

УДК 629.113.004



І. К. Шаша



О. О. Путро

## ШЛЯХИ ПІДВИЩЕННЯ ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ ЕФЕКТИВНОСТІ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ВАНТАЖНИХ АВТОМОБІЛІВ

*У статті розглянуто актуальне питання визначення шляхів підвищення техніко-економічних показників ефективності вантажних автомобілів завдяки досягненню високого рівня працездатності, що підтримується експлуатаційною надійністю, зниженням витрат на технічне обслуговування і ремонт. Доведено, що ефективність експлуатації автопоїзда залежить від підвищення продуктивності шляхом збільшення вантажопідйомності та середньої швидкості руху.*

*К л ю ч о в і с л о в а : ефективність, автопоїзд, швидкість руху, умови експлуатації, продуктивність, діагностика, відмова, прибуток, витрати.*

**Постановка проблеми.** Одним із основних шляхів підвищення ефективності експлуатації автомобільного транспорту є збільшення його вантажопідйомності. В умовах обмежень осевих навантажень цього можливо досягти завдяки широкому використанню автопоїздів, які відіграють важливу роль, зокрема у забезпеченні міжнародних зав'язків України.

Автопоїзди характеризуються високими техніко-економічними показниками, як-от: вантажопідйомність, швидкість та ефективність використання власної маси і потужності, що дозволяє їх експлуатувати з великою інтенсивністю. Однак зростання навантажень призводить до підвищення напружень у всіх деталях, вузлах і агрегатах, а це може бути причиною відмов та несправностей, які знижують ефективність використання автопоїздів.

Для ефективного вирішення проблеми використання автопоїздів необхідне впровадження комплексного наукового підходу, який дозволить визначити шляхи підвищення ефективності експлуатації.

Одним із таких шляхів є використання інформації, отриманої під час діагностики параметрів механізмів, вузлів, агрегатів і систем автопоїздів.

Автомобільний транспорт як важлива складова транспортної системи України займає особливе місце через специфіку виконання транспортних робіт та значення кінцевого результату. У зв'язку з цим перед автотранспортною галуззю України постають складні завдання організації перевезень.

У такому контексті важливе завдання економіки України не може бути вирішене без ефективного використання рухомого складу з підвищеною вантажопідйомністю. Це підтверджується досвідом провідних країн світу та передових вітчизняних підприємств автомобільного транспорту [1].

Автопоїзди мають потенціал для досягнення високих техніко-економічних показників, які значно перевищують показники окремих автомобілів великої вантажопідйомності. У подібних експлуатаційно-дорожніх умовах продуктивність автопоїзда у 1,5-2,0 рази вища, ніж у відповідного одиночного автомобіля [2].

Продуктивність автопоїзда може бути підвищена завдяки організації перевезень за прогресивними методами, характерними для цього типу рухомого складу, наприклад, тягові, човникові, контейнерні та контейлерні перевезення.

Автопоїзди мають низку переваг:

- меншу питому вагу, це означає, що вага на одиницю вантажопідйомності є нижчою;
- нижчу собівартість серійного виробництва причепів і напівпричепів, порівнюючи з автомобілями, які мають аналогічну вантажопідйомність;
- значно більшу питому площу кузова;
- зменшені капіталовкладення в будівництво зон зберігання;

– менші питомі витрати (на одиницю вантажопідйомності) на технічне обслуговування та ремонт, а також на робочу силу і матеріали;

– знижені витрати (на одиницю транспортної роботи) на паливно-мастильні матеріали.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Завдяки високим техніко-економічним показникам собівартість перевезень автопоїздами знижена до 25-30 % від вартості перевезень одиночними автомобілями [3, 4].

Світові досягнення в автомобільному транспорті у сфері вдосконалення автопоїздів є вражаючими.

Повна маса автопоїздів сягає 130 т при габаритній довжині майже 60 м. Потужність тягачів зросла до 368 кВт (497 к. с.) – MAN D 2840 LF 01, питома витрата пального знизилася до 190 г/кВт·год (141 г/кВт·год) – DAF WS 295 АТІ тощо.

