

## МЕТОДИКА ОЦІНЮВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РЕКУПЕРАТИВНОГО ГАЛЬМУВАННЯ ДЛЯ ЕЛЕМЕНТАРНОГО СПРОЩЕНОГО ЦИКЛУ РУХУ

*Будниченко В.Б.*, кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, budnjb@bigmir.net, orcid.org/0000-0002-1235-3781

*Гордієнко М.М.*, Національний транспортний університет, Київ, Україна, gordienkonikolaj@ukr.net, orcid.org/0000-0002-8993-789X

## METHOD OF EVALUATION OF RECEIVABLY BRAKING EFFICIENCY FOR ELEMENTARY SIMPLIFIED MOVEMENT CYCLE

*Budnichenko V.B.*, Candidate of Technical Sciences, National Transport University, Kyiv, Ukraine, budnjb@bigmir.net, orcid.org/0000-0002-1235-3781

*Gordienko M.M.*, National Transport University, Kyiv, Ukraine, gordienkonikolaj@ukr.net, orcid.org/0000-0002-8993-789X

## МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ РЕКУПЕРАТИВНОГО ТОРМОЖЕНИЯ ДЛЯ ЭЛЕМЕНТАРНОГО УПРОЩЕННОГО ЦИКЛА ДВИЖЕНИЯ

*Будниченко В.Б.*, кандидат технических наук, Национальный транспортный университет, Киев, Украина, budnjb@bigmir.net, orcid.org/0000-0002-1235-3781

*Гордиенко Н.Н.*, Национальный транспортный университет, Киев, Украина, gordienkonikolaj@ukr.net, orcid.org/0000-0002-8993-789X

**Постановка проблеми.** Екологічні, економічні та транспортні проблеми міст сприяють пошуку нових технічних рішень, які зменшують вплив на довкілля, особливо під час організації міських перевезень. На сьогоднішній день використання транспортних засобів з електричною тяговою установкою поступово збільшується.

Також є актуальним питання раціонального використання енергоносія або оцінювання енергоефективності транспортного засобу, який задіяний під час пасажирських перевезень у будь-якому місті.

Розроблення методики визначення енергоефективності сприяло би потрапляння на ринок пасажирських перевезень в містах енергоефективних транспортних засобів, що покращило екологічний стан довкілля та призвело до зменшення витрат на оплату витраченого енергоносія.

Одним із напрямків удосконалення конструкції транспортних засобів з електричною тяговою установкою є застосування технічних рішень в конструкції електроустаткування, які забезпечують збереження електричної енергії яка створюється під час режиму рекуперативного гальмування за яким електрична енергія, яка генерується тяговою силовою установкою повертається в контактну мережу або у накопичувач енергії, наприклад тягову акумуляторну батарею.

Вирішити проблему покращення енергоефективності транспортного засобу потребує розроблення методики оцінювання витрати енергоносія за різними циклами його руху, зокрема у разі використання накопичувачів енергії рекуперативного гальмування.

### **Аналіз останніх досліджень та публікацій, на які спирається автор.**

Електромобілі є актуальною темою для стратегічного розвитку як автомобільних компаній, так і нафтогазових.

З боку охорони навколишнього середовища, актуальність використання електромобільного транспорту складно переоцінити. Даний вид транспорту на сьогоднішній день є екологічним, тому що він менше впливає на зміну клімату, дозволяє істотно низити глобальні викиди CO<sub>2</sub>, не виробляє викидів в атмосферу і зменшує шумове навантаження. [1]

Після виходу на комерційні ринки в першій половині десятиліття продажі електромобілів зросли. У 2010 р. На дорогах світу було лише близько 17 000 електромобілів. До 2020 р. Ця кількість збільшилася до 7,2 млн., 47% з яких знаходились у Китайській Народній Республіці. У дев'яти країнах було більше 100 000 електромобілів. Щонайменше 20 країн досягли частки ринку вище 1%. На 2021 р кількість зареєстрованих електромобілів в Україні досягає майже 50 тис.од.[2]

Починаючи з 1980 року викиди і паливна економічність нових автомобілів в Європі визначалися новим європейським циклом водіння (NEDC). З прийняттям директиви Євросоюзу №

443/2009 щодо зменшення викидів шкідливих речовин транспортними засобами, з 2017 року почав діяти новий стандарт умов випробування перевірки екологічних параметрів, зокрема витрат енергоносія, а саме новий вимірювальний їздовий цикл WLTC.

