
МЕХАНІЧНА ІНЖЕНЕРІЯ (131, 132, 133)

УДК 69.002.5:625.08

МЕТОДИКА ФОРМУВАННЯ ЗАГОНІВ МАШИН ДЛЯ ЗЕМЛЯНИХ РОБІТ
НА ПРИКЛАДІ ЗАСТОСУВАННЯ НАВАНТАЖУВАЧІВ

Д-р техн. наук М. П. Ремарчук, канд. техн. наук Я. В. Чмуж, асп. О. О. Галицький,
асист. О. В. Кебко, викл. вищ. кат. Р. Є. Соболев

METHODOLOGY OF FORMATION DETACHMENTS TECHNIQUES FOR
CONSTRUCTION RAILWAY TRACKS AND HIGHWAYS

D. Sc. (Tech.) M. Remarchuk, PhD (Tech.) Ya. Chmuzh, postgraduate student O. Halytskyi,
assistant O. Kebko, a teacher of the highest category R. Sobolev

DOI: <https://doi.org/10.18664/1994-7852.201.2022.267771>



***Анотація.** Створена методика формування загонів із різних машин за функціональним призначенням для виконання земляних робіт на прикладі дослідження однокорових навантажувачів. Доведено, що з масиву однорідних машин за функціональним призначенням виділяється одна з них, що є зразковою і характеризується максимальним коефіцієнтом корисної дії і мінімальними витратами палива відносно її продуктивності та мінімальними відносними втратами палива порівняно з подібними машинами. На основі таких машин з різною їхньою кількістю можна формувати відповідні загони машин, здатних виконувати заданий об'єм роботи при мінімальних витратах палива та мінімальних термінах виконання такого обсягу роботи.*

***Ключові слова:** методика, навантажувач, витрати палива, продуктивність, потужність, коефіцієнт корисної дії, загін машин.*

***Abstract.** Based on the results of the study, on the basis of a systematic approach and reference parameters, a methodology for the formation of detachments from various machines according to their functional purpose for performing earthworks was created on the example of using single-bucket loaders. Studies have shown that from an array of homogeneous machines for functional purposes, it is necessary to determine one of them, which is exemplary. The exemplary machine, as shown by the results of research, is characterized by maximum efficiency and minimum fuel consumption in relation to its performance and zero relative fuel losses compared to known cars. Such a machine, which is defined as an example, as part of other machines recognized as exemplary, allows you to form a fleet of various machines capable of performing a given amount of work with minimal fuel consumption and minimal duration of such amount of work.*

To obtain the results that are described above a number of conditions must be met, which include the following:

- each of the machines is treated as a complex technical system using known assumptions;*
- all technical and economic parameters of such machines are used from known scientific sources or on the basis of their own research;*
- for all homogeneous machines, it is necessary to determine the indicators in the form of total efficiency and the value of the specific fuel consumption;*

– determine, on the basis of this methodology, the amount of fuel saving relative to an exemplary vehicle, which is accepted as the most efficient and due to which the necessary squad of vehicles is formed.

The result of the application of the created technique is the ability to determine the value of the relative fuel economy for the formed detachment of machines. The value of this savings depends on the duration of the specified volume of work by the formed detachment of machines.

Keywords: technique, loader, fuel consumption, performance, power, coefficient of useful action, squad of machines.

Вступ. Виконання значного об'єму робіт різними машинами потребує знання конструктивних і функціональних особливостей кожної машини в структурі технологічного процесу при забезпеченні послідовності будівництва залізничних споруд та автомобільних доріг. На початковій стадії будівництва залізничних споруд та автомобільних доріг потрібне виконання значних об'ємів земляних робіт. Для проведення таких робіт широко використовуються різні машини для земляних робіт, зокрема бульдозери, екскаватори, автогрейдери та інші машини, тобто енергоємних машин, сформованих, як правило, в ефективні загоони, що потребують для виконання земляних робіт значних матеріальних ресурсів. Вони складаються з витрат на паливо, оплату праці машиніста, амортизаційні витрати для оновлення машин та інші [1-3].