Автопоїзд SCANIA R 143/450 повною масою 40 т споживає 33,4 л/100 км палива при середній швидкості руху  $V_{cp}=71,6$  км/год і 23,8 л/100 км при  $V_{cp}=90$  км/год.

Чотириланковий автопоїзд, який використовується в Австралії для перевезення рідкого палива (90 000 л), протягом 18 год безперервного руху проходить маршрут довжиною 1580 км. Автопоїзд сформовано з тривісного автомобіля-тягача Mercedes-Benz 2244 з номінальною потужністю 342 кВт (465 к. с.) і трьох напівпричепів. Загальна довжина автопоїзда становить близько 50 м, повна маса – 115 т. Ресурс європейських автопоїздів становить 1 млн км пробігу, американських – 1 млн миль (1,6 млн км) і більше [5, 6].

Варто підкреслити, що в інших країнах автопоїзди використовуються з великою інтенсивністю. Деякі провідні компанії на європейському ринку міжнародних автомобільних перевезень забезпечують експлуатацію вантажних автомобілів з інтенсивністю від 400 тис. км до 900 тис. км на рік [7, 8].

**Метою статті** є визначення шляхів підвищення техніко-економічних показників ефективності вантажних автомобілів завдяки досягненню високого рівня працездатності, що підтримується експлуатаційною надійністю, зниженням витрат на технічне обслуговування і ремонт.

**Виклад основного матеріалу.** Основним напрямом розвитку використання автопоїздів є подальше підвищення їхньої робочої ефективності, що визначається співвідношенням між отриманим ефектом і витратами на його досягнення [9]. Ефективність підприємства, яке експлуатує автопоїзди, можна оцінити за допомогою техніко-економічного коефіцієнта корисної дії (ККД)

$$\eta_{T-Э} = П/Д = 1 - В/Д,$$

де П – прибуток, грн;

Д – дохід, грн;

В – витрати, грн.

Критерієм ефективності функціонування автопоїзда може бути комплексний показник – умовна питома продуктивність, що є аналогом коефіцієнта корисної дії [6]

$$W_Q = G_a \cdot V_{cp}/Q_S, \quad (1)$$

де  $G_a$  – повна маса автомобіля;

$V_{cp}$  – середня швидкість руху;

$Q_S$  – середня витрата палива.

Експлуатаційна ефективність описується у вигляді виразу [6, 7]

$$T = f(Q, V_p, H, G, L, v, G_{p,m}, T_p, N, V_{max}), \quad (2)$$

де  $Q$  – пасажиромісткість;

$V_p$  – швидкість руху на маршруті;

$H$  – дорожні умови;

- $G$  – повна маса транспортного засобу;  
 $L$  – довжина маршруту;  
 $V$  – габаритний об'єм транспортного засобу;  
 $G_{pm}$  – загальні витрати на експлуатаційні матеріали;  
 $T_p$  – загальний ресурс до капітального ремонту;  
 $V_{max}$  – максимальна швидкість руху.

Техніко-експлуатаційна ефективність, якість і економічна ефективність мають тісний взаємозв'язок. Їхній рівень визначається однаковими показниками, що стосуються різних експлуатаційних (тягово-швидкісних характеристик, гальмівних властивостей, керованості, маневреності, плавності ходу, прохідності) і споживчих (економічності, надійності, екологічності, ергономічності) характеристик автопоїзда [9]. Отже, ефективність експлуатації автопоїзда залежить від підвищення продуктивності, що досягається завдяки збільшенню вантажопідйомності та середньої швидкості руху, при цьому необхідно забезпечити економічність і безпеку руху.

При інтенсивному використанні автопоїздів досягнення високого рівня їхньої працездатності можливе завдяки експлуатаційній надійності, а також зменшенню витрат на технічне обслуговування і ремонт. Це забезпечується ефективною організацією системи технічного обслуговування та ремонту, а також ліцензуванням і сертифікацією транспортних засобів [1]. Удосконалення організаційних форм і систем управління технічним обслуговуванням і ремонтом автопоїздів з використанням нових інформаційних технологій і моделювання дозволяє зменшити витрати на ТО і ремонт, що своєю чергою сприяє зниженню собівартості транспортних послуг.

