

Шапко В.Ф., Черненко С.М.

*Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського, м. Кременчук, Україна*

## МЕТОД ВИЗНАЧЕННЯ ЕКОЛОГІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ АВТОМОБІЛЯ ПІД ЧАС ЙОГО ПРОЕКТУВАННЯ

Стаття присвячена важливій проблемі сучасного автомобілебудування — визначенню екологічних показників автомобіля ще на етапі його проектування. Автори зазначають, що кількість автомобілів перевищила 1,5 мільярда і продовжує зростати. З огляду на зростаючу кількість транспортних засобів, які експлуатуються в усьому світі, їх вплив на навколишнє середовище набуває все більшого значення. Саме тому важливо розробити ефективні методи оцінки екологічної безпеки автомобілів ще до їхньої появи на ринку.

Мета роботи полягає в розробці надійного методу розрахунку екологічних показників автомобіля під час його проектування. Оскільки на стадії проектування автомобіля ще не існує, тому і немає об'єкта випробувань, визначення екологічних показників можливе лише за допомогою розрахункових методів. В статті запропоновано використовувати метод, що дозволяє визначити викиди шкідливих речовин на одиницю пройденого автомобілем шляху на стадії проектування. Це дає можливість не тільки передбачити рівень забруднення, а й врахувати вплив конструктивних параметрів транспортного засобу, таких як літраж двигуна, передавальні числа трансмісії, радіус коліс тощо.

Запропонований метод дозволяє визначити допустимий рівень концентрацій шкідливих компонентів на підставі встановлених стандартів до проведення повноцінних випробувань транспортного засобу, що суттєво спрощує процес оцінки.

Висновки статті підкреслюють, що розроблений метод дозволяє не лише оцінити відповідність автомобіля екологічним вимогам на стадії розробки, але й сприяє подальшому покращенню екологічних показників. Такий підхід дає можливість інженерам-розробникам автомобілів приймати більш екологічно обгрунтовані рішення та забезпечувати відповідність сучасним вимогам охорони довкілля.

**Ключові слова:** автомобіль, двигун, екологічна безпека, перевезення, викиди, концентрації, метод.

### ВСТУП

Завдяки вагомим перевагам автомобілів порівняно з іншими видами транспорту автомобільний транспорт набув дуже бурхливого розвитку. Наприкінці двадцятого століття в експлуатації знаходилося близько 600 млн. автомобілів, у 2010 року їх кількість перевищила 1 мільярд, а вже зараз, згідно з даними агентства «hedges and company» (сша) налічується майже 1,5 мільярди автомобілів і їх кількість продовжує неухильно зростати [1].

За останні роки значно покращилася якість автомобілів, в тому числі їх екологічних показників. але через дуже велику кількість автомобілів вони стали основним джерелом забруднення навколишнього середовища. Тому перед розробниками автомобілів загострилася проблема забезпечення покращення екологічних показників автомобілів. А це потребує мати надійні методи визначення та оцінки екологічної безпеки автомобіля не тільки в умовах експлуатації під час здійснення вантажних чи пасажирських перевезень, а й на етапі його проектування.

### АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДАНИХ ТА ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Аналіз екологічної безпеки автомобілів, методи розрахунків шкідливих викидів з відпрацьованими газами двигунів внутрішнього згоряння розглянуті в роботах [2-8]. Так у роботі [2] автори радають історичні аспекти дослідження шкідливих викидів автомобілями, тенденції покращення якості повітря та обговорюють майбутні перспективи та прогрес у зменшенні викидів транспортних засобів. У статті розглядається, як відбувалося зниження викидів від автомобілів за останні 60 років, зокрема, зменшення твердих часток, оксидів азоту, вуглецю, вуглеводнів та інших шкідливих речовин. Обговорюється вплив нових технологій очищення від шкідливих викидів на якість повітря в містах. середні викиди автопарку США за 2020 рік склали 22 мг / км пох і 229 мг / км со – показники, які в 145 і 280 разів відповідно нижчі, ніж у 1960 році. Імовірно, що майбутні стандарти викидів шкідливих речовин будуть посилені.

У роботі [3] наведено результати дослідження, яке оцінює глобальні та регіональні наслідки для здоров'я, пов'язані з викидами від автомобільного транспорту, включаючи вплив на передчасну смертність від твердих часток. Шкідливі викиди з відпрацьованими газами призвели до близько 361000 передчасних смертей від твердих часток у всьому світі у 2010 році та близько 385 000 у 2015 році. за оцінками [3] у 2015 році 84% смертей, пов'язаних з транспортом, сталися в країнах g20, а 70% - у Китаї, Індії, Європейському союзі та США. Транспортний сектор залишається головним фактором навантаження на забруднення повітря в усьому світі. Це вказує на необхідність скорочення викидів

транспортних засобів як центрального елемента національних та місцевих планів управління, спрямованих на зменшення забруднення атмосферного повітря та його навантаження на охорону здоров'я.

