

УДК 621.43.068.7  
UDC 621.43.068.7

### КОМПЛЕКСНА ОЦІНКА ВНУТРІШНЬОЦИЛІНДРОВОЇ НЕЙТРАЛІЗАЦІЇ ТОКСИЧНИХ РЕЧОВИН ДИЗЕЛЯ НА ОСНОВІ ПАЛИВНО-ЕКОЛОГІЧНОГО КРИТЕРІЮ

Парсаданов І.В., доктор технічних наук, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків, Україна

Строков О.П., доктор технічних наук, філія Кременчуцького національного університету ім. М. Остроградського, Кременчук, Україна

Хижняк В.О., Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків, Україна

### COMPLEX ASSESSMENT OF IN-CYLINDER NEUTRALIZATION OF TOXIC SUBSTANCES OF THE DIESEL ENGINE ON THE BASIS OF FUEL AND ECOLOGICAL CRITERION

Parsadanov I.V., Doctor of Technical Science, National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute», Kharkiv, Ukraine

Strokov O.P., Doctor of Technical Science, branch of the Kremenchuk National University named after M. Ostrogradskiy, Kremenchuk, Ukraine

Khyzhniak V.O., National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute», Kharkiv, Ukraine

### КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА ВНУТРИЦИЛИНДРОВОЙ НЕЙТРАЛИЗАЦИИ ТОКСИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ ДИЗЕЛЯ НА ОСНОВЕ ТОПЛИВНО-ЭКОЛОГИЧЕСКОГО КРИТЕРИЯ

Парсаданов И.В., доктор технических наук, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», Харьков, Украина

Строков А.П., доктор технических наук, филиал Кременчугского национального университета им. М. Остроградского, Кременчуг, Украина

Хижняк В.А., Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», Харьков, Украина

**Вступ.** Сукупність прикладних досліджень двигунів внутрішнього згорання пропонує різні засоби по поліпшенню економічних та екологічних показників, серед яких розглядається нанесення каталітичних покриттів на поверхні камери згорання (КЗ) поршня. Ефективність такого методу розглядається в роботах В.О. Звонова, І.П. Васильєва [1], W. Zeng [2], M. Ciniviz [3], М.М. Бендика та В.М. Фоміна [4] тощо.

Результати дослідження одноциліндрового дизеля проведеного на кафедрі ДВЗ НТУ «ХПІ» [5] з оцінки ефективності внутрішньоциліндрової нейтралізації токсичних речовин з ВГ дизеля показали позитивні результати по зниженню викидів оксидів азоту ( $\text{NO}_x$ ) при одночасному підвищенню паливної економічності. Це дозволяє провести порівняльну оцінку паливної економічності та токсичності відпрацьованих газів (ВГ) дизеля з поршнем серійної комплектації та дизеля з нанесеними каталітичними покриттями на поверхні камери згорання (КЗ) поршня на основі комплексного паливно-екологічного критерію.

Використання комплексного паливно-екологічного критерію для оцінки паливної економічності та токсичності ВГ дизеля за даними експериментальних досліджень передбачено при використанні моделей експлуатації [6], але така оцінка можлива і для кожного з режимів.

В якості вихідних даних для проведення розрахунку комплексного паливно-екологічного критерію в проведеному дослідженні є ефективна потужність двигуна, частота обертання колінчастого валу, годинна витрата палива, питома витрата палива, концентрація оксидів азоту та монооксиду вуглецю.

**Мета** роботи – оцінка ефективності внутрішньоциліндрової нейтралізації токсичних речовин дизеля на основі паливно-екологічного критерію та аналіз отриманих результатів розрахунку.

**Методика дослідження.** Розрахунок комплексного паливно-екологічного критерію проводять з використанням ефективного ККД та коефіцієнту відносних експлуатаційних втрат, який в свою чергу враховує витрати на відшкодування екологічного збитку та витрати на паливо [6]:

$$K_{п.е.} = \eta_e \cdot \beta, \quad (1)$$

де  $\eta_e$  – ефективний ККД;  $\beta$  – коефіцієнт відносних експлуатаційних втрат.