На сьогодні виробниками землерийних машин запроваджено досить широкий масив подібних машин, призначених для виконання властивих для них земляних робіт. Комплектування з масиву різних машин у спеціальні загоони для забезпечення високого рівня ефективності їхньої роботи в експлуатаційних умовах, на перший погляд, є досить простим процесом, і при цьому не виникає особливих труднощів, оскільки забезпечується на основі використання загальнодоступної інформації, яка, як відомо, наведена в технічній документації і довідковій літературі. Дослідним шляхом встановлено, що на основі такого підходу до процесу формування цих загоонів зі складу відомих землерийних машин для виконання заданого об'єму робіт на основі суб'єктивної інформації не гарантує

прийняття правильного рішення, і тому процес формування загоонів потребує подальшого дослідження [4-6].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. За роботою [7, с. 204], «показники ефективності можуть бути визначені шляхом обробки даних натурного експерименту, а також методами моделювання, зокрема економіко-математичного». У цій же роботі зазначено, що «систему показників оцінювання ефективності землерийних машин доцільно формувати на базі такого узагальненого показника, як питомі приведені витрати, які з урахуванням відповідних зв'язків й обмежень найбільш повно відповідають розглянутим вимогам». Дотримуються цієї точки зору й інші дослідники [8]. Встановлено, що в роботі [8, с. 173] зазначено, що «критерій ефективності повинен мати такі характеристики:

- вимірювати справжню ефективність обраного варіанта;
- виражатися кількісно;
- для розв'язуваної задачі має бути один критерій;
- визначуватися критерій має точно і швидко, без великих витрат часу;
- забезпечувати облік всіх істотних сторін розв'язуваної задачі;
- мати фізичний зміст, що робить його зрозумілим і відчутним».

У роботі [8, ст. 186, 187] наведено аналіз з визначення економічно вигідної конструкції одного з бульдозерів на підставі масиву з трьох бульдозерів різних марок. Цей аналіз базується на визначенні собівартості продукції, отриманої бульдозерами з урахуванням таких факторів: об'єму роботи; дальності транспортування ґрунту.

Наведений огляд з цієї проблеми свідчить, що вона потребує подальшого свого дослідження, оскільки належить до актуальної проблеми на сьогодні.

Визначення мети та завдання дослідження. Метою роботи є створення наукової методики для обґрунтованого формування загонів машин для виконання земляних робіт, яким властивий високий рівень ефективного функціонування в умовах експлуатації при забезпеченні максимальної продуктивності з мінімальними витратами палива та які здатні до виконання заданого об'єму робіт за встановлений термін роботи.

Для досягнення вказаної вище мети необхідно вирішити такі завдання:

- застосувати системний підхід до розгляду одноковшових навантажувачів як складної системи з визначенням усіх її складових стану;
- обґрунтувати показники для визначення ефективності функціонування одноковшових навантажувачів в умовах експлуатації за довідковими параметрами;
- визначити з масиву однорідних одноковшових навантажувачів один із них як ефективний і прийняти його зразковим навантажувачем;
- визначити рівень економії палива для всіх одноковшових навантажувачів відносно зразкового навантажувача;

– обґрунтувати методику формування загонів машин для виконання земляних робіт різними машинами.

Основна частина дослідження.

Розроблення методу формування загонів машин для земляних робіт базується на застосуванні системного аналізу з одночасним використанням довідкових параметрів [9] одноковшових навантажувачів. Причому одноковшовий навантажувач розглядається як досить складна система зі своїми входами і виходами та внутрішнім станом. Така система складається з різних структурних елементів, функціонально з'єднаних між собою. Усі структурні елементи навантажувача забезпечують перетворення потужності на його вході в корисну роботу на виході. На основі застосування системного підходу і довідкових даних стає можливим визначати внутрішній стан одноковшових навантажувачів через показники у вигляді величини загального коефіцієнта корисної дії (ККД), питомих витрат палива та відносних втрат палива.

