

О. В. СТЕПАНОВ

доктор технічних наук, професор,
професор кафедри тракторів і автомобілів
Національний університет біоресурсів і природокористування України
ORCID: 0000-0003-4954-2532

І. Ю. КОБЗАР

асистент кафедри машинобудування
Одеська державна академія будівництва та архітектури
ORCID: 0009-0004-1778-9463

ФОРМАЛІЗАЦІЯ ПРОЦЕСІВ ТЕХНІЧНОЇ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ВАНТАЖНОГО АВТОТРАНСПОРТУ

Експлуатацію вантажного автотранспорту в цілому можна прийняти як комплексну систему інженерно-технічних та організаційних заходів та розглядати у двох взаємозалежних напрямках. По-перше, забезпечення працездатного стану вантажного автотранспорту (технічна експлуатація). По-друге, ефективне використання вантажного автотранспорту, що знаходяться в працездатному стані (виробнича експлуатація). При цьому під працездатністю розуміється властивість вантажного автотранспорту, при якій значення всіх параметрів, що характеризують його здатність виконувати задані функції, відповідають вимогам нормативно-технічної та конструкторської документації. Зокрема, технічна експлуатація припускає використання вантажного автотранспорту за його призначенням. Метою дослідження є розгляд формалізації процесів технічної експлуатації вантажного автотранспорту. З'ясовано, що експлуатаційні фактори знижують працездатність вантажного автотранспорту і тим самим впливають на зміну показників надійності. Унаслідок цього спостерігається зниження продуктивності та потужності вантажного автотранспорту, зменшення ймовірності його безвідмовної роботи й безпеки. Тобто технічний стан і вихідні характеристики вантажного автотранспорту залежать від ступеня негативного впливу на кожну з цих систем експлуатаційних факторів. Доведено, що вантажний автотранспорт являє собою складну технічну систему, яка складається з ряду функціонально об'єднаних систем. Для забезпечення надійності вантажного автотранспорту протягом установленого заводом-виробником ресурсу при технічному обслуговуванні особливу увагу пропонується приділяти паралельно-допоміжним системам. При цьому до періодичності обслуговування паралельно-допоміжних систем необхідно додати періодичність обслуговування послідовно-допоміжних систем. Відповідно, надійність та довговічність складної технічної системи буде визначатися якістю функціонування.

Ключові слова: вантажний автотранспорт, технічна експлуатація, працездатний стан, експлуатаційні фактори, технічна система.

O. V. STEPANOV

Doctor of Technical Sciences, Professor,
Professor at the Department of Tractors and Cars
National University of Bioresources and Environmental Management
of Ukraine
ORCID: 0000-0003-4954-2532

I. YU. KOBZAR

Assistant at the Mechanical Engineering
Odesa State Academy of Civil Engineering and Architecture
ORCID: 0009-0004-1778-9463

FORMALIZATION OF THE PROCESSES OF TECHNICAL OPERATION OF FREIGHT VEHICLES

The operation of freight vehicles can be generally accepted as a comprehensive system of engineering, technical and organizational measures and can be considered in two interdependent areas. Firstly, ensuring the serviceable condition of freight vehicles (technical operation). Secondly, the efficient use of freight vehicles that are in good working order (production operation). In this case, operability means the property of freight vehicles in which the values of all parameters characterizing its ability to perform the specified functions meet the requirements of regulatory, technical and design documentation. In particular, technical operation involves the use of freight vehicles for their intended purpose. The aim of the study is to consider the formalization of the processes of technical operation of freight vehicles. It has been found that operational factors reduce the efficiency of freight vehicles and thereby affect changes

in reliability indicators. As a result, there is a decrease in the productivity and capacity of freight transport, a decrease in the probability of its trouble-free operation and safety. That is, the technical condition and performance characteristics of freight vehicles depend on the degree of negative impact of operational factors on each of these systems. It is proved that freight vehicles are a complex technical system consisting of a number of functionally integrated systems. In order to ensure the reliability of freight vehicles during the service life established by the manufacturer, it is proposed to pay special attention to parallel and auxiliary systems during maintenance. At the same time, the frequency of maintenance of parallel-auxiliary systems should be added to the frequency of maintenance of series-auxiliary systems. Accordingly, the reliability and durability of a complex technical system will be determined by the quality of its operation.

