

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ



ТАВРІЙСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ
АГРОТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ДМИТРА МОТОРНОГО



DMYTRO MOTORNYYI TAVRIA STATE
AGROTECHNOLOGICAL UNIVERSITY



НАУКОВИЙ ВІСНИК
Таврійського державного
агротехнологічного університету
Технічні науки

SCIENTIFIC BULLETIN OF TAVRIA STATE
AGROTECHNOLOGICAL UNIVERSITY
Technical sciences

Виходить 2 рази на рік
Видається з 2011 р.

Випуск 16, том 1
Issue 16, volume 1

WEB: <https://oj.tsatu.edu.ua>

DOI: 10.32782/2220-8674-2026-16-1



Видавничий дім
«Гельветика»
2026



УДК [631.3+621.3+004+663/664]

Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету: електронне наукове фахове видання. / ТДАТУ; гол. ред. д.т.н., проф. В. М. Кюрчев. – Запоріжжя: ТДАТУ, 2026. Вип. 16, т. 1. 368 с.

ISSN 2220-8674

Представлені результати наукових досліджень вчених у галузях галузевого машинобудування, енергетики, електротехніки, електромеханіки, харчових технологій, комп'ютерних наук та інформаційних технологій.

Видання призначене для наукових працівників, викладачів, інженерно-технічного персоналу і здобувачів вищої освіти, які спеціалізуються у відповідних або суміжних галузях науки та напрямках виробництва.

Реферативні бази: Crossref, Google Scholar, «Україна наукова», НБУ ім. В. І. Вернадського

Головний редактор

Надикто Володимир Трохимович, доктор технічних наук, професор, професор кафедри експлуатації та технічного сервісу машин, Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного, Україна

Editor in chief

Nadykto Volodymyr, Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Operation and Technical Service of Machines, Dmytro Motornyi Tavria State Agrotechnological University, Ukraine

Заступники головного редактора

Кувачов Володимир Петрович, доктор технічних наук, професор, декан механіко-технологічного факультету, Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного, Україна

Deputy editors in chief

Kuvachov Volodymyr, Doctor of Technical Sciences, Professor, Dean of the Faculty of Mechanics and Technology, Dmytro Motornyi Tavria State Agrotechnological University, Ukraine

Редакційна колегія

Артьомов Микола Прокопович, доктор технічних наук, професор, професор кафедри агроінженерії, Державний біотехнологічний університет, Україна

Artyomov Mykola, Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Agro-Engineering, State Biotechnological University, Ukraine

Братішко Вячеслав Вячеславович, доктор технічних наук, професор, декан механіко-технологічного факультету, Національний університет біоресурсів і природокористування України, Україна

Bratishko Vyacheslav, Doctor of Technical Sciences, Professor, Dean of the Faculty of Mechanics and Technology, National University of Life Resources and Environmental Management of Ukraine, Ukraine

Данченко Олена Олександрівна, доктор сільськогосподарських наук, професор, професор кафедри харчових технологій та готельно-ресторанної справи, Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного, Україна

Danchenko Olena Olexandrivna, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Professor of Food Technology and Hotel and Restaurant Business Department, Dmytro Motornyi Tavria State Agrotechnological University, Ukraine

Дідора Віктор Григорович, доктор сільськогосподарських наук, професор, професор кафедри технологій рослинництва, Поліський національний університет, Україна

Didora Viktor Grygorovych, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Professor of the Department of Plant Production Technologies, Polissia National University, Ukraine

Дробітько Антоніна Вікторівна, доктор сільськогосподарських наук, професор, проректор з наукової роботи, Миколаївський національний аграрний університет, Україна

Drobotko Antonina, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Vice-Rector for Research, Mykolaiv National Agrarian University, Ukraine

Іванова Ірина Євгенівна, кандидат сільськогосподарських наук, доцент, декан факультету агротехнологій та екології, Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного, Україна

Ivanova Iryna, Candidate of Agricultural Sciences, Associate professor, Dean of the Faculty of Agricultural Technologies and Ecology, Dmytro Motornyi Tavria State Agrotechnological University, Ukraine

Кучменко Олена Борисівна, доктор біологічних наук, професор, завідувач кафедри біології, професор, Ніжинський державний університет імені Миколи Гоголя, Україна

Kuchmenko Olena Borysivna, Doctor of Biological Sciences, Professor, Head of the Department of Biology, Nizhyn Mykola Gogol State University, Ukraine

Кюрчев Володимир Миколайович, доктор технічних наук, професор, професор кафедри експлуатації та технічного сервісу машин, Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного, Україна

Kyurchev Volodymyr Mykolayovych, Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor in the Department of Machine Operation and Technical Service, Dmytro Motornyi Tavria State Agrotechnological University, Ukraine

Мойсієнко Віра Василівна, доктор сільськогосподарських наук, професор, професор кафедри технологій у рослинництві, Поліський національний університет, Україна

Moisiienko Vira Vasylivna, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Professor of the Department of Plant Production Technologies, Polissia National University, Ukraine

Прісс Олеся Петрівна, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри харчових технологій та готельно-ресторанної справи, Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного, Україна

Priss Olesia, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of Food Technology and Hotel and Restaurant Business Department, Dmytro Motornyi Tavria State Agrotechnological University, Ukraine

Сердюк Марина Єгорівна, доктор технічних наук, професор, професор кафедри стандартизації та сертифікації сільськогосподарської продукції, Національний університет біоресурсів та природокористування України, Україна

Serdyuk Marina, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Professor of the Department of Standardization and Certification of Agricultural Products, National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Ukraine

Скляр Олександр Григорович, кандидат технічних наук, професор, завідувач кафедрою «Експлуатація та технічний сервіс машин», Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного, Україна

Skliar Oleksandr, Candidate of Technical Sciences, Professor, Head of Department of Machine Operation and Technical Service, Dmytro Motornyi Tavria State Agrotechnological University, Ukraine



Бастабаєва Шолпан (Bastaubaeva Sholpan Orazovna), кандидат сільськогосподарських наук, академік Національної академії аграрних наук Республіки Казахстан, професор, голова правління, Казахський науково-дослідний інститут сільського господарства та рослинництва, Казахстан
Белоєв Христо Іванов (Beloev Hristo Ivanov), доктор технічних наук, професор, професор кафедри сільськогосподарських машин, Русенський Університет «Ангел Канчев», Болгарія
Чил Абдулла (Abdullah Çil), доктор філософії, дослідник, Науково-дослідний інститут біологічного контролю, Туреччина
Фіндура Павол, доктор філософії, професор, професор кафедри механізації сільськогосподарського та лісгосподарського виробництва, проректор з комунікацій та практики, Словачський університет сільського господарства в Нітрі, Словачія
Ольт Юрі, доктор технічних наук, професор, професор кафедри інженерії біосистем, Естонський університет природничих наук, Естонія
Озкан Хакан (Hakan Özkan), доктор філософії, професор, професор кафедри польових культур, Університет Чукурови, Туреччина
Паскуцці Сімонє (Pascuzzi Simone), доктор філософії, професор, доцент кафедри агроекологічних та територіальних наук, Університет Bari Aldo Moro, Італія

