УДК 656.13
DOI https://doi.org/10.32782/2663-5941/2025.2.1/45

Степанов О. В.
Національний університет біоресурсів і природокористування України

Волобуєва Т. В.
Одеська державна академія будівництва та архітектури

ДІАГНОСТИЧНА МОДЕЛЬ ОЦІНКИ СТАНУ ВАНТАЖНОГО АВТОТРАНСПОРТУ

Для експлуатаційної надійності вантажного автотранспорту особливого значення набуває їх повноцінне використання, запобігання передчасному зношуванню агрегатів, механізмів та деталей. Метою статті є розгляд діагностичної моделі оцінки дефектів вантажного автотранспорту та розробка алгоритму оцінки його працездатності. Визначено, що технічний стан вантажного автотранспорту в процесі експлуатації не залишається незмінним і в міру збільшення пробігу погіршується. При збільшенні пробігу автотранспорту інтенсивність зношування деталей силових агрегатів вантажного автотранспорту оцінюється їх технічним станом, який своєю чергою визначається в результаті технічного діагностування. Системи планово-попереджувальних робіт, що існують та стратегії технічних обслуговувань й ремонтів із застосуванням технічного діагностування не гарантують експлуатаційну надійність вантажного автотранспорту. Доведено, що основною ланкою підтримки експлуатаційної надійності вантажного автотранспорту є бортова діагностика його технічного стану. Для реалізації концепції бортової технічної діагностики використовується діагностична модель, яка ґрунтується на допускових засобах діагностування. Вона характеризується тим, що висновок про надійність функціонування об'єкта робиться на підставі оцінки сукупності діагностичних параметрів. Зроблено висновок, що застосування діагностичної моделі з урахуванням засобів технічного діагностування дозволить оцінити сукупність діагностичних параметрів та здійснити пошук дефектів. При цьому синтез об'єкта щодо глибини діагностування дозволяє розмістити структурні елементи діагностування вантажного автотранспорту. Відповідно, радикальним засобом підвищення експлуатаційної надійності вантажного автотранспорту є використання засобів бортової діагностики на рівні конструкції агрегатів та вузлів з виведенням результатів діагностики на блок відображення інформації.

Ключові слова: *вантажний автотранспорт, діагностична модель, технічний стан, технічна діагностика, дефекти.*

Постановка проблеми. Під час розвитку системи планово-попереджувальних робіт (ППР) розроблено безліч способів, методів, стратегій технічних обслуговувань та ремонтів для вантажного автотранспорту (надалі – автотранспорт). Система ППР передбачає технічне діагностування та виконання робіт певних видів технічного обслуговування і ремонту. Технічне обслуговування в системі ППР є головним профілактичним заходом, що проводиться з метою запобігання підвищеному зносу деталей та вузлів автотранспорту [1].

Розроблено різні стратегії технічного обслуговування, а саме: загальноприйнята стратегія (напрацювання); стратегія обслуговування з технічного стану; стратегія єдиного технічного обслуговування; єдине технічне обслуговування із застосуванням діагностування; контрольно-виконавча система технічного обслуговування; система забезпечення працездатності автотранспорту [9, 10, 13]. Найпоширенішою вважається загальноприйнята стратегія, яка рекомендується заводами-виробниками. Для автотранспорту загальноприйнята стратегія складається із щоденного технічного обслуговування, сезонного обслуговування, діагностування та поточного ремонту.

У процесі експлуатації технічний стан автотранспорту не залишається незмінним і в міру збільшення пробігу погіршується. Тобто для автотранспорту особливого значення набуває їх повноцінне використання, запобігання передчасному зношуванню агрегатів, механізмів та деталей автотранспорту.