Key words: freight vehicles, technical operation, serviceable condition, operational factors, technical system.

Постановка проблеми

Експлуатацію вантажного автотранспорту (надалі – автотранспорт) можна розглядати як комплексну систему, що включає інженерно-технічні та організаційні заходи. Її можна поділити на два взаємопов'язані напрямки. Перший – це забезпечення працездатного стану автотранспорту, тобто його використання за призначенням (технічна експлуатація). Другий – це ефективне використання транспорту, що перебуває в працездатному стані (виробнича експлуатація) [7].

Основною метою цих напрямків є досягнення максимальної ефективності використання автотранспорту, забезпечення високої продуктивності та безпеки. Важливим аспектом є також мінімізація часу простоїв під час технічного обслуговування і ремонту.

Окрім цього, необхідно зберігати робочі властивості автотранспорту, щоб усі параметри, що характеризують його здатність виконувати заплановані функції, відповідали вимогам нормативно-технічної та конструкторської документації. Це дозволяє не лише продовжити термін експлуатації автотранспорту, але й знизити витрати на його обслуговування та ремонти, що є важливим фактором для зниження загальних витрат на підприємствах, які використовують вантажні автомобілі. Таким чином, основою для досягнення високої ефективності та економічності використання автотранспорту є системний підхід до організації та управління процесами технічної експлуатації.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Основним принципам працездатності транспортних засобів присвячені різнопланові роботи В. Я. Аніловича, А. В. Бажинова, Н. Я. Говорушенка, А. С. Грінченка, І. Є. Дюміна, М. А. Єлизаветина, А. І. Ісаєва, О. П. Кравченка, І. В. Крагельського, Є. С. Кузнецова, Р. В. Кугеля, В. Г., А. Т. Лебедєва, А. А. Мельниченка, Л. В. Назарова, М. А. Подригадо, А. С. Полянського, О. В. Петрова, А. І. Петренка, В. Н. Ткачова, М. С. Шевченка й ін. Науковцями доведено, що основою стратегії технічної експлуатації є вибір оптимальних режимів роботи, термінів і обсягів технічних впливів, зважаючи на реальний технічний стан автотранспорту. Зокрема, було розглянуто стратегію технічного обслуговування і ремонту (ТОР) автотранспорту, яка включає три види робіт: обов'язкові, контрольно-діагностичні та усунення виявлених несправностей [2, 6–8]. Зазначено, що з удосконаленням методів і засобів технічної діагностики обсяг обов'язкових робіт можна зменшувати. У цій системі обов'язкові роботи та діагностика плануються, а усунення поступових відмов носить попереджувальний характер.

Дослідженнями доведено, що для забезпечення нормального зношування деталей автотранспорту необхідно регулярно та вчасно замінювати мастильні матеріали в його вузлах і агрегатах [8]. При цьому періодичність заміни мастила для різних вузлів та агрегатів може бути різною, оскільки це залежить від їх конструктивних особливостей, навантажень, тривалості і частоти впливу, температурних умов роботи та інших чинників. Тому деякі вузли потребують частішої заміни мастильного матеріалу, а інші – рідше. Визначити оптимальний інтервал заміни мастила можна за допомогою математичного або імітаційного моделювання, а також через експериментальні дослідження. Зокрема, експериментальний метод дозволяє виявити моменти, коли мастильний матеріал втрачає свої фізико-хімічні властивості.

Роботи, що входять до складу контрольно-виконавчої системи ТОР, поділяються на дві частини: контрольно-діагностичну та виконавчу. Контрольно-діагностична частина виконується регулярно перед кожним типом ТОР згідно з періодичністю, визначеною заводськими нормативами [1, 3–5]. Виконавча частина робіт здійснюється за необхідності. В залежності від умов експлуатації транспорту, деякі профілактичні заходи можуть бути виключені зі стандартного списку та проводитись за потребою. Для цього на автопідприємствах слід впроваджувати лінії інструментального технічного контролю та інтегрувати в конструкції транспортних засобів засоби технічного діагностування [4].