Якщо відома ефективна потужність  $N_e$  (кВт), нижча теплота згоряння  $H_u$  (МДж/кг), годинна витрата палива (кг/год), то ефективний ККД для кожного з режимів визначається за формулою:

$$\eta_e = \frac{3600 \cdot N_e}{H_u \cdot B_{год}}, \quad (2)$$

Однією із основних складових паливно-екологічного критерію є паливна економічність двигуна в експлуатації. Витрати на паливо при роботі дизеля на фіксованому режимі, грн/кВт·год можна визначити як:  $Z_{пi} = g_{e_i} \cdot C_{п}$ .

Друга складова комплексного критерію – рівень токсичності відпрацьованих газів двигуна. При визначенні токсичних властивостей ВГ дизеля враховують витрати в грн/кВт·год на відшкодування екологічного збитку від впливу шкідливих компонентів на навколишнє середовище:  $Z_{e_i} = \frac{B_{год} \cdot Y_{e_i}}{N_e}$ .

В наведених формулах:  $g_{e_i}$  – питома витрата палива, кг/кВт·год;  $C_{п}$  – ціна 1 кг палива, грн;  $Y_{e_i}$  – вартісний показник екологічного збитку, грн.

Визначення вартісного показника екологічного збитку від шкідливого впливу на навколишнє середовище ВГ дизеля проводиться з урахуванням масових викидів токсичних компонентів, їх агресивності і нанесеної шкоди:

$$Y_{e_i} = \frac{\delta \cdot \sigma \cdot f \cdot G_{шп.пр.i}}{B_{год.i}}, \quad (3)$$

де  $\delta$  – розмірний коефіцієнт для переведення бальної оцінки збитку у вартісну, грн/кг<sub>пал</sub>, який залежить від вартості палива;  $\sigma$  – безрозмірний показник відносної небезпеки забруднення в залежності від призначення двигуна, приймаємо, як для двигуна вантажного автомобіля  $\sigma=1$ ;  $f$  – безрозмірний коефіцієнт, що враховує характер розсіювання відпрацьованих газів в атмосфері, приймаємо для умов України  $f=1$ ;  $G_{шп.пр.}$  – приведений масовий викид шкідливих речовин з ВГ дизеля, кг<sub>шп</sub>/год, що дорівнює:

$$G_{шп.пр.i} = \sum A_{k_i} \cdot \frac{G_{k_i}}{B_{год.i}}. \quad (4)$$

Тут  $A_{k_i}$  – показник відносної агресивності компоненту;  $G_{k_i}$  – масовий викид компоненту, кг/год. Величини показника відносної агресивності та формули для розрахунків масових викидів для певного компоненту наведено у монографії [6].

Сумарні витрати на паливо і відшкодування екологічного збитку від шкідливого впливу на навколишнє середовище ВГ при згорянні палива на фіксованому режимі, грн/кВт·год знаходимо як:

$$Z_{п.е.i} = Z_{пi} + Z_{e_i}, \quad (5)$$

а коефіцієнт відносних експлуатаційних втрат для кожного режиму визначається формулою:

$$\beta_i = \frac{Z_{пi}}{Z_{п.е.i}}, \quad (6)$$

тобто маємо дані для визначення комплексного паливно-екологічного критерію за формулою (1).

**Результати дослідження.** Дослідження проведені на безнаддувному одноциліндровому дизелі розмірністю 12/14 на режимі  $N_e = 10,3$  кВт при частоті обертання колінчастого валу  $n = 1400$  хв<sup>-1</sup>[5]. За даними результатів проведених досліджень одноциліндрового дизеля були отримані вихідні дані для проведення розрахунку комплексного паливно-екологічного критерію, які представлені у табл. 1.

Таблиця 1 – Вихідні дані для розрахунку комплексного паливно-екологічного критерію

Етапи дослідження поршнів	Параметр та одиниці вимірювання					
	Потужність $N_e$ , кВт	Частота обертання КВ, $n, \text{хв}^{-1}$	Годинна витрата палива, $V_{\text{год}}$ , кг/год	Питома витрата палива, $g_e$ , кг/кВт·год	Концентрація оксидів азоту, $W_{\text{NO}_x}$ , млн. <sup>-1</sup>	Концентрація монооксиду вуглецю, $W_{\text{CO}}$ , млн. <sup>-1</sup>
Серійної комплектації	10,3	1400	2,99	0,288	2162	1008
З каталітичн. покриттям на основі оксиду Mn	10,3	1400	2,88	0,279	2288	1462
З каталітичн. покриттям на основі оксиду Co	10,3	1400	2,79	0,271	2085	1660

При визначенні комплексного критерію враховувалися лише витрати на відшкодування екологічних збитків від  $\text{NO}_x$  та  $\text{CO}$ . Результати проведених розрахунків наведено у табл. 2.