Найбільш досконалою є система обслуговування автомобільної техніки за станом, яка передбачає обов'язкове використання сучасного діагностичного обладнання як стаціонарного, так і портативного. Більшість автомобілів, що випускаються провідними європейськими та американськими концернами, оснащені вбудованими бортовими системами діагностування, які регулюють процес профілактичного обслуговування з урахуванням умов експлуатації. На практиці використовуються різні види діагностування (див. рис. 1).

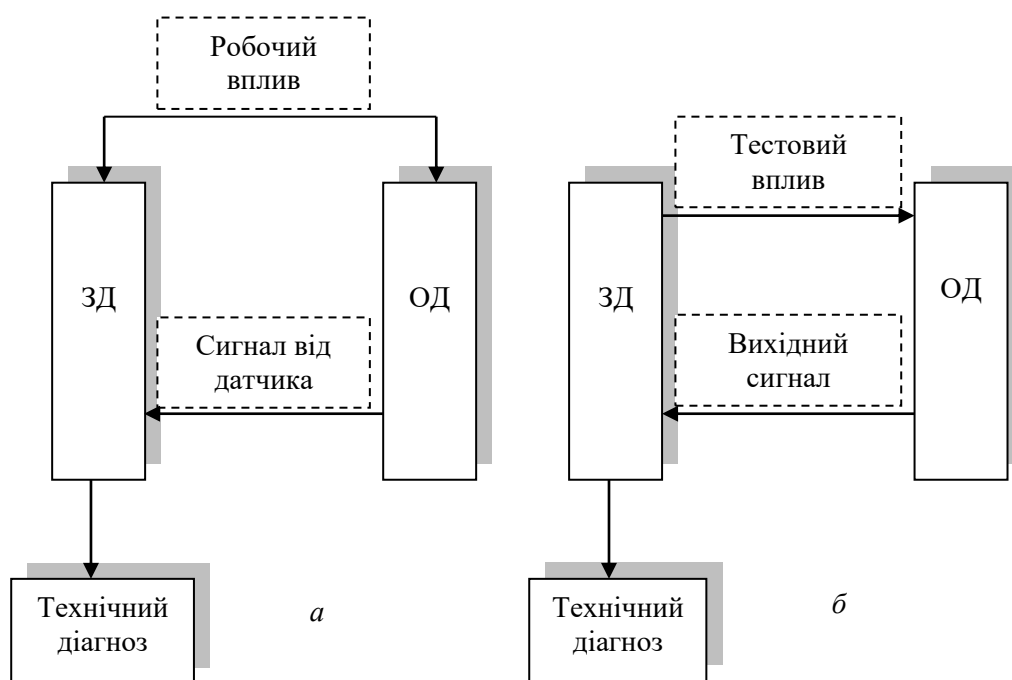
Функціональне діагностування здійснюється в робочому режимі об'єкта. Впливи з боку засобів діагностування відсутні. В цьому і полягає його відмінність від тестового діагностування. Функціональне діагностування є системою контролю, а система тестового діагностування є специфічною системою управління, поведінка якої визначається розробленим алгоритмом діагностування.

При тестовому діагностуванні на об'єкт (автомобіль, агрегат) подаються спеціальні тестові сигнали. Цей вид діагностування використовується тоді, коли необхідно перевірити справність функціонування або визначити дефект, який впливає на працездатність об'єкта, що перевіряється. Функціональне діагностування застосовується для перевірки роботи чи пошуку дефекту даного об'єкта.

При діагностуванні реалізуються спеціальні алгоритми, що складаються з елементарних перевірок. Остаточний діагноз встановлюється за отриманими результатами елементарних перевірок.

