

It is noted that understanding the reasons for changes in dynamic properties is critical, as a reduction in the engine power reserve of the vehicle can complicate the safe execution of overtaking maneuvers. The main focus of the work is placed on the necessity of considering these changes in the vehicle's mobility control systems.

The article also includes an analysis of recent research in the field of the interaction between fuel and the technical condition of the vehicle. Research in this area is aimed at understanding the interaction between fuel parameters and the technical characteristics of vehicles to make transportation more efficient, extend the service life of vehicles, and address environmental challenges.

The article concludes with findings that emphasize the effectiveness of the developed coefficient for considering the technical condition of the vehicle and fuel quality to enhance the accuracy of safety systems and predict the potential acceleration of the vehicle in traffic. The proposed coefficient will make it possible to increase the accuracy of predicting the potential acceleration of the car by the on-board system. Additionally, the possibility of using this coefficient to detect changes in fuel quality and the technical condition of the vehicle is discussed, providing drivers with information through onboard diagnostic systems and measurement complexes to take appropriate actions.

car, technical condition, fuel quality, integral factor taking into account technical condition, operation, traffic safety

Одержано (Received) 02.11.2023

Прорецензовано (Reviewed) 15.12.2023

Прийнято до друку (Approved) 27.12.2023

УДК 656.13

DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2023.8\(39\).2.175-189](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2023.8(39).2.175-189)

В.В. Аулін, проф., д-р техн. наук

Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна

e-mail: AulinVV@gmail.com

О.Л. Ляшук, проф., д-р техн. наук

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, м. Тернопіль, Україна

e-mail: oleglashuk@ukr.net

А.В. Гриньків, ст. дослідник, канд. техн. наук, **С.В. Лисенко**, доц., канд. техн. наук

Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна

Д.В. Міронов, доц., канд. техн. наук, **Л.М. Слободян**, доц., канд. техн. наук,

Р.М. Рогатинський, проф., д-р техн. наук

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, м. Тернопіль, Україна

Оптимальний комплекс операцій технічного обслуговування і ремонту для підвищення надійності вузлів, систем та агрегатів мобільних машин

В роботі розглядаються удосконалення форм та методів організації систем технічного обслуговування і ремонту мобільних машин для підвищення їх надійності оптимізацією операцій діагностування та контролю технічного стану їх вузлів, систем і агрегатів.

В запропонованій централізованій системі технічного обслуговування і ремонту машин лежать принципи виробництва та характеризується широким використанням технологічних комплексів операцій системи технічного обслуговування і ремонту вузлів, систем, агрегатів і мобільних машин в цілому.

Здійснене порівняння методики реалізації запропонованої системи технічного обслуговування і ремонту та відомої у світі методики RCM (Reliability – centered Maintenance), орієнтованої на певний рівень надійності.

Наведено схеми технологічного процесу реалізації комплексу операцій технічного обслуговування і ремонту за одноетапним і багатоетапним контролем технічного стану вузлів, систем, агрегатів і мобільної машини в цілому.

© В.В. Аулін, О.Л. Ляшук, А.В. Гриньків, С.В. Лисенко, Д.В. Міронов, Л.М. Слободян, Р.М. Рогатинський, 2023

Розроблено алгоритм прийняття рішень для процесів комплексу операцій технічного обслуговування і ремонту. З'ясоване технологічне та інформаційне забезпечення комплексів операцій технічного обслуговування і ремонту вузлів, систем, агрегатів мобільних машин.

Виявлена роль оператора-діагноста щодо ймовірності отримання помилок 1-го і 2-го роду дефектів деталей, а також використання комп'ютеризованих робочих місць. Показано, як ці фактори впливають на рівень надійності вузлів, систем, агрегатів і мобільних машин в цілому.

надійність, мобільна машина, деталь, оптимізація, операція, технічне обслуговування і ремонт, діагностика, комп'ютеризоване робоче місце

Постановка проблеми. Ефективність використання мобільних машин (ММ) визначається методами підтримки їх вузлів, систем, агрегатів у працездатному стані в технологічному та транспортному режимах їх експлуатації. Необхідний рівень експлуатаційної надійності залежить від системи технічного обслуговування і ремонту (ТО і Р) [1-5].

На сьогодні існуючі форми та методи системи ТО і Р мобільних машин в Україні та за кордоном зводяться до наступних основних стратегій:

1. Планова система ТО і Р (Hard time maintenance and repair). Деталю, вузлам, системам, агрегатам ММ призначається встановлена межа напрацювання, яка обумовлює виконання операцій регламентного ТО або регламентного ремонту.

2. За технічним станом (On condition) – сутність даної стратегії ТО і Р полягає у підтримці ММ у справному стані в процесі періодичного або безперервного вимірювання і контролю параметрів. Величина відхилення їх від номінальних значень свідчить про характер несправностей вузлів, систем, агрегатів ММ. При цьому жорстких обмежень немає щодо їх напрацювання. Висновок про подальшу експлуатацію машин приймається за результатами контролю їх технічного стану.

3. За технічним станом та контролем рівня надійності (Condition monitoring). Дана стратегія ТО і Р включає комплекс заходів з управління надійністю, в який входять: аналіз відмов, конструктивні зміни, зміни у технології ремонтних робіт. За певним класом відмов ММ не допускається або знімається з експлуатації.

Планово-запобіжна система (ПЗС) ТО і Р прийнята в Україні, має високий рівень управління комплексами операцій ТО і Р. Вона відповідає наведеній вище стратегії Hard time maintenance and repair і є комплексом організаційно-технічних заходів, проведених за планом та спрямованих на забезпечення технічної справності та працездатності протягом терміну їхньої служби, за дотримання зазначених умов та режимів експлуатації ММ [6-8].

Відповідно до регламенту ПЗС, при попередженні відмов виконується комплекс технологічних операцій з ТО, а періодичність впливів по поточному ремонту (ПР) не планується, оскільки настання відмови носить імовірнісний характер.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Як свідчить практика, принципи ПЗС в технологічному і транспортному режимах експлуатації ММ працюють достатньо ефективно. В реальних умовах експлуатації спостерігається лінійна залежність між технічним станом ММ, їх вузлів, систем і агрегатів, і терміном експлуатації або напрацюванням на відмову (рис.1). Це можна твердити тільки для корозійних або ерозійних процесів, або при втомному зношуванні, тобто для поступових процесів спрацювання [9,10].

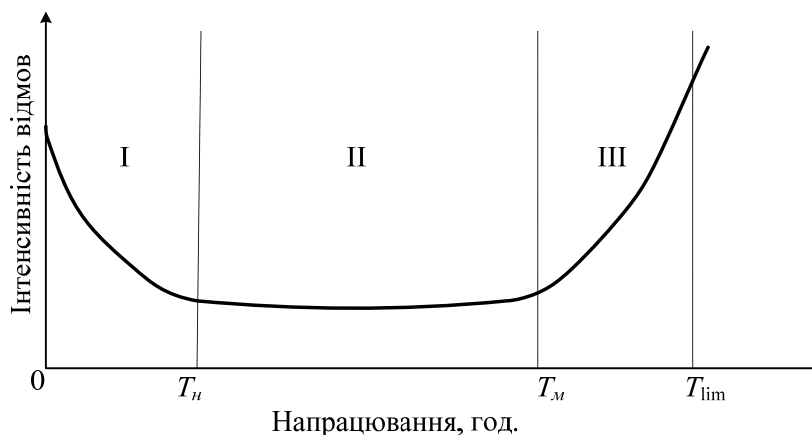


Рисунок 1 – Зміна параметра інтенсивності відмов вузла, системи, агрегату мобільних машин з напрацюванням на періодах припрацювання (I), нормальної експлуатації (II) та критичного зносу (III)
Джерело: розроблено авторами

Необґрунтоване розбирання спряжень деталей, вузлів, систем і агрегатів ММ, у процесі ремонту, зменшує реальний їх міжремонтний період на 15-30%. Це обумовлює скорочення ресурсу машин на 25...38% [11,12].