Bastaubaeva Sholpan Orazovna, Candidate of Agricultural Sciences, Academician of the National Academy of Agrarian Sciences of the Republic of Kazakhstan, Professor, Chairman of the Board, Kazakh Scientific Research Institute of Agriculture and Crop Production, Kazakhstan
Beloev Hristo Ivanov, Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Agricultural Machinery, "Angel Kanchev" University of Ruse, Bulgaria
Abdullah Çil, Doctor of Philosophy (PhD), Researcher, Biological Control Research Institute, Turkey
Findura Pavol, Doctor of Philosophy (PhD), Professor, Professor of the Department of Mechanization of Agricultural and Forestry Production, Vice-Rector for Communication and Practice, Slovak University of Agriculture in Nitra, Slovakia
Olt Jüri, Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Biosystems Engineering, Estonian University of Life Sciences, Estonia
Hakan Özkan, Doctor of Philosophy (PhD), Professor, Professor of Field Crops Department, University of Çukurova, Turkey
Pascuzzi Simone, Doctor of Philosophy (PhD), Professor, Associate Professor of the Department of Agroecological and Territorial Sciences, University of Bari Aldo Moro, Italy

**НАУКОВИЙ ВІСНИК
Таврійського державного
агротехнологічного університету**

Випуск 16, том 1

Засновник

Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного

Заснований у 2011 році

Рішення Національної ради України з питань телебачення і радіомовлення № 2623 від 04.12.2025 року.

Ідентифікатор медіа: R 40-06698

Суб'єкт у сфері онлайн-медіа – Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного (просп. Богдана Хмельницького, буд. 18, м. Мелітополь, Запорізька обл., 72312, office@tsatu.edu.ua,

тел. (099) 614-83-02)
Виходить 2 рази на рік

Рекомендовано до публікації вченою радою Таврійського державного агротехнологічного університету імені Дмитра Моторного
Протокол № 9 від 28.04.2026 р.

«Науковий вісник ТДАТУ» включено до **Категорії В** Переліку наукових фахових видань України (технічні науки) на підставі Наказів МОН України від 17 березня 2020 року № 409 (Додаток № 1); від 2 липня 2020 року № 886 (Додаток № 4); від 24 вересня 2020 року № 1188 (Додаток № 5).

Адреса редакції

Юридична: 72312, Запорізька обл.
м. Мелітополь, пр. Б. Хмельницького, 18
Фактична: 69600, Запорізька обл. м. Запоріжжя,
вул. Жуковського, 66
<https://oj.tsatu.edu.ua>,
DOI: 10.32782/2220-8674-202026-16-1

**SCIENTIFIC BULLETIN OF TAVRIA STATE
AGROTECHNOLOGICAL UNIVERSITY**

Issue 16, volume 1

Founder

Dmytro Motornyi Tavria State
Agrotechnological University

Founded in 2011

Decision of the National Council of Ukraine
on Television and Radio Broadcasting No. 2623 of 04.12.2025.
Media ID: R 40-06698

Media entity: Dmytro Motornyi Tavria State Agrotechnological
University (ave. B. Khmelnytskyi, 18, Melitopol,
Zaporizhzhia region, 72312, office@tsatu.edu.ua,
tel. (099) 614-83-02)

Published 2 times a year

Recommended for publication by the Academic
Board of Dmytro Motornyi Tavria State
Agrotechnological University
Record No. 9 dated April 28, 2026

Scientific bulletin of TSATU is included in the List of scientific professional editions of Ukraine (technical sciences), **category В** (on the basis of the Orders of the MES of Ukraine dated March 17, 2020 No. 409 (Appendix No. 1); dated July 2, 2020 No. 886 (Appendix No. 4); dated September 24, 2020 No. 1188 (Appendix No. 5).

Address of the Editorial office

Legal adress: 72312, Zaporizhzhia region
Melitopol, 18, B. Khmelnytskyi Ave.
Actual address: 69600, Zaporizhzhia region Zaporizhzhia, 66,
Zhukovskiy Str.
<https://oj.tsatu.edu.ua>,
DOI: 10.32782/2220-8674-202026-16-1

© Таврійський державний агротехнологічний університет
імені Дмитра Моторного, 2026



ЗМІСТ

ГАЛУЗЕВЕ МАШИНОБУДУВАННЯ

І. М. Білоус. Визначення фізико-механічних параметрів зерна пшениці для чисельного моделювання процесу його руйнування.....	10
Р. С. Бровко, А. М. Пугач. Оптимізація конструкції шнекового пресу шляхом чергування зон стиску і перемішування маси в шнековому тракті.....	17
Г. В. Дейниченко, Д. В. Дмитревський, Д. О. Гончар, В. В. Лавренюк. Аналіз закономірностей ультрафільтрації при освітленні соків та визначення напрямів експериментальних досліджень.....	24
Д. П. Журавель, В. В. Дідур, Я. В. Білоконь. Математичне моделювання процесу механічного вилучення олії з насіння ріпичи.....	32
М. Л. Заєць, П. К. Погребніченко. Розробка та експериментальна оцінка ефективності застосування контролера диференційованого внесення добрив в системі точного землеробства.....	48
М. Б. Клендій, А. П. Драган. Оптимізація конструктивних та технологічних параметрів борони з гвинтовими робочими органами.....	62
О. С. Ковязін, А. І. Панченко, І. О. Чижиков, О. О. Дереза, С. В. Дереза. Порівняльна оцінка геотермальної вентиляції та теплового насоса ґрунт-вода для енергозабезпечення тваринницьких приміщень.....	70
Т. О. Кутковецька. Обґрунтування параметрів роботи вібраційного ґрунтообробного знаряддя для обробітку ґрунту.....	79
О. Є. Мацулевич, Ю. В. Лазарчук-Воробйова. Математична модель неперервної інтерполяції спіралеподібної ДПК за допомогою спеціальної функції.....	85
Р. В. Миронов, Л. Л. Веспер. Маркетингове обґрунтування інтегрованого методу термо-аеродинамічної рециркуляції для вискоефективних печей з виробництва піци.....	93
В. Т. Надикто, І. О. Жокін. Дослідження поворотності трактора у складі тримашинного посівного агрегату.....	99
О. А. Новохат, Ю. А. Злоба. Ультразвукова інтенсифікація процесу сушіння каротиновмісної сировини: аналітичний огляд.....	106
І. Ю. Повар, Б. В. Болтянський. Аналіз процесу центрифугування ріцинової олії в конічній центрифугі.....	115
С. В. Сиротюк, О. Г. Скляр, В. В. Пташник, В. В. Климчук, Г. Валовські. Чотирирівнева архітектура інтернету речей для вітроенергетичних систем: моніторинг, оптимізація та інтеграція з мережею.....	123
О. V. Fomin, O. V. Burlutskyi, V. M. Prokhorov, I. M. Hannoshyna, S. M. Shelest. Mathematical model for a comprehensive assessment of the economic impact of operating innovative vehicles across their life cycle.....	138