Таблиця 2 – Результати розрахунків комплексного паливно-екологічного критерію

Етапи дослідження поршнів	Параметр та одиниці вимірювання					
	Ефективний ККД, $\eta_e$	Витрати на паливо, $Z_{\text{пф}}$ , грн/кВт·год	Витрати на відшкодування екологічних збитків, $Z_{\text{еі}}$ , грн/кВт	Сумарні паливно-екологічні витрати, $Z_{\text{п.е.}}$ , кг/кВт·год	Коефіцієнт відносних експлуат. втрат, $\beta$	Комплексний паливно-екологічний критерій, $K_{\text{п.е.}}$
Серійної комплектації	0,291	7,20	7,573	14,773	0,487	0,142
З каталітичн. покриттям на основі оксиду Mn	0,303	6,975	8,411	15,386	0,453	0,137
З каталітичн. покриттям на основі оксиду Co	0,312	6,775	7,640	14,415	0,469	0,147

Результати розрахунку показали, що для варіанту дизеля з поршнем серійної комплектації комплексний паливно-екологічний критерій складає 0,142, для дизеля з поршнем з нанесеним каталітичним покриттям на основі оксиду марганцю – 0,137. Максимальне значення критерію має дизель з поршнем з каталітичним покриттям на основі оксиду кобальту – 0,147.

Внаслідок збільшення концентрацій  $\text{NO}_x$  та  $\text{CO}$  у ВГ, комплексні показники дизеля з поршнем з каталітичним покриттям на основі оксиду марганцю погіршуються. В той же час, за рахунок покращення паливної економічності та зниження концентрації  $\text{NO}_x$  у ВГ дизеля, каталітичне покриття на основі оксиду кобальту забезпечує найбільший ефект.

Графічна залежність комплексного паливно-екологічного критерію для дизеля з поршнем серійної комплектації та дизеля з поршнем з нанесеними каталітичними покриттями на основі оксиду Mn та Co представлена на рис. 1.

**Висновок.** Проведені дослідження дизеля і комплексна оцінка паливної економічності та токсичності ВГ за даними попередніх досліджень одноциліндрового дизеля підтвердили ефективність використання на поверхні КЗ поршня каталітичного покриття на основі оксиду кобальту за рахунок

зменшення витрати палива і концентрації у відпрацьованих газах оксиду азоту.