Статистична база значень показників надійності ММ свідчить про повторюваність номенклатури характерних відмов вузлів, систем і агрегатів та заміна їх ресурсовизначальних деталей. При цьому вибір стратегії очікування відмов значною мірою збільшує витрати на підтримку працездатності ММ. У агрегатах ММ, що надходять у капітальний ремонт, до 75...80% деталей мають допустимі для експлуатації рівні зносу [13,14].

Технічний стан ММ в процесі експлуатації змінюється і залишковий ресурс визначається тривалістю напрацювання або пробігом. Будь-яке спряження деталей, механізми ММ мають велику кількість допусків при проектуванні та конструюванні (проектно-конструкторські допуски), у виробництві (виробничо-технологічні допуски), а також допуски при експлуатації (експлуатаційні допуски). Це враховується під час ТО і Р проведення комплексу операцій. При реалізації процесів експлуатації вони мають різні параметри і характеристики та різні механізми. На експлуатаційні параметри і характеристики ММ, впливають наступні фактори: умови виготовлення; умови їх зберігання; умови транспортування; умови та режими експлуатації елементів і машин в цілому; технічне оснащення та кваліфікація обслуговуючих працівників; номенклатура та якість вироблених обслуговуючих і ремонтних впливів (сукупність процесів ТО і Р) [15,16].

Вузли, системи та агрегати ММ, що надходять до комплексу операцій ТО і Р, при однаковому напрацюванні в експлуатації можуть мати неоднакові залишкові ресурси. Це свідчить про те, що одночасність операцій ТО і Р є недоцільною [17].

Підтверджено, що, ПЗС є дуже витратною формою реалізації сукупності операцій ТО і Р, через відрядну систему оплати праці виконанням цих операцій. При цьому безпосередньо виконавці операцій ТО і Р зацікавлені у великих обсягах обслуговуючих і ремонтних впливів. Зазначене є суттєвою перешкодою для впровадження нових підходів до удосконалення системи ТО і Р [18,19].

З приходом ринкової економіки і появою приватних підприємств, ситуація з функціонуючим парком ММ навколо поглядів на комплекс операцій ТО і Р змінюється. Керівники приватних підприємств, після оцінки позитивних та негативних сторін ПЗС, починають шукати способи зниження витрат на комплекс операцій ТО і Р парку машин підприємства. При цьому до уваги беруться витрати та їх обґрунтованість з технічної,

технологічної та економічної точок зору. Також виникає необхідність у переході на більш ефективний і оптимальний комплекс операцій ТО і Р. Частково такий підхід використовується на підприємствах транспорту та агропромислового виробництва. На цих підприємствах формується стратегія ТО і Р за фактичним технічним станом і відповідає стратегії "On condition". Цей комплекс операцій ТО і Р є найбільш прийнятним варіантом, оскільки він базується на обсязі робіт, який визначається технічним станом вузлів, систем та агрегатів ММ. При впровадженні комплексу операцій ТО і Р ММ за фактичним технічним станом, економічний ефект може досягати 30% загальної вартості рухомого складу на підприємстві [20, 21].

В роботах [22,23] розкриваються основні принципи та особливості проектування комплексу технологічних операцій ТО і Р деталей, вузлів, систем і агрегатів ММ. За кордоном понад 20 років тому стали з'являтися системи, які являли собою цілісний автоматизований комплекс для підвищення ефективності завдань управління процесами ТО і Р на автотранспортних підприємствах (АТП).

В Німеччині в другій половині ХХ століття було відзначено спад обсягів виконуваних послуг з операцій ТО і Р ММ. В той час багато підприємств були змушені інтенсивно розширювати перелік послуг по виконанню комплексу операцій ТО і Р. Існуючі вільні авторемонтні підприємства (АРП), які, на відміну від фірмових, надавали послуги на виконання операцій ТО і Р автомобілів будь-яких марок [24]. На замовлення фірми Bosch розроблена система обробки бази даних по операціях ТО і Р та інформації, яка надійшла від вільних АРП. Ця система впроваджена на 300 підприємствах – партнерах фірми Bosch [24,25].

При розробці комплексу операцій ТО і Р, враховувалася потреба в тому, щоб система слугувала інструментом комунікації і надала великий обсяг інформації для АРП. Пакет програм інформаційної системи надавав доступ до бази даних і дозволяв створювати робочі листи, накладні, рахунки та інше. Крім того, користувач мав доступ до оновлюваного каталогу товарів фірми Bosch з вказанням цін. Якщо підприємство бажало співпрацювати з іншими компаніями, його дані також вносилися в інформаційну систему [26,27].

У Болгарії автоматизована система контролю (АСК), розроблена Софійським науково-дослідним технологічним інститутом автомобільного транспорту, була призначена для збору та обробки інформації з робочих постів щодо вимірювання контрольованих параметрів деталей, вузлів, систем та агрегатів мобільних машин (ММ). Інформаційна система підприємства передбачала підключення до одного комп'ютера восьми робочих постів. Кожен з цих постів мав можливість вимірювати до 16 контрольованих параметрів технічного стану вузлів, систем і агрегатів ММ. Відстань між постами становила приблизно 300 метрів, що відповідало вимогам щодо збору та обробки інформації. АРП регулярно здійснюють контроль технічного стану деталей ММ на ділянках дефектації та комплектації, а також під час ремонту, відновлення деталей та приймання нових деталей. [28,29].

Постановка завдання. Метою даної роботи є розробка методики підвищення рівня експлуатаційної надійності вузлів, систем, агрегатів та мобільних машин в цілому вибором оптимального комплексу операцій ТО і Р при одноетапному та багатоетапному контролі їх технічного стану та створенням комп'ютеризованих робочих місць на підприємстві при роботі ММ в технологічному і транспортному режимах.

Виклад основного матеріалу. Система ТО і Р ММ, в основі якої лежать принципи виробництва та характеризується широким використанням типових технологічних комплексів операцій, є централізованою системою ТО і Р за технічним

станом. Сутність системи ТО і Р полягає в наступному. За результатами діагностування, яке проводиться або до зняття вузлів, систем і агрегатів з ММ (перед його відправкою в ремонт), або на випробувальному стенді пропонується розроблений на підприємстві технологічний маршрут реалізації комплексу операцій (КО) ТО і Р. Звісно через невідповідність виявленого поєднання дефектів вузлів, систем і агрегатів ММ та номенклатури робіт технологічного маршруту КО, відбувається збільшення обсягів розбірно-складальних робіт. Збільшення обсягів комплексів операцій ТО і Р при цьому компенсується скороченням обсягу контрольних-діагностичних операцій (КДО) технічного стану вузлів систем і агрегатів ММ. Це обумовлюється тим, що не потрібно виявляти повний обсяг дефектів. Достатньо локалізувати або встановити відсутність тих дефектів, які визначатимуть технологічний маршрут КО ТО і Р.

