

О. В. СТЕПАНОВ

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

В. М. МІНАКОВ

кандидат економічних наук, доцент,
доцент кафедри машинобудування
Одеська державна академія будівництва та архітектури
ORCID: 0000-0002-6951-8399

ОЦІНКА ПРАЦЕЗДАТНОСТІ ВАНТАЖНОГО АВТОТРАНСПОРТУ

У статті надано оцінку працездатності вантажного автотранспорту. Відомо, що вантажний автотранспорт для визначення якості має певну групу експлуатаційних властивостей. До загальної експлуатаційної властивості належить працездатність. Метою статті є оцінка працездатності вантажного автотранспорту в технологічних умовах експлуатації. Визначено, що працездатність вантажного автотранспорту включає здатність виконувати поставлені завдання в транспортних та технологічних умовах експлуатації за умовами експлуатації й станом вантажного автотранспорту. Управління станом вантажного автотранспорту пов'язано з підтримкою його працездатності із забезпеченням безвідмовності. Транспортні умови експлуатації мають на увазі інтенсивність і щільність потоків вантажного автотранспорту при виконанні транспортно-технологічної операції. Технологічні умови експлуатації включають інтенсивність та щільність потоків вантажного автотранспорту при виконанні транспортно-технологічних операцій. Обґрунтовано, що експлуатаційні властивості вантажного автотранспорту залежать і від природно-кліматичних умов експлуатації, що мають на увазі навколишнє середовище як з погляду місцевості, так і атмосферно-кліматичних явищ. Зроблено висновок, що для комплексної оцінки працездатності вантажного автотранспорту в системі «автомобіль – місцевість» можна запропонувати критерій оптимальної реалізації режимів руху за балансом потужності, за керованістю та маневровістю в конкретних експлуатаційних умовах. При цьому надані критерії та розв'язання завдань, що мають безпосереднє відношення до підтримки працездатності вантажного автотранспорту при роботі в технологічному циклі, вказують на необхідність переходу на систему забезпечення працездатного стану вантажного автотранспорту в конкретних експлуатаційних умовах.

Ключові слова: вантажний автотранспорт, працездатність, безвідмовність, умови експлуатації, технологічний цикл.

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

V. M. MINAKOV

Candidate of Economic Sciences, Associate Professor,
Associate Professor at the Department of Mechanical Engineering
Odesa State Academy of Building and Architecture
ORCID: 0000-0002-6951-8399

ASSESSMENT OF TRUCK PERFORMANCE

The article evaluates the performance of freight vehicles. It is known that freight vehicles have a certain group of operational properties for determining quality. The general operational property is operability. The aim of the study is to evaluate the operability of freight vehicles under technological operating conditions. It has been determined that the operability of freight vehicles includes the ability to perform tasks in transport and technological conditions of operation according to the operating conditions and condition of freight vehicles. The management of the condition of freight vehicles is associated with maintaining their performance and ensuring reliability. Transport operating conditions imply the intensity and density of freight traffic flows during a transport and technological operation. Technological operating conditions include the intensity and density of freight traffic flows in the performance of transport

and technological operations. It is substantiated that the operational properties of freight vehicles depend on the natural and climatic conditions of operation, which means the environment both in terms of terrain and atmospheric and climatic phenomena. It is concluded that for a comprehensive assessment of the mobility of freight vehicles in the vehicle-terrain system, it is possible to propose a criterion for the optimal implementation of traffic modes in terms of power balance, controllability and maneuverability in specific operating conditions. At the same time, the presented criteria and solutions to the tasks directly related to maintaining the efficiency of freight transport during operation in the technological cycle indicate the need to switch to a system for ensuring the efficient state of freight transport in specific operating conditions.

Key words: freight transport, operability, reliability, operating conditions, technological cycle.

Постановка проблеми

Кожен тип вантажного автотранспорту (надалі – автотранспорт) має певний набір експлуатаційних властивостей, які визначають його якість і значно впливають на безпеку. Основною експлуатаційною характеристикою є працездатність. Вона включає здатність автотранспорту виконувати завдання з максимальною адаптивністю до умов експлуатації та наявного технічного стану транспортного засобу. Тобто виконання транспортних операцій залежить від двох факторів: умов експлуатації та технічного стану автотранспорту. Своєю чергою, управління технічним станом автотранспорту полягає в підтриманні його працездатності, а ключовим аспектом цього процесу є забезпечення безвідмовної роботи.

Стан автотранспорту залежить від їхньої здатності зберігати працездатність, що включає можливість виконувати поставлені завдання в умовах технологічної експлуатації. При цьому експлуатаційні характеристики автотранспорту визначаються також природно-кліматичними умовами їх використання. Для всебічної оцінки працездатності автотранспорту в системі «автомобіль – місцевість» необхідно застосовувати критерії оптимального виконання режимів руху, враховуючи баланс потужності, керованість та маневровість у конкретних експлуатаційних умовах.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Розробці основних принципів забезпечення працездатності автотранспорту присвячені роботи О. В. Бажинова, І. М. Величина, М. Я. Говоруценка, О. С. Гринченка, І. Е. Дюміна, А. І. Ісаєва, І. В. Крагельського, О. П. Кравченка, Є. С. Кузнецова, Р. В. Кугеля, А. Т. Лебедєва, В. М. Міхліна, В. В. Нічке, О. С. Пронікова, М. А. Подригало, В. Н. Ткачова, А. М. Шейніна й ін. Науковцями змодельовано стратегії забезпечення працездатності автотранспорту, що охоплюють такі елементи: парк машин, трудові ресурси, матеріальні ресурси, нормативну, технологічну документацію та їх взаємозв'язок тощо. Кожна з розроблених стратегій має свої види технічних заходів. Вони характеризуються періодичністю, тривалістю, трудомісткістю і складом робіт, що проводяться при певних видах впливів для забезпечення заданого рівня працездатності парку автотранспорту [1, 2, 4, 5, 7, 8–11, 12].

Попри наявності значної кількості загальних праць, суджень та думок, залишається недостатньо досліджень, що стосуються оцінки працездатності автотранспорту виконувати поставлені завдання в умовах технологічної експлуатації.

Формулювання мети дослідження

Надати оцінку працездатності вантажного автотранспорту в технологічних умовах експлуатації.

Викладення основного матеріалу дослідження

Технологічні умови експлуатації автотранспорту охоплюють характеристики, такі як технічні умови автотранспорту та природно-кліматичні умови. Важливо також враховувати агресивність навколишнього середовища для конкретних умов експлуатації, а також дорожньо-транспортні умови, які поділяються на транспортні та дорожні. Останні характеризують поверхні руху [3].

Досліджуючи роботу автотранспорту з'ясовано, що експлуатаційні властивості залежать від взаємодії автотранспорту з покриттям проїжджої частини дороги [6]. При цьому корекція за технічними умовами експлуатації автотранспорту здійснюється шляхом введення коефіцієнтів використання (η_i) й тяжкості режиму роботи (η_r) автотранспорту.

Відомо, що інтенсивність режимів роботи автотранспорту, а також умови експлуатації з огляду на навантаження, визначаються трьома варіантами:

- 1) легким – $\eta_r = 0,7 \dots 0,8$;
- 2) середнім – $\eta_r = 1,0$;
- 3) важким – $\eta_r = 1,2 \dots 1,5$.

Режими використання автотранспорту, як умови експлуатації за інтенсивністю його роботи, характеризуються співвідношенням:

$$\eta_i = \eta_{сез} \cdot \eta_{вих} \cdot \eta_{рем} \cdot \eta_{см} \cdot \eta_{маш} \cdot \eta_{зав} \cdot \eta_{пр}$$

де: $\eta_{сез}$ – коефіцієнт сезонності; $\eta_{вих}$ – коефіцієнт вихідних днів; $\eta_{рем}$ – коефіцієнт ремонтних простоїв; $\eta_{см}$ – коефіцієнт змінності роботи; $\eta_{маш}$ – коефіцієнт машинного часу; $\eta_{зав}$ – коефіцієнт завантаження; $\eta_{пр}$ – коефіцієнт вимушених простоїв.

Відповідно, оцінку працездатності та побудову алгоритмів управління автотранспортом можна виконати на підставі наступних умов: 1) за запасом тягового зусилля; 2) за балансом потужності; 3) за курсовою орієнтацією.

Критерій запасу тягового зусилля широко використовується в практиці теорії прохідності автотранспорту. При цьому під прохідністю розуміється здатність автотранспорту рухатися поза дорогами та виконувати покладені на нього транспортні або інші експлуатаційні функції.