В усьвітньо узгоджену процедуру випробувань легкових автомобілів (WLTP) входить усьвітній гармонізований тестовий цикл для легкових автомобілів (WLTC). Умови випробування методом WLTP суттєво відрізняються від NEDC, FTP-75 і JC08.

Тестовий їздовий цикл WLTC дозволяє отримати більш реалістичні показники екологічно-економічних параметрів двигунів в порівнянні з їздовими циклами NEDC, FTP-75 і JC08 стандартизованих Європою, США та Японією.

Сьогодні спостерігається стійка тенденція до збільшення наукових досліджень в частині оцінювання витрати енергоносія рейкових та колісних транспортних засобів. В основі таких досліджень покладені статистичні методи опрацювання інформації про фактичні витрати енергоносія на транспортну роботу [3,4].

Головним нормативним технічним документом, згідно з яким проводяться сертифікаційні дослідження експлуатаційних показників колісних транспортних засобів категорій M1 та N1, є правила ЄЕК ООН № 101-03:2005 [5] в яких запропоновано оцінювати енергоефективність транспортного засобу за формулою:

$$C = \frac{E}{D} \quad (1)$$

де E – результати вимірювань зарядки електричної енергії під час випробувань, Вт\*год;

D – відстань яку проходить електромобіль під час випробувань, км

В ході цієї процедури не можна використовувати ніякі типи спеціальних зарядних пристроїв, які можуть включатися автоматично або вручну.

Транспортний засіб підключається до електромережі на 30 хв. після завершення двох випробувальних циклів, що складаються з чотирьох простих міських циклів і одного заміського циклу.

Акумулятор транспортного засобу заряджається відповідно зі звичайною процедурою зарядки протягом ночі. За допомогою обладнання для виміру енергії, розміщеного між електричним роз'ємом і зарядним пристроєм транспортного засобу, вимірюється енергія заряду E, що надходить з електричної мережі, а також тривалість цього заряду.

Цей показник має обмеження до застосування, зокрема його застосовують тільки визначення запасу ходу на акумуляторних батареях електромобілів категорій M1 та N1.

Також цей показник можна застосовувати для визначення енергоефективності електромобілів тільки у випадку, якщо вони обладнані однаковими за ємністю акумуляторними батареями, тобто кращим за показником енергоефективності буде той електромобіль, який пройде більшу відстань.

Отже, можна зробити висновок, що питання оцінювання енергоефективності транспортного засобу з електричною тяговою установкою на даний час недостатньо досліджено, що не дозволяє порівнювати конструкції різних транспортних засобів між собою.

**Мета:** розробка математичної моделі, що характеризує енергоефективність колісного та рейкового транспортного засобу з електричною тяговою установкою для умов руху на елементарному спрощеному циклі.

**Викладення основного матеріалу дослідження.** Елементарний, спрощений цикл руху (далі цикл) уявляє собою (див.рис.1) режим руху за яким транспортний засіб розганяється до швидкості V, а потім переходить в режим гальмування.