Запропонована система ТО і Р, в основному, застосовується для підтримки ММ у технічно справному стані. Згідно цієї системи узгоджено управляють рядом операцій ТО і Р, логістичного сервісу, матеріально-технічного постачання, фінансами, якістю та трудовими ресурсами в межах єдиної стратегії ТО і Р, яка прийнята на підприємстві. Підприємства, в основному, орієнтуються на скорочення витрат на КО ТО і Р ММ без зниження рівня їх надійності. З іншої сторони здійснюється підвищення певних виробничих параметрів без збільшення витрат.

На підприємствах, які експлуатують і обслуговують ММ з'явився підхід інтегрованого управління операціями ТО і Р. Основне призначення зазначеного підходу і розроблених систем управління є планування діяльності персоналу, що займаються виконанням оптимального комплексу операцій ТО і Р та забезпеченням необхідними ресурсами. Крім того, ці системи вирішують ряд наступних завдань:

- управління тривалістю використання та функціонування ММ;
- оптимізація структури рухомого складу підприємства;
- характер зберігання інформації підприємства про технічний стан кожної ММ на сервері, їх відмови в процесі експлуатації, та виконаний обсяг операції ТО і Р;
- підтримка підрозділів підприємства, що реалізують маршрути КО ТО і Р ММ в межах єдиної стратегії ТО і Р.

В Україні і за кордоном у низці галузей промисловості, транспорту і агропромислового виробництва застосовуються технології інформаційної підтримки життєвого циклу ММ [30,31]. В основі яких лежать стандартизовані уявлення даних про ММ та передбачається фірмове сервісне гарантійне та післягарантійне обслуговування. Ці технології, як правило, включають наступні елементи системи управління надійністю ММ: збір відомостей про відмови; планові та аварійні ремонти; технічний стан деталей, вузлів, систем, агрегатів та ММ в цілому. Зазначене виявляється за допомогою спеціальних контрольних-діагностичних засобів.

Методи управління процесами і операціями ТО і Р ММ базуються на застосуванні методик технологічного обслуговування та ремонту, які орієнтовані на певний рівень надійності роботи ММ. Поряд з відомою в світі методикою RCM (Reliability - centered Maintenance) [22] пропонується методика підтримки ММ у працездатному стані, але головним при цьому є працездатність виробничої системи, або транспортної системи загалом, а не працездатність кожної її одиниці.

Даною методикою забезпечується надійне функціонування ресурсовизначальних елементів ММ, вихід з ладу яких спричинить негативні наслідки. Ці наслідки оцінюються за різними ризиками: зрив транспортно-виробничих планів; недотримання норм якості продукції та послуг; екологічні катастрофи та ін.

Запропонована методика реалізується наступними основними етапами:

1. Визначення меж підсистем, елементів між собою та в системі ТО і Р взагалі.

2. З'ясування функцій підсистем, елементів та системи ТО і Р.
3. Виявлення ресурсовизначальних елементів та підсистем за їх функціями.
4. З'ясування причин відмов в елементів, підсистем, систем та прогнозування і ймовірностей їх виникнення.
5. Побудова дерева вирішення проблем класифікації результатів відмов функціонально ресурсовизначальних елементів системи ТО і Р.
6. Вибір комплексу операцій для початкової програми ТО і Р ММ.
7. Якщо реально не встановлюються операції ТО і Р ММ, то комплекс операцій переглядається і оптимізується.
8. Розробка динамічної системи операцій ТО і Р ММ в результаті її оновлення шляхом моніторингу з систематичним контролем, збору та аналізу оперативних даних про технічний стан ММ, їх вузлів, систем і агрегатів.

Першим етапом використання запропонованої методики є визначення обмежень або меж підсистем і елементів. Це означає, що систему поділяють на підсистеми більш простішого рівня складності і на елементи.

Другим етапом є визначення ресурсовизначальних елементів в підсистемах.

На наступних етапах відбувається виявлення причин відмов ресурсовизначальних елементів та прогнозування ймовірності їх появи. Якісні та кількісні методи аналізу ризиків використовуються для виявлення причин та результатів відмови цих елементів. Усереднене напрацювання елементів, підсистем на відмову базується на компетентному аналізі за схемою "причина-відмова-наслідок".

Невід'ємною ланкою процесу визначення технічного стану вузлів, систем і агрегатів та діагностування в системі ТО і Р ММ є оператор-діагност. Ефективність КО ТО і Р значною мірою залежить від застосовуваних методів і засобів технічного діагностування.

Своєчасним виявленням несправності в процесі технічного діагностування можливо запобігти та зменшити негативні наслідки. Процедура виявлення несправностей при технічному діагностуванні представлена на рис. 2.

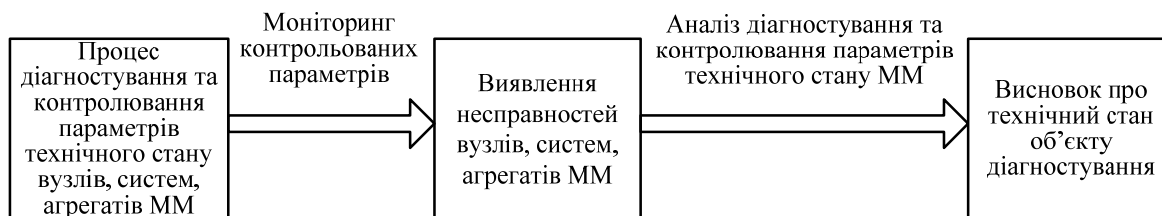


Рисунок 2 – Схема процедури виявлення несправностей в результаті моніторингу контрольованих параметрів технічного діагностування

Джерело: розроблено авторами

Можна бачити, що в технічній діагностиці всі знання зводяться до процесів моніторингу контрольованих параметрів і самого діагностування. Сюди входить визначення діагностичних параметрів, а також інформація, на підставі якої робиться висновок про реальний технічний стан ММ, як об'єкта діагностування.

В той час, якими б застарілими чи сучасними не були методи діагностування, найслабшою ланкою в людино-машинній системі є людина. Саме тому, на етапі технічного діагностування неминучі значні за величиною помилки 1-го роду "хибний дефект" та 2-го роду "перепустка дефекту" і, як наслідок, помилка маршрутизації при розподілі КО ТО і Р. Фактори, що впливають на постановку правильного діагнозу оператором-діагностом на етапі діагностування вузлів, систем і агрегатів ММ за їх КО ТО і Р представлені на рис. 3.

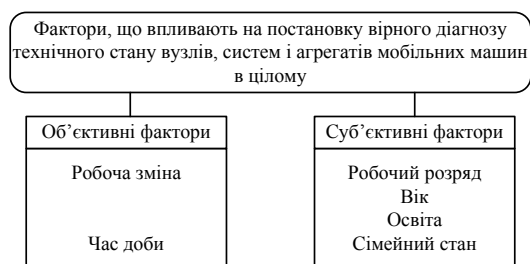


Рисунок 3 – Фактори, що впливають на постановку правильного діагнозу технічного стану вузлів, систем і агрегатів мобільних машин оператором-діагностом при комплексі операцій їх технічного обслуговування і ремонту

Джерело: розроблено авторами

Технологічний процес реалізації КО ТО і Р здійснюється за одноетапним та багатоетапним контролем. Кожен вузол, система і агрегат, що підлягає системі КО ТО і Р і одноетапному контролю, характеризуються поєднанням наявних у них дефектів (q -м) з множини Q ($q = 1, \dots, Q$), за результатами діагностування розподіляється на k -й з множини K ($k = 1, \dots, K$), при цьому $K < Q$.