Відомо, що можливість руху автотранспорту визначається умовою:

$$\sum T \geq \sum P_{\psi}, \quad (1)$$

де: $\sum T$ – сумарна сила тяги; $\sum P_{\psi}$ – сумарна сила опору руху.

Для оцінки мобільності за прохідністю можна запропонувати систему критеріїв у вигляді потужної функції (запас потужності):

$$\Delta W = G_A v_A (\Phi_{\phi} - \Phi_f) = f_W(\lambda_k, \lambda_e, \lambda_g, \lambda_a, \lambda_p), \quad (2)$$

де: G_A – повна вага автотранспорту; v_A – швидкість руху автотранспорту, або у вигляді запасу тяги – силової функції:

$$\Delta P = G_A (\Phi_{\phi} - \Phi_f) = f_P(\lambda_k, \lambda_e, \lambda_g, \lambda_a, \lambda_p). \quad (3)$$

Критерій прохідності може мати й безрозмірну форму:

$$\Delta \Phi = (\Phi_{\phi} - \Phi_f) = f_{\Phi}(\lambda_k, \lambda_e, \lambda_g, \lambda_a, \lambda_p), \quad (4)$$

де: Φ_{ϕ} – узагальнена функція зчеплення автотранспорту з дорогою; Φ_f – узагальнена функція опору руху автотранспорту. λ_k – параметри автотранспорту; λ_e – характеристики умов експлуатації з урахуванням властивості та параметрів дороги; λ_g – параметр завантаження; λ_a – параметр запиленості дороги; λ_p – параметри, що характеризують кінематичні та силові режими руху.

Характеристики Φ_{ϕ} та Φ_f називаються узагальненими параметрами взаємодії автотранспорту із дорогою. Зокрема, ці параметри можуть розглядатися як окремо, так і у вигляді будь-яких комплексних характеристик: $\lambda \equiv \xi(\lambda_k, \lambda_e, \lambda_g, \lambda_a, \lambda_p)$.

Значення будь-якого параметра $\lambda_{k, e, g, a, p}$ вважається критичним з точки зору можливості руху автотранспорту за умови:

$$\Delta W = 0, \quad \Delta P = 0, \quad \Delta \Phi = 0.$$

При цьому слід використовувати критерій оптимальної реалізації режимів руху по прохідності але стосовно умов експлуатації автотранспорту:

$$\Delta P_{\phi}(\Phi_{\phi}, \Phi_f, \lambda) \rightarrow \max_{\lambda \in \Lambda}, \quad (5)$$

при обмеженні $\Delta P_{\phi}(\Phi_{\phi}, \Phi_f, \lambda) \geq 0$, $\lambda \equiv \xi(\lambda_k, \lambda_e, \lambda_g, \lambda_a, \lambda_p)$.

Зауважимо, що оцінки мобільності автотранспорту за запасом тягового зусилля недостатньо. Тягове зусилля розглядає лише силовий бік процесу. При цьому необхідне й потужне забезпечення працездатності автотранспорту, що має бути збалансована як за конструкційними можливостями автотранспорту, так і умов експлуатації. Зокрема, це виражається нерівністю:

$$W_f \eta_{\Gamma a}^{-1} \leq W_{ey} \leq W_{\phi} \eta_{\Gamma a}^{-1},$$

де: $\eta_{\Gamma a}$ – коефіцієнт корисної дії силової передачі та ходової частини автотранспорту.

Якщо не виконуватиметься ліва частина нерівності, то станеться втрата працездатності автотранспорту через великий зовнішній опір руху.

Для комплексної оцінки мобільності автотранспорту в системі «автомобіль – місцевість» можна запропонувати критерій оптимальної реалізації режимів руху за балансом потужності в конкретних експлуатаційних умовах:

$$W_{\phi}(\Phi_{\phi}, \Phi_f, \lambda) \rightarrow \min_{\lambda \in \Lambda}, \quad (6)$$

при обмеженні: $W_{\phi}(\Phi_{\phi}, \lambda) \geq [W_f(\Phi_f, \lambda) + \Delta W(\Phi_{\phi}, \Phi_f, \lambda)]$.

Поняття оптимальності балансу потужності автотранспорту безпосередньо має зв'язок з вхідними характеристиками двигуна.

Відзначимо, що транспортно-технологічний режим руху автотранспорту характеризується численними показниками, за якими оцінюється здатність автотранспорту до курсової орієнтації та відповідної йому стійкості.