Досліджувати навантажувач як транспортну землерийну машину слід як структурну систему з її внутрішніми складовими і параметрами внутрішнього стану та зовнішніми параметрами входу і виходу, яку у спрощеному схемному вигляді подано на рис. 1.

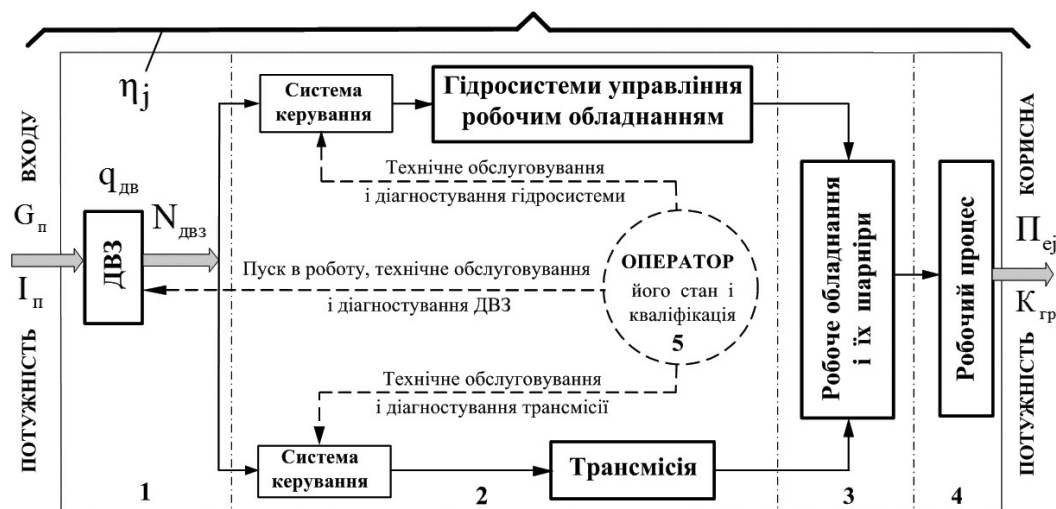


Рис. 1. Структурна схема одноковшового навантажувача

Цифрами позначено такі складові: 1 – джерело енергії, ДВЗ; 2 – силове обладнання; 3 – робоче обладнання; 4 – робочий процес; 5 – оператор. У системі навантажувача оператор (машиніст), як припущення, приймається висококваліфікованим, стан якого не впливає на продуктивність машини.

Параметрами входу для одноковшового навантажувача як складної системи, за рис. 1, є витрати ДВЗ палива $G_{пj}$ і теплотвірна здатність $I_{п}$ цього палива. Вихідними параметрами для одноковшового навантажувача є його продуктивність Π_{ej} і питоме зусилля різання (копання) ґрунту $K_{гр}$, що залежить від категорії ґрунту. Ці параметри відомі і наводяться в широко доступних наукових довідниках.

Для застосування системного підходу необхідно визначити ряд техніко-економічних параметрів:

- марку ДВЗ як джерело енергії;
- потужність джерела енергії машини;
- питомі витрати палива для двигуна;
- категорію ґрунту і питомий опір різання (копання) ґрунту;
- середню експлуатаційну продуктивність.

Об'єктом дослідження, виходячи з наведеного вище, є відомі навантажувачі, що забезпечують виконання властивих для них земляних робіт. Техніко-економічні параметри різних одноковшових навантажувачів [9], що в умовах експлуатації широко використовуються для виконання земляних робіт, подано в табл. 1.

Таблиця 1

Довідкові техніко-експлуатаційні параметри одноковшових навантажувачів [9]