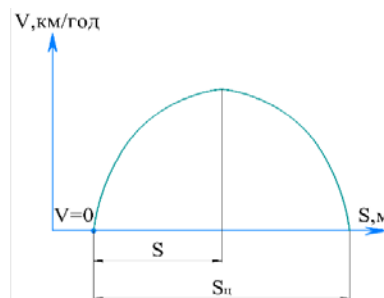


Рисунок 1 – Елементарний, спрощений цикл руху  
Figure 1 – Elementary, simplified motion cycle

Для цього циклу кількість спожитої електричної енергії, під час розгону транспортного засобу до швидкості  $V$ , буде дорівнюватися:

$$W^p = 0,5 \cdot k \cdot m \cdot V^2 \text{ Дж} \quad (1)$$

де  $k$  – коефіцієнт, що ураховує втрати електроенергії енергії під час перетворення її в кінетичну енергію транспортного засобу ( $k > 1$ ), зокрема додання опору руху, витрат енергоносія на власні потреби, тощо.

$m$  – маса транспортного засобу, кг

$V$  – швидкість транспортного засобу, м/с<sup>2</sup>.

В загальному випадку коефіцієнт  $k$  визначають так:

$$k = \frac{W^p}{W_k} \quad (2)$$

Де  $W_k$  – кінетична енергія транспортного засобу

З іншого боку для транспортного засобу, що має електричну тягову установку, кількість енергії яка буде спожита нею від джерела енергії (акумуляторної батареї чи контактної мережі) буде такою:

$$W^p = k \cdot N \cdot t, \text{ Дж} \quad (3)$$

де  $N$ , потужність електричної тягової силової установки, Вт

$t$  – час розгону транспортного засобу до швидкості  $V$ , с

З урахуванням того, що система керування тяговою електричною установкою транспортного засобу під час його розгону чи гальмуванні утримує сталою потужність тягового двигуна ( $N = \text{const}$ ), можна визначити час досягнення певної швидкості із рівнянь 1 та 3, а саме:

$$0,5 \cdot k \cdot m \cdot V^2 = k \cdot N \cdot t$$

звідки:

$$t = \frac{0,5 \cdot m \cdot V^2}{N}, \text{ с} \quad (4)$$

При цьому середня швидкість транспортного засобу буде  $0,5V$ , а довжина ділянки шляху необхідної для досягнення певної швидкості може бути обчислена так:

$$S = 0,5 \cdot V \cdot t = 0,5 \cdot V \cdot \frac{0,5 \cdot m \cdot V^2}{N} = \frac{0,25 \cdot m \cdot V^3}{N}, \text{ м} \quad (5)$$

Довжина ділянки на який реалізований – елементарний, спрощений цикл руху, за умови, що потужність тягової силової установки стала буде такою:

$$S_u = 2S \quad (6)$$

Питома витрата енергії на рух, який здійснюється за елементарним спрощеним циклом, у разі відсутності рекуперативного гальмування з урахуванням формул 1,5,6 буде такою:

$$w_y^1 = \frac{W^p}{2 \cdot S} = \frac{0,5 \cdot k \cdot m \cdot V^2}{2 \cdot \frac{0,25 \cdot m \cdot V^3}{N}} = \frac{k \cdot N}{V}, \text{ Дж/м} \quad (7)$$

Даний вираз отриманий на підставі того, що система керування тяговим двигуном під час електродинамічного гальмування також підтримує постійну потужність тягового двигуна, а електрична енергія, що генерується, гаситься на гальмових реостатах, тобто не повертається до джерела енергії.

У разі застосування рекуперативного гальмування, кінетична енергія, яка була накопичена транспортним засобом, буде перетворена у електричну енергію за винятком енергії, яка буде витрачена на додання опору руху та її втрат у системах транспортного засобу. Тоді загальні витрати енергоносія будуть такими:

$$W_z = W^p - W^g \quad (8)$$

Енергія рекуперації під час гальмування, яка може бути повернена у контактну мережу чи акумуляторну батарею буде менші ніж накопичена кінетична енергія транспортного засобу, в наслідок наявності втрат таких же, як і під час розгону транспортного засобу до швидкості  $V$ , тобто:

$$k = \frac{W_k}{W^g},$$

звідки:

$$W^g = \frac{0,5 \cdot m \cdot V^2}{k}, \text{ Дж} \quad (9)$$

Тоді з урахуванням формул 1, 8, 9, можна отримати вираз для визначення кількості енергії, яка буде витрачена під час руху за елементарним спрощеним циклом:

$$W_z = 0,5 \cdot k \cdot m \cdot V^2 - \frac{0,5 \cdot m \cdot V^2}{k} = 0,5 \cdot m \cdot V^2 \left(k - \frac{1}{k}\right), \text{ Дж} \quad (10)$$