З урахуванням методики курсової орієнтації можна використати модифікований показник:

$$\Phi_R = \chi(\alpha i R L t)^{-1} = \Phi_R(\lambda = v_{T M} R^{-1}), \quad (7)$$

де: χ – зміщення полюса повороту від лінії, що перпендикулярна до поздовжньої осі автотранспорту та проходить через його центр мас; α – кут повороту керуючого елемента автотранспорту; i – передатне число механізму повороту; R – радіус повороту автотранспорту; L – база автотранспорту; t – час реакції на керуючий вплив.

У цьому випадку параметр λ доцільно ставити як поперечне прискорення центру мас автотранспорту.

Для всебічної оцінки мобільності автотранспорту щодо курсової орієнтації в системі «автомобіль – місцевість» можна запропонувати критерій оптимального здійснення режимів руху з урахуванням керованості в конкретних експлуатаційних умовах:

$$\Phi_R(\Phi_\varphi, \Phi_f, \lambda) \rightarrow \min_{\lambda \in \Lambda}, \quad (8)$$

за умови, що $\Phi_R(\Phi_\varphi, \Phi_f, \lambda) \leq 0$.

При малих значеннях параметра λ , що може виражати або швидкість, або прискорення, величина Φ_R однакова для трьох розглянутих характеристик:

$$\Phi_R > 0; \quad \Phi_R = 0; \quad \Phi_R < 0.$$

Характеристики $\Phi_R(\lambda)$ істотно різняться зі збільшенням поперечного прискорення, тобто зі зростанням λ .

Найкращими з погляду керованості є характеристики $\Phi_R < 0$. У цьому випадку запас недостатньої обертаності зменшується більш плавно. Однак і в цьому випадку при деяких значеннях узагальненої функції зчеплення (Φ_φ) втрата недостатньої керованості може бути дуже інтенсивною.

Під час руху водій автотранспорту може визначити таке значення параметра λ (поперечного прискорення), при перевищенні якого стійкість автотранспорту миттєво знижується і керувати ним стає важко.

Слід відзначити, що характеристика $\Phi_R > 0$ незадовільна за керованістю. Всупереч тому, що запас недостатньої обертаності при малих значеннях параметра λ зростає, при значних поперечних прискореннях (λ) відбувається його різке зниження. При цьому водієві важко пристосуватися до керування автотранспортом.

Найкращою з розглянутих у діапазоні малих та середніх поперечних прискорень (λ) є характеристика $\Phi_R = 0$. При великих значеннях параметра λ вказана характеристика буде найгіршою внаслідок різкого зниження запасу недостатньої обертаності.

У якийсь момент збільшення поперечного прискорення у водія не залишиться часу, щоб пристосуватися до автотранспорту з такою зміною характеристики. При цьому автотранспорт з характеристикою $\Phi_R = 0$ менш безпечний, ніж із характеристикою $\Phi_R < 0$.

Висновки

Оцінку працездатності автотранспорту в системі «автомобіль – місцевість» та підтримку мобільності автотранспорту (за умови: $\lambda_p = \text{var}$, $\lambda_k = \text{const}$, $\lambda_g = \text{const}$, $\lambda_s = \text{const}$) можна виразити через такі критерії:

1. Керування рухом визначається з урахуванням заводської конструкції автотранспорту та специфічних умов його експлуатації.
2. Оптимальна конструкція автотранспорту розробляється для заданих умов експлуатації та обраних режимів управління рухом.
3. Ключові характеристики умов експлуатації визначаються з урахуванням заводської конструкції автотранспорту, специфічних експлуатаційних умов та вибраних режимів управління рухом.
4. Для конкретних умов експлуатації, вибраних режимів управління та оптимальної конструкції автотранспорту визначаються найбільш ефективні режими навантаження вантажної платформи.

Критерії для вирішення завдань, що пов'язані з підтримкою працездатності автотранспорту, вказують на необхідність переходу до системи забезпечення працездатного стану автотранспорту в конкретних експлуатаційних умовах, що потребує подальших досліджень.