Марка навантажувача	ТО-2	ТО-17	ТО-18	ТО-11	ТО-8	ТО-24	ТО-21
Марка ДВЗ	Д-54А	АМ-41	АМ-01	ЯМЗ-238НБ	ЯМЗ-238	8ДВТ-330	В2-550ТК-П5
Потужність ДВЗ $N_{двзj}$, кВт (к.с.)	39,7 (54)	66,1 (90)	80,8 (110)	158,0 (215)	161,7 (220)	242,6 (330)	404,4 (550)
Питомі витрати палива $q_{дв}$, г/к.с. год	205	170	185	175	157	170	220
Категорія ґрунту	II						
Питомий опір розробки ґрунту $K_{гр}$, кПа	160						
Експлуатаційна продуктивність Π_{ej} , м ³ /год	22,5	37	50,9	74	100	427	760
Вантажопідйомність, т (ємність ковша, м ³)	1,5/ (0,82)	2,0/ (1,0)	3,0/ (1,5)	4,0/ (2,0)	5,0/ (2,8)	10,0/ (5,0)	15,0/ (7,5)

За довідковими даними, наведеними в табл. 1, витрати палива $G_{пj}$ за одну годину

роботи одноковшового навантажувача [10, 11] визначаються за формулою, кг/год,

$$G_{пj} = 1,03 \times 10^{-3} \times N_{двзj} \times q_{дв} \times k_N \times k_{дв} \times k_{дп}, \quad (1)$$

де $N_{двзj}$ – номінальна потужність ДВЗ, к.с.;
 $q_{дв}$ – величина питомих витрат палива для ДВЗ, за довідковими значеннями, г/к.с. год;

k_N , $k_{дв}$, $k_{дп}$ – коефіцієнти, що враховують зміну витрат палива залежно від інтенсивності навантаження ДВЗ навантажувача за часом роботи і тривалістю дії потужності, що відповідно складають 1,18; 0,86 та 0,75.

Вхідна (загальна) потужність для навантажувача, позначена як $N_{пj}$ [10, 11], визначається за формулою, кВт,

$$N_{пj} = (G_{пj} \times I_{п}) / 3600, \quad (2)$$

де $I_{п}$ – теплотвірна здатність палива, кДж/кг.

За даними роботи [10], теплотвірна здатність дизельного палива складає середнє значення 42700 кДж/кг.

Для визначення корисної потужності на виході навантажувача, як складної системи, за довідковими даними, наведеними в табл. 1, використовувались його продуктивність і питомий опір різання (копання) ґрунту. Тоді потужність для навантажувача, що позначено як $N_{корj}$, визначається за формулою [10, 11], кВт,

$$N_{корj} = (K_{гр} \times П_{ej}) / 3600, \quad (3)$$

де $П_{ej}$ – продуктивність навантажувача, за довідковими даними, м³/год;

$K_{гр}$ – питомий опір різання (копання) ґрунту при виконанні одноковшовим навантажувачем робочого процесу, кПа.

Загальний ККД [10, 11] при роботі навантажувача η_j визначається як

$$\eta_j = (G_{пj} \times I_{п}) / (П_{ej} \times K_{гр}) = N_{корj} / N_{пj}. \quad (4)$$

Показник питомих витрат палива для кожного з навантажувачів, який позначено як k_j , визначається за формулою, кг/м³,

$$k_j = G_{пj} / П_{ej}. \quad (5)$$

Сумісний розгляд результатів дослідження, отриманих за залежностями (4) і (5), дозволив виявити особливу закономірність між величиною загального ККД одноковшових навантажувачів і величиною питомих витрат палива для цих же машин. Особлива закономірність полягає в тому, що один із одноковшових навантажувачів характеризується максимальним значенням загального ККД і при цьому мінімальною величиною питомих витрат палива. Такий одноковшовий навантажувач названо зразковим, і для цього навантажувача величина питомих витрат палива позначена як k_{min} . Інші досліджувані навантажувачі віднесено до звичайних, і величину питомих витрат палива позначено як k_j . На підставі наведеного вище стає можливим встановити величину відносних втрат палива протягом години роботи для кожного з навантажувачів. Ці втрати палива, позначені як Δq_j , визначаються за формулою, кг/год,

$$\Delta q_j = G_{пj} - k_{min} \cdot П_{ej}, \quad (6)$$

де $G_{пj}$ – витрати палива ДВЗ кожного з навантажувачів, що визначаються за залежністю (1), кг/год;

k_{min} – показник питомих витрат палива зразкового одноковшового навантажувача, який приймається за вказаною вище умовою, кг/м³;

$П_{ej}$ – експлуатаційна продуктивність кожного одноковшового навантажувача, наведена в табл. 1, м³/год.