За одним технологічним маршрутом КО ТО і Р можуть бути спрямовані вузли, системи і агрегати ММ зі схожими поєднаннями виявлених дефектів. Відповідно до призначених технологічних маршрутів ремонту, вузли, системи і агрегати направляють на комп'ютерні робочі місця (КРМ) (R множина, $r = 1, \dots, R$), яких достатньо щоб виконати річний обсяг робіт підприємства. Зазначимо, що на одному КРМ може виконуватися кілька технологічних маршрутів КО ТО і Р.

Якщо технічний стан агрегату ММ контролюється, то одноетапний контроль агрегату ММ виявляє помилки 1-го та 2-го роду. Це дає підстави порядку 26% агрегатів повертати з робочих місць на технічне діагностування. Виявлено, що достовірність розпізнавання технічного стану вузлів, систем і агрегатів ММ, а також правильності призначення КО технологічного маршруту, доцільне введення додаткових контрольних-діагностичних операцій безпосередньо в процесі їх розбирання. Це так званий операційний контроль розбірного процесу, який призводить до зниження до 17% повернення вузлів, систем, агрегатів ММ з комп'ютеризованих робочих місць і скорочення втрат від виконання зайвих та повторних операцій ТО і Р.

При багатоетапному контролі реалізації КО ТО і Р вузлів, систем і агрегатів ММ етап діагностування характеризується тим, що на ньому з'являється можливість локалізувати дефекти, які не піддаються виявленню. Часткове розбирання вузлів, систем і агрегатів дає можливість більш точно визначити їх технічний стан.

Під час розбирання вузлів, систем і агрегатів виконується діагностування, за результатами якого встановлюється правильність чи неправильність призначення КО ТО і Р. Якщо технологічний маршрут призначено правильно, то виконуються всі передбачені обслуговуючі та розбирально-складальні роботи. Після цього вузол, систему, агрегат направляють у приймальний контроль, для проходження обкатки або стендового випробування. В протилежному випадку результати діагностування дають можливість їх перенаправити на відповідний технологічний маршрут. Він виконується на цьому ж або на іншому комп'ютеризованому робочому місці. При цьому зняті з вузла, системи, агрегату деталі направляють на дефектацію, а на робочі місця безпосередньо подають необхідні комплекти деталей.

Якщо на етапі приймального контролю виявлені дефекти відремонтованих вузлів, систем і агрегатів ММ усуваються. Економічно доцільно на ділянці з випробування, доукомплектування і регулювання направляти їх у повторний ремонт. Якщо вузли, системи і агрегати відповідають технічним умовам приймання, то їх

відправляють на склад готової продукції або на видачу замовнику.

Технічна база КО ТО і Р використовує взаємозв'язки контрольованих параметрів, які оцінюють технічний стан вузлів, систем і агрегатів машин, і дефектами, що мають певні діагностичні ознаки. Виявлено, що більшість дефектів, які розпізнаються, виникають у вузлах, системах, агрегатах, мають певні діагностичні ознаки та параметри, які свідчать про наявність несправностей, що сприяють їх відмові. Періодичний моніторинг даних параметрів дозволяє вчасно виявити зміну технічного стану вузла, системи, агрегату ММ. У такому випадку необхідний КО ТО і Р буде проводитися тільки тоді, коли виникає реальна ймовірність виходу діагностичних параметрів за гранично допустимі межі технічного стану вузлів, систем, агрегатів і машин в цілому.

Існує велика різноманітність можливих стратегій ТО і Р ММ за станом. Деякі з них можна об'єднати у дві групи: з контрольованим рівнем надійності та контрольованими параметрами режимів технологічної та транспортної експлуатації. У першому випадку КО ТО і Р зводиться до управління рівнем надійності певної сукупності однотипних ММ, а в другому – до управління технічним станом кожної конкретної ММ.

Поступової реалізації завдань для переходу від ППС до системи ТО і Р за фактичним станом сприяють системи та програмні реалізації оптимального КО ТО і Р з використанням комп'ютеризованих робочих місць.

Використання АСК є особливо ефективним при комплектуванні деталей та призначенні маршрутів для відновлення зношених деталей, вузлів, систем, агрегатів ММ, оскільки прийняття рішення про технічний стан деталі, вузла, системи чи агрегату здійснювалося комп'ютером, що дозволяє знизити вплив суб'єктивного чинника під час розподілу по маршрутах КО ТО і Р.

Функціонал більшості комп'ютеризованих систем управління КО ТО і Р на підприємстві розширяється за рахунок додавання можливості логістичного сервісу складськими запасами та фаховим рівнем персоналу.

Алгоритм прийняття рішення для процесів КО ТО і Р показано на рис. 4, який використовується для класифікації результатів відмов.

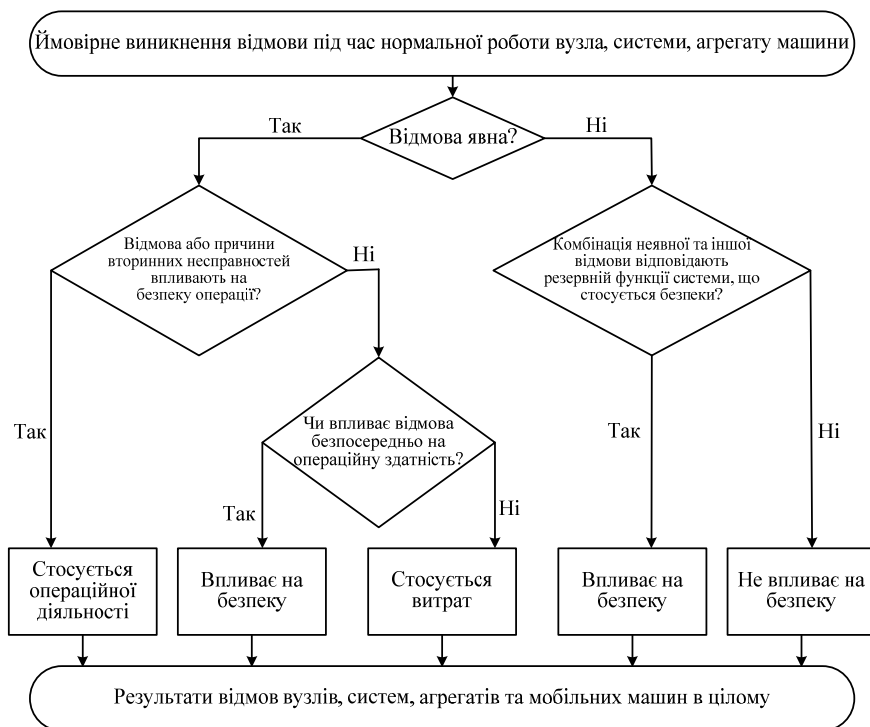


Рисунок 4 – Алгоритм прийняття рішення для процесів комплексу операцій технічного обслуговування і ремонту в запропонованій системі підвищення надійності

Джерело: розроблено авторами

Аналіз характеру і наслідків відмов, як і прийняття рішення, можуть бути успішними підходами під час вирішення завдань, з розстановкою пріоритетів усунення несправностей вузлів, систем, агрегатів, ММ в цілому.

Якщо ймовірність відмови була передбачувана ще під час нормальної експлуатації ММ, то дана відмова є явною, інакше вона класифікується як прихована відмова, що є ключовим фактором у питанні про ефективність системи ТО і Р.