Питома витрата енергоносія буде така:

$$w_y^2 = \frac{W_z}{2 \cdot S}, \text{ Дж/м} \quad (11)$$

Звідки:

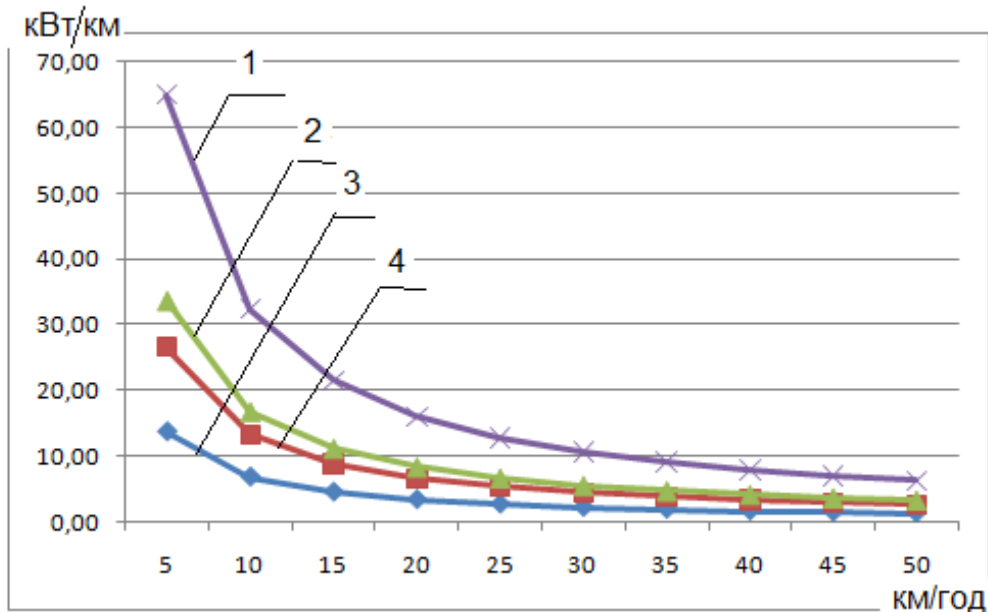
$$w_y^2 = \frac{0,5 \cdot m \cdot V^2 \left(k - \frac{1}{k}\right)}{2 \cdot \frac{0,25 \cdot m \cdot V^3}{N}} = \frac{N \cdot \left(k - \frac{1}{k}\right)}{V} \text{ Дж/м} \quad (12)$$

Використовуючи математичні моделі питомих витрат 7 та 12 можна обчислити питомі витрати електроенергії в залежності від швидкості (див. рис.2) на елементарному спрощеному циклі руху для таких вихідних значень:

-V=50 км/год, що є максимальної швидкістю в містах, яка регламентована Правилами дорожнього руху України;

-N =130 кВт та N =250 кВт, потужність тягової силової установки яка застосується на сучасних тролейбусах в Україні;

-k=1,3, тобто 30% електроенергії втрачається під час розгону або гальмування транспортного засобу.



1- N =250 кВт для випадку не застосування рекуперативного гальмування. 2- N =130 кВт для випадку не застосування рекуперативного гальмування 3 – 250 кВт для випадку застосування рекуперативного гальмування 4 -130 кВт для випадку застосування рекуперативного гальмування.