В Україні наразі найбільш поширеною є середньостатистична система. Це традиційна система ТО і Р за напрацюванням, у якій використовується математичний апарат теорії ймовірності та математична статистика. Вони дозволяють встановити для автомобілів середньостатистичні норми пробігу і трудомісткості їх технічних впливів, які потім за допомогою застосування низки коефіцієнтів коригування використовуються для конкретного виду транспортного засобу.

Основний недолік такої системи полягає у тому, що значна частина ресурсу техніки не використовується, і вона має велику вартість проведення технічного обслуговування та ремонту. Наприклад, ця система ефективна для тих вузлів і деталей автомобіля, від яких залежить безпека його руху [10].



*а* – функціональне; *б* – тестове; ЗД – засіб діагностування;  
ОД – об’єкт діагностування

Рисунок 1 – Види діагностування

Удосконалена система обслуговування за напрацюванням повинна складатися з трьох блоків, кожен з яких виконує певну функцію. Перший блок – інформаційний, є спеціалізованою базою даних. Другий блок – модельний, об’єднує моделі трьох рівнів: періодичності технічного обслуговування, напрацювань до проведення попереджувальних ремонтів і напрацювань до капітального ремонту. Третій блок – спеціалізована база застосунків, які реалізують безпосередні процедури формування ремонтно-профілактичних стратегій. Однак це не є вичерпним переліком. Він лише відображає основний напрям розвитку алгоритмів моделювання стратегій профілактичного та ремонтного управління станом рухомого складу автопоїздів.

У технічному та технологічному аспектах постає задача створення поетапної діагностичної системи, інформація якої слугує для прогнозування та управління режимами профілактичного відновлення працездатності та функціональної надійності автопоїздів [11].

Сучасний автосервіс ґрунтується на принципі, що виробник несе відповідальність за підтримання працездатності своєї продукції протягом усього терміну її використання. Такий підхід сприяє підвищенню ефективності експлуатації автомобільного транспорту та зменшенню витрат на перевезення [12].

Процес зношування компонентів тягача (причіпного складу) зазвичай не підлягає безпосередньому спостереженню. Проте завжди існують діагностичні параметри, які відображають ступінь зношування і можуть бути виявлені та виміряні за допомогою приладів. Автори вважають, що за допомогою діагностичних засобів можна оцінити процес зниження працездатності причепа без необхідності розбирання механізму, вузла чи з’єднання деталей. Ці чотири умови визначають параметри зміни працездатності (втрату або відновлення), які можуть бути використані для управлінських цілей [9].

Модель управління працездатністю розроблена з припущенням (без втрати загальності), що нормативний параметр працездатності набуває значення в одиничному відрізку  $S=[0,1]$  і поданий множиною станів  $E = S \times \{0,1\}$ , де 0 означає відсутність відмови, а 1 – її наявність.

Оскільки безперервне діагностування стану причіпного складу є практично неможливим і організаційно недоцільним, будемо контролювати його працездатність з певною періодичністю  $T$  [9]. Управління працездатністю полягає у такому: якщо під час діагностування виявлені тенденція до її

зниження або небезпечний рівень втрати працездатності (передвідмовний стан), то рівень працездатності підвищується шляхом застосування відповідних впливів  $Y$  (тобто  $U_1, U_2, \dots, U_6$ ). Ці впливи були заздалегідь визначені експериментальним шляхом.

Оскільки процес втрати працездатності є стохастичним, результати застосування управлінь  $Y \in Y$ , які будуть розглянуті на наступному етапі діагностики, є неоднозначними, випадковими і можуть бути схарактеризовані сімейством умовних розподілів

$$Q(dx/x, Y, \tau); x \in E; Y \in Y; \tau \in \theta, \quad (3)$$

де  $\theta$  – параметри середовища (умови експлуатації: дорожні, транспортні, погодно-кліматичні та культура експлуатації).

Для однозначного завдання перехідної функції  $Q$  використовуємо модель керованого процесу втрати працездатності складної системи.

