. О., Нікітін В. Г., Бундза О. З. Ключові стандарти якості обслуговування покупців при купівлі техніки на підприємстві дилера. Сільськогосподарські машини : зб. наук. ст. Луцьк, 2019. Вип. 43. С. 143-151. URL: <https://eforum.lntu.edu.ua/index.php/jurnal32/article/view/214/188>.

38. Новицький А. В., Ружи́ло З. В., Бистрий О. М., Банний О. О., Сиволапов В.А. Надійність машин та обладнання. Оцінка та забезпечення надійності машин та обладнання.. Том 1. Навчальний посібник: НУБіП України. Київ. 2023. 213 с.

39. Мельник В. І. Ружи́ло З. В., Мельник В. І., Новицький А. В., Ревенко Ю. І., Бистрий О. М., Попик П. С. Надійність машин та обладнання. Ремонтування машин та відновлення деталей. Том 2. Навчальний посібник: НУБіП України. Київ. 2023. 313 с.

## ДОДАТКИ