Формулювання мети дослідження

Розглянути формалізацію процесів технічної експлуатації вантажного автотранспорту.

Викладення основного матеріалу дослідження

Відомо, що на автотранспорт та його вузли впливають різні зовнішні фактори експлуатації, такі як умови навколишнього середовища, характер навантаження, кваліфікація водія тощо. Ці фактори спричиняють внутрішні процеси, такі як зношування, деформація, старіння та втома, що веде до поступових змін фізико-механічних властивостей матеріалів деталей і вузлів автотранспорту, зокрема до зниження міцності, твердості та зносостійкості [10].

Експлуатаційні фактори знижують ефективність автотранспорту, що впливає на зміну його показників надійності. Це призводить до зниження продуктивності та потужності, зменшення ймовірності безвідмовної роботи та

безпеки транспорту. Також збільшуються витрати на ТОР, а також на зниження коефіцієнтів технічного використання й готовності.

Зовнішні експлуатаційні фактори негативно впливають на автотранспорт, викликаючи відмови та несправності, що призводить до зниження безпеки. Зміна технічного стану автотранспорту і його працездатності, в основному, залежить від швидкості зношування деталей у вузлах тертя. Тому для управління зміною технічного стану необхідно підтримувати оптимальну середню швидкість зношування з'єднаних деталей.

Для підтримки технічного стану автотранспорту необхідно здійснювати контрольні-діагностичні, регулювальні та кріпильні роботи, періодичність яких може варіюватися. Це зумовлює потребу в формуванні комплексів робіт в залежності від їх впливу на вузли, агрегати та системи транспорту, зокрема ТОР [9, 11].

Для формування комплексів робіт із ТОР пропонується розглядати автотранспорт як систему, що складається з кількох підсистем, кожна з яких має своє функціональне призначення. Вплив кожної з цих підсистем на загальну надійність автотранспорту варіюється [9]. Деякі агрегати, вузли та складальні одиниці, відмови яких виникають через досягнення граничного стану та в кінцевому підсумку призводять до відмови автотранспорту, можна віднести до основних систем, а їх відмови – до *відмов основних систем*.

Агрегати, вузли та складальні одиниці, відмови яких спричиняють зупинки в роботі автотранспорту та знижують ймовірність безвідмовної роботи й коефіцієнт готовності, можна віднести до категорії *послідовно-допоміжних систем*. Відмови цих систем не впливають на середній ресурс автотранспорту. До цієї категорії відносяться всі відмови, крім тих, що виникають через досягнення граничного стану основних систем. Наприклад, порушення регулювальних параметрів або пошкодження сальників тощо.

Допоміжні системи, відмови яких або порушення їх нормальної роботи призводять до прискореного зношування елементів основних систем, належать до *паралельно-допоміжних систем*. Відмови таких систем знижують середні ресурси основних систем і загальний ресурс автотранспорту. Прикладом є зниження фізико-хімічних властивостей мастила або нарощування абразивних частинок у мастильному матеріалі [2].

Таким чином, автотранспорт можна розглядати як складну технічну систему, що складається з кількох функціонально пов'язаних підсистем. Надійність і довговічність цієї системи визначаються ефективністю роботи її основних (S_o), послідовно-допоміжних (S_e) і паралельно-допоміжних (S_n) систем. При цьому кожна з цих систем складається з певних структурних вузлів, таких як S_1 і S_2 .

Технічний стан та характеристики автотранспорту залежать від того, як експлуатаційні фактори впливають на кожну з цих систем під час її використання за призначенням [6, 11]. Цей процес можна формалізувати через відповідну схему (рис. 1).

Для протидії негативному впливу експлуатаційних факторів необхідно впровадити відновлювальні технічні заходи, передбачені системою ТОР. Організація цих заходів ґрунтується на результатах контролю технічного стану автотранспорту за допомогою методів та засобів технічного діагностування.

Варто зауважити, що ймовірність відмови допоміжних систем протягом міжобслуговувального пробігу є дуже низькою. Тому їх відновлення на цей період не планується, і вони будуть обслуговуватися лише відповідно до встановленого графіка.