Для масиву досліджуваних одноковшових навантажувачів на підставі

використання залежностей (1)-(6) отримано числові результати, наведені в табл. 2. Так, у першому стовпці табл. 2 подано всі марки навантажувачів відповідно до табл. 1. Наступні стовпці табл. 2, зокрема другий, третій і четвертий, відображують числові результати для всіх одноковшових навантажувачів, отриманих за залежностями (1)-(3). Стовпець п'ятий табл. 2 відображує внутрішній стан одноковшових навантажувачів - загальний ККД, який визначається за залежністю (4). Шостий стовпець відображує собою

результати питомих витрат палива на одиницю продуктивності для кожного з навантажувачів, отриманих на основі залежності (5). Сьомий стовпець табл. 2 відображує величину відносних витрат палива впродовж години роботи для кожного з навантажувачів (формула (6)). Причому для зразкового навантажувача, зокрема ТО-24, витрати палива характеризуються нульовим значенням порівняно з іншими машинами. Усі розрахункові параметри, наведені в табл. 2, для цього навантажувача виділено курсивом.

Таблиця 2

Результати дослідження одноковшових навантажувачів

Марка крана	Витрати палива ДВЗ $G_{пj}$, кг/год., ф. (1)	Потужність, приведена $N_{пj}$, кВт, ф. (2)	Потужність корисна $N_{корj}$, кВт, ф. (3)	Загальний ККД машини, η_j , ф. (4)	Питоми витрати палива k_j , ф. (5)	Відносні втрати палива Δq_j , кг/год, ф. (6)
1	2	3	4	5	6	7
ТО-2	8,678	102,93	1,00	0,0097	0,38568	6,3607
ТО-17	11,994	142,262	1,64	0,0115	0,32416	8,1833
ТО-18	15,953	189,22	2,26	0,0119	0,31341	10,7108
ТО-11	29,495	349,84	3,28	0,0093	0,39858	21,8737
ТО-8	27,077	321,16	4,44	0,0138	0,27077	16,7780
<i>ТО-24</i>	<i>43,978</i>	<i>521,62</i>	<i>18,97</i>	<i>0,0363</i>	<i>0,10299</i>	<i>0</i>
ТО-21	94,855	1125,08	33,77	0,0335	0,12480	16,5826

Для визначення рівня економії палива для всіх навантажувачів відносно зразкового навантажувача, приймемо умову, за якою об'єм матеріалу, що розробляється кожним одноквовшовим навантажувачем, складатиме величину близько 760 м³. Вибір цього об'єму ґрунту базується на тому, що такий об'єм ґрунту розробляється одноковшовим навантажувачем ТО-21 за одну годину роботи з величиною продуктивності на рівні $\Pi_{ej} = 760 \text{ м}^3/\text{год}$ (табл. 1).

На підставі такого підходу складається можливість для визначення часу t_j для виконання заданого об'єму роботи 760 м³

кожним із одноковшових навантажувачів, год:

$$t_j = V/\Pi_{ej} , \quad (7)$$

де V – об'єм матеріалу 760 м³, який розробляється кожним із одноковшових навантажувачів, м³;

Π_{ej} – експлуатаційна продуктивність кожного з одноковшових навантажувачів (табл. 1).

Загальні витрати палива Q_{zj} для кожного з одноковшових навантажувачів при виконанні ними однакового об'єму роботи з відомою власною продуктивністю

з урахуванням часу, встановленого для кожного з них, можна визначити за формулою, кг,

$$Q_{zj} = t_j \cdot G_{пj}, \quad (8)$$

де $G_{пj}$ – витрати палива ДВЗ, визначені для кожного одноковшового навантажувача (табл. 2).