Рисунок 2 – Залежність питомих витрат енергії від швидкості транспортного засобу  
Figure 2 – Dependence of specific energy consumption on the speed of the vehicle

Тобто, у разі застосування рекуперативного гальмування питома витрата електроенергії на реалізацію елементарного спрощеного циклу буде менша на:

$$\Delta = \frac{w_y^2 - w_y^1}{w_y^1} \cdot 100 \quad (13)$$

Або на підставі 6 та 11 будемо мати:

$$\Delta = \frac{\frac{k \cdot N}{V} - \frac{N \cdot (k - \frac{1}{k})}{V}}{\frac{k \cdot N}{V}} \cdot 100 = \frac{1}{k^2} \cdot 100 \quad (14)$$

Із формули 14 маємо, що у разі застосування рекуперативного гальмування питомі витрати енергоносія будуть залежати тільки від їх втрат і не залежати від інших складових (маси транспортного засобу, максимальної швидкості)

Для порівняння енергоефективності транспортних засобів різних конструкцій достатньо визначити тільки коефіцієнт втрат відповідно до формули 2 та максимально наскільки можливо реалізувати режим рекуперативного гальмування.

**Висновки та перспективи подальших досліджень.** Отримано рівняння питомих витрат енергоносія під час руху транспортного засобу з електричною тяговою установкою за елементарним спрощеним циклом. Це дозволяє зробити такі висновки:

— енергоефективність транспортного засобу в першу чергу залежить від коефіцієнта втрат електроенергії під час її перетворення в кінетичну енергію транспортного засобу;

— під час проектування тролейбусів з автономним ходом транспортного засобу на окремих ділянках же відсутнє живлення від контактної мережі необхідно максимально можливо використовувати рекуперовану енергію для підзарядження тягових акумуляторних батарей.

В подальших роботах необхідно розглянути інші варіанти циклів режимів руху, наприклад цикл в якому передбачається рух зі сталою швидкістю, а також більш широко дослідити коефіцієнт  $k$  [4], що характеризує втрати енергоносія.

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Будніченко В.Б. Аналіз показника енерговитрат транспортних засобів з електричним двигуном / В.Б. Будніченко, М.М. Гордієнко // Комунальне господарство міст. Серія : Технічні науки та архітектура. –2019. – Вип. 3. – С. 158–163 [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://nbuv.gov.ua/UJRN/>. – DOI 10.33042/2522-1809-2019-3-149-158-163

2. <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2020>

3. В.Б.Будніченко, Е.І Карпушин Визначення нормативів витрат електроенергії на рух транспортних засобів//Системні методи керування , технологія та організація виробництва ремонт та експлуатація автомобілів ..-К:НТУ.-2001 Вип. 12 С.120-124

4. Будніченко В. Б. Планування споживання електроенергії на електротранспорті за даними експлуатації. [Електронний ресурс] / В. Б. Будніченко, В. Х. Далека, В. М. Шавкун // Автомобіль і електроніка. Сучасні технології. – Харків: ХНАДУ, 2015.— № 8. Режим доступу: Правила ЕЭК ООН № 101-02:2005.

5. Единые образные предписания, касающиеся официального утверждения легковых автомобилей, приводимых в движение только двигателем внутреннего сгорания либо приводимых в движение при помощи гибридного электропривода, в отношении измерения объема выбросов двуокиси углерода и расхода топлива и/или измерения расхода электроэнергии и запаса хода на электротяге, а также транспортных средств категорий М1 и N1, приводимых в движение только при помощи электропривода, в отношении измерения расхода электроэнергии и запаса хода на электротяге.

#### REFERENCES

1. Budnichenko VB Analysis of the indicator of energy consumption of vehicles with an electric motor / V.B. Budnichenko, MM Gordienko // Municipal utilities. Series: Technical Sciences and Architecture. –2019. – Vip. 3. – P. 158–163 [Electronic resource]. – Access mode: <http://nbuv.gov.ua/UJRN/>. – DOI 10.33042 / 2522-1809-2019-3-149-158-163 2.