На рис. 5 представлені складові технологічного та інформаційного забезпечення КО ТО і Р, які багато в чому визначають ефективність КО ТО і Р. На ефективність КО ТО і Р впливає і людський фактор. Він є причиною появи помилок 1-го (хибний дефект) роду та 2-го роду (пропуск дефекту). Це відбувається на етапі діагностування перед визначенням оптимальних операцій та маршрутів КО ТО і Р.

Забезпечення комплексів операцій ТО і Р вузлів, систем, агрегатів мобільних машин	Технологічне забезпечення	Технологічні карти надійності вузлів, систем, агрегатів
		Сукупність дефектів вузлів, систем, агрегатів, їх поєднання та аналіз
		Класифікація та структуризація дефектів та їх поєднань
		Формування комплексу операцій ТО і Р по усуненню дефектів
		Розробка типового комплексу операцій ТО і Р вузлів, систем, агрегатів та ММ в цілому
		Моніторинг ймовірнісно-статистичних характеристик параметрів технологічного процесу КО ТО і Р деталей, вузлів, систем, агрегатів мобільних машин
	Інформаційне забезпечення	Виявлені причинно-наслідкові зв'язки параметрів технічного стану вузла, системи, агрегату мобільних машин
		Апріорні сукупності контрольно-діагностичних операцій технічного діагностування вузлів, систем і агрегатів мобільних машин
		Моніторинг сучасних перспективних методів і засобів діагностування вузлів, систем і агрегатів мобільних машин
		Ймовірнісно-статистичні і вартісні параметри контрольно-діагностичних операцій технічного стану вузлів, систем, агрегатів мобільних машин
		Формування раціональних та оптимальних контрольно-діагностичних операцій ТО і Р технічного стану вузлів, систем, агрегатів мобільних машин

Рисунок 5 – Технологічне та інформаційне забезпечення комплексів операцій технічного обслуговування і ремонту вузлів, систем, агрегатів мобільних машин

Джерело: розроблено авторами

Виявлено, що розпізнавання помилок 1-го і 2-го роду оператором-діагностом залежить від їх робочого часу, з урахуванням розряду та віку (табл. 1 і табл.2).

Таблиця 1 – Закономірності зміни ймовірностей помилок 1-го роду оператором-діагностом протягом робочої зміни

Змінний робочий час, t , год	Ймовірність помилок 1-го роду, α				
	Розряд – 4; Вік - 58	Розряд – 4; Вік - 36	Розряд – 5; Вік - 55	Розряд – 5; Вік - 47	Розряд – 5; Вік - 39
8	0.0167	0.016	0.0155	0.015	0.0147
9	0.0188	0.0174	0.0163	0.0158	0.0155
10	0.021	0.0187	0.0172	0.0166	0.0162
11	0.0237	0.0204	0.0181	0.0172	0.0168
12	0.0264	0.0221	0.0192	0.0179	0.0174
13	0.0292	0.0238	0.0203	0.0185	0.018

Джерело: розроблено авторами

Дослідження показали, що діагностування несправностей полягає у виявленні та локалізації дефектів у деталях вузлів, систем і агрегатів. Через ускладнення вузлів, систем і агрегатів ММ, зростання вимог до безпеки, їх функціональний рівень надійності та екологічності діагностування несправностей стає значущою процедурою. При проведенні діагностики ММ, слід звернути увагу на потребу їх високої надійності та працездатності на низький рівень викидів появи дефектів.

Таблиця 2 – Закономірності зміни ймовірностей помилок 2-го роду оператором-діагностом протягом робочої зміни

Змінний робочий час, t , год	Ймовірність помилок 2-го роду, β			
	Розряд – 4; Вік - 58	Розряд – 5; Вік - 55	Розряд – 5; Вік - 39	Розряд – 4; Вік - 36
8	0.0139	0.012	0.0109	0.0103
9	0.0143	0.0125	0.0116	0.011
10	0.0148	0.0131	0.0124	0.0119
11	0.0152	0.0138	0.0131	0.0126
12	0.0156	0.0144	0.0138	0.0134
13	0.016	0.0148	0.0144	0.0142

Джерело: розроблено авторами

З'ясовано, що важливим для КО ТО і Р ММ є безперервний або періодичний контроль параметрів фактичного технічного стану об'єкта діагностування. Це дає можливість прогнозувати можливий технічний стан і рівень надійності вузла, системи, агрегатів і мобільної машини в цілому.

Що стосується прогнозування, то воно виконується при безперервному контролі визначення часу, технічного стану ММ протягом часу збереження працездатного стану. При періодичному контролі - визначення моменту часу наступного контролю технічного стану ММ.

Висновки. 1. Централізована система ТО і Р мобільних машин за фактичним технічним станом на даному підприємстві дозволяє суттєво знизити недовикористаний ресурс деталей вузлів, систем та агрегатів мобільних машин в технологічній і транспортній експлуатації. Це сприяє підвищенню надійності та ефективності використання мобільних машин на підприємстві.

2. Розроблена методика управління процесами і операціями ТО і Р вузлів, систем і агрегатів мобільних машин для підвищення рівня їх надійності. Визначено основні етапи її реалізації.

3. Виявлено, що на правильний діагноз технічного стану вузлів, систем і агрегатів мобільних машин оператором-діагностом при комплексі операцій ТО і Р, впливають об'єктивні (робоча зміна, час доби) та суб'єктивні (робочий розряд, вік та ін.) фактори.

4. Виявлені помилки визначення технічного стану та розподілу дефектних деталей вузлів, систем і агрегатів за конкретними технологічними маршрутами комплексу операцій технічного обслуговування і ремонту мобільних машин, або приводять до виконання зайвих обслуговуючих і ремонтних робіт на усунення пропущених або не виявлених дефектів. Це дозволяє повною мірою реалізувати переваги комплексів операцій ТО і Р.

5. Форми та методи організації маршрутів комплексів операцій ТО і Р на сьогодні ще остаточно не розроблені і не дозволяють в повній мірі використовувати їх переваги. Для достовірного розподілу комплексу операцій ТО і Р необхідна акумуляція великих обсягів статистичних даних і відповідне програмне забезпечення.

6. Визначено, що для зниження впливу людського фактора на результати діагнозу наявності або відсутності дефектів та розподілу вузлів, систем, агрегатів за технологічними маршрутами оптимальних комплексів операцій ТО і Р може сприяти розгляд системи ТО і Р, як штучної когнітивної системи.