Під час експлуатації інтенсивність зношування деталей силових агрегатів автотранспорту визначається їх технічним станом, який, що своєю чергою, оцінюється за допомогою технічного діагностування. Основною компонентою підтримки експлуатаційної надійності автотранспорту

є бортова діагностика його технічного стану. Для реалізації цієї концепції використовується діагностична модель, що заснована на допускових засобах діагностування. Відповідно до цього застосування діагностичної моделі з урахуванням засобів технічного діагностування дозволяє оцінити сукупність діагностичних параметрів, стан автотранспорту та здійснити пошук дефектів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питанням експлуатаційної надійності автотранспорту присвячені різнопланові роботи В. Я. Аніловича, О. В. Бажинова, В. Н. Варфоломєєва, С. В. Венцеля, М. А. Єлизаветіна, М. С. Ждановського, О. В. Закалова, О. П. Кравченка, І. В. Крагельського, Б. І. Костецького, М. В. Кондрачука, А. Т. Лебедєва, О. В. Мельниченка, Л. В. Назарова, М. А. Подригало, В. М. Ткачова й ін. Науковцями доведено, що інтенсивність зношування деталей силових агрегатів автотранспорту залежить як від дорожніх умов, що формують їх режим роботи, так і від складу вантажів, які перевозяться автотранспортом [6, 7, 8, 11]. При збільшенні пробігу поточна частина оцінюється їх технічним станом, який своєю чергою визначається в результаті технічного діагностування [1, 4, 8].

Проведеними дослідженнями роботи автотранспорту (автосамоскидів КрАЗ) на породних відвалах вугільних шахт встановлено, що постійною причиною зміни технічного стану агрегатів автосамоскидів є знос їх деталей [2, 3, 5, 7]. Зокрема: абразивне зношування деталей у коробці передач і роздавальної коробки; знос гумотехнічних виробів; знос гальмівних накладок та гальмівних барабанів; знос наконечників рульових тяг; зношування циліндро-поршневої групи двигуна, елементів підвіски, підрамника й ін. [11, 12]. Необоротність процесу накопичення пошкоджень вузлів автосамоскида, особливо балансира підіймального механізму вантажної платформи та підрамника кузова автосамоскида, підтверджується статистичними даними, зібраними при ремонтах автосамоскидів (рис. 1).

Відзначимо, що контролювати запиленість в агрегатах та перевантаження вантажної платформи породою в автосамоскидах КрАЗ неможливо через відсутність бортової технічної діагностики.

Аналіз наукових джерел [8–10] свідчить, що для визначення ролі технічного діагностування в системі обслуговування та поточного ремонту автотранспорту, його класифікують за основними організаційними ознаками [8]. Технічне діагностування включає ряд технологічних операцій, спрямованих на визначення технічного стану автотранспорту. Процес діагностування полягає в постановці діагнозу на основі логічної обробки інформації, яку надають засоби технічного діагностування [2, 4]. Для досягнення цього необхідно створити узагальнену структуру виконання аналізу діагностичної моделі, що дозволить отримати необхідне діагностичне забезпечення. Це дає змогу точно оцінювати стан технічного обслуговування та своєчасно виявляти несправності.

Постановка завдання. Мета статті – розглянути діагностичну модель оцінки стану вантажного автотранспорту для здійснення пошуку дефектів та розробити алгоритм оцінки працездатності на основі результатів бортової діагностики.

Виклад основного матеріалу. Аналіз експлуатації автотранспорту показав, що величина навантаження значно впливає на механізм руйнування твердого тіла. При поступовому збільшенні навантаження спочатку виникають пружні деформації, потім відбувається пластична деформація твердого тіла, а зрештою – його розрив (див. рис. 1).

З'ясовано, що основною ланкою підтримки експлуатаційної надійності автотранспорту є бор-

а *б*

Рис. 1. Руйнування балансира підіймального механізму кузова (а) та деформація підрамника кузова (б) автосамоскида КрАЗ при роботі на породних відвалах (фото авторів)

това технічна діагностика (надалі – діагностика) його технічного стану. Для реалізації концепції діагностики використовується діагностична модель, яка ґрунтується на допускових засобах діагностування [8]. Вона характеризується тим, що висновок про правильність функціонування об'єкта робиться на підставі якісної оцінки сукупності діагностичних параметрів. На основі збудованої моделі здійснюється пошук дефектів.