2. <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2020> 3. VB Budnichenko,

3. EI Karpushin Determination of standards for electricity consumption for the movement of vehicles // System control methods, technology and organization of production repair and operation of cars .- K: NTU.-2001 Vol. 12 P.120-124

4. Budnichenko VB Planning of electricity consumption in electric vehicles according to the operation. [Electronic resource] / VB Budnichenko, VH Daleka, VM Shavkun // Automobile and electronics. Modern technology. – Kharkiv: KhNADU, 2015.— № 8. Access mode: UNECE Rules № 101-02: 2005.

5. Uniform provisions concerning the approval of passenger cars powered by an internal combustion engine only or powered by a hybrid electric vehicle, with regard to the measurement of carbon dioxide emissions and fuel consumption and / or the measurement of electricity consumption and traction on electric traction, and also vehicles of categories M1 and N1, driven only by an electric drive, in relation to the measurement of electricity consumption and power reserve on electric traction.

#### РЕФЕРАТ

Будніченко В.Б. Методика оцінювання ефективності рекуперативного гальмування для елементарного спрощеного циклу руху / В.Б. Будніченко, М.М. Гордієнко // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науково-технічний збірник. – К.: НТУ, 2021. – Вип. 1 (48).

У статті проаналізовано елементарний спрощений цикл транспортного засобу з електричним двигуном під час його розгону та рекуперативному гальмуванні, залежність питомих витрат енергії від швидкості транспортного засобу та отримано рівняння питомих витрат енергоносія, з метою розробки математичної моделі, що характеризує енергоефективність транспортного засобу з тяговим електричним двигуном для умов руху на елементарному спрощеному циклі.

Об'єктом дослідження є процес визначення питомих витрат енергоносія під час руху транспортного засобу з електричною тяговою установкою.

Метою статті є розробки математичної моделі, що характеризує енергоефективність колісного та рейкового транспортного засобу з електричною тяговою установкою.

Методи дослідження – інформаційно-аналітичні.

За результатами дослідження отримано методику оцінювання ефективності рекуперативного гальмування для елементарного спрощеного циклу руху

**КЛЮЧОВІ СЛОВА:** ЕЛЕКТРИЧНА ТЯГОВА УСТАНОВКА, ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ, ВИТРАТА ЕНЕРГІЇ, РЕКУПЕРАТИВНЕ ГАЛЬМУВАННЯ, ЕЛЕКТРОДИНАМІЧНЕ ГАЛЬМУВАННЯ, МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ

#### ABSTRACT

Budnichenko V.B., Gordienko M.M. Methods for evaluating the effectiveness of recuperative braking for elementary simplified motion cycle. Visnyk National Transport University. Series «Technical sciences». Scientific and Technical Collection. – Kyiv: National Transport University, 2021. – Issue 1 (48).

The article analyzes the elementary simplified cycle of a vehicle with an electric motor during its acceleration and regenerative braking, the dependence of specific energy consumption on vehicle speed and the equation of specific energy consumption, to develop a mathematical model that characterizes the energy efficiency of a vehicle with traction traffic conditions on an elementary simplified cycle.

The object of the study is the process of determining the specific energy consumption during the movement of a vehicle with an electric traction unit.

The aim of the article is to develop a mathematical model that characterizes the energy efficiency of wheeled and rail vehicles with electric traction. Research methods – information-analytical. According to the results of the study, a method for evaluating the effectiveness of regenerative braking for an elementary simplified motion cycle is obtained.

**KEY WORDS:** ELECTRIC TRACTION INSTALLATION, ENERGY EFFICIENCY, ENERGY CONSUMPTION, RECOVERATIVE INHIBITION, ELECTRODYNAMIC HALAMENE GALAMATE, MATHEMATICAL MODEL

#### РЕФЕРАТ

Будніченко В.Б. Методика оцінки ефективності рекуперативного торможения для елементарного упрощеного циклу движения / В.Б. Будніченко, М.М. Гордиенко // Вестник Национального транспортного университета. Серія «Технические науки». Научно-технический сборник. – К.: НТУ, 2021. – Вып. 1 (48).