Може виникнути ситуація, коли маємо неодноразові відмови послідовно-допоміжних систем. В такому випадку буде необхідне кількаразове ($n > 1$) відновлення під час роботи між обслуговуваннями.

Паралельно-допоміжні системи взаємодіють із однією або кількома основними системами, або кілька паралельно-допоміжних систем забезпечують нормальну роботу однієї основної. Така функціональна взаємодія дозволяє розглядати паралельно-допоміжні системи як системи, що обслуговуються.

Багаторазове відновлення ефективності роботи цих систем протягом часу експлуатації вузлів автотранспорту та його основних систем здійснюється з певною періодичністю обслуговування, яка значно менша за ресурс автотранспорту ($t_{обсл.} < T_p$). Проте, слід враховувати, що відновлення ефективності роботи паралельних допоміжних систем має обслуговувальний характер як для всього автотранспорту, так і для його основних систем.

Для визначення важливості обслуговування паралельно-допоміжних систем у запропонованій системі ТОР застосовується методика оцінки та підтримки надійності автомобілів, що адаптована до специфічних умов експлуатації (рис. 2).

Для випадків, коли заміна мастильного матеріалу не проводиться взагалі, перетин кривої 1 з лінією Z_n визначає мінімальний ресурс сполучених деталей t_{pmin} , який аналітично може мати наступний вигляд

$$t_{pmin} = \left(\frac{Z_n}{a} \right)^{1/\alpha}, \quad (1)$$

де Z_n – гранично допустиме зношування елемента; a – коефіцієнт, що характеризує швидкість зношування; $1/\alpha$ – показник ступеня, що відображає характер зношування.

Якщо заміну мастильного матеріалу проводити з періодичністю $t_{обсл.i}$ (крива 2), то зміна зношування ΔZ_i , визначається зі співвідношення

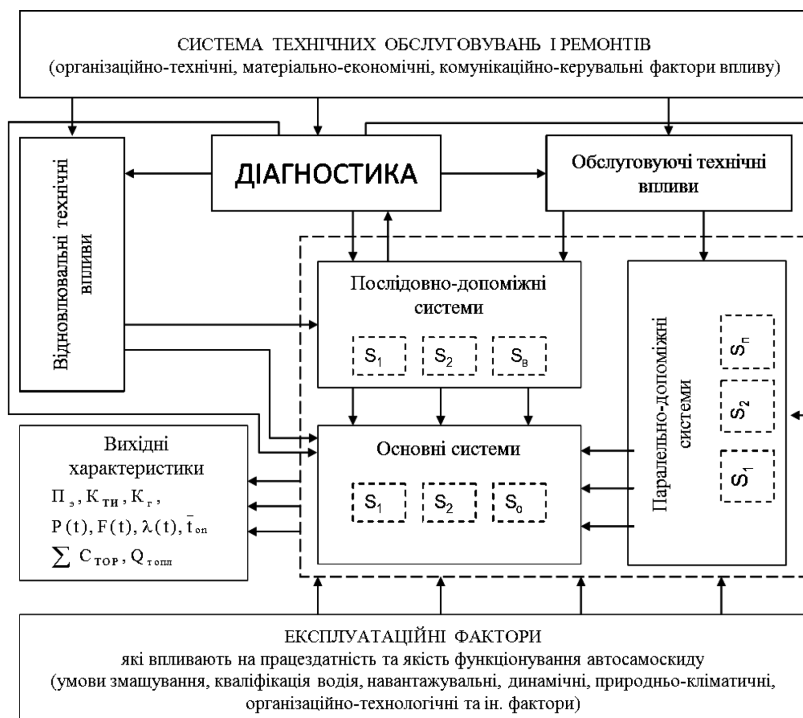


Рис. 1. Формалізована схема впливу різних факторів на технічний стан та вихідні характеристики автотранспорту [5]