- С. О. Шарапов, А. Р. Вербицький, С. О. Євтушенко, С. О. Хованський, О. С. Ковязін.** Експериментальний стенд для дослідження теплоелектрогенеруючих агрегатів на базі рідинно-парових струминних апаратів.....149
- О. О. Шокарев, І. В. Колокольчикова, М. М. Данченко, О. М. Шокарев.** Критерій ефективності обчисувально-різального модуля зернозбирального комбайну.....161
- В. N. Younis.** Comparative analysis of failure criteria for anisotropic layered composites: from brittle onset to progressive damage in aerospace structural elements.....168

ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКА, ЕЛЕКТРОТЕХНІКА ТА ЕЛЕКТРОМЕХАНІКА

- О. В. Бойко, А. С. Комін.** Оцінка і вибір моделі-чемпіона у задачах адаптації моделей прогнозування рівня споживання електроенергії у Smart Grid.....176
- С. В. Гайдукевич, Н. П. Семенова.** Підвищення ефективності та надійності електродвигуна на основі інтелектуальної системи діагностики та адаптивного керування.....184
- В. В. Гузенко, С. В. Галько, С. В. Чаусов, М. С. Сорокін, Ю. М. Хандола.** Реалізація системи контролю температури двигуна в електроприводі змінного струму.....195
- S. A. Kazbekova.** Theoretical issues and design of laser systems (LS).....201
- С. В. Кравцов, Р. В. Жесан, О. П. Голик, В. О. Зубенко.** Застосування енергоефективних будівель із системами керування у розподіленій електрогенерації майбутнього.....211
- О. О. Мірошник, В. Г. Пазій, О. А. Савченко, Д. Г. Миргород, Т. І. Галько.** Дослідження ефективності застосування мікропроцесорного пристрою PC83-B1 компанії «РЗА СИСТЕМЗ» для моніторингу аварійних режимів мереж 6–10 кВ.....218
- Н. О. Перетяка.** Сучасні підходи до активізації навчальної діяльності студентів технічних навчальних закладів.....228
- М. Ю. Савченко, О. В. Радчук, С. С. Шевченко.** Енергоефективна автоматизація харчових цехів: розрахунок потужності безперебійного живлення на основі відновлювальних джерел енергії.....235
- О. М. Сайко.** Підвищення стійкості енергосистеми за рахунок децентралізації.....243

КОМП'ЮТЕРНІ НАУКИ

- А. І. Безверхий, І. А. Скрипник, О. О. Жуков.** Інтеграція квантових обчислень в експертні системи з нечіткою логікою.....250
- А. С. Янко, М. С. Мизюра.** Модель персоналізації навчального процесу через інтеграцію LLM у вебзастосунок із динамічною генерацією пояснень.....255

ХАРЧОВІ ТЕХНОЛОГІЇ

- І. М. Белова, Л. М. Кюрчева, В. М. Гіджеліцький, М. В. Кирилів.** Удосконалення технології пшеничного хліба шляхом використання фітозбагачувачів у вигляді овочевих мас.....264



О. В. Василюшина, І. Г. Власенко. Методи контролю безпечності м'яса та способи його збереження.....	271
Iu. Goriainova, O. Simakova, O. Bodnaruk, V. Volkova, K. Pohoriletskyi. Qualimetric assessment of the quality of short dough cookies with the addition of chokeberry and reduced fat content.....	277
С. Л. Колесніченко. Прикладне програмне забезпечення для підприємств ресторанного господарства.....	284
К. В. Костецька, С. М. Ковтун-Водяницька, О. В. Коломіць. Технологічні параметри хліба пшеничного за використання продуктів перероблення гірчиці.....	290
О. І. Мамай, В. А. Луцькова, Т. О. Яковенко, К. В. Зубкова, О. В. Стоянова. Удосконалення технології коньячних виноматеріалів.....	297
К. С. Рубан, Н. А. Сова, І. П. Холобцева, А. В. Токар. Розроблення та оцінка якості концентрату супу-пюре швидкого приготування.....	305
Т. П. Синенко, О. Ю. Кошель, А. В. Супрун, К. В. Омельчук, Д. М. Завгородній. Розробка та комплексна оцінка якості пудингу на основі молочної сироватки з додаванням рослинної сировини.....	312
С. В. Смірнов, О. П. Прісс. Мікробіологічна стабільність пряникових виробів з начинкою під час зберігання.....	321
В. О. Сукманов, А. А. Поліщук, М. О. Ільченко, Б. С. Шаферівський, О. Г. Фесенко. Пролонгація термінів зберігання рибних продуктів та фаршу скумбрії (<i>Scomber scombrus</i>) додаванням екстракту картопляної шкірки.....	327
В. О. Троєкурова, В. С. Калина, М. В. Денисенко. Дослідження режимів і параметрів систем для зберігання зерна ячменю в охолодженому стані: вплив на органолептичні та фізичні показники якості.....	343
В. А. Черняков, О. Ю. Мельник. Оцінка снекової продукції з використанням борошна червоної сочевиці.....	351
С. Л. Юрченко, М. Б. Колеснікова, Т. В. Черемська. Розроблення технології безглютенових млинчиків та впровадження ризик-орієнтованого підходу до забезпечення їх безпечності.....	359

DOI <https://doi.org/10.32782/2220-8674-2026-16-1-15>

UDC 629.463.001.63

O. V. Fomin¹, Doctor of Technical Sciences

ORCID: 0000-0003-2387-9946

O. V. Burlutskyi², Candidate of Technical Sciences

ORCID: 0000-0003-1902-5809

V. M. Prokhorov³, Candidate of Technical Sciences

ORCID: 0000-0001-8963-6467

I. M. Hannoshyna⁴, Candidate of Technical Sciences

ORCID: 0000-0001-5810-2462

S. M. Shelest, graduate student

ORCID: 0009-0009-4381-4884

¹ National Transport University² National Technical University Kharkiv Polytechnic Institute³ Ukrainian State University of Railway Transport⁴ National Aviation University

e-mail: Oleksij.Burlutskyi@khpi.edu.ua

MATHEMATICAL MODEL FOR A COMPREHENSIVE ASSESSMENT OF THE ECONOMIC IMPACT OF OPERATING INNOVATIVE VEHICLES ACROSS THEIR LIFE CYCLE

Summary. The article presents the results of a scientific study aimed at developing a comprehensive methodology for assessing the economic efficiency of operating innovative freight cars on the railway infrastructure of Ukraine. The relevance is due to the critical wear of the freight car fleet and the need to implement tariff mechanisms that consider the interests of both rolling stock owners and the infrastructure owner. Existing approaches focus mainly on operator benefits, ignoring the significant impact of car technical characteristics on infrastructure costs (train traction, track wear).