Зазначимо, в більшості діагностичних моделей та методів аналізу питання функціонального діагностування розглянуто недостатньо, що ускладнює практичне застосування методів та відповідних їм алгоритмів діагностування [1, 4]. Для цього потрібна узагальнена структура виконання аналізу діагностичної моделі для отримання діагностичного забезпечення автотранспорту.

Для вирішення цього завдання та з метою обґрунтованого вибору сукупності діагностичних показників, що достатні для розв'язання задачі з оцінки стану автотранспорту, необхідно впорядкувати безліч діагностичних показників, які характеризують його стан. Тобто побудувати їх у ряд по черзі, що визначається обраними критеріями.

Проаналізуємо діагностичну модель для оцінки стану автосамоскида. Припустимо, що діагностична модель автосамоскида містить у явному вигляді безліч $B_n(B_n) = \{b_{ni}\}$, $i = 1, 2, \ldots, N$ прямих показників ($B_n \subset B$), що характеризують стан об'єкта. Вони входять у діагностичну модель як аргументи чи коефіцієнти алгебраїчних і диференціальних рівнянь, операторів гілок та інших величин, які безпосередньо присутні в моделі.

Через технічні труднощі та з урахуванням економічної вигоди вибираємо з безлічі B_n прямих показників сукупності B_n $(\overline{B}_n = \{b_{ni}\}\ i = 1, 2, \ldots, m)$ для їх вимірів та оцінки в процесі діагностування.

Сукупність $\overline{B}_n$ повністю впорядковується запровадженням відношення порядку P_1 у припущенні, що $b_{ni=p} > b_{ni=q}$, якщо $u(b_{ni=p}) > u(b_{ni=q})$, де $u(b_{ni})$ визначається на елементах $B_п^э$, вигляд його залежить від умов експлуатації автосамоскида.

Якщо $\overline{B}_n = B_n^э$, то введений порядок дозволяє безпосередньо розробити алгоритм та програму діагностування. У цьому випадку програма передбачає послідовність оцінки показників b_{ni} у порядку, що визначено P_1.

Якщо $\overline{B}_n \subset B_n^э$ та $\overline{B}_n \neq B_n^э$, то визначається різниця $S = B_n^э / \overline{B}_n$ і вибирається підмножина $B_к(B_к = \{b_{кj}\}, j = 1, 2, \ldots, n)$ не прямих показників. При цьому потужність множини $B_к$ має бути такою, щоб повністю компенсувати неоцінювані прямі показники, тобто різницю S.

Підмножина непрямих показників $B_к$ повністю впорядковується запровадженням порядку P_2 у припущенні, що $b_{кj=p} > b_{кj=q}$ якщо $v(b_{кj=p}) > v(b_{кj=p})$. Щодо критерію $v(b_{кj})$, який визначається на елементах $B_к$, використовується норма вектора чутливості $v(b_{кj}) = ||v(b_{кj})||$.

При експлуатації автосамоскида значення прямих показників b_{ni} можуть змінитися, що порушує введений порядок P_2. Тому після його запровадження доцільно встановити межі зміни показників b_{ni}, у яких порядок P_2 збережеться.

Таким чином, впорядкована безліч $B_к$ непрямих показників повністю визначає алгоритм та програму діагностування (оцінка $B_к$ в порядку P_2).

Достатність сукупностей прямих і непрямих показників з метою оцінки стану об'єкта із заданою точністю визначається величиною ймовірності:

$$p(m,n) = \left[\sum_{i=1}^{m} u(b_{ni}) + \sum_{j=1}^{n} v(b_{кj})\right]\left[\sum_{i=1}^{M} u(b_{ni}) + \sum_{j=1}^{N} v(b_{кj})\right]^{-1}, \quad (1)$$

де: m – кількість оцінюваних прямих показників; n – кількість оцінених непрямих показників.