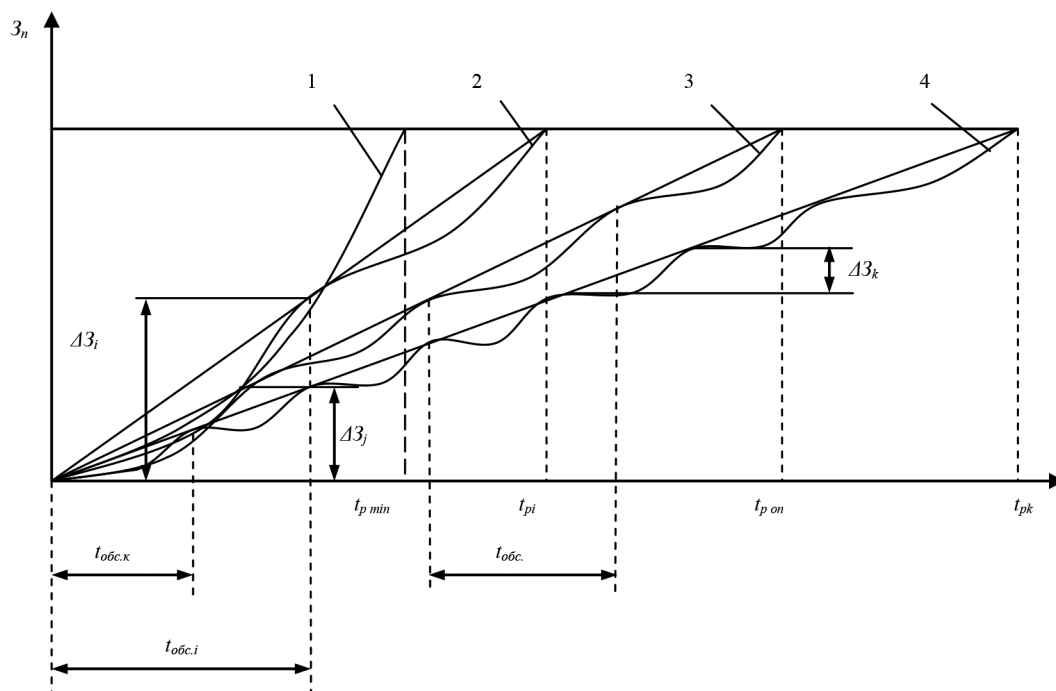


Рис. 2. Забезпечення ресурсів деталей і сполучень проведенням технічних обслуговувань паралельно-допоміжних систем у системі ТОР

$$\Delta 3_i = a \cdot t_{\text{обс.і}}^n \quad (2)$$

При цьому буде зберігатися велика швидкість зношування, що підтверджується великим приростом зношування $\Delta 3$, а ресурс змащуваних деталей буде обмежений ресурсом t_{pi} , який більше $t_{p \min}$. Дана стратегія призводить до того, що витрати на заміну мастильного матеріалу будуть мінімальними, а витрати на ремонт збільшаться.

Отже, для збільшення ресурсу та забезпечення працездатності автотранспорту необхідно збільшити число обслуговувань паралельно-допоміжних систем, а значить, зменшити величину періодичності заміни мастильного

матеріалу $t_{обс.}$. Однак, при досить малій величині періодичності обслуговування $t_{обск}$ мастильний матеріал не буде виробляти свій ресурс, при цьому будуть мати місце зайві витрати на обслуговування. Своєю чергою, ця стратегія (крива 4) характеризується малою швидкістю зношування сполучених деталей, меншими витратами на ремонт і підвищеним ресурсом t_{pk} .

У запропонованій системі ТОР можна обрати будь-яку з розглянутих стратегій обслуговування залежно від фінансового становища та особливостей експлуатації автотранспорту. Найбільш оптимальною є стратегія, за якої періодичність обслуговування відповідає встановленому заводом-виробником ресурсу для з'єднань або деталей.

Графічний приклад такої стратегії можна представити кривою 3. У цій стратегії періодичність заміни мастильного матеріалу $t_{обс.оп}$ є оптимальною, тобто при цій періодичності витрати на проведення обслуговувань мінімальні при встановленому ресурсі.