Список використаної літератури

1. Положення про технічне обслуговування і ремонт дорожніх транспортних засобів автомобільного транспорту. Наказ МТУ № 102 від 30.03.98. м. Київ.
2. Полянський А. С., Нестеренко А. А., Молодан А. А. [та ін.]. Принципи та структура адаптивної системи технічного обслуговування та ремонту автотракторної техніки. *Вісник ХНТУСГ*. 36. наук. тр. ХНТУСГ, 2005. № 40. С. 110–117.
3. ДСТУ 3587–97. Безпека дорожнього руху. Автомобільні дороги, вулиці та залізничні переїзди. Вимоги до експлуатаційного стану. Київ. Держстандарт України.
4. Про затвердження Правил охорони праці під час експлуатації об'єктів циклічно-потоккової технології відкритих гірничих робіт, Міністерство соціальної політики України, наказ № 1524 від 22.09.2017, м. Київ.
5. Бажинов А. В. Прогноз та управління в системі ТО та ремонту автомобілів. *Вісник ХДАДТУ*. Харків, 2000. №. 12–13. С. 34–37.

6. Літвинов, О. І. Фізико-хімічні процеси на дорогах при дощах та вплив на ефективність гальмування. *Вісник дорожнього транспорту*, 2022. 10, С. 88–95.
7. Подрігало 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. Степанов О. В., Лемішко Д. С. Вантажний автотранспорт як складна технічна система. *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. 257–260.
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. Хітров І. О. Дослідження впливу конструктивної надійності і безпечності транспортного засобу для здійснення перевезень та пристосованості до технічного обслуговування. *Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки*. Кропивницький, 2024. С. 214–222.
11. Stepanov A. V. Motor vehicle safety (2015) Wydawca: Sp. z o.o. “Nauka i Studia”, seria: Techniczne nauki, Przemysł, Poland., NR 5(136). P. 32–38.
12. C. Jotin Khisty, B. Kent Lall. (2016) Transportation Engineering. Pearson India., 840 p. ISBN 9332587647, 9789332587649.

References

1. Regulation on maintenance and repair of road vehicles of road transport, Order of the Ministry of Transport of Ukraine No. 102 of March 30, 1998, (1998). Kyiv [in Ukrainian].
2. Polianskyi A. A., Nesterenko A. A., Molodan A. A [and others]. (2005). Principles and structure of the adaptive system of maintenance and repair of motor vehicles. *Bulletin of the KhNTUSG Collection of scientific papers*. KhNTUSG. No. 40. 110–117 [in Ukrainian].
3. DSTU 3587-97. (1997). Road traffic safety. Highways, streets and railroad crossings. Requirements for operational condition. Kyiv. State Standard of Ukraine [in Ukrainian].
4. On Approval of the Rules for Occupational Safety and Health during the Operation of Cyclic-Flow Technology of Open-Pit Mining, Ministry of Social Policy of Ukraine, Order No. 1524 of September 22, 2017. (2017). Kyiv [in Ukrainian].
5. Bazhynov A. V. (2000) Forecast and management in the system of maintenance and repair of cars. *Bulletin of the KhDADTU*. Kharkiv. No. 12–13. 34–37 [in Ukrainian].
6. Litvinov O. I. (2022) Physical and chemical processes on roads in the rain and their impact on braking efficiency. *Bulletin of Road Transport*. 10, 88–95 [in Ukrainian].
7. Podrihalo M. A., Kukhtov V. G., Polianskyi A. S. (2000) Ensuring the reliability of automotive and tractor equipment by adaptive methods of maintenance and repair. *Automobile transport*. Kh.: KhDADTU. Issue 4. 49–51 [in Ukrainian].
8. Stepanov O. V., Lemishko D. S. (2024) Freight transport as a complex technical system. *Power plants and alternative energy sources*: a collection of abstracts and supplementary international conference, March 11–12. 2024 / Ministry of Education and Science of Ukraine, Kharkiv National Automobile and Highway University – Kharkiv : FOP Brovin O. V. 257–260 [in Ukrainian].
9. Stepanov O. V., Volobueva T. V. (2024) Adaptive system of vehicle maintenance. *Road 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. 129–132 [in Ukrainian].
10. Khitrov I. O. (2024) Study of the influence of constructive reliability and safety of the vehicle for transportation and adaptability to maintenance. *Central Ukrainian Scientific Bulletin. Technical sciences*. Kropyvnytskyi. 214–222 [in Ukrainian].
11. Stepanov A. V. Motor vehicle safety (2015) Wydawca: Sp. z o.o. “Nauka i Studia”, seria: Techniczne nauki, Przemysł, Poland., NR 5(136). P. 32–38.
12. C. Jotin Khisty, B. Kent Lall. (2016) Transportation Engineering. Pearson India., 840 p. ISBN 9332587647, 9789332587649.