Список літератури

1. Методи оцінювання якості технологічних процесів у системах автосервісу: монографія / Л.А. Тарандушка та ін. Черкаси: ЧДТУ, 2021. 212 с.
2. Сахно В.П., Іванушко О.М. Вплив умов експлуатації та системи технічного обслуговування і ремонту на технічний стан автотранспортних засобів. *Вісник Національного транспортного університету*. 2017. № 1. С. 363-372.
3. Ільченко В.Ю., Пономаренко Н.О. Дослідження пристосованості конструкції автомобіля до операцій технічного обслуговування. *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка*. 2014. Вип. 148. С. 335-341.
4. Гриньків А.В., Аулін В.В. Елементно-модульна система технічного обслуговування і ремонту мобільної сільськогосподарської техніки. *Процеси, машини та обладнання агропромислового виробництва: проблеми теорії та практики: зб. тез доповідей міжнар. наук.-практ. конф.*, Тернопіль, 29-30 вересня 2022, ТНТУ ім. І. Пулюя. Тернопіль: ФОП Паляниця В.А., 2022. С.103-104.
5. Аулін В.В., Гриньків А.В., Лисенко С.В., Лівіцький О.М. та ін. Принципи побудови та функціонування кіберфізичної системи технічного сервісу автотранспортної та мобільної сільськогосподарської техніки. *Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів*. 2020. №22. С. 162-174.
6. Ivanushko O. Optimization of the frequency of vehicle maintenance to prevent the majority of technical failures. *Systemy i srodki transportu samochodnogo. Seria: Transport*. 2019. No.18, P. 23-31.
7. Сахно В.П., Іванушко О.М. Коректування періодичності технічного обслуговування автотранспортних засобів з метою попередження більшості відмов. *Вісник Національного транспортного університету*. 2019. № 1. С. 167-177.
8. Технічна експлуатація та надійність автомобілів / Форнальчик Є.Ю., Оліскевич М.С., Мاستикаш О.Л., Пельо Р.А. Львів «Афіша», 2004. 492 с.
9. 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 національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка*. 2015. Вип. 158. С. 252-262.
10. Кукурудзяк Ю. Ю. Аналіз методів і систем отримання інформації про технічний стан автомобіля. *Збірник наукових праць Вінницького національного аграрного університету. Серія : Технічні науки*. 2012. Вип. 10(2). С. 106-109.
11. Сахно В.П., Іванушко О.М. Експертний аналіз причин зміни технічного стану автотранспортних засобів. *Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки»*. 2018. Вип. 1 (40), С. 274-284.
12. Hacker L. Limitations of the Exponential Distribution for Reliability Analysis. *Reliability Edge*. 2001. № 3. P. 1-3.
13. Форнальчик Є.Ю., Будяну Р.Г. Обґрунтування початкових параметрів до імітаційного

- моделювання системи технічного обслуговування і ремонту військової автомобільної техніки. *Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних сил*. 2009. Вип. 2. С. 118-122.
14. Біліченко В.В., Крук В.П. Теоретичні основи оптимізації структури виробничої бази АТП по техніко-економічним критеріям. *Наукові нотатки*. 2012. Вип. 37. С. 23-26.
 15. Сахно В.П., Сакно О.П., Лисий О.В. Аналіз умов забезпечення працездатності автотранспортних засобів на основі удосконалення системи технічного обслуговування. *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка*. 2015. Вип. 158. С. 144-149.
 16. Сахно В.П., Сакно О.П., Лисий О.В. До моделювання системи технічного обслуговування і ремонту автопоїздів. *Молодий вчений*. 2015. № 5(1). С. 54-57.
 17. Зуєв О. О. Спрощена метода логіко-імітаційного моделювання операцій технічного обслуговування мобільної техніки. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету*. 2013. Вип. 13, т.6. С. 158-165.
 18. Павленко В.М., Кужель В.П., Калашніков Є.В., Комар Д.П. Моделювання онтологій для організації технічного обслуговування автомобілів. *Вісник машинобудування та транспорту*. 2019. № 1. С.89-97.
 19. Біліченко В.В., Романюк С.О. Системна модель проектного управління стратегіями розвитку організації автомобільного транспорту за етапами їх життєвого циклу. *Вісник Вінницького політехнічного інституту*. 2013. № 6. С. 102-107.
 20. Біліченко В.В., Цимбал С.В., Крещенецький В.Л., Мальченко В.Ю. Вдосконалення методики формування потужності зони поточного ремонту автомобілів. *Наукові нотатки*. 2018. Вип. 62. С.44-47.
 21. Одокієнко С.М., Тарандушка Л.А., Тарандушка І.П. Розробка системи параметрів для оцінки якості процесів технічного обслуговування і ремонту автомобілів. *Технологический аудит и резервы производства*. 2016. № 3/2 (29). С. 52-56.
 22. Reliability-Centered Maintenance (RCM) for Command, Control, Communications, Computer, Intelligence, Surveillance, and Reconnaissance (C4ISR) Facilities. Technical Manual 5-698-2. – Washington, DC: Headquarters Department of the Army, 2006. 96 p.
 23. Key outcomes from Life Cycle Assessment of vehicles, a state of the art literature review Maarten Messagie, Cathy Macharis, Joeri. VanMierlo. Barcelona, Spain, November 17-20, 2013.
 24. Система контролю якості ремонту Bosch QualityScan: гарантія якості ремонту дизельних компонентів в авторизованих майстернях Бош Дизель Центр і Бош Дизель Сервіс. URL: <https://autodiesel.com.ua/news/sistema-kontrolyu-yakosti-remontu-bosch-qualityscan-garantiya-yakosti-remontu-dizelnih-komponentiv-v-avtorizovanih-majsternyah-bosh-dizel-tsentri-i-bosh-dizel-servis/> (дата звернення 28.11.2023).
 25. Rudnytskyi V. & Hadi A. Methodological tools for the implementation of information technology for expert assessment of the quality of heavy automobile equipment in the process of its exploitation. *Innovative technologies and scientific solutions for industries*. 2021. No 3(17). P. 69–77.
 26. Аулін В.В., Лисенко С.В., Мельничук С.В., Сорока Б.А. Інформаційне забезпечення системи технічного сервісу автомобілів в агропромисловому виробництві. *Сучасні технології та перспективи розвитку автомобільного транспорту*: зб. матеріалів XVI Міжнар. наук.-практ. конф., 23-25 жовтня 2023 року. Вінниця: ВНТУ, 2023. С.45-48.
 27. Форнальчик Є.Ю., Кочмар Р.Я. Основи технічного сервісу транспортних засобів. Львів: «Львівська політехніка», 2017. 324 с.
 28. Хаврук В.О., Пархоменко О.О. Методика розрахунку ефективності експлуатації вантажних автомобілів. *Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті*. 2021. No2 (17). С. 163-172.
 29. Іващенко О.В. Показники техніко-економічної ефективності машин. *Вісник ЖДТУ. Серія: Економічні науки*. 2012. № 3 (61). С. 235-237.
 30. Павленко В.М., Кужель В.П. Визначення можливості використання мультиагентного підходу при виконанні технічного обслуговування і ремонту автомобіля. *Вісник машинобудування та транспорту*. 2018. № 1. С. 72-80.
 31. Сакно О.П., Колеснікова Т.М., Олло В.П. Моделювання прийняття рішень в системі технічного обслуговування автомобілів на основі математичних методів теорії нечітких множин. *Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури*. 2019. № 6. С. 70-76.

References

1. Tarandushka, L.A. et al. (2021). *Metody otsiniuvannya yakosti tekhnolohichnykh protsesiv u systemakh avtoservisu [Methods of assessing the quality of technological processes in car service systems]*. Cherkasy: ChDTU [in Ukrainian].