Напрацювання $t_{пон}$ є ресурсом елемента при технічному обслуговуванні з періодичністю $t_{обс.оп}$. Кількість обслуговувань можна визначити діленням граничного зношування Z_n на величину зношування ΔZ_i .

$$t_{pi} = \frac{Z_n}{\Delta Z_i} \cdot t_{обс.и}, \quad (3)$$

або з використанням співвідношення (3)

$$t_p = \frac{Z_n}{a \cdot t_{обс.и}^n} \cdot t_i = \frac{Z_n}{a \cdot t_{обс.и}^{n-1}}. \quad (4)$$

Технічне обслуговування основних систем автотранспорту зводиться до проведення діагностики, на основі якої можуть бути призначені відповідні відновлювальні заходи [9]. Такий підхід також може бути застосований до деяких послідовно-допоміжних систем. Відмова цих систем зазвичай носить випадковий характер. Для оцінки значущості обслуговування основних і послідовно-допоміжних систем пропонується використовувати показник надійності – інтенсивність відмов. Залежність зміни цієї інтенсивності від напрацювання показано на рис. 3.

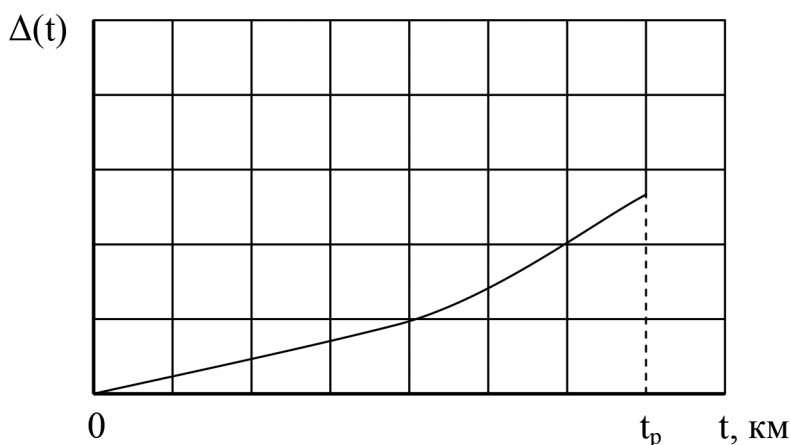


Рис. 3. Залежність зміни інтенсивності відмов послідовно-допоміжних і основних систем залежно від напрацювання

Очевидно, що інтенсивність відмов збільшується в міру збільшення напрацювання автосамоскида й аналітично може мати наступний вигляд

$$\lambda(t_i) = \frac{f(t_i)}{P(t_i)}, \quad (5)$$

де $f(t_i)$ – щільність ймовірностей; $P(t_i)$ – ймовірність безвідмовної роботи.

При цьому збільшуються витрати часу на усунення відмов, що призводить до зниження коефіцієнта технічного використання та коефіцієнта готовності, що, в свою чергу, зменшує рівень працездатності автотранспорту. Однак ці відмови не знижують ресурс окремих вузлів, агрегатів і автотранспорту в цілому, тому вони не впливають на зміну показників надійності.

Висновки

Визначення періодичності обслуговування деяких послідовно-допоміжних систем у порівнянні з паралельно-допоміжними системами є складним завданням. Неможливо передбачити, діагностувати або виявити заздалегідь такі відмови, як розрегулювання механізмів або появу протікань у системах автотранспорту. Ці відмови мають випадковий характер і щоразу вимагають зупинки транспортного засобу для усунення несправностей, тобто проведення позапланового ТОР.

У відміну від послідовно-допоміжних, відмови паралельно-допоміжних систем знижують показники надійності та довговічності. Для забезпечення надійної роботи автотранспорту протягом встановленого виробником ресурсу необхідно приділяти особливу увагу паралельно-допоміжним системам під час технічного обслуговування. Крім того, до періодичності обслуговування паралельно-допоміжних систем слід додавати бортове функціональне діагностування основних систем і обслуговування послідовно-допоміжних систем.

Запропоновані технологічні заходи допомагають зменшити швидкість зношування з'єднаних деталей автотранспорту та збільшити ресурс основних систем. Окрім того, ці заходи сприяють відновленню регульованих параметрів послідовно-допоміжних систем, що значно підвищує безпеку транспорту і відкриває можливості для подальших досліджень.

Список використаної літератури

1. ДСТУ 3650-97. Технічне обслуговування і ремонт автомобілів. Держстандарт України. Київ.
2. Мельниченко А. А. Технічне діагностування транспортних засобів: новітні методи і практичні аспекти. *Технічна механіка*, 2019. С. 92–101.
3. Про затвердження технологічних вимог до засобів перевірки технічного стану, обслуговування і ремонту колісного транспортного засобу. Наказ Міністерства Інфраструктури України від 15.02.2012. № 106.
4. Порядок проведення технічного огляду, випробування та експертного обстеження (технічного діагностування) машин, механізмів, устаткування підвищеної небезпеки. Постанова Кабінету Міністрів України від 26 травня 2004 р. № 687 (редакція від 01.05.2022).
5. Про затвердження Порядку проведення технічного діагностування. Постанова Кабінету Міністрів України № 1078 від 11.11.2016.
6. Петренко А. І. Методи функціональної діагностики автотранспортних засобів. *Автомобільний транспорт*, 2020, № 3, С. 45–56.
7. Петров, О. В. Автотранспортні підприємства: Організація та управління технічним обслуговуванням. Київ : НТУ, 2011. 228 с.
8. Подригало М. А. Забезпечення надійності автотракторної техніки адаптивними методами технічного обслуговування та ремонту. *Автомобільний транспорт*. Зб. наук. тр. Вип. 4. Х. : ХДАДТУ, 2000. С. 49–51.
9. Степанов О. В., Волобуєва Т. В. Адаптивна система технічного обслуговування автотранспорту. *Автомобільний транспорт та інфраструктура*. Матеріали VII Міжнародної науково-практичної конференції 18–20 квітня 2024 року. Національний університет біоресурсів і природокористування України. Київ. 2024. С. 129–132.
10. Степанов О. В. Чинники, що впливають на надійність вантажного автомобіля під час роботи на породних відвалах. *Автомобільний транспорт*. Випуск 36. № 13, 2003. С. 140–142.
11. Шевченко, М. С. Проблеми та перспективи розвитку систем технічного обслуговування транспортних засобів. К. : Техніка, 2010. 420 с.

References

1. DSTU 3650-97. Maintenance and repair of vehicles. State standard of Ukraine. Kyiv.
2. Melnichenko A. A. (2019). Technical diagnostics of vehicles: the latest methods and practical aspects. *Technical mechanics*. P. 92–101.
3. On approval of technological requirements for means of checking the technical condition, maintenance and repair of a wheeled vehicle. Order of the Ministry of Infrastructure of Ukraine of February 15, 2012. No. 106.
4. The Procedure for Technical Inspection, Testing and Expert Examination (Technical Diagnostics) of High Risk Machines, Mechanisms and Equipment. Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine of May 26, 2004, No. 687 (as amended on May 01, 2022).
5. On Approval of the Procedure for Technical Diagnostics. Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine No. 1078 of November 11, 2016.
6. Petrenko A. I. (2020). Methods of functional diagnostics of vehicles. *Automobile transport*. No. 3, P. 45–56.
7. Petrov O. V. (2011). Motor transport enterprises: Organization and management of maintenance. Kyiv : NTU. P. 228.
8. Podryhalo M. A. (2000). Ensuring the reliability of automotive and tractor equipment by adaptive methods of maintenance and repair. *Automobile transport*. Collection of scientific papers. Issue 4. Kh. : KhDADTU. P. 49–51.
9. Stepanov O. V., Volobueva T. V. (2024). Adaptive system of vehicle maintenance. *Automobile transport and infrastructure*. Proceedings of the VII International Scientific and Practical Conference, April 18–20, 2024. National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine. Kyiv. P. 129–132.
10. Stepanov O. V. (2003). Factors influencing the reliability of a truck during work on waste heaps. *Automobile transport*. Issue 36. No. 13, P. 140–142.
11. Shevchenko, M. S. (2010). Problems and prospects for the development of vehicle maintenance systems. K. : Technics. P. 420.