Застосування впливів  $Y \in Y$  у стані  $x \in E$  супроводжується доходом (функціонал  $W$ ). Для практичних цілей вважатимемо, що  $W(x, y, \tau)$  – дохід, одержуваний унаслідок застосування управління  $Y \in Y$  у стані  $x \in E$ . Корисність управлінь працездатністю причепа (напівпричепа) описують у такий спосіб:

$$W(x, y, \tau) = \begin{cases} v\xi(x, y, \tau) - [C_0 + C_1(x, y)], & x \in E_0 \\ -[C_0 + C_1(x + y)] + C_2(x), & x \in E_1 \end{cases}, \quad (4)$$

де  $E_0$  – множина станів без відмов ( $E_1, \dots, E_3$ );

$E_1$  – множина станів за наявності відмов ( $E_4, E_5$ );

$v$  – інтенсивність прибутку, грн/тис. км;

$C_0$  – вартість діагностування, грн;

$C_1(x, y)$  – вартість використання впливів, грн;

$C_2(x)$  – штраф (збитки, витрати) внаслідок відмови;

$\xi(x, y, \tau) = M\{\xi(x, y, \tau)\} \xi = \min(\xi, \tau) \dots$  – середній пробіг до відмови за умови здійснення впливів з періодичністю  $\tau$ , тис. км.

Композиція отриманих об'єктів  $\{E, Y, Q, \theta, W\}$  визначає модель керування працездатністю автопоїзда. І, нарешті, введемо правило вибору керуючих впливів  $Y \in Y$  як відображення  $E \rightarrow Y$ . Це правило є стратегією управління працездатністю причепа. З математичного погляду відображення  $E \rightarrow Y$  – вирішальна функція, послідовність  $(\pi_0, \pi)$  – стратегія, що визначає правило вибору управлінь у кожен момент пробігу  $l = 0, 1, \dots$

Стратегія  $\pi$  у період  $\tau$  визначає середній виграш, розглянутий на достатньо великому проміжку пробігу  $L$  ( $\pi$  – стаціонарна стратегія):

$$V(\pi^\infty)(x) = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1}{n} M^{(\pi, \tau)} \sum_{l=0}^{n-1} (X_l, Y_l, \tau), \quad x \in E. \quad (5)$$

Розроблення та впровадження програмного забезпечення для оперативного управління працездатністю здійснюється в такій послідовності: створення та тестування програм для обчислення оптимальних стратегій управління (системами, підсистемами та елементами); чисельне розв'язання задач синтезу оптимальних режимів управління працездатністю систем, підсистем і елементів транспортних засобів.

### **Висновки**

1. Розроблення теоретичних основ і методологічних принципів забезпечення працездатності автопоїздів є ключовим аспектом управління ефективністю функціонування транспортної інфраструктури, що сприяє вдосконаленню перевізного процесу.

2. Ефективна та безпечна експлуатація автопоїздів має бути забезпечена на всіх етапах їх життєвого циклу і залежати від надійності конструкції та працездатності в різних умовах експлуатації.

3. Основним напрямом підвищення ефективності автопоїздів є їх продуктивність, яка залежить від багатьох факторів, зокрема від надійності, що враховує кількість робочих днів на рік та час, витрачений на технічне обслуговування і ремонт.

### **Перелік джерел посилання**

1. Автомобільний транспорт України: стан, проблеми, перспективи розвитку : монографія / за заг. ред. А. М. Редзюка. Київ : ДП «ДержавотрансНДПроект», 2005. 400 с.

2. Порівняння техніко-експлуатаційних характеристик автомобільних тягачів. Sterling displays a light touch / Mod. Bulk Transport / 2000 G2. № 1. С. 108.

3. До порівняльної оцінки дво- і триланкових автопоїздів / Сахно В. П., Глінчук В. М., Кузнєцов Р. М., Лотиш В. В. *Автошляховик України*. 2006. № 5. С. 14–17.

4. Рудзінський В. В., Брегіда Ф. М. До побудови моделі експлуатаційної ефективності дорожнього транспортного засобу. *Автошляховик України. Окремий випуск*. 2005. С. 77–79.

5. Інструкція з технічної експлуатації SCHMITZ – ANHANGEN. Fahrzeugbau – Gesellschaft mbH & Co, 2018. 63 с.

6. Припис з технічного догляду за осями причепів та комплектними мостами. Bergische Achsenfabrik, Fr. Kotz & Sohne, 2018. 28 с.

7. The road haulage business in Sweden. Danderyd, the Sweden road haulage Association, 2020. 22 p.

8. Trucking in the USA. The view from the American Trucking Association. San-Diego, IRU, 2020. 16 p.

9. Кравченко А. П., Лесничевский А. А. Проблемы обеспечения экономного и безопасного функционирования автопоездов в условиях риска. *Університет і регіон : мат-ли VIII міжнар. наук.-практ. конф.*, м. Луганськ, 25 – 26 груд. 2002 р. Луганськ, 2002. С. 76–77.

10. Шаша І. К., Цебрюк І. В., Мануйлов В. М. Теоретичні основи побудови адаптивної системи технічного обслуговування і ремонту військової техніки Національної гвардії України. *Збірник наукових праць Національної академії Національної гвардії України*. Харків, 2022. Вип. 1 (39). С. 42–46.

11. Шаша І. К., Кудімов С. А. Шляхи підвищення ефективності використання автобронетанкової техніки підрозділами Національної гвардії України. *Збірник наукових праць Національної академії Національної гвардії України*. Харків, 2017. Вип. 1 (29). С. 77–80.

12. Шаша І. К., Шаша Л. І. Створення моделі управління собівартістю транспортної продукції. *Стратегія інноваційного розвитку економіки: бізнес, наука, освіта (SIDEC 2013)* : зб. мат-лів V ювілейної міждисциплінарн. наук.-практ. конф., м. Алушта, 26-30 трав. 2013 р. Алушта, 2013. С. 146–149.

*Стаття надійшла до редакції 26.04.2025 р.*

**UDC 629.113.004**

**I. Shasha, O. Putro**

### **WAYS TO IMPROVE THE TECHNICAL AND ECONOMIC PERFORMANCE INDICATORS OF FREIGHT VEHICLE OPERATION EFFICIENCY**

*The article addresses the pressing issue of enhancing the technical and economic performance indicators of the operation of freight vehicles, particularly road trains, which play a pivotal role in Ukraine's transport system, especially in the context of international transportation. The study explores key methods for increasing the productivity of road trains by enhancing their load capacity and average travel speed, which contributes to reducing the cost of transport services. Emphasis is placed on the need to ensure a high level*

*of vehicle operational reliability, reducing expenses on maintenance and repairs. The advantages of road trains are analyzed, including lower specific weight, reduced production costs for trailers and semi-trailers, decreased fuel and lubricant consumption, and lower capital investments in storage infrastructure. The implementation of modern diagnostic systems, such as functional and test diagnostics, is proposed to monitor the condition of mechanisms and components. This enables the timely detection of pre-failure conditions, reducing the number of malfunctions and improving operational efficiency. A comprehensive scientific approach is suggested, encompassing the improvement of organizational forms of maintenance, the use of information technologies, and modeling for managing the operational condition of road trains. It is demonstrated that progressive transportation methods, such as traction, shuttle; shuttle, and container transport, increase the productivity of road trains by 1.5–2 times compared to single vehicles. The adoption of these approaches results in a 25–30% reduction in transportation costs, as evidenced by the practices of leading countries. The article's conclusions highlight the importance of integrating modern technologies and management strategies to achieve economic efficiency and safety in the operation of freight transport.*

*К e y w o r d s : efficiency, road train, travel speed, operating conditions, productivity, diagnostics, failure, profit, costs.*

**Шаша Ігор Костянтинівич** – доктор технічних наук, професор, професор кафедри автомобільної техніки Національної академії Національної гвардії України.

<http://orcid.org/0000-0001-7549-3119>

**Путро Олександр Олександрович** – старший викладач кафедри логістики підрозділів Національної академії Національної гвардії України.

<http://orcid.org/0000-0002-3433-4637>