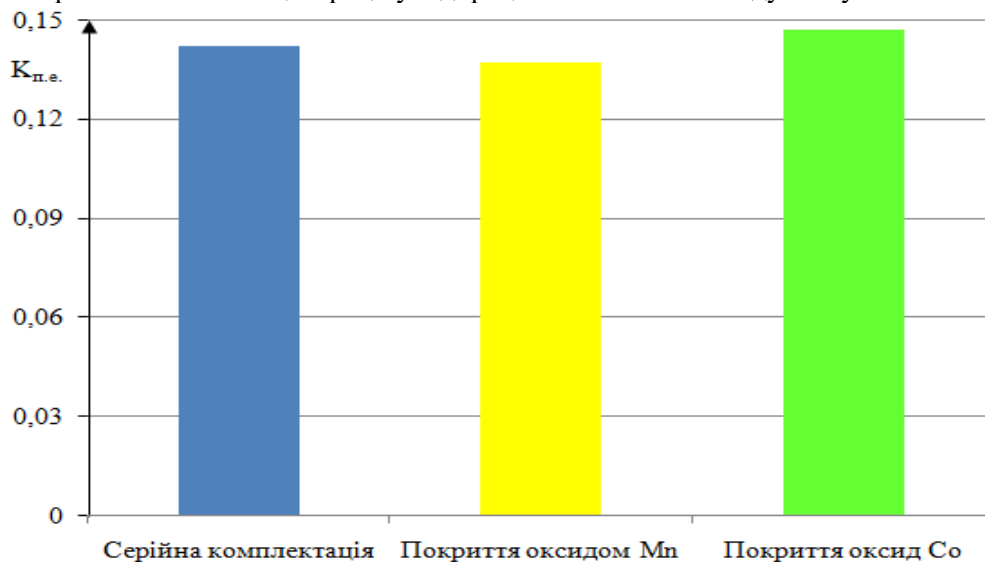


Рисунок 1 – Комплексний паливно-екологічний критерій для дизеля з поршнем серійної комплектації та дизеля з поршнем з нанесеними каталітичними покриттями на основі оксидів Mn та Co

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Васильев И. П. Влияние характеристик турбулентности воздушного заряда в камере сгорания с локальной турбулизацией заряда и каталитическим покрытием на показатели дизеля / И.П. Васильев, В.А. Звонов, П.Н. Гавриленко // Совершенствование быстроходных дизелей: Тезисы докл. международной научно техн. конф. 25-28 мая 1993 г. – Барнаул, 1993. – с. 30-31.
2. Zeng W. Numerical investigation on the application of catalytic combustion to HCCI engines / Wen Zeng, Maozhao Xie, Ming Jia // Chemical Engineering Journal. – 2007. – no. 127. – p. 81-93.
3. Ciniviz M. Impact of thermal barrier coating application on the performance and emissions of a turbocharged diesel engine / M. Cinviz, C. Hasimoglu, F. Sahin, M.S. Salman // Automobile engineering. – 2008. – no. 222. – p. 2447-2455.
4. Бендик М.М. Системы каталитического воздействия на параметры рабочего процесса автомобильного дизеля / М.М. Бендик, В.М. Фомин // Вестник РУДН Сер.: Инженерные исследования. – 2005. – № 1 (11). – с. 32-38.
5. Парсаданов І.В. Дослідження дизеля з каталітичним покриттям поверхні камери згоряння [Текст] / І.В. Парсаданов, М.Д. Сахненко, М.В. Ведь, І.М. Карягін, В.О. Хижняк, Д.С. Андрощук // Двигатели внутреннего сгорания. – Х.: НТУ «ХПИ», 2015. – № 2. – с. 69-72.
6. Парсаданов І.В. Підвищення якості і конкурентоспроможності дизелів на основі комплексного паливно-екологічного критерію [Текст]: монографія / І.В. Парсаданов. – Х.: Видавничий центр НТУ «ХПИ», 2003. – 244с. – Російською мовою.

#### REFERENCES

1. Vasil'ev I.P., Zvonov V.A., Gavrilenko P.N. Vliyanie harakteristik turbulentsnosti vozdušnogo zarjada v kamere sgoraniya s lokal'noj turbulizaciej zarjada i kataliticheskim pokrytiem na pokazateli dizelja [The effect of the characteristics of turbulence of the air charge in the combustion chamber with the local turbulence of the charge and the catalytic coating on the performance of diesel engine]. *Sovershenstvovanie bystrohodnyh dizel'ej: Tezisy dokl. mezhdunarodnoj nauchno-tehn. konf. 25-28 maja 1993, Barnaul* [Improvement of high-speed diesel engines: Abstracts. Int. Sci.-Techn. Conf. 25-28 may 1993, Barnaul]. Barnaul, 1993, pp. 30-31. (Rus)
2. Zeng W. Numerical investigation on the application of catalytic combustion to HCCI engines / Wen Zeng, Maozhao Xie, Ming Jia // Chemical Engineering Journal. – 2007. – no. 127. – p. 81-93. (Eng)
3. Ciniviz M. Impact of thermal barrier coating application on the performance and emissions of a turbocharged diesel engine / M. Cinviz, C. Hasimoglu, F. Sahin, M.S. Salman // *Automobile engineering*. – 2008. – no. 222. – p. 2447-2455. (Eng)
4. Bendik M.M., Fomin V.M. Sistemy kataliticheskogo vozdejstviya na parametry rabocheho processa avtomobil'nogo dizelya [System of catalytic influence on parameters of working process of diesel

engines]. *Vestnik RUDN Ser.: Inzhenernyie issledovaniya [Bulletin of RUDN Ser.: Engineering studies]*, 2005, no.1(11), p.32-38. (Rus)