За необхідності забезпечити можливість близької $p_0 = 1$ повинні дотримуватися рівності $m = M$ та $n = N$, тобто оцінюються прямі та непрямі показники з певним ступенем ймовірності. Якщо задана величина $p_0 < 1$, тоді кількість оцінюваних прямих і непрямих показників вибирається з урахуванням порядків, що вводяться P_1 і P_2 так, щоб дотримувалася умова $p(m, n) \geq p_0$. Якщо остання умова не задовольняється, необхідно переглядати обрану сукупність $\overline{B}_n$ і відповідно $B_к$, щоб задовольнити вимогу вірної оцінки стану об'єкта за заданою ймовірністю p_0.

Після того, як сформовані сукупності $\overline{B}_n$ та $B_к$, що задовольняють умові $p(m, n) \geq p_0$, необхідно визначити умови працездатності (УР) та подібні дефекти (ПД) у об'єкті. Ці умови та ознаки визначаються як допустимі області зміни оцінюваних показників $\overline{B}_n$ та $B_к$ і, отже, є безліччю $\{УР_i\}$, $\{УР_j\}$, $\{ПД_i\}$, $\{ПД_j\}$ величин меж допустимих змін оцінюваних показників.

Згодом даний етап розробки діагностичного забезпечення закінчується вибором методів оцінки прямих та непрямих показників, що характеризують стан об'єкта. На завершення процедури розробки діагностичного забезпечення будується алгоритм та програма діагностування автосамоскида.

Автосамоскид складається з різних структурних одиниць, які слід діагностувати через проміжки часу. У цьому випадку програма діагностування має враховувати різні періоди перевірки структурних одиниць. Відповідно до цього програма складена у два етапи. На першому етапі згруповано окремі блоки за періодами їх перевірок. На другому етапі – визначено послідовність перевірок.

Якщо для показників, що характеризують безвідмовність окремих частин автосамоскида, використовувати інтенсивність відмов, а для характеристики їх контролепридатності – тривалість діагностування, то можна побудувати програму для всього автосамоскида в заданий час. Тобто використання діагностування дає необхідний ефект лише за умови задоволення вимог пристосовності автосамоскида до діагностування.

У цьому випадку умову діагностування можна визначити математично з рівняння

$$\overline{Y} = \overline{B}_n^э \overline{X}, \qquad (2)$$

де: $\overline{Y}$ – полівектор першого рангу, що описує безліч вихідних параметрів об'єкта діагностування; $\overline{X}$ – полівектор першого рангу, що описує безліч вхідних параметрів об'єкта діагностування; $\overline{B}_n^э$ – полівектор другого рангу, що описує безліч прямих діагностичних параметрів.

Компоненти $B_п^э = \{b_{ij}\}$ залежать від конструкційних параметрів та характеристик елементів, з яких складається об'єкт:

$$b_{ij} = \varphi_{ij}(k_1, k_2, \ldots, k_{s-1}, k_s), \quad \forall i, j = 1, 2, \ldots, n, \quad (3)$$

де: $k_1, \ldots, k_s$ – конструкційні параметри та характеристики елементів об'єкта діагностування; s – загальна кількість конструкційних елементів технічного об'єкта.

Математичною умовою діагностування об'єкта по входах $\overline{X} = \{x_i\}$ і виходам $\overline{Y} = \{y_j\}$ є лінійна незалежність рівнянь зв'язку:

$$\sum_{i,j}^{n} c_{kij} b_{ij} = c_{kij} b_{ij} = 0, \quad \forall k = 1, 2, \ldots, l; i, j = 1, 2, \ldots, n, \quad (4)$$

або нерівності нулю визначника $\det C \neq 0$, де $C = \{c_{kij}\}$ – полівектор третього рангу постійних характеристик системи, отриманих з аналізу системи рівнянь $b_{ij} = \varphi_{ij}(k_1, k_2, \ldots, k_{s-1}, k_s)$ та не залежні від зміни стану об'єкта діагностування та зовнішніх змінних.

Зауважимо, що вираз $c_{kij} b_{ik} = 0$ є необхідною умовою, а залежність $\det C \neq 0$ – необхідною та достатньою умовою.

Наведені умови діагностування справедливі, якщо об'єкт має такі властивості:

1) стан об'єкта діагностування характеризується сукупністю оцінюваних прямих показників $B_n^э = \{b_{ij}\}$, $(\forall i, j = 1, 2, \ldots, n)$;

2) аналіз структури об'єкта діагностування дозволяє скласти

$l = (n - 1)n$ рівнянь зв'язку виду $c_{kij} b_{ij} = 0$, $(\forall k = 1, 2, \ldots, l; i, j = 1, 2, \ldots, n)$;

3) входи $\overline{X} = \{x_i\}$ та виходи $\overline{Y} = \{y_j\}$, $(\forall i, j = 1, 2, \ldots, n)$ об'єкта діагностування – контрольовані.

Алгоритм технічного діагностування є послідовністю операцій з оцінки обраних прямих $B_n^э$. та непрямих $B_к^э$ діагностичних показників під час експлуатації автосамоскида (рис. 2).

Для цього до обчислювального блоку інформації надходить комплекс сигналів $p_{ij}(t) = \Phi[q_{ij}(t)]$, які ідентифікуються з вихідними характеристиками $\{y_j\} \equiv Y$ автосамоскида.

Відповідно до концепції бортової діагностики автосамоскида необхідно вибрати таку підмножину елементів $b \in B$ з безлічі вихідних характеристик $\{y_j\} \equiv Y$ автосамоскида, що однозначно будь-якої миті часу визначили технічний стан контрольованого об'єкта.

Діагностичні характеристики автосамоскида за певних умов експлуатації містять у явному вигляді безліч $B_n^э (B_n^э = \{b_{ni}\}, i = 1, 2, \ldots, N)$ прямих показників ($B_n \subset B$) та підмножину $B_к^э (B_к^э = \{b_{кj}\}$, $i = 1, 2, \ldots, N)$ непрямих показників, що характеризують стан об'єкта.

Потужність множини $B_к^э$ повинна бути такою, щоб повністю компенсувати прямі показники, що не оцінюються. Якщо автосамоскид відповідає умові діагностування, необхідно провести синтез об'єкта діагностування щодо кількості точок і глибини діагностування. Це дозволяє отримати оптимальне діагностичне забезпечення контролю за технічним станом автосамоскида з метою підвищення його експлуатаційної надійності.

Висновки. Аналіз роботи автосамоскидів показав, що зростання витрат на підтримку їх працездатності призводить до збільшення собівартості вантажоперевезень. Це зумовлено, по-перше, недостатньо організованою технічною діагностикою та ремонтом автосамоскидів, по-друге, конструкцією автосамоскидів, що не мають належної бортової технічної діагностики. Цю проблему можна вирішити, по-перше, шляхом впровадження ліній інструментального технічного контролю на автопідприємствах, по-друге,