2. Sakhno, V.P. & Ivanushko, O.M. (2017). Vplyv umov eksploatacii ta systemy tekhnichnoho obsluhovuvannya i remontu na tekhnichnyj stan avtotransportnykh zasobiv [The influence of operating conditions and the maintenance and repair system on the technical condition of motor vehicles]. *Visnyk Natsional'noho transportnoho universytetu – Bulletin of the National Transport University, 1*, 363-372 [in Ukrainian].
3. l'chenko, V.Yu. & Ponomarenko, N.O. (2014). Doslidzhennia prystosovanosti konstruktsii avtomobilia do operatsij tekhnichnoho obsluhovuvannya [Study of the adaptability of the car design to maintenance operations]. *Visnyk Kharkivs'koho natsional'noho tekhnichnoho universytetu sil'skoho hospodarstva imeni Petra Vasylenka – Bulletin of the Petro Vasylenko Kharkiv National Technical University of Agriculture, 148*, 335-341 [in Ukrainian].
4. Hryn'kiv, A.V. & Aulin, V.V. (2022). Elementno-modul'na systema tekhnichnoho obsluhovuvannya i remontu mobil'noi sil'skohospodars'koi tekhniky [Elemental and modular system of maintenance and repair of mobile agricultural machinery]. Processes, machines and equipment of agro-industrial production: problems of theory and practice: *Mizhnarodna naukovo-praktychna konferentsiia (29-30 veresnia 2022) - International scientific and practical conference (pp.103-104)* [in Ukrainian].
5. Aulin, V.V., Hryn'kiv, A.V., Lysenko, S.V., Livits'kyj, O.M. et al. (2020). Pryntsypy pobudovy ta funktsionuvannya kiberfizychnoi systemy tekhnichnoho servisu avtotransportnoi ta mobil'noi sil'skohospodars'koi tekhniky [Principles of construction and functioning of the cyber-physical system of technical service of motor vehicles and mobile agricultural machinery]. *Tekhnichnyj servis ahropromyslovoho, lisovoho ta transportnoho kompleksiv – Technical service of agriculture, forestry and transport systems, 22*, 162-174 [in Ukrainian].
6. Ivanushko, O. (2019). Optimization of the frequency of vehicle maintenance to prevent the majority of technical failures. *Systemy i srodki transportu samohodnogo. Seria: Transport, No.18*, P. 23-31 [in English].
7. Sakhno, V.P. & Ivanushko, O.M. (2019). Korektuvannya periodychnosti tekhnichnoho obsluhovuvannya avtotransportnykh zasobiv z metoiu poperedzhennia bil'shosti vidmov [Adjusting the periodicity of maintenance of motor vehicles in order to prevent the majority of failures]. *Visnyk Natsional'noho transportnoho universytetu – Bulletin of the National Transport University, 1*, 167-177 [in Ukrainian].
8. Fornal'chuk, Ye.Yu., Oliskevych, M.S., Mastykash, O.L. & Pel'o R.A. (2004). *Tekhnichna eksploataciia ta nadijnist' avtomobiliv [Technical operation and reliability of cars]*. L'viv «Afisha» [in Ukrainian].
9. Aulin, V.V., Lysenko, S.V., Holub, D.V., Hryn'kiv, A.V. & Martynenko O.D. (2015). Teoretyko-fizychnyj pidkhid do diahnostychnoi informatsii pro tekhnichnyj stan ahrehativ mobil'noi sil'skohospodars'koi tekhniky [A theoretical-physical approach to diagnostic information about the technical condition of mobile agricultural machinery units]. *Visnyk Kharkivs'koho natsional'noho tekhnichnoho universytetu sil'skoho hospodarstva imeni Petra Vasylenka - Bulletin of the Petro Vasylenko Kharkiv National Technical University of Agriculture, 158*, 252-262 [in Ukrainian].
10. Kukurudziak, Yu.Yu. (2012). Analiz metodiv i system otrymanna informatsii pro tekhnichnyj stan avtomobilia [Analysis of methods and systems for obtaining information about the technical condition of a car]. *Zbirnyk naukovykh prats' Vinnyts'koho natsional'noho ahrarynoho universytetu. Serii : Tekhnichni nauky - Collection of scientific works of the Vinnytsia National Agrarian University. Series: Technical sciences, 10(2)*, 106-109 [in Ukrainian].
11. Sakhno, V.P. & Ivanushko, O.M. (2018). Ekspertnyj analiz prychny zminy tekhnichnoho stanu avtotransportnykh zasobiv [Expert analysis of the reasons for changes in the technical condition of motor vehicles]. *Visnyk Natsional'noho transportnoho universytetu. Serii «Tekhnichni nauky». Naukovo-tekhnichni zbirnyk – Bulletin of the National Transport University. Series "Technical Sciences". Scientific and technical collection, 1(40)*, 274-284 [in Ukrainian].
12. Hacker, L. (2001). Limitations of the Exponential Distribution for Reliability Analysis. *Reliability Edge, 3*, 1-3 [in English].
13. Fornal'chuk, Ye.Iu. & Budianu, R.H. (2009). Obgruntuvannya pochatkovykh parametriv do imitatsijnoho modeliuvannya systemy tekhnichnoho obsluhovuvannya i remontu vijs'kovo avtomobil'noi tekhniky [Justification of the initial parameters for simulation modeling of the system of maintenance and repair of military automobile equipment]. *Zbirnyk naukovykh prats' Kharkivs'koho universytetu Povitrianykh syl - Collection of scientific works of Kharkiv Air Force University, 2*, 118-122 [in Ukrainian].
14. Bilichenko, V.V. & Kruk, V.P. (2012). Teoretychni osnovy optymizatsii struktury vyrobnychoi bazy ATP po tekhniko-ekonomichnym kryteriiam [Theoretical bases of optimizing the structure of the ATP production base according to technical and economic criteria]. *Naukovi notatky – Scientific notes, 37*, 23-26 [in Ukrainian].
15. Sakhno, V.P., Sakno, O.P. & Lysyj, O.V. (2015). Analiz umov zabezpechennia pratsezdatsnosti avtotransportnykh zasobiv na osnovi udoskonalennia systemy tekhnichnoho obsluhovuvannya [Analysis of the conditions for ensuring the operability of motor vehicles based on the improvement of the maintenance system]. *Visnyk Kharkivs'koho natsional'noho tekhnichnoho universytetu sil'skoho*