В статье проанализированы элементарный упрощенный цикл транспортного средства с электрическим двигателем во время его разгона и рекуперативного торможения, зависимость удельных затрат энергии от скорости транспортного средства и получены уравнения удельных затрат энергоносителя, с целью разработки математической модели, характеризующий энергоэффективность транспортного средства с тяговым электрическим двигателем для условий движения на элементарном упрощенном цикле.

Объектом исследования является процесс определения удельных расходов энергоносителя при движении транспортного средства с электрической тяговой установкой.

Целью статьи является разработки математической модели, характеризующий энергоэффективность колесного и рельсового транспортного средства с электрической тяговой установкой.

Методы исследования – информационно-аналитические.

По результатам исследования получены методика оценки эффективности рекуперативного торможения для элементарного упрощенного цикла движения

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ТЯГОВАЯ УСТАНОВКА, ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ, РАСХОД ЭНЕРГИИ, РЕКУПЕРАТИВНОЕ ТОРМОЖЕНИЕ, ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКОЕ ТОРМОЖЕНИЕ, МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ

#### **АВТОРИ:**

Будніченко Валерій Борисович, кандидат технічних наук, доцент, Національний транспортний університет, доцент кафедри технічної експлуатації автомобілів та автосервіс, e-mail: budnvb@bigmir.net, тел. +380679318431, Україна, 01010, м.Київ, вул. Омеляновича Павленка 1, к.01. orcid.org / 0000-0002-1235-3781

Гордієнко Микола Максимович, Національний транспортний університет, аспірант, асистент кафедри технічної експлуатації автомобілів та автосервіс, e-mail: gordienkonikolaj@ukr.net, тел. +380973608769, Україна, 01010, м.Київ, вул. Омеляновича Павленка 1, к.01. orcid.org/0000-0002-8993-789X

#### **AUTHOR:**

Budnichenko Valeriy Borysovyeh, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, National Transport University, Associate Professor of the Department of Technical Operation of Cars and Car Service, e-mail: budnvb@bigmir.net, tel. +380679318431, Ukraine, 01010, Kyiv, street Omelyanovich Pavlenko 1, room 01. orcid.org / 0000-0002-1235-3781

Gordienko Mykola Maksymovych, National Transport University, graduate student, assistant of the department of technical operation of cars and car service, e-mail: gordienkonikolaj@ukr.net, tel. +380973608769, Ukraine, 01010, Kyiv, street Omelyanovich Pavlenko 1, k.01. orcid.org / 0000-0002-8993-789X

#### **АВТОРЫ:**

Будніченко Валерій Борисович, кандидат технічних наук, доцент, Національний транспортний університет, доцент кафедри технічної експлуатації автомобілів та автосервіс, e-mail: budnvb@bigmir.net, тел. +380679318431, Україна, 01010, Київ, ул. Омеляновича Павленко 1, к.01. orcid.org / 0000-0002-1235-3781

Гордієнко Микола Максимович, Національний транспортний університет, аспірант, асистент кафедри технічної експлуатації автомобілів та автосервіс, e-mail: gordienkonikolaj@ukr.net, тел. +380973608769, Україна, 01010, Київ, ул. Омеляновича Павленко 1, к.01. orcid.org / 0000-0002-8993-789X

#### **РЕЦЕНЗЕНТИ:**

Пустюльга С.І., доктор технічних наук, професор, Луцький національний технічний університет, в.о. завідувач кафедри дизайну та графіки, Луцьк, Україна

Матейчик В.П., доктор технічних наук, професор, Національний транспортний університет, декан автомеханічного факультету, Київ, Україна

#### **REVIEWER:**

Pustyulga S.I., Doctor of Technical Sciences, Professor, Lutsk National Technical University, Acting Head of the Department of Design and Graphics, Lutsk, Ukraine

Mateychik V.P., Doctor of Technical Sciences, Professor, National Transport University, Dean of the Faculty of Mechanical Engineering, Kyiv, Ukraine