5. Parsadanov I.V., Sakhnenko M.D., Ved' M.V., Karyahin I.M., Khyzhnyak V.O, Androshchuk D.S. Doslidzhennya dyzelya z katalitychnym pokryttyam poverkhni kamery zhoryannya [The research of the diesel engine with a catalytic coating on the surface of the combustion chamber]. *Dvigateli vnutrennego sgoraniya [Internal combustion engine]*, 2015, no. 2, pp. 69-72. (Rus)

6. Parsadanov I.V. Povyshenie kachestva i konkurentosposobnosti dizelej na osnove kompleksnogo toplivno-ekologicheskogo kriteriya [Improvement of quality and competitiveness of diesel engines on the basis of complex fuel and ecological criterion]. Kharkov, NTU "KhPI" Publ., 2003, 244 p. (Rus)

#### РЕФЕРАТ

Парсаданов І.В. Комплексна оцінка внутрішньоциліндрової нейтралізації токсичних речовин дизеля на основі паливно-екологічного критерію / І.В. Парсаданов, О.П. Строков, В.О. Хижняк // Вісник Національного транспортного університету. Серія “Технічні науки”. Науково-технічний збірник. – К.: НТУ, 2017. – Вип. 3 (39).

Мета роботи – оцінка ефективності внутрішньоциліндрової нейтралізації токсичних речовин дизеля на основі паливно-екологічного критерію та аналіз отриманих результатів розрахунку.

В статті проведена порівняльна оцінка паливної економічності та токсичності відпрацьованих газів дизеля з поршнем серійної комплектації та дизеля з нанесеними каталітичними покриттями на поверхні камери згорання з використанням комплексного паливно-екологічного критерію. Аналіз результатів розрахунку показав, що за рахунок покращення паливної економічності та зниження концентрації оксидів азоту у відпрацьованих газах дизеля, каталітичне покриття на основі оксиду кобальту забезпечує найбільший ефект.

**КЛЮЧОВІ СЛОВА:** ДИЗЕЛЬ, КАТАЛІТИЧНЕ ПОКРИТТЯ, КАМЕРА ЗГОРЯННЯ, ПАЛИВНО-ЕКОЛОГІЧНИЙ КРИТЕРІЙ, ТОКСИЧНІСТЬ ВІДПРАЦЬОВАНИХ ГАЗІВ.

#### ABSTRACT

Parsadanov I.V., Stokov O.P, Khyzhniak V.O. Complex assessment of in-cylinder neutralization of toxic substances of the diesel engine on the basis of fuel and ecological criterion. *Visnyk National Transport University. Series “Technical sciences”. Scientific and Technical Collection.* – Kyiv. National Transport University, 2017. – Issue 3 (39).

Purpose – assessment efficiency of in-cylinder neutralization of toxic substances of the diesel engine on the basis of fuel and ecological criterion and the analysis of the received results of calculation.

Comparative assessment of fuel profitability and toxicity of the exhaust gases of a diesel engine with the piston of standart equipment and diesel with the put catalytic coatings on the surface of the combustion chamber with use of complex fuel and ecological criterion is carried out. The analysis of results of calculation showed that due to improvement of fuel profitability and decrease in concentration of nitrogen oxides in the exhaust gases of diesel engine, the catalytic coating on the basis of oxide of cobalt provides the greatest effect.

**KEY WORDS:** DIESEL, CATALYTIC COATING, COMBUSTION CHAMBER, FUEL AND ECOLOGICAL CRITERION, TOXICITY OF EXHAUST GASES.

#### РЕФЕРАТ

Парсаданов І.В. Комплексная оценка внутрицилиндровой нейтрализации токсических веществ дизеля на основе топливно-экологического критерия / И.В. Парсаданов, А.П. Строков, В.А. Хижняк // Вестник Национального транспортного университета. Серія "Технические науки". Научно-технический сборник. – К.: НТУ, 2017. – Вип. 3 (39).