Величина загальних витрат палива ДВЗ при виконанні кожним із навантажувачів однакового об'єму роботи 760 м^3 , у навантажувача марки ТО-24, який взнано як зразковий з витратами палива на

рівні мінімальної величини $Q_{\text{кон}}$, яка дорівнює масі 78,28 кг. Величина витрат палива для всіх досліджуваних навантажувачів порівняно з витратами палива для зразкового навантажувача можна подати як відносну економію палива ΔQ_j і визначити її за формулою, кг,

$$\Delta Q_j = Q_{zj} - Q_{\text{кон}}. \quad (9)$$

Усі отримані результати дослідження за залежностями (7)-(9) і витрати палива $Q_{\text{кон}}$ для зразкового навантажувача подано в табл. 3.

Таблиця 3

Результати розрахунків величини відносної економії палива

Марка навантажувача	ТО-2	ТО-17	ТО-18	ТО-11	ТО-8	ТО-24	ТО-21
Час на виконання заданого об'єму земляних робіт, год, ф. (7)	32,88	20,54	14,93	10,27	7,6	1,78	1,0
Загальні витрати палива, кг, ф. (8)	285,33	246,27	238,17	302,91	205,78	78,28	94,85
Зразковий навантажувач, витрати палива $Q_{\text{кон}}$, кг	78,28						
Відносна величина економії палива, кг, ф. (9)	207,05	167,99	159,89	224,63	127,5	0	16,57

Результати дослідження, наведені в табл. 3, направлені на виявлення з масиву навантажувачів одного з них як найбільш ефективного з точки зору мінімальних витрат палива при виконанні однакового об'єму і за мінімальний час. Таким умовам, за табл. 3, відповідає навантажувач ТО-24. На основі цього методу можна визначити найбільш ефективну машину з масиву різних машин для земляних робіт, зокрема бульдозерів, скреперів та інших машин. Із виявлених найбільш ефективних машин на підставі виконаних досліджень за цим методом можна формувати загони високоефективних машин для виконання земляних робіт.

Висновки:

1. Системний підхід дозволив визначити всі показники стану в навантажувача.
2. Ефективність показників навантажувача базується на їх визначенні у вигляді розмірних і безрозмірних величин і на підставі порівнянь.
3. На основі ряду показників навантажувач ТО-24 встановлений як зразковий.
4. За створеною методикою отримана величина відносної економії палива для кожної машини порівняно з витратами палива для зразкового навантажувача.
5. Ця методика дозволяє формувати на підставі зразкових машини ефективні загони для виконання заданого об'єму робіт з мінімальними витратами палива.

Список використаних джерел

1. Технология, механизация и автоматизация строительства: учеб. для вузов по спец. «Экономика и упр. в стр-ве» / С. С. Атаев, В. А. Бондарик, И. Н. Громов и др.; под общ. ред. С. С. Атаева и С. Я. Луцкого. Москва: Высш. шк., 1990. 592 с.
2. Эксплуатация подъемно-транспортных, строительных и дорожных машин: учеб. для студ. высш. учеб. заведений / А. В. Рубайлов, Ф. Ю. Керимов, В. Я. Дворковой и др.; под. ред. Е. С. Локшина. Москва: Издательский центр «Академия», 2007. 512 с.
3. Блохин В. С., Малич Н. Г. Машины для земляных работ, предпосылки повышения их конкурентоспособности: учеб. пособ. Днепропетровск: ИМА-пресс, 2005. 304 с.
4. Шмаров В. Д., Ремарчук Н. П. Методические указания по определению рационального состава экскаваторных отрядов в дорожном строительстве с применением ЭЦВМ «Мир-1» в курсовых и дипломных проектах (для студентов специальности 0511). Харьков: Ротапринт ХАДИ, 1978. 10 с.
5. Баранов О. П., Щока І. М. Математична модель оптимальної структури комплекту машин мобільних загонів механізації будівництва. *Збірник наукових праць Дніпровського національного університету залізничного транспорту ім. академіка В. Лазаряна. Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика*. Дніпропетровськ: ДПТ, 2012. С. 18-21.
6. Учет и оценка эффективности использования каждой машины парка в строительстве / А. Н. Максименко, В. В. Кугузов, Г. С. Тимофеев, В. В. Васильев *Вестник Белорусско-Российского университета*. 2010. № 4(29). С. 21-29.
7. Демішкан В. Ф., Нічке В. В. Підвищення якості землерійно-транспортних машин. Харків: ХНАДУ, 2007, 272 с.
8. Вербицкий Г. М. Комплексная механизация строительства: текст лекций. Хабаровск: Изд-во ТОГУ, 2006. 265 с.
9. Землеройно-транспортные машины: справочник / А. М. Холодов, В. В. Ничке, Л. В. Назаров. Харьков: Вища школа. Изд. при Харьк. ун-те, 1982. 192 с.
10. Panchenko S. V. Estimation of the State of Engine of Mobile Machines in the Conditions of Operation on Basis of Onboard Diagnostics. *International Scientific Conference Energy Efficiency in Transport (EET 2020) IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*. 2021. P. 1-6. DOI:10.1088/1757-899X/1021/1/012046.
11. Ремарчук М. П., Кебко О. В., Галицький О. О. Теоретичне обґрунтування ефективності машин для земляних робіт за даними їх технічних параметрів. *Науково-технічний збірник «Комунальне господарство міст», серія «Технічні науки та архітектура»*. 2022. Т. 4. Вип. 171. С. 18-24.