Під час розробки технічного завдання та проектування автомобіля потрібно щоб його показники не тільки відповідали вимогам діючих стандартів, а й автомобіль мав перспективу подальшого їх покращення. в останні роки екологічні показники автомобіля визначають на дорозі за допомогою переносних систем вимірювання викидів (pems) [4]. За pems не можливо виміряти так точно, як з використанням лабораторного обладнання, коли випробування автомобілів за показниками екологічної безпеки, що передбачені стандартами, проводять на спеціальних стендах [5, 6].

Але під час проектування автомобіля його ще не існує, тому немає і об'єкта випробувань. Отже відповідність автомобіля вимогам стандартів можна лише розрахувати. Таким чином, потрібні надійні розрахункові методи оцінки автомобіля ще на стадії його проектування.

**МЕТОЮ** роботи є розробка методу визначення екологічних показників автомобіля під час його проектування.

### РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Автомобілі, в основному, оснащують двигунами внутрішнього згорання (ДВЗ), які є джерелом значного забруднення довкілля, зокрема через викиди шкідливих речовин з відпрацьованими газами. У багатьох країнах Світу, в тому числі Європи, діють стандарти, за якими проводять контроль екологічної безпеки автомобілів за викидами з відпрацьованими газами оксидів вуглецю (СО), оксидів азоту (NO<sub>x</sub>) та вуглеводнів (C<sub>n</sub>H<sub>m</sub>), а для автомобілів з дизелями також і «твердих часток», що є в основному сажею (С) [5, 6].

У роботах [7, 8] наведено метод визначення екологічних характеристик автомобіля, поєднаних з динамічними характеристиками, за яким екологічні показники відображаються залежно від швидкості руху автомобіля за будь-яким його навантаженням і опором дороги. Але в цих роботах відсутній аналіз впливу конструктивних параметрів елементів автомобіля на формування екологічних показників. А це є необхідним під час його проектування.

Екологічну безпеку автомобіля прийнято визначати за викидами шкідливих компонентів відпрацьованих газів на одиницю пройденого автомобілем шляху у г/км за формулою:

$$q_k = \frac{m_k}{S}, \quad (1)$$

де  $m_k$  – маса викидів  $k$ -го компонента у відпрацьованих газах, г;  $S$  – шлях, пройдений автомобілем, км.

Враховуючи, що кількість викидів за певний час дорівнює  $m_k = G_k \cdot t$ , а шлях, пройдений автомобілем за цей же час дорівнює  $S = \mathcal{Q} \cdot t \cdot 10^{-3}$ , формула (1) набуває виду, г/км:

$$q_k = \frac{m_k}{S} = \frac{G_k \cdot t}{\mathcal{Q} \cdot t} = \frac{G_k}{\mathcal{Q}}, \quad (2)$$

де  $G_k$  – годинні викиди  $k$ -го компоненту, г/год;  $\mathcal{Q}$  – швидкість руху автомобіля, км/год.

Кількість викидів кожного компонента за час роботи визначають за відомими масовими концентраціями у відпрацьованих газах та їхньою об'ємною витратою, г/год:

$$G_k = C_{km} \cdot Q_{BG}, \quad (3)$$

де  $C_{km}$  – масова концентрація  $k$ -го компонента у відпрацьованих газах, г/м<sup>3</sup>;  $Q_{BG}$  – об'ємна витрата відпрацьованих газів, м<sup>3</sup>/год.

Під час розрахунку екологічних характеристик автомобіля використовують результати вимірювань концентрацій шкідливих компонентів у відпрацьованих газах ДВЗ на різних режимах його роботи. Концентрації шкідливих компонентів відпрацьованих газів визначають експериментально в одиницях вимірювальних приладів та приводять до масових концентрацій за формулою:

$$C_{km} = C_k \frac{\mu_k}{22,4} \cdot 10^3, \quad (4)$$

де  $C_k$  – об'ємна концентрація  $k$ -го компонента у відпрацьованих газах;  $\mu_k$  – молярна маса  $k$ -го компонента, кг/кмоль; 22,4 – об'єм одного кмоль газу за стандартних умов, м<sup>3</sup>/кмоль.

Витрату відпрацьованих газів можна визначити експериментально під час проведення випробувань двигуна.

Через те, що температура та тиск відпрацьованих газів високі та вони значно змінюються залежно від режиму роботи двигуна, експериментальне вимірювання витрати відпрацьованих газів є досить складною задачею. Тому витрату відпрацьованих газів прирівнюють до витрати повітря, яку нескладно визначити, як експериментально, так і проведенням розрахунків.

У такому разі розрахувати витрату відпрацьованих газів можна за формулою,  $m^3/год$ :

$$Q_{ВГ} = Q_{нов} = V_{л} \cdot 10^{-3} \cdot \eta_V \cdot \frac{2}{\tau} \cdot 60n, \quad (5)$$

де  $V_{л}$  – літраж двигуна,  $dm^3$ ;  $n$  – частота обертання колінчастого валу,  $об/хв$ ;  $\tau$  – тактність двигуна;  $\eta_V$  – коефіцієнт наповнення.