Цель работы – оценка эффективности внутрицилиндровой нейтрализации токсических веществ дизеля на основе топливно-экологического критерия и анализ полученных результатов расчета.

Проведена сравнительная оценка топливной экономичности и токсичности отработавших газов дизеля с поршнем серийной комплектации и дизеля с нанесенными каталитическими покрытиями на поверхность камеры сгорания с использованием комплексного топливно-экологического критерия. Анализ результатов расчета показал, что за счет улучшения топливной экономичности и снижения концентрации оксидов азота в отработавших газах дизеля, каталитическое покрытие на основе оксида кобальта обеспечивает наибольший эффект.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** ДИЗЕЛЬ, КАТАЛИТИЧЕСКОЕ ПОКРЫТИЕ, КАМЕРА СГОРАНИЯ, ТОПЛИВНО-ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ КРИТЕРИЙ, ТОКСИЧНОСТЬ ОТРАБОТАВШИХ ГАЗОВ.

**АВТОРИ:**

Парсаданов Ігор Володимирович, доктор технічних наук, професор, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», професор кафедри двигунів внутрішнього згоряння, e-mail: parsadanov@kpi.kharkov.ua, тел.+380577076089, Україна, 61002, м. Харків, вул. Кирпичова 2.

Строков Олександр Петрович, доктор технічних наук, професор, філія Кременчуцького національного університету ім. М. Остроградського, професор кафедри транспорту та транспортних технологій, e-mail: ataman1946@mail.ru, тел.: +380577349420, Україна, 39600, м. Кременчук, вул. Першотравнева 20.

Хижняк Володимир Олександрович, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», аспірант кафедри двигунів внутрішнього згоряння, e-mail: Leo\_18@ukr.net, тел. +380502397969, Україна, 61002, м. Харків, вул. Кирпичова 2.

**AUTHORS:**

Parsadanov Igor V., Doctor of Technical Science, Professor, National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute», Professor of the Department of Internal Combustion Engines, e-mail: parsadanov@kpi.kharkov.ua, tel. +380577076089, Ukraine, 61002, Kharkiv, 2 Kirpicheva St.

Strokov Alexander P., Doctor of Technical Science, Professor, Kremenchuk Branch of the National University named after M. Ostragradskiy, Professor of the Department of Transport and Transport Technologies, e-mail: ataman1946@mail.ru, tel. +380577349420, Ukraine, 39600, Kremenchuk, 20 Pershotravneva St.

Khyzhniak Vladimir A., National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute», Postgraduate Student of the Department of Internal Combustion Engines, e-mail: Leo\_18@ukr.net, tel. +380502397969, Ukraine, 61002, Kharkiv, 2 Kirpicheva St.

**АВТОРЫ:**

Парсаданов Игорь Владимирович, доктор технических наук, профессор, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», профессор кафедры двигателей внутреннего сгорания, e-mail: parsadanov@kpi.kharkov.ua, тел. +380577076089, Украина, 61002, г. Харьков, ул. Кирпичева 2.

Строков Александр Петрович – доктор технических наук, профессор, филиал Кременчугского национального университета им. М. Остроградского, профессор кафедры транспорта и транспортных технологий, e-mail: ataman1946@mail.ru, тел. +380577349420, Украина, 39600, г. Кременчуг, ул. Первомайская 20.

Хижняк Владимир Александрович, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», аспирант кафедры двигателей внутреннего сгорания, e-mail: Leo\_18@ukr.net, тел. +380502397969, Украина, 61002, г. Харьков, ул. Кирпичева 2.

**РЕЦЕНЗЕНТИ:**

Левківський О.П., доктор технічних наук, професор, Національний Транспортний Університет, завідувач кафедри виробництва, ремонту та матеріалознавства, Київ, Україна.

Білогуб Олександр Віталійович, доктор технічних наук, професор, Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут», професор кафедри конструкції авіаційних двигунів, Харків, Україна.

**REVIEWERS:**

Levkivskiy O.P, Doctor of Technical Sciences, Professor, National Transport University, Head of Department of Manufacturing, Repair and Materials Engineering, Kyiv, Ukraine.

Bilohub O.V., Doctor of Technical Science, Professor, National Aerospace University «Kharkiv Aviation Institute», Kharkov, Ukraine.