The proposed methodology is based on a comparative analysis of an innovative car and an analog car. A key feature is the determination of two fundamental coefficients based on field tests: the change in the basic specific resistance to movement (k_{ω}) and the change in the impact on the track (k_{τ}). A mathematical apparatus has been developed to calculate the annual change in infrastructure owner costs, covering expenses on fuel and energy resources, track maintenance, locomotive maintenance, and en-route car maintenance.

The practical value lies in the possibility of using the results to justify differentiated tariffs. The procedure for calculating the specific economic effect (C_{ud}) and the innovative reduction coefficient to the base tariff (k_{tar}^{inv}) is proposed, creating an economic incentive for operators to purchase more advanced rolling stock. The approbation of the methodology on the example of an innovative gondola car demonstrated a net economic effect of about +5,000 UAH per technological cycle due to increased productivity, reduced downtime, and higher speed.

Key words: innovative vehicle, economic efficiency, infrastructure owner, rolling resistance, track impact, cost rates, tariff incentives, computer modeling, life cycle.

Problem statement. Freight rail transportation is one of the main activities of JSC “Ukrzaliznytsia”, it largely meets the transportation needs of the national economy. It is freight transportation that accounts for the largest share of JSC “Ukrzaliznytsia”’s revenues in the overall revenue structure – 82.2 % (2024) [1]. The current stage of development of the transport industry is characterized by the rapid introduction of innovative means of transportation. However, the choice of specific models is often based only on the purchase price, which is a strategic mistake. The relevance of the topic is due to the need to transition to a comprehensive assessment of economic efficiency. The concept of life cycle cost (LCC) becomes a key tool in this process. It allows you to take into account not only the purchase price, but also the costs of operation, service and disposal. For innovative vehicles, this is

critically important due to the specifics of their maintenance. The energy efficiency of new models is often offset by the high cost of spare parts.

Traditional methods of calculating payback no longer correspond to market realities. The risks of introducing innovations without proper analysis are excessively high. It is necessary to take into account the dynamics of energy prices throughout the entire service life of the car. Life cycle cost allows you to see a real picture of profitability. This helps to increase the competitiveness of transport enterprises. Introducing innovations without calculating LCC leads to unforeseen losses. State support for environmental initiatives also requires transparent assessment methods. Investors require clear forecasts of costs for the long term. Innovative technologies often have more complex technical inspection cycles.

Analyzes of the latest research and publications. In the article [2], a scientific and methodological approach is proposed to determine the change in the quantitative indicators of the use of gondola cars for the transportation of loaded containers in them in the empty direction due to the decrease in their empty mileage. A scientific and methodological approach is proposed to determine the influence of the coefficient of empty mileage of cars to loaded on the cost of transporting loaded containers in gondola cars in the empty direction. An increase in the efficiency of the use of gondola cars due to the transportation of loaded containers in them in the empty direction is estimated

The article [3] presents the calculated results of the economic justification of the feasibility of modernizing freight cars with axle units of improved design. The factors influencing the amount of additional capital costs for modernizing cars with improved axle units are analyzed. The calculation of annual operating costs for the car is adapted to the conditions of the specific Kharkiv-Kyiv route.

The paper [4] analyzes the current state, development dynamics, and prospects for updating the freight car fleet in Ukraine. The most popular types of cars are identified.

In the work [5], the issues of the conceptual approach to determining the life cycle of a passenger car are considered. The fleet of passenger cars of JSC Ukrzaliznytsia mainly consists of models developed and manufactured in the 70s–90s of the last century at the car-building plants of Germany and Russia. They are outdated both morally and physically. This necessitates the renewal of the fleet of passenger cars by purchasing cars of both domestic and foreign production. But in modern conditions, the user of new equipment is interested not only in the purchase price, but also in the costs after the sale, which is reflected in the life cycle cost.

The article [6] describes the characteristics of iron ore pellets as a specific type of cargo and describes the technology of their production in the conditions of a mining and processing plant. A comparative analysis of the efficiency of using the specified types of freight cars was performed according to such technical and economic indicators (criteria) as tare weight, load capacity, body volume, specific material capacity, specific volume, dimensions, service life, mileage between overhauls, tare loading coefficient, body capacity utilization coefficient, running load, cost, life cycle cost.

In the fundamental work [7] in one of the sections in mathematical modeling of the process of forming reliability indicators of freight cars at the stages of the life cycle is presented.

The monograph [8] considers the issues of optimization design of elements of railway gondola bodies and the organization of their production. It presents modern trends in the development of gondola body structures, presents proposed approaches to their design, and formalizes the features of the organization of their production.

The article [9] considers innovative vehicles as an important solution to reduce road congestion and harmful emissions from trucks. The study found that in Europe, the main barriers to the transition to water transport are insufficient depth of waterways and their inadequate maintenance, while in Asia, the key obstacles are high initial investments in infrastructure and a shortage of vessels. Overcoming these barriers will allow to obtain significant economic effects by reducing logistics costs, reducing fuel and vehicle maintenance costs, as well as reducing environmental damage from CO₂ emissions.



In the article [10], it is analyzed that urban growth and population density lead to a critical deterioration of the transport situation, especially on routes with intensive freight traffic. The proposed coordinated vehicle routing system uses personalized instructions and financial incentives for individual drivers, taking into account their individual preferences using a hierarchical Bayesian model. The implementation of such a system provides an economic effect by reducing congestion, reducing delivery times and fuel costs, which is confirmed by numerous experiments on the Sioux Falls transport network.

In the article [11], approaches to modeling the life cycle cost of vehicles with different types of power plants are investigated. The work is aimed at determining the economic feasibility of using alternative transport technologies compared to traditional solutions. The authors form a mathematical model that takes into account the costs of purchasing, operating, maintaining and disposing of vehicles. Considerable attention is paid to the analysis of factors that most affect the change in the total life cycle cost. The results obtained demonstrate that the application of the LCC concept allows for a more reasonable assessment of the economic efficiency of innovative transport systems.

In [12], the author considers a methodology for estimating the life cycle cost of transport infrastructure, taking into account the spread of autonomous vehicles. The study focuses on predicting changes in the structure of costs for the construction, operation and maintenance of highways. The author proposes a model that integrates future transport scenarios with economic indicators of infrastructure functioning. The analysis demonstrates that the introduction of autonomous transport can significantly change the structure of operating costs. The results obtained can be used to form long-term strategies for the development of transport systems.

In the article [13], researchers conduct a comprehensive review of modern approaches to assessing the sustainability of the transport sector based on the life cycle concept. The authors systematize existing analysis methods, in particular LCC, LCA and other integrated efficiency assessment tools. The paper examines the features of applying these methods for different types of transport systems and infrastructure facilities. The review allows us to identify the key advantages and limitations of using the life cycle concept in transport planning. The results of the study form a methodological basis for further improving the economic justification of innovative transport solutions.