Коефіцієнт наповнення, перш за все, залежить від перепадів тиску та температури в циліндрах двигуна відносно до тиску і температури навколишнього середовища. Його визначають під час проведення випробувань двигуна шляхом вимірювання витрати повітря. Визначивши експериментально витрату повітря залежно від частоти обертання вала, коефіцієнт наповнення розраховують за формулою:

$$\eta_V = \frac{Q_{нов}}{Q_{новГ}} = \frac{Q_{нов}}{V_{л} \cdot 10^{-3}} \cdot \frac{\tau}{2} \cdot \frac{1}{60n}, \quad (6)$$

де  $Q_{новГ}$  – витрата повітря без урахування перепадів тиску та температури,  $m^3/год$ .

Коефіцієнт наповнення змінюється залежно від режиму роботи двигуна, особливо, від частоти обертання вала двигуна. Залежність витрати повітря, а значить і коефіцієнта наповнення, від частоти обертання вала двигуна має форму випуклої параболи. Найбільшу величину коефіцієнт наповнення має при середніх значеннях частоти обертання.

Швидкість руху автомобіля розраховують за формулою,  $км/год$ :

$$g = \frac{2 \cdot \pi \cdot r_{к}}{u_{mp}} \cdot \frac{n}{60} \cdot 3,6. \quad (7)$$

Підставивши до формули (2) формули (3), (5) і (7), отримаємо викиди шкідливих компонентів у  $г/км$ :

$$q_k = \frac{G_k}{g} = C_{км} \cdot V_{л} \cdot 10^{-3} \cdot \eta_V \cdot \frac{2}{\tau} \cdot 60n \cdot \frac{u_{mp}}{2\pi \cdot r_{к}} \cdot \frac{60}{n} \cdot \frac{1}{3,6}. \quad (8)$$

Кожний з фрагментів отриманої формули (8) має свій фізичний сенс, який визначений формулами (2), (5) і (7).

З формули (8) видно, що викиди шкідливих компонентів відпрацьованих газів на одиницю пройденого автомобілем шляху залежать від масових концентрацій кожного компонента у відпрацьованих газах, літражу двигуна, передавального числа трансмісії та радіусу ведучих коліс. Вплив цих факторів зрозумілий і не потребує пояснень.

Зрозуміло, що чим більші концентрації, тим будуть більшими і викиди. Вплив літражу також зрозумілий, оскільки від об'єму циліндрів залежить кількість видалених продуктів згоряння, а від передавального числа трансмісії прямо залежить число циклів ДВЗ. Від радіусу кочення ведучого колеса прямо пропорційно залежить шлях, пройдений автомобілем.

Усі ці параметри, крім концентрацій шкідливих компонентів у відпрацьованих газах і коефіцієнта наповнення, є конструктивними параметрами автомобіля, вибір яких не пов'язаний з вирішенням проблеми екологічної безпеки автомобіля. Отже під час визначення екологічних показників вони вже відомі.

Концентрації шкідливих компонентів у відпрацьованих газах теж залежать від конструкції автомобіля та її досконалості, але вони також залежать і від умов експлуатації автомобіля та режимів його руху.

Після проведення скорочень, формула (8) набуває наступного виду:

$$q_k = C_{км} \cdot \frac{V_{л} \cdot \eta_V \cdot u_{mp}}{\tau \cdot \pi \cdot r_{к}}. \quad (9)$$

Вираз  $\frac{V_l \cdot \eta_V \cdot u_{mp}}{\tau \cdot \pi \cdot r_k}$  є шляховими викидами відпрацьованих газів,  $m^3/км$ :

$$Q_{BG} = \frac{V_l \cdot \eta_V \cdot u_{mp}}{\tau \cdot \pi \cdot r_k}. \quad (10)$$

Отже, приходимо до вихідного рівняння (3) визначення викидів шкідливих компонентів відпрацьованих газів на одиницю пройденого автомобілем шляху. Під час виводу формули (9) відбулося скорочення частоти обертання вала двигуна, тобто частота обертання не має прямого впливу на шляхові викиди. Але від частоти обертання залежать концентрації шкідливих компонентів.

Таким чином, отримана досить проста формула для проведення розрахунку шкідливих викидів за пройдений автомобілем шлях з достатньо високою точністю. Експериментальним шляхом потрібно вимірювати лише концентрації шкідливих компонентів відпрацьованих газів на заданих режимах роботи двигуна.

Найточніше їх можна визначити, проводячи випробування двигуна на моторному стенді. Точність визначення екологічних показників автомобіля майже цілком залежить від класу точності газоаналізаторів, оскільки на моторному стенді параметри режимів роботи двигуна (частоту обертання вала та момент навантаження) вимірюють з високою точністю. Не складно також визначити режими роботи двигуна, що відповідають заданим режимам руху автомобіля.

Характеристики визначають залежно від швидкості руху автомобіля з різним його навантаженням та у різних дорожніх умