УДК 656.13
DOI https://doi.org/10.32782/2663-5941/2025.1.1/49

Степанов О.В.
Національний університет біоресурсів і природокористування України

Кувшинов А.О.
Одеська державна академія будівництва та архітектури

АДАПТИВНА СИСТЕМА ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ І РЕМОНТУ ВАНТАЖНОГО АВТОТРАНСПОРТУ

Стаття присвячена розгляду адаптивної системи технічного обслуговування вантажного автотранспорту. З'ясовано, що наявні номінальні значення вихідних параметрів характеризують вантажний автотранспорт у стандартних умовах експлуатації. Але в реальних умовах на характеристики автотранспорту впливає тривалість і умови експлуатації. Ступінь цього впливу залежить від надійності, що відображає зміну в часі вихідних параметрів конструкції автотранспорту. Разом з тим різноманітність експлуатаційних і технологічних умов висуває специфічні вимоги до автотранспорту через їх надійність та корегуванню нормативів технічного обслуговування і ремонту. Тобто своєчасний перехід на прогресивну систему забезпечення працездатного стану автотранспорту в конкретних умовах експлуатації дозволить підвищити рівень його надійності та ефективність використання. У ході дослідження доведено, що при розробці різних методів прогнозування надійності вантажного автотранспорту необхідно проводити технічні впливи, призначати їх обсяг і терміни проведення залежно від фактичного технічного стану автотранспорту з урахуванням умов експлуатації. Встановлено, що своєчасний перехід на прогресивну адаптивну систему забезпечення працездатного стану автотранспорту в конкретних умовах експлуатації дозволить підвищити рівень його надійності та ефективність використання. У запропонованій адаптивній системі технічного обслуговування і ремонту принципи управління технічною експлуатацією автотранспорту відрізняється від чинної системи планово-попереджувальних ремонтів. Зроблено висновок, що завдяки своєчасній технічній діагностиці, високоякісний ремонт на основі оптимальної групової заміни елементів у вузлах забезпечує підтримку основних експлуатаційних параметрів автотранспорту. Тобто конструктивні особливості автотранспорту та технологічні умови їх експлуатації визначають адаптацію і, отже, ефективність роботи автотранспорту в експлуатаційних умовах.

Ключові слова: *вантажний автотранспорт, адаптивна система, технічне обслуговування, умови експлуатації, надійність.*

Постановка проблеми. Нормативна та технічна література вказує на номінальні значення вихідних параметрів, що характеризують вантажний автотранспорт (надалі – автотранспорт) у стандартних умовах експлуатації [1–5]. Але в реальних умовах на характеристики автотранспорту впливає тривалість і умови експлуатації. Ступінь цього впливу залежить від надійності, що відображає зміну в часі вихідних параметрів конструкції автотранспорту [6]. Слід зауважити, що режими технічного обслуговування і ремонту (ТОР) для автотранспорту в системі планово-попереджувальних ремонтів (ППР) не змінювалися протягом багатьох років. Крім того, за останній час були розроблені нові технології ремонту, олії та мастильні матеріали, які значно перевершують старі аналоги за якістю та характеристиками.

Важливо зазначити, що чим вища надійність, тим довше зберігаються початкові параметри на оптимальному рівні, що сприяє кращій адаптації автотранспорту до конкретних умов експлуатації. При цьому застосування сучасних систем підтримки працездатності автотранспорту в умовах експлуатації дозволить підвищити його надійність та ефективність.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питанням основних принципів забезпечення працездатності транспортних засобів та дослідження їх надійності присвячені роботи В. Я. Аніловича, О. В. Бажинова, В. М. Варфоломєєва, Є. С. Венцеля, І. М. Величкина, Є. М. Гецовича, М. Я. Говорущенка, О. С. Гринченка, І. Е. Дюміна, І. В. Крагельського, О. П. Кравченка, Є. С. Кузнецова, Р. В. Кугеля, В. Г. Кухтова, А. Т. Лебедєва, В. М. Міхліна, В. В. Нічке, О. С. Пронікова, Л. В. Погорєлова, М. А. Подригало, О. С. Полянського, А. А. Старосельського, А. М. Туренка, В. Н. Ткачова та багатьох інших авторів. Науковці

зазначають, що різноманіття експлуатаційних і технологічних умов вимагає специфічних вимог до автотранспорту, зокрема щодо його надійності та коригування нормативів ТОР. У цьому контексті система ППР включає широкий спектр заходів для забезпечення надійності автотранспорту. Крім того, встановлено, що технічний стан автотранспорту змінюється в процесі експлуатації і з ростом пробігу поступово погіршується.

Під час дослідження роботи автотранспорту, зокрема технологічних автосамоскидів КрАЗ (надалі – автосамоскиди), на породних відвалах вугільних шахт Донецької області були виявлені недоліки в організації поточного ППР [9]. З'ясувалося, що основними факторами, які знижують надійність автосамоскидів, є знос таких елементів, як з'єднані деталі коробки передач та роздавальної коробки, гумотехнічні вироби, гальмівні накладки, барабани, розтискні кулаки та їх втулки, наконечники кермових тяг, циліндро-поршнева група двигуна, елементи підвіски, балансиру, надрамника тощо (див. рис. 1).

Огляд наукових джерел [6–10] виявив, що при розробці методів прогнозування надійності автотранспорту необхідно впроваджувати адаптивну систему технічного обслуговування, яка визначається на основі фактичного технічного стану транспортного засобу з урахуванням умов його експлуатації.

Постановка завдання. Метою статті є розгляд адаптивної системи технічного обслуговування і ремонту вантажного автотранспорту.

Виклад основного матеріалу. Для автотранспорту загального користування впроваджено систему ППР, яка забезпечує підтримку автотранспорта в технічно справному стані. Ключовим фактором для підвищення ефективності автотранспорту є організовані роботи з ТОР [1–6].

У запропонованій адаптивній системі ТОР принципи управління технічним обслуговуванням автотранспорту (на прикладі роботи автосамоскида) відрізняються від чинної системи ППР. Основні принципи цієї системи включають: забезпечення безперебійної роботи автосамоскида; безпека та економічність експлуатації; максимальне використання технічних можливостей автосамоскида; досягнення заданого рівня надійності; системний підхід до моніторингу технічного стану; оптимізацію матеріальних і трудових витрат; прийняття рішень з урахуванням конкретних умов експлуатації. При цьому одним з найважливіших засобів підвищення ефективності використання автосамоскида є своєчасна технічна діагностика.

Важливим аспектом є високоякісний ремонт, який базується на оптимальній груповій заміні елементів у вузлах, що забезпечують підтримку основних експлуатаційних параметрів автосамоскида. Тобто конструктивні характеристики автосамоскида та умови його експлуатації визначають адаптацію і, відповідно, ефективність його роботи в певних умовах.

Аналіз роботи автосамоскидів на породних відвалах дозволив виявити недоліки в організації чинної системи ППР [9]. З'ясувалося, що недо-

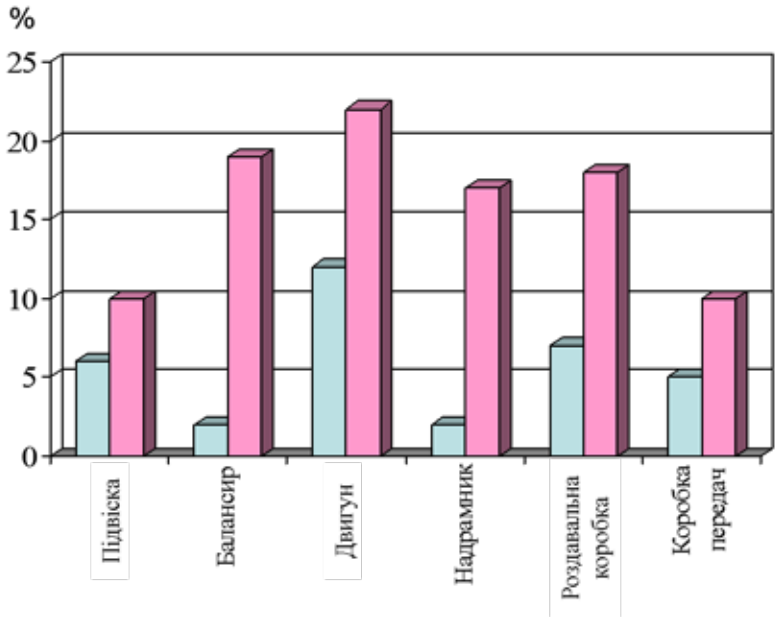

Рис. 1. Систематичні відмови в автосамоскидах при роботі на породних відвалах:
– звичайні умови експлуатації, – робота автосамоскида на породному відвалі

статньо уваги приділяється систематичним перевантаженням вантажних платформ автосамоскидів гірською породою та впливу агресивного середовища (запилення) на породних відвалах, що призводить до частих відмов (рис. 1).

Згідно з Правилами технічної експлуатації технологічного автотранспорту на відкритих роботах та чинними вимогами ТОР [1, 2, 4], вузли й агрегати автосамоскида об'єднані в ремонтні групи, а їх ремонт і обслуговування здійснюються після досягнення певного напрацювання, без врахування умов експлуатації. Це означає, що поточна система ТОР автосамоскидів у гірничодобувній галузі не враховує специфіку експлуатаційних умов, такі як режими навантаження, запиленість, кліматичні фактори та інші умови, що негативно впливає на надійність автосамоскидів.

У зв'язку з цим пропонується адаптована система ТОР, яка включає організаційні та технічні заходи для моніторингу, обслуговування та ремонту автосамоскидів, ґрунтуючись на вивченні зносу деталей, вузлів і агрегатів кожного автосамоскида.

Міжремонтні терміни визначаються через моніторинг початкового технічного стану автосамоскида в конкретних умовах експлуатації.

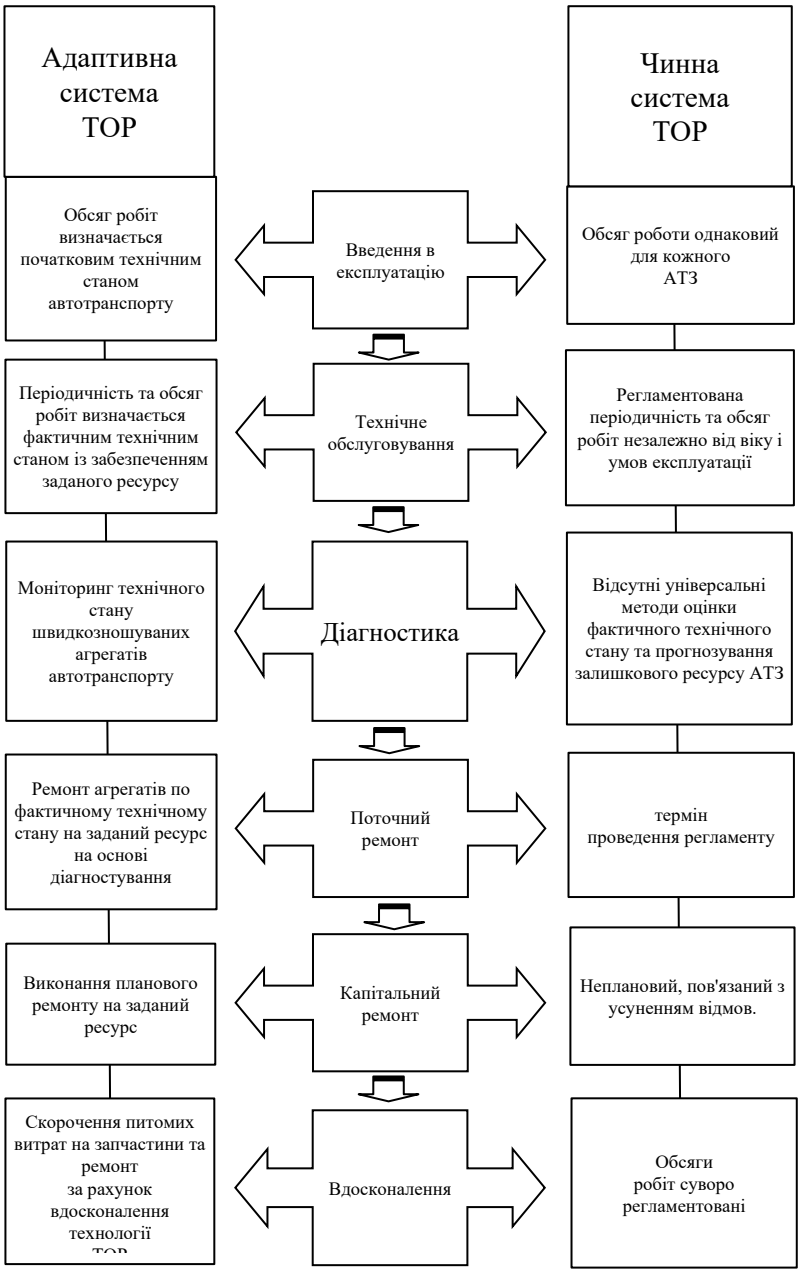

Рис. 2. Порівняльний аналіз чинної та адаптивної систем ТОР автосамоскида

Пропонована адаптивна система ТОР враховує основні ремонтні нормативи, такі як тривалість ремонтного циклу, міжремонтний період та структуру ремонтного циклу тощо. Порівняльний аналіз чинної системи ТОР і адаптивної системи ТОР представлений на рис. 2.

Аналіз умов експлуатації автосамоскида дало змогу встановити залежність напрацювання деталей від відмов. Визначення законів розподілу напрацювання на відмову окремих деталей і вузлів автосамоскида дозволяє по-новому організувати систему ТОР. Дослідженням виявлено, що такий підхід може бути економічно і технічно обґрунтованим лише за умови можливості прогнозування відмов деталей не лише за тривалістю інтервалу τ,, а й за значенням напрацювання T, на якому цей інтервал базується (рис. 3).

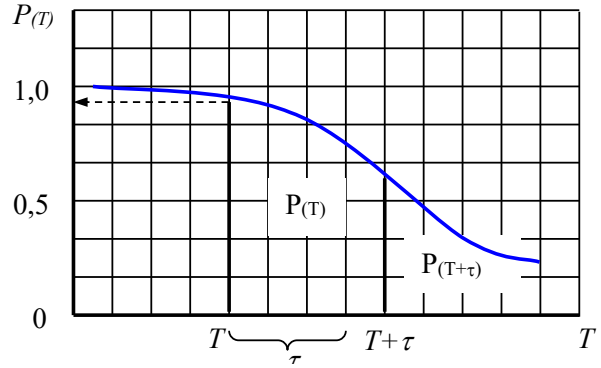

Рис. 3. Визначення ймовірності безвідмовної роботи на інтервалі τ

Деталі, вузли та агрегати автосамоскида, відмови яких залежать від рівня напрацювання (зношування, старіння чи накопичення втоми), можуть бути відновлені. Однак при аналізі їх надійності доцільно розглядати їх як невідновлювані елементи, оскільки в разі відмови деталі (вузла) вона замінюється на іншу, придатну для експлуатації. Водночас деталь або вузол, що вийшли з ладу, направляються на ремонт.

Для виведення загальної формули прогнозування відмов в інтервалі τ з напрацювання T припустимо, що до моменту T відмови розглянутої деталі не було. Тоді за теоремою множення ймовірностей справедлива рівність:

$$P_{(T+\tau)} = P_{(T)} P_{(\tau)}, \qquad (1)$$

де $P_{(T)}$ и $P_{(\tau)}$ – ймовірність того, що в інтервалі відповідно від 0 до T та від T до $T+\tau$ відмови не буде.