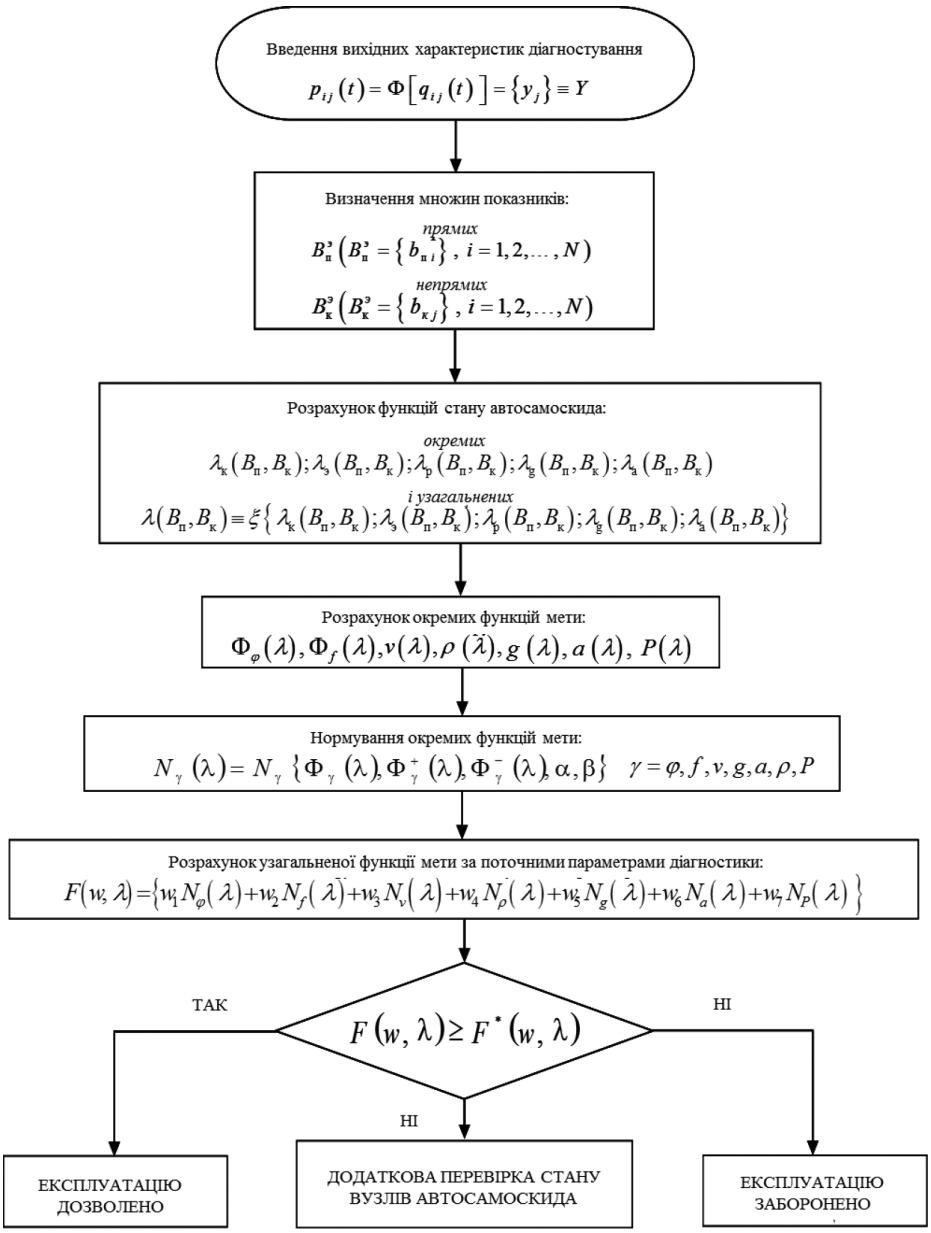

Рис. 2. Блок-схема алгоритму обробки інформації з бортової технічної діагностики автосамоскида

оснащенням автосамоскидів вбудованими системами бортової технічної діагностики [13, 14].

Запропонований алгоритм оцінки працездатності на основі результатів бортової діагностики дозволяє визначати ступінь надійності автотранспорту. Одним із ефективних способів підвищення експлуатаційної надійності є інтеграція засобів бортової технічної діагностики в конструкцію агрегатів і вузлів з виведенням результатів на інформаційний блок, що є перспективним напрямом для подальших досліджень.

Список літератури:

1. Порядок проведення технічного огляду, випробування та експертного обстеження (технічного діагностування) машин, механізмів, устаткування підвищеної небезпеки. Постанова Кабінету Міністрів України від 26 травня 2004 р. N 687(редакція від 01.05.2022).

2. Про затвердження Порядку проведення технічного діагностування. Постанова Кабінету Міністрів України № 1078 від 11.11.2016.

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

4. ДСТУ 3960-2000. Система технічного діагностування технічних засобів. Київ. Держстандарт України.

5. Венцель С. В. Змащення та довговічність двигунів внутрішнього згоряння. К. *Техніка*, 1977. 204 с. 5. https://t.me/specmachinery_com_ua

6. Закалов О. В. Основи тертя і зношування в машинах: Навчальний посібник. Тернопіль : Видавництво ТНТУ ім. І. Пулюя, 2011. 322 с.

7. Кондрачук М. В., Хабутель В. Ф., Пашечко М. І., Корбут Є. В. Трибологія. К. : Вид-во Національного Авіаційного університету «НАУ-друк», 2009. 232 с.

8. Мельниченко А. А. Технічне діагностування транспортних засобів: новітні методи і практичні аспекти. *Технічна механіка*, 2019. С. 92–101.

9. Петров, О. В. Автотранспортні підприємства: Організація та управління технічним обслуговуванням. Київ : НТУ, 2011. 228 с.

10. Сорокін, В. І. Інженерія транспорту та логістики: Теорія та практика. Харків : ХНТУ, 2014. 280 с.

11. Степанов О. В. Вплив фізико-механічних властивостей гірських порід, що перевозяться на надійність вантажного автомобіля. *Автомобільне та тракторобудування*. Вісник НТУ «ХПІ», 2004. № 2. С. 115–118.

12. Степанов О. В., Волобуєва Т. В., Лемішко Д. С. Оптимізація оцінки технічного стану агрегатів. *Енергетичні установки та альтернативні джерела енергії* : зб. тез та доп. міжнар. конф., 11–12 берез. 2024 р. / М-во освіти і науки України, Харків. нац. автомоб.-дор. ун-т. Харків : ФОП Бровін О. В., 2024. С. 253–256.

13. Патент № 31744. Україна, МПК G06F 11/30. Система дистанційної діагностики технічного стану автосамоскида, що працює на породних відвалах вугільних шахт; заявл. 02.11.2007; опубл. 25.04.08, Бюл. № 8. 4 с.

14. Патент № 31745. Україна, МПК G01R 27/00. Пристрій діагностики забруднення мастила в агрегатах автомобіля; заявл. 02.11.2007; опубл. 25.04.08, Бюл. № 8. 4 с.

15. Шевченко М. С. Проблеми та перспективи розвитку систем технічного обслуговування транспортних засобів. К. : *Техніка*, 2010. 420 с.

Stepanov O. V., Volobuyeva T. V. DIAGNOSTIC MODEL OF CONDITION ASSESSMENT OF FREIGHT TRANSPORT

For the operational reliability of trucks, their full utilization and prevention of premature wear and tear of units, mechanisms and parts are of particular importance. The aim of the article is to consider a diagnostic model for assessing defects in freight vehicles and to develop an algorithm for assessing its performance. It is determined that the technical condition of freight vehicles during operation does not remain unchanged and deteriorates with increasing mileage. With an increase in the mileage of motor vehicles, the intensity of wear of parts of the power units of freight vehicles is assessed by their technical condition, which in turn is determined as a result of technical diagnostics. Existing systems of planned preventive maintenance and strategies of maintenance and repair with the use of technical diagnostics do not guarantee the operational reliability of freight vehicles. It is proved that the main link in maintaining the operational reliability of freight vehicles is on-board diagnostics of their technical condition. In order to implement the concept of on-board technical diagnostics, a diagnostic model based on the tolerance diagnostic tools is used. It is characterized by the fact that the conclusion about the reliability of the object's functioning is made on the basis of an assessment of a set of diagnostic parameters. It is concluded that the application of the diagnostic model, taking into account the means of technical diagnostics, will allow to evaluate the set of diagnostic parameters and search for defects. At the same time, the synthesis of the object in terms of the depth of diagnosis allows to place the structural elements of diagnosing freight vehicles. Accordingly, a radical means of increasing the operational reliability of freight vehicles is the use of on-board diagnostics at the level of the design of units and assemblies with the output of diagnostic results to the information display unit.

Key words: *freight vehicles, diagnostic model, technical condition, technical diagnostics, defects.*