In the publication [14] the authors analyze modern methods of economic evaluation of innovations in the field of railway transport. The work focuses on identifying the main problems of applying traditional economic models to the evaluation of new technical solutions. The authors propose improved approaches that combine life cycle analysis with the assessment of operational and infrastructure costs. Considerable attention is paid to the need to integrate technical and economic indicators in the process of making investment decisions. The study demonstrates the prospects for the application of complex methods for evaluating the effectiveness of innovations in railway transport.

The purpose of the study is a theoretical justification and development of a comprehensive methodology for determining the economic effect of operating innovative vehicles based on modeling the cost of their full life cycle. The research is aimed at creating a toolkit for objectively assessing the effectiveness of investments in the modernization of transport fleets. The implementation of this goal will allow enterprises to make strategically balanced decisions regarding the implementation of the latest technologies.

The object of research is the process of forming economic results from the use of innovative vehicles in the logistics system. The subject of the study is methodological approaches and tools for assessing life cycle cost as a basis for determining the economic effect. The study focuses on the relationships between capital costs and operational efficiency throughout the entire service life of the equipment. Scientific research covers the mechanisms for transforming costs into added value of transport services.

To achieve this goal, the following tasks have been defined:

1. To analyze the factors influencing the technical characteristics of freight cars on the costs of the railway infrastructure owner, in particular, on costs associated with train traction, track maintenance, locomotive maintenance and technical maintenance of wagons en route, in order to identify key parameters for economic evaluation.

2. Develop mathematical models to determine the coefficients of change in the main specific resistance of movement (ρ) and the change in the impact on the track ($k_{\omega}k_{\tau}$) based on data from full-scale (dynamometric) tests of innovative cars and similar cars, which will allow us to quantitatively assess their operational advantages.

3. Form a system of analytical equations to calculate the annual change in the infrastructure owner's costs ($\sum \Delta E_0$) by main items: fuel and energy resources (electricity/diesel fuel), current track maintenance, locomotive maintenance and technical maintenance of freight cars in trains.

4. Determine the procedure for calculating the specific economic effect (ϵ) per car-kilometer C_{y0} and to justify the methodology for calculating the innovative reduction coefficient (k_{map}^{inh}) to the base tariff as a tool for economically stimulating operators to purchase and operate more advanced rolling stock k_{map}^{inh} .

To achieve the goal of the study, a set of scientific methods was used, in particular, system analysis for structuring life cycle costs. Mathematical modeling methods were used to construct formulas for calculating the economic effect. Comparative analysis became the basis for assessing the advantages of different types of innovative vehicles. Financial management methods were used, in particular, discounting cash flows to take into account the time factor. Statistical methods allowed processing data on the reliability and cost of operating similar systems abroad. Graphical methods helped visualize the dynamics of costs at different stages of the equipment life cycle.

The main part. The mathematical model of the study is based on a comparative analysis of the operating costs (ϵ) of the infrastructure owner (JSC «Ukrzaliznytsia») when using innovative freight cars and analogue cars. The main hypothesis is that the improved technical characteristics of innovative cars (reduced rolling resistance, less impact on the track, greater load capacity) lead to a reduction in infrastructure maintenance costs, which may be the basis for tariff incentives. The analogue car is selected from among the most common models of the same type and purpose on the network, and the selection criterion is the maximum freight turnover among cars of the corresponding class.

An innovative car is considered as a carrier of a set of measured quantitative and qualitative indicators in absolute or relative terms (Fig. 1).

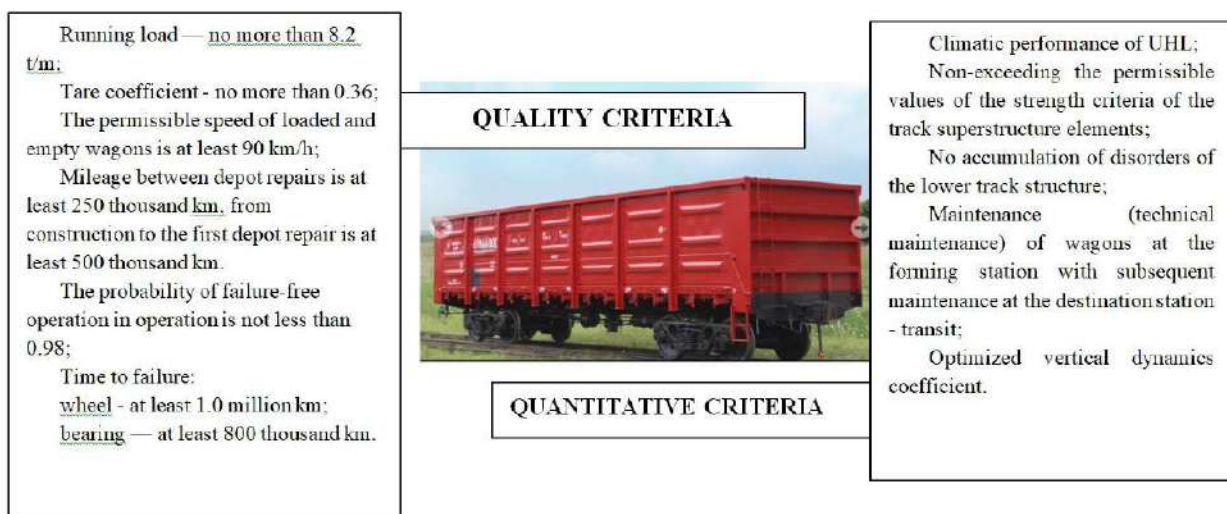


Fig. 1. Criteria for innovative freight cars



The solution to the problem of increasing the productivity of rolling stock through innovative cars lies in the multiplicative effect of reducing the tare weight of cars, increasing the capacity of the body and the speed of the train, expanding the range of permissible axle loads [15]. In addition, the maintenance intervals of both cars as a whole and their individual technological equipment are increasing, failures during operation are reduced, and loading and unloading methods are improved with a corresponding expansion of the range of transported goods:

- the weight of the container is reduced due to the use of new high-strength steels;
- increasing the capacity of the body is achieved through the use of original design schemes with full use of the overall capabilities of the car;
- an increase in permissible axial loads and speeds is ensured by the use of innovative bogies [15];
- operational reliability is based on modern scientific and technical support for the processes of creating and producing railcar structures

The productivity of rolling stock in freight traffic is determined by two generalized indicators: the mass of the train and the mileage of the traction rolling unit.

The tests are carried out by the dynamometric method in accordance with the rules of traction calculations. At the selected intervals of the railway track there should be no sharp changes in the speed of movement and traction force caused by changes in the positions of the driver's controller. The profile of the railway track should be directed along the entire length of the train. The main specific resistance of movement within each interval S is a constant value and is calculated by the formula [16]. w_v

Change in average daily productivity of rolling stock. This is the main formula that shows how productivity changes due to two factors: increasing train mass and increasing daily locomotive mileage.

$$\Delta W_n^{\max} = \frac{W_n^{\max}}{\bar{Q}^6} \Delta Q^{\max} + \frac{W_n^{\max}}{\bar{S}^n} \Delta S^{\max}. \quad (1)$$

Where is the change in the average daily productivity of rolling stock (gross tkm). ΔW_n^{\max}

W_n^{\max} – average daily productivity of rolling stock (gross tkm).

\bar{Q}^6 – gross train weight (gross t).

ΔQ^{\max} – increase in gross train weight (due to the use of innovative wagons).

\bar{S}^n – average daily mileage of the locomotive (km).

ΔS^{\max} – increase in the average daily mileage of the locomotive.

In expression (1), the components reflect the influence of two factors on the productivity of freight rolling stock. The first component characterizes the target change in the mass of the train, namely the effect of increasing the mass of the train formed from innovative freight cars. The second component is responsible for the target change in the average daily mileage, i.e. the effect of increasing the ton-kilometer work of traction rolling stock [16].

The magnitude of the change in the mass of a train with innovative cars is calculated by the formula:

$$\Delta Q_n^{\max} = \gamma_n^H n_n^{\text{const}} q_n^{\max} \frac{1}{k_n^{\min}} + \gamma_n^H n_n^{\text{const}} q_n^{\min} \frac{1}{k_n^{\max}}; \quad (2)$$

$$k_n^{\text{const}} = \frac{Q_n^{\min}}{Q_n^{\max}}, \quad (3)$$

ΔQ_n^{\max} – change in train weight with innovative cars.

γ_n^H – the share of innovative cars in the train composition.



n_n^{const} – number of cars in the train (pcs.).

q_n^{max} – useful mass of cargo in the vehicle

q_n^{min} – mass of the tare in the composition (t).

k_n^{min} – the ratio of the net weight of the train to the gross weight.

k_n^{max} – ratio coefficient (probably related to tare).

$Q_n^{\text{min}}, Q_n^{\text{max}}$ – net and gross train weight, respectively (t).

Change in average daily locomotive mileage Shows the dependence of the locomotive's mileage on the station speed and regulatory downtime.

$$\Delta S_n^{\text{max}} = \frac{24}{\frac{1}{V_n^{\text{max}}} + \frac{t_n^{\text{const}}}{L_y}}, \quad (4)$$

ΔS_n^{max} – change in the average daily mileage of the locomotive (km/day).

V_n^{max} – traffic speed (km/h).

t_n^{const} – normative idle time of the locomotive (hours).

L_y – length of the section (km).

24 – number of hours in a day.

The increase in the actual loading rate of innovative cars ensures an increase in the capacity utilization factor and static load of a given unit of rolling stock. The average train composition will be formed taking into account the weight of the tare and the optimal specific load capacity of the innovative car.

Therefore, a comprehensive system of performance indicators for innovative railcars is given by the following system of expressions:

$$\begin{cases} k_n^{\text{min}} = \frac{V_n^{\text{const}}}{V_n^H}; \\ k_m^{\text{max}} = \frac{T_n^{\text{const}}}{T_n^H}; \\ p_0 = \frac{P_n^H + T_n^H}{n} \leq p_0^{\text{const}}; \\ q = \frac{P_n^H + T_n^H}{2L} \leq q^{\text{const}} \end{cases} \quad (5)$$

k_n^{min} – the ratio of the volume usage of the innovative car and the analogue car.

V_n^{const} – specific volume of the analog wagon (m³/t)

V_n^H – specific volume of the innovative car (m³/t)

k_m^{max} – coefficient of the ratio of the tare mass of the innovative wagon and the analogue wagon.

T_n^{const} – mass of the tare of the analogue wagon (t).

T_n^H – mass of the innovative wagon's container (t).

p_0 – axle load of the innovative wagon (t/axle).

P_n^H – load capacity of the innovative car (t).

T_n^H – mass of the innovative wagon's container (t).

n – number of axles.

- p_0^{const} – permissible axle load (t/axle).
- q – gross running load of the innovative wagon (t/m).
- $2L$ – length of the wagon along the coupling axes (m).
- q^{const} – permissible running load (t/m).

The set of indicators given in expression (5) ensures high-performance transportation of a wide range of goods in specified volumes, which contributes to increasing the efficiency of using the innovative freight car in terms of power and load capacity. This, in turn, gives a total effect in the form of an increase in carrying capacity of 6.7 % and above.

As a result, for a given length of train, innovative cars can form a train of greater weight than similar cars. The main factor affecting the average daily mileage of a locomotive is the section speed. Part of the technical possibilities for its growth are lost due to downtime and delays of trains at stations and crossings, as well as due to loss of time caused by low-performance loading and unloading operations.

The results of the analysis of the downtime of local gondolas at the loading station require special attention (Figure 2). More than half of this time (in hours, about 60 hours or more) is spent on downtime from the moment of arrival to the completion of the cargo operation. This is explained by the poorly established production connection between the arrival of empty cars and the possibility of loading at the consignor, which leads to unproductive downtime of cars. The waiting time for loading increased significantly after the cars were transferred from the inverter fleet to their own. The planning horizon for supplying empty cars actually became equal to the planned time of an empty trip. As a result, there was a transition from a regulated daily shift planning of car distribution (the so-called “just in time” model) to a management model with an unfixed delivery delay time, in which a reserve is required.

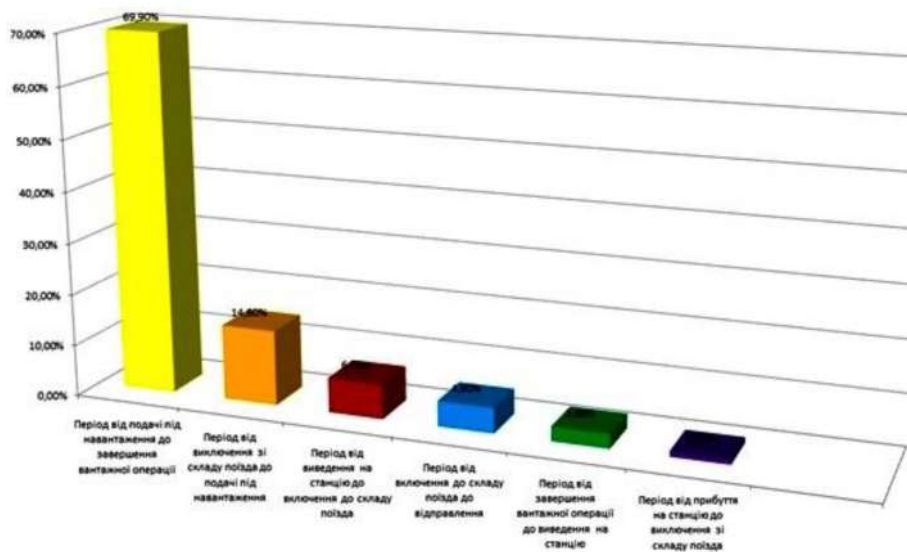


Fig. 2. Distribution of freight car operating time across different stages of the production cycle

The diagram shows that the lion’s share of time (69.9 %) is spent by the freight car directly on the loading process (from the moment of submission to the completion of the operation). The second longest stage is the period after exclusion from the train composition until the moment of submission for loading (14.6 %). The operations of arrival at the station and shunting work take the least time.

The car hours of the production cycle of an innovative car are determined according to the elements of working time

$$\sum nt_{\min}^o = \sum nt_{\min}^{IB} + \sum nt_{\min}^{tex} + \sum nt_{\min}^{TP} \tag{6}$$



- $\sum nt_{\min}^o$ – total car hours of the production cycle.
- $\sum nt_{\min}^{IB}$ – car hours in motion.
- $\sum nt_{\min}^{tex}$ – car hours at stations and crossings (technical downtime).
- $\sum nt_{\min}^{TP}$ – car-hours of downtime during freight operations.

A comprehensive system of indicators of precinct speed. Shows how the speed of movement changes depending on the technical characteristics and reliability of the cars.

$$\begin{cases} k_{\max}^{AV} = k_{\min}^V \frac{V_T}{V_{\min}} \left(1 - \frac{V_{\min}}{V_{\min}^{TP}} \right), \\ k_{\min}^V = \frac{V_T^{in}}{V_T}, \\ t_{TP}^{in} \leq t_{TP}, \\ p(t)^{in} \rightarrow 0.98 \end{cases} \quad (7)$$

- k_{\max}^{AV} – coefficient of change of the site speed.
- k_{\min}^V – the coefficient of the precinct speed.
- V_T^{in} – technical speed with innovative cars (km/h).
- V_T – technical speed (total) (km/h).
- V_{\min} – minimum speed (km/h).
- V_{\min}^{TP} – speed taking into account idle times (km/h).
- t_{TP}^{in} – downtime of the innovative car during freight operations (hours).
- t_{TP} – standard downtime of wagons during freight operations (hours).
- $p(t)^{in}$ – operational probability of failure-free operation of the innovative car (aims to 0.98).

Infrastructure cost assessment (impact on track superstructure). A comprehensive indicator that assesses how the increase in tonnage from innovative wagons affects track maintenance costs.

$$\begin{cases} k_{\Delta C_n}^{\max} = k_{C_m} \left[\left(\frac{P_0^H}{P_0} \right)^3 \cdot \frac{\lambda_0}{\lambda_0^3} \right], \\ k_{C_m} = \frac{C_m^H}{C_m}, \\ \lambda_0^3 = 0,15\lambda_0 \end{cases} \quad (8)$$

- $k_{\Delta C_n}^{\max}$ – coefficient of change in track maintenance costs.
- k_{C_m} – coefficient of change in current track maintenance costs.
- C_m^H – the cost of current track maintenance during the operation of innovative wagons (CU).
- C_m – the cost of current track maintenance when operating similar cars (CU).
- P_0^H, P_0 – axle load of the innovative car and the analogue car (t/axle).
- λ_0, λ_0^3 – the number of freeze-thaw cycles (transitions) per 100 million gross tkm.
- D_n^H, D_n – damage rate (number of failures) when passing tonnage.
- Q^o – tonnage missed (million gross tons).



The developed approach allows for a mathematical model assessment of the following operational indicators in comparison with a similar wagon: productivity of traction and non-traction rolling stock, average daily mileage and section speeds in terms of various components of the fleet, mass parameters of railway warehouses in terms of gross and net, technical and economic characteristics of wagons. Model calculations of a comprehensive assessment of the operational efficiency of innovative wagons in comparison with a model analogue wagon in freight traffic for one technological.

The final effect of the implementation of one innovative car (for 1 cycle of work) table 1.

Table 1

The final effect of the introduction of one innovative car (for 1 cycle) based on the proposed mathematical model and taking into account the data provided in the studies [3, 7, 17]

Effect component	Amount, UAH
Additional productivity (per day)	+4 278
Downtime savings	+1,080
Effect of increasing speed	+108
Total benefit	+5 466
Additional track costs (per cycle)	-463
Net effect per cycle	+5 003 UAH

Conclusions. The article develops a comprehensive methodology for assessing the economic efficiency of innovative freight wagons, which, unlike existing approaches, takes into account not only the benefits of the operator, but also the impact of the technical characteristics of the wagon on the costs of the infrastructure owner. The considered mathematical model for evaluating the performance indicators of innovative wagons makes it possible to determine the change in these indicators depending on the specific wagon model and to compare them using a single methodology for the same volumes of transportation work within a conditional section (section) of the railway under given model conditions.

The mathematical model is based on a comparative analysis of the pair «innovative car – analogue car» and the determination of two key coefficients based on the results of field tests: changes in the main specific resistance of movement (k_0) and changes in the impact on the track (k_{τ}). The developed mathematical apparatus allows calculating the annual change in infrastructure costs for four items: fuel and energy resources, track maintenance, locomotive maintenance and technical maintenance of cars. k_0, k_{τ}

Testing the methodology on the example of an innovative gondola car showed that the innovative car gives a net economic effect of about +5,000 UAH per technological cycle (approximately 1.5 working days) due to:

- increased productivity,
- reduction of downtime,
- increasing speed, with a slight increase in infrastructure costs.

Bibliography

1. Консолідований фінансовий план АТ «Укрзалізниця» на 2024 рік [Електронний ресурс]. URL: <https://www.uz.gov.ua/files/file/about/investors/finzvit/12>
2. Калабухін Ю. Є., Зоріна О. І., Ловська А. О., Каменева Н. М., Рукавішников П. В. Оцінювання підвищення ефективності використання напіввагонів *Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті* 2025 Т. 30 № 1 С. 37–46 DOI: 10.18664/ikszt.v30i1.326789
3. Калабухін Ю. Є., Мартинов І. Е., Труфанова А. В., Литовченко О. М. Обґрунтування доцільності модернізації буксових вузлів вантажних вагонів *Інформаційно-керуючі системи на залізничному тран-*



спорті. Серія: Інформаційні технології та інженерія 2025 Т. 6 № 194 С. 399–405 DOI: 10.33042/3083-6727-2025-6-194-399-405

4. Фомін О. В., Стукало А. В. Оцінка ефективності використання вантажних вагонів удосконалених конструкцій з урахуванням мультиплікативного ефекту для економіки України *Збірник наукових праць ДУІТ. Серія «Транспортні системи і технології»* 2016 Вип. 35 С. 130–141.

5. Мартинов І. Е., Калабухін Ю. Є., Труфанова А. В. Концепція життєвого циклу пасажирського вагона *Збірник наукових праць ДУІТ. Серія «Транспортні системи і технології»* 2021 Вип. 38 С. 153–163 DOI: <https://doi.org/10.32703/2617-9040-2021-38-150-14>

6. Сулим А. О., Сафронов О. М., Хозя П. О., Стринжа А. Обґрунтування необхідності створення спеціалізованого вагона для перевезення залізничних окатишів *Збірник наукових праць ДУІТ. Серія «Транспортні системи і технології»* 2022 Вип. 40 С. 23–34 DOI: <https://doi.org/10.32703/2617-9040-2022-40-3>

7. Мурадян Л. А. Розвиток наукових основ забезпечення надійності вантажних вагонів на етапах життєвого циклу дис. ... д-ра техн. наук 05.22.07 Дніпро 2020 377 с. URL: <https://crust.ust.edu.ua/items/e0bcdcaf-b0f5-42dc-bce1-129b564189fc>

8. Фомін О. В. Оптимізаційне проектування елементів кузовів залізничних напіввагонів та організація їх виробництва монографія Донецьк ДонІЗТ УкрДАЗТ 2013 251 с.

9. Beil D., Gupta P., Dopler S., Pani A., Putz-Egger L.-M., Gupta A. Freight modal shift to inland waterways: Evaluating transferability of transport policies between Europe and Asia using Bayesian best-worst method *Case Studies on Transport Policy* 2026 Vol. 24 Article 101777 DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cstp.2026.101777>

10. Wang Z., Dessouky M., Ioannou P. Incentivized personalized coordinated freight routing considering system optimization with driver-in-loop utility learning *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems* 2026 P. 1–13 DOI: 10.1109/TITS.2026.3668029

11. Furch J., Konečný V., Krobot Z. Modelling of life cycle cost of conventional and alternative vehicles *Scientific Reports* 2022 Vol. 12 Article 10661 DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-022-14715-8>

12. Liang K. Highway life-cycle cost analysis under the autonomous vehicles scenario *Journal of Highway and Transportation Research and Development* 2024 Vol. 18 No. 4 P. 1–7 DOI: <https://doi.org/10.26599/htrd.2024.9480028>

13. Burchart D., Przytuła I. Sustainability assessment methods for the transport sector considering the life cycle concept – A review *Sustainability* 2024 Vol. 16 No. 18 Article 8148 DOI: <https://doi.org/10.3390/su16188148>

14. Smith A. S. J., Pierce D. E. Methodologies for economic assessment of rail technical innovations: challenges and new perspectives *Transport Transitions: Advancing Sustainable and Inclusive Mobility. TRA Conference 2024. Lecture Notes in Mobility* Cham Springer 2025 DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-031-95284-5_108

15. Сулим А. О., Сафронов О. М., Хозя П. О., Фомін О. В., Фомін В. В. Сучасні інноваційні бункерні вагони-хопери для перевезення зерна вітчизняного виробництва та перспективи їх розвитку *Наукові вісті Далівського університету* 2021 № 21 С. 16–32 DOI: <https://doi.org/10.33216/2222-3428-2021-21-16>

16. Гетьман Г. К. Теорія електричної тяги монографія у 2 т. Дніпро Вид-во Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна 2010 Т. 2 361 с. URL: <https://crust.ust.edu.ua/server/api/core/bitstreams/6a4f237f-fe38-44de-9528-6e5fcf36b7ed/content>

17. Довідник основних показників роботи регіональних філій АТ «Укрзалізниця» (2006–2021 рр.) Київ Укрзалізниця 2022 38 с.

Дата першого надходження статті до видання: 19.01.2026

Дата прийняття статті до друку після рецензування: 29.02.2026

Дата публікації (оприлюднення) статті: 18.05.2026

Стаття поширюється на умовах ліцензії відкритого доступу (CC BY 4.0)





О. В. Фомін, О. В. Бурлуцький, В. М. Прохоров, І. М. Ганношина, С. М. Шелест

¹ Національний транспортний університет

² Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»

³ Український державний університет залізничного транспорту

⁴ Національний авіаційний університет

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ КОМПЛЕКСНОЇ ОЦІНКИ ЕКОНОМІЧНОГО ЕФЕКТУ ВІД ЕКСПЛУАТАЦІЇ ІННОВАЦІЙНИХ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ НА ЕТАПАХ ЖИТТЄВОГО ЦИКЛУ

Анотація

У статті представлено результати наукового дослідження, спрямованого на розробку комплексної математичної моделі оцінювання економічної ефективності експлуатації інноваційних вантажних вагонів на залізничній інфраструктурі України. Актуальність роботи зумовлена критичним зносом парку вантажних вагонів та необхідністю впровадження тарифних механізмів, які враховують інтереси як власників рухомого складу, так і власника інфраструктури – АТ «Укрзалізниця». Існуючі підходи зосереджуються переважно на вигодах для оператора, ігноруючи суттєвий вплив технічних характеристик вагона на інфраструктурні витрати (тяга поїздів, зношування колії).

Запропонована методика базується на порівняльному аналізі пари «інноваційний вагон – вагон-аналог». Ключовою особливістю є визначення за результатами натурних випробувань двох фундаментальних коефіцієнтів: зміни основного питомого опору руху (k_o) та зміни впливу на колію (k_r). Розроблено математичний апарат для розрахунку річної зміни витрат власника інфраструктури, який охоплює витрати на паливно-енергетичні ресурси, утримання колії, утримання локомотивів та технічне обслуговування вагонів у дорозі. Модель враховує мультиплікативний ефект впливу технічних характеристик вагонів на продуктивність тягового рухомого складу, швидкість руху, тривалість простоїв та витрати на утримання інфраструктури.

Практична цінність полягає у можливості використання результатів для обґрунтування диференційованих тарифів. Запропоновано порядок розрахунку питомого економічного ефекту (C_{ye}) та інноваційного понижуючого коефіцієнта до базового тарифу (k_{map}^{ine}), що створює економічний стимул для операторів придбавати більш досконалий рухомий склад. Апробацію математичної моделі виконано на прикладі інноваційного напіввагону, що дозволило кількісно оцінити чистий економічний ефект. Результати моделювання демонструють, що використання інноваційних вагонів забезпечує сукупний мультиплікативний ефект збільшення продуктивності рухомого складу за рахунок підвищення маси поїзда, збільшення середньодобового пробігу локомотива, скорочення простоїв та покращення дільничної швидкості при незначному зростанні витрат на утримання інфраструктури. Розроблена математична модель є універсальним інструментом для оцінювання ефективності інноваційних транспортних засобів на всіх етапах життєвого циклу. Застосування цієї моделі на прикладі інноваційного напіввагона продемонструвало чистий економічний ефект у розмірі близько +5 000 грн на один вагон за технологічний цикл завдяки підвищенню продуктивності, скороченню простоїв та збільшенню швидкості.

Ключові слова: інноваційний транспортний засіб, економічна ефективність, власник інфраструктури, опір руху, вплив на колію, витратні ставки, тарифне стимулювання, комп'ютерне моделювання, життєвий цикл.