З (1) отримуємо:

$$P_{(\tau)} = \frac{P_{(T+\tau)}}{P_{(T)}}. \qquad (2)$$

Оскільки події появи відмови та не появи відмови в інтервалі τ представляють повну сукупність несумісних подій, сума ймовірностей появи яких дорівнює одиниці, можна записати:

$$\overline{P}_{(\tau)} = 1 - \frac{P_{(T+\tau)}}{P_{(T)}}, \qquad (3)$$

де $\overline{P}_{(\tau)}$ – ймовірність виникнення відмови в інтервалі τ.

Отримана формула дозволяє прогнозувати ймовірність появи відмов в інтервалі за попереднім до цього інтервалу напрацюванням T.

На даний час широко використовуються різні коефіцієнти, що коригують нормативи для ТОР автотранспорту. Однак ці коефіцієнти встановлені однаковими для всіх типів автотранспорту, не враховуючи при цьому адаптацію технологічного автотранспорту до специфічних умов експлуатації.

Для того, щоб кількісно оцінити рівень адаптації до конкретних умов, необхідно розглядати автотранспорт як систему, основними параметрами якого є експлуатаційні характеристики конструкції та показники ефективності його використання. Модель формування якості автотранспорту, яка основана на групах властивостей, грунтується на тому, що вихідні параметри автотранспорту залежать від номінальних характеристик його конструкції. Вони являють собою початкові дані для нового автотранспорту в стандартних умовах експлуатації, а також адаптацію конструкції автотранспорту до нових експлуатаційних умов.

Позначимо який-небудь параметр автотранспорту (наприклад, інтенсивність зношування) буквою $У$. Величина $У$ залежить від умов експлуатації. Розглянемо зміну одного з факторів умов експлуатації. Позначимо цей фактор буквою X.

Так, при роботі технологічного автотранспорту адаптацію $У$ до зміни X пропонується характеризувати параметром «коефіцієнт адаптації» – K_α. Цей показник дорівнює одиниці ($K_\alpha = 1$), коли величина $У$ залишається постійною при зміні фактора X, тобто настає повна адаптація.

При погіршенні адаптації значення цього показника стає менше одиниці. Параметр «коефіцієнт адаптації» зручний і змінюється в межах від 1 до 0 ($0 \le K_\alpha \le 1$).

Додатково $У$ є чутливим до зміни X і в цілому, кількісно, його пропонується характеризувати параметром «коефіцієнт чутливості до адаптації $K_ч$». Якщо коефіцієнт адаптації дорівнює одиниці ($K_\alpha = 1$), це свідчить про повну адаптації та відсутність чутливості, тобто $K_ч = 0$. У міру погіршення адаптації параметр чутливості зростає.

Побудова кількісних характеристик адаптації (рис. 4) засновано на математичній моделі: $У=У_0 – 3\ (X – X_0)^2$.

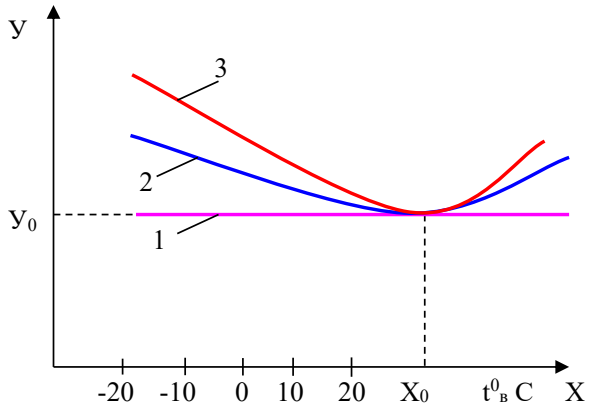

Рис. 4. Графік інтенсивності зношування агрегатів автотранспорту залежно від температури навколишнього середовища, $X = t_в$

Математична модель відображає таку типову ситуацію, коли вихідний параметр $У$ обмежений знизу, а оптимальним є його найменше значення $У_0$. При цьому оптимальне значення фактора X_0 віддалене від його крайніх можливих значень. Такою моделлю можна описати інтенсивність зношування агрегатів автотранспорту.

Можливий випадок, коли вихідний параметр $У$ залишається постійним при зміні фактора X (лінія 1), наприклад: маса самого автомобіля постійна при зміні температури навколишнього повітря. Однак, якщо за параметр $У$ прийняти безвідмовність автотранспорту, то в реальних умовах експлуатації цей параметр нестабільний і залежить від зміни температури навколишнього повітря (наприклад: різні пори року). Інтенсивність зміни величин $У$ для одних умов експлуатації буде більшою (лінія 3), ніж для інших (лінія 2), тобто ця інтенсивність може служити кількісною характеристикою адаптації автотранспорту до зміни фактора X (рис. 4).

Таким чином, адаптивна система ТОР – це сукупність організаційних, технічних, технологічних та інших заходів щодо забезпечення працездатного стану автотранспорту та підтримки заданої надійності протягом терміну експлуатації [8].

Якщо розглядати приватні фактори, що впливають на рівень технічної експлуатації автотранспорту, їх можна поділити на три категорії.

Категорія 1 – фактори, оптимізація яких потребує значних матеріальних витрат на виробництво. Сюди належать: стан ремонтних баз і баз, що обслуговують, а також наявність і стан складів для зберігання агрегатів автотранспорту.

Категорія 2 – фактори, оптимізація яких не вимагає матеріальних витрат і залежить лише від рівня організації технічного обслуговування. До них відносяться: виконання операцій ТОР, дотримання термінів їх проведення, кваліфікація персоналу, що здійснює ТОР, дотримання вимог до мастил, палива, клас водіїв та зберігання автотранспорту.

Категорія 3 – фактори, оптимізація яких пов’язана з рівнем організації служби експлуатації, ремонту та обслуговування автотранспорту і вимагає мінімальних матеріальних витрат. Сюди входять: використання відповідного обладнання, наявність нормативно-технічної документації, вибір запасних частин для поточного ремонту, застосування діагностики та контроль якості ремонту.

Для підвищення рівня технічної експлуатації автотранспорту слід насамперед зосередитись на факторах другої й третьої категорій, оскільки вони не потребують великих фінансових вкладень і можуть бути оптимізовані через організаційні заходи.

У процесі експлуатації автотранспорту постає питання вибору найбільш підхожого автотранспорту для конкретних умов експлуатації. Для розв’язання цієї задачі необхідно визначити критерії оцінки безвідмовної роботи вузлів та агрегатів автотранспорту, які можна поділити на три групи: технічні, економічні та техніко-економічні.

Технічні критерії оцінки безвідмовної роботи включають такі показники, як ймовірність безвідмовної роботи, інтенсивність відмов, параметри потоку відмов і середнє напрацювання на відмову. Вони дають точну інформацію про технічний стан та рівень експлуатації транспорту.

Економічні критерії базуються на факторах, таких як втрати від простоїв транспорту через відмови, витрати на усунення відмов та втрати від зниження якості виконуваних робіт. Ці критерії дозволяють здійснити економічне обґрунтування вибору автотранспорту для певних умов експлуатації.

Техніко-економічні критерії оцінки безвідмовної роботи автотранспорту базуються на узагальнених показниках, одним з яких є витрати на експлуатацію автотранспорту, що віднесені до одиниці виконаних робіт, які виражені у фізичних величинах або вартісних показниках.

Висновки. Адаптивна система ТОР забезпечує значне підвищення ефективності управління тех-

нічним обслуговуванням автотранспорту порівняно з чинною (традиційною) системою ППР. Ця система ґрунтується на принципах безперебійної роботи, безпеки, економічної ефективності, максимального використання технічних можливостей автотранспорту та досягнення високого рівня їх надійності.

Одним з основних аспектів функціонування адаптивної системи ТОР є впровадження інноваційних підходів до обслуговування, що дозволяє не лише своєчасно виявляти та усувати неполадки, але й запобігати їх виникненню. Важливу роль у цьому відіграє високоякісний ремонт, який є критичним фактором для ефективної експлуатації автотранспорту. Зокрема, це стосується оптимального групового заміщення елементів у вузлах, які підтримують основні експлуатаційні параметри автотранспорту.

Таким чином, адаптивна система ТОР дозволяє значно покращити технічний стан автотранспорту, знижує витрати на обслуговування та підвищує загальну ефективність використання автотранспорту, що є перспективною тематикою для подальших досліджень.

Список літератури:

1. Положення про технічне обслуговування і ремонт дорожніх транспортних засобів автомобільного транспорту, наказ МТУ № 102 від 30.03.98, м.Київ.

2. Про затвердження Вимог до перевірки конструкції та технічного стану колісного транспортного засобу, методів такої перевірки. Наказ Міністерства Інфраструктури України від 26.11.2012 № 710

3. ДСТУ 2823-94. Зносостійкість виробів тертя, зношування та мащення. Терміни та визначення.

4. ДСТУ 3650-97. Технічне обслуговування і ремонт автомобілів.

5. ДСТУ 4295-2004. Автомобільний транспорт. Загальні технічні вимоги до автотранспортних засобів.

6. Ковальчук, В. О. Стратегії технічного обслуговування в автотранспортних підприємствах. Львів: ЛНУ, 2012. 350 с.

7. Подригало М. А. Кухтов В. Г., Полянський А. С. Забезпечення надійності автотракторної техніки адаптивними методами технічного обслуговування та ремонту. *Автомобільний транспорт*. Х.: ХДАДТУ, 2000. Вип. 4. С. 49–51.

8. Полянський О. С. Нестеренко О. А., Молодан А. А., Степанов О. В. Принципи та структура адаптивної системи технічного обслуговування та ремонту автотракторної техніки. *Вісник ХНТУСГ*. Зб. наук. тр. ХНТУСГ, 2005. Вип. 40. С. 110–117.

9. Степанов О. В. Дослідження оптимальної періодичності ремонтів автосамоскидів КрАЗ, що працюють на породному відвалі. *Автомобільний транспорт*. Зб. наук. тр. ХНАДУ, 2005. № 17.

10. 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.

Stepanov O.V., Kuvshinov A.O. ADAPTIVE SYSTEM OF FREIGHT VEHICLES MAINTENANCE

The article is devoted to the concept of optimal frequency of replacement of truck units upon reaching a given operating time. It was found that the existing nominal values of the output parameters characterize freight vehicles under standard operating conditions. But in real life, the characteristics of vehicles are affected by the duration and conditions of operation. The degree of this influence depends on reliability, which reflects the change in the initial parameters of the vehicle design over time. At the same time, a variety of operating and technological conditions imposes specific requirements on vehicles in terms of their reliability and adjustments to maintenance and repair standards. That is, a timely transition to a progressive system of ensuring the operable condition of vehicles in specific operating conditions will increase the level of their reliability and efficiency of use. The study proves that when developing various methods for predicting the reliability of freight vehicles, it is necessary to carry out technical interventions, to assign their scope and timing depending on the actual technical condition of the vehicle, taking into account the operating conditions. It has been established that a timely transition to a progressive adaptive system for ensuring the serviceable condition of vehicles under specific operating conditions will increase the level of their reliability and efficiency of use. In the proposed adaptive system of maintenance and repair, the principles of managing the technical operation of vehicles differ from the current system of scheduled preventive maintenance. It is concluded that due to timely technical diagnostics, high-quality repairs based on the optimal group replacement of elements in the units ensure the maintenance of the main operational parameters of vehicles. That is, the design features of motor vehicles and the technological conditions of their operation determine the adaptation and, consequently, the efficiency of motor vehicles in operating conditions.

Key words: *freight vehicle, adaptive system, maintenance, operating conditions, reliability.*