- hospodarstva imeni Petra Vasylenka – Bulletin of the Petro Vasylenko Kharkiv National Technical University of Agriculture*, 158, 144-149 [in Ukrainian].
16. Sakhno, V.P., Sakno, O.P. & Lysyj, O.V. (2015). Do modeliuвання systemy tekhnichnoho obsluhovuvannya i remontu avtopoizdiv [To the modeling of the system of technical maintenance and repair of road trains]. *Molodyj vchenyj – A young scientist*, 5(1), 54-57 [in Ukrainian].
 17. Zuiiev, O.O. (2013). Sproschena metoda lohiko-imitatsijnoho modeliuвання operatsij tekhnichnoho obsluhovuvannya mobil'noi tekhniki [A simplified method of logic-simulation modeling of maintenance operations of mobile equipment]. *Pratsi Tavrijs'koho derzhavnogo ahrotekhnolohichnoho universytetu – Proceedings of the Tavri State Agro-Technological University*, 13, 6, 158-165 [in Ukrainian].
 18. Pavlenko, V.M., Kuzhel', V.P., Kalashnikov, Ye.V. & Komar, D.P. (2019). Modeliuвання ontolohij dlia orhanizatsii tekhnichnoho obsluhovuvannya avtomobiliv [Modeling of ontologies for the organization of car maintenance]. *Visnyk mashynobuduvannya ta transportu – Herald of mechanical engineering and transport*, 1, 89-97 [in Ukrainian].
 19. Bilichenko, V.V. & Romaniuk, S.O. (2013). Systemna model' proektnoho upravlinnia stratehiamy rozvytku orhanizatsij avtomobil'noho transportu za etapamy ikh zhyttievoho tsykladu [System model of project management of development strategies of road transport organizations by stages of their life cycle]. *Visnyk Vinnyts'koho politekhnichnoho instytutu – Bulletin of the Vinnytsia Polytechnic Institute*, 6, 102-107 [in Ukrainian].
 20. Bilichenko, V.V., Tsybal, S.V., Kreschenets'kyj, V.L. & Mal'chenko, V.Iu. (2018). Vdoskonalennia metodyky formuvannya potuzhnosti zony potochnoho remontu avtomobiliv [Improvement of the method of forming the capacity of the current car repair zone]. *Naukovi notatky – Scientific notes*, 62, 44-47 [in Ukrainian].
 21. Odokiienko, S.M., Tarandushka, L.A. & Tarandushka, I.P. (2016). Rozrobka systemy parametriv dlia otsinky iakosti protsesiv tekhnichnoho obsluhovuvannya i remontu avtomobiliv [Development of a system of parameters for evaluating the quality of car maintenance and repair processes]. *Tekhnolohycheskyj audyt y rezervy proyzvodstva – Technological audit and production reserves*, 3/2(29), 52-56 [in Ukrainian].
 22. Reliability-Centered Maintenance (RCM) for Command, Control, Communications, Computer, Intelligence, Surveillance, and Reconnaissance (C4ISR) Facilities. Technical Manual 5-698-2. – Washington, DC: Headquarters Department of the Army, 2006, 96 [in English].
 23. Key outcomes from Life Cycle Assessment of vehicles, a state of the art literature review Maarten Messagie, Cathy Macharis, Joeri. VanMierlo. Barcelona, Spain, November 17-20, 2013 [in English].
 24. Systema kontroliu iakosti remontu Bosch QualityScan: harantiia iakosti remontu dyzel'nykh komponentiv v avtoryzovanykh majsterniakh Bosh Dyzel' Tsentri i Bosh Dyzel' Servisu [Bosch QualityScan repair quality control system: guarantee of the quality of repair of diesel components in authorized Bosch Diesel Center and Bosch Diesel Service workshops]. Retrieved from URL: <https://autodiesel.com.ua/news/sistema-kontrolyu-yakosti-remontu-bosch-qualityscan-garantiya-yakosti-remontu-dizelnih-komponentiv-v-avtorizovanih-majsternyah-bosh-dizel-tsentri-i-bosh-dizel-servis/> [in Ukrainian].
 25. Rudnytskyi, V., & Hadi, A. (2021). Methodological tools for the implementation of information technology for expert assessment of the quality of heavy automobile equipment in the process of its exploitation. *Innovative technologies and scientific solutions for industries*, No. 3(17), P. 69–77 [in English].
 26. Aulin, V.V., Lysenko, S.V., Mel'nychuk, S.V. & Soroka, B.A. (2023). Informatsijne zabezpechennia systemy tekhnichnoho servisu avtomobiliv v ahropromyslovomu vyrobnytstvi [Information provision of the system of technical service of cars in agro-industrial production]. *Modern technologies and prospects for the development of road transport: XVI Mizhnarodna naukovo-praktychna konferentsiia (23-25 zhovtnia 2023 roku) – XVI International Scientific and Practical Conference* (pp. 45-48). Vinnytsia: VNTU [in Ukrainian].
 27. Fornal'chuk, Ye.Iu. & Kochmar, R.Ia. (2017). *Osnovy tekhnichnoho servisu transportnykh zasobiv [Basics of vehicle technical service]*. L'viv: «L'vivs'ka politekhnika» [in Ukrainian].
 28. Khavruk, V.O. & Parkhomenko, O.O. (2021). Metodyka rozrakhunku efektyvnosti ekspluatatsii vantazhnykh avtomobiliv [Methodology for calculating the efficiency of truck operation]. *Suchasni tekhnolohii v mashynobuduvanni ta transporti – Modern technologies in mechanical engineering and transport*, 2(17), 163-172 [in Ukrainian].
 29. Ivashchenko, O.V. (2012). Pokaznyky tekhniko-ekonomichnoi efektyvnosti mashyn [Indicators of technical and economic efficiency of machines]. *Visnyk ZhDTU. Serii: Ekonomichni nauky – Bulletin of ZHTU. Series: Economic Sciences*, 3(61), 235-237 [in Ukrainian].
 30. Pavlenko, V.M. & Kuzhel', V.P. Vyznachennia mozhlyvosti vykorystannia mul'tyahentnoho pidkholu

- pry vykonanni tekhnichnoho obsluhovuvannya i remontu avtomobilia [Determination of the possibility of using a multi-agent approach when performing maintenance and repair of a car]. *Visnyk mashynobuduvannya ta transportu – Herald of mechanical engineering and transport, 1*, 72-80 [in Ukrainian].
31. Sakno, O.P., Kolesnikova, T.M. & Ollo, V.P. (2019). Modeliuvannya pryjniattia rishen' v systemi tekhnichnoho obsluhovuvannya avtomobiliv na osnovi matematychnykh metodiv teorii nechitkykh mnozhyn [Modeling decision-making in the car maintenance system based on mathematical methods of fuzzy set theory]. *Visnyk Prydniprov's'koi derzhavnoi akademii budivnytstva ta arkhitektury – Bulletin of the Dnipro State Academy of Construction and Architecture, 6*, 70-76 [in Ukrainian].

Viktor Aulin, Prof., Dr. tech. sci.

Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, Ukraine

Oleg Liashuk, Prof., Dr. tech. sci.

Ivan Pulyuy Ternopil National Technical University, Ternopil, Ukraine

Andrey Hrinkiv, Senior Researcher, PhD tech. sci., **Serhii Lysenko**, Assoc. Prof., PhD tech. sci.

Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, Ukraine

Dmytro Mironov, Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Liubomyr Slobodian**, Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Roman Rohatynskyi**, Prof., Dr. tech. sci.

Ivan Pulyuy Ternopil National Technical University, Ternopil, Ukraine

The optimal complex of maintenance and repair operations to increase the reliability of nodes, systems and aggregates of mobile machines

The work examines the improvement of the forms and methods of organizing maintenance and repair systems of mobile machines in order to increase their reliability by optimizing diagnostic operations and monitoring the technical condition of their units, systems and units.

The proposed centralized system of maintenance and repair of machines includes the principles of production and is characterized by the wide use of technological complexes of operations of the system of maintenance and repair of nodes, systems, aggregates and mobile machines as a whole.

A comparison was made of the methodology for implementing the proposed maintenance and repair system and the world-famous RCM (Reliability-centered Maintenance) methodology, focused on a certain level of reliability.

Schematics of the technological process of implementing a complex of maintenance and repair operations based on one-stage and multi-stage control of the technical condition of nodes, systems, aggregates and the mobile machine as a whole are presented.

A decision-making algorithm has been developed for the processes of a complex of maintenance and repair operations. Clarified technological and information support of complexes of maintenance and repair operations of nodes, systems, units of mobile machines.

The role of the operator-diagnostic in relation to the probability of receiving errors of the 1st and 2nd type of defects of parts, as well as the use of computerized workplaces, is revealed. It is shown how these factors affect the level of reliability of nodes, systems, aggregates and mobile machines as a whole.

It was determined that in order to reduce the influence of the human factor on the results of the diagnosis of the presence or absence of defects and the distribution of nodes, systems, aggregates according to the technological routes of optimal complexes of maintenance and repair operations, consideration of the repair and maintenance system as an artificial cognitive system can help.

reliability, mobile machine, detail, optimization, operation, maintenance and repair, diagnostics, computerized workplace

Одержано (Received) 07.11.2023

Прорецензовано (Reviewed) 16.12.2023

Прийнято до друку (Approved) 27.12.2023