Ремарчук Микола Парфенійович, доктор технічних наук, професор кафедри машинобудування та технічного сервісу машин Українського державного університету залізничного транспорту. ORCID iD: 0000-0002-4003-5107. Тел.: +38 (057) 730-10-72. E-mail: remarchuk@ukr.net.

Чмуж Ярослав Валентинович, кандидат технічних наук, докторант кафедри машинобудування та технічного сервісу машин Українського державного університету залізничного транспорту. ORCID iD: 0000-0003-1680-0021. Тел.: +38 (050) 303-40-17. E-mail: chmuzh@gmail.com.

Галицький Олег Олегович, аспірант кафедри машинобудування та технічного сервісу машин Українського державного університету залізничного транспорту. ORCID iD: 0000-0002-9352-1352. Тел.: +38 (099) 072-77-45. E-mail: lietome1994@gmail.com.

Кебко Олександр Вікторович, асистент кафедри машинобудування та технічного сервісу машин Українського державного університету залізничного транспорту. ORCID iD: 0000-0002-6292-1505. Тел.: +38 (099) 034-76-07. E-mail: kebko.a@ukr.net.

Соболев Роман Євгенович, інженер, викладач вищої категорії Харківського державного автомобільно-дорожного коледжу. ORCID iD: 0000-0003-3284-6839. Тел.: +38 (098) 096-45-16. E-mail: mega143@ukr.net.

Remarchuk Mykola, D. Sc. (Tech.), professor, Department of Mechanical Engineering and Technical Service of Machines, Ukrainian State University of Railway Transport. ORCID iD: 0000-0002-4003-5107. Tel.: +38 (057) 730-10-72. E-mail: remarchyk@ukr.net.

Chmuzh Yaroslav, PhD (Tech), PhD student, Department of Mechanical Engineering and Technical Service of Machines, Ukrainian State University of Railway Transport. ORCID iD: 0000-0003-1680-0021. Tel.: +38 (050) 303-40-17. E-mail: chmuzh@gmail.com.

Halytskyi Oleg, postgraduate student, Department of Mechanical Engineering and Technical Service of Machines, Ukrainian State University of Railway Transport. ORCID iD: 0000-0002-9352-1352. Tel.: +38 (099) 072-77-45. E-mail: lietome1994@gmail.com.

Kebko Oleksandr, assistant, Department of Mechanical Engineering and Technical Service of Machines, Ukrainian State University of Railway Transport. ORCID iD: 0000-0002-6292-1505. Tel.: +38 (099) 034-76-07. E-mail: kebkko.a@ukr.net.

Sobolev Roman, engineer, teacher of the highest category, Kharkiv State Automobile and Road College. ORCID iD: 0000-0003-3284-6839. Тел.: +38 (098) 096-45-16. E-mail: mega143@ukr.net.

Статтю прийнято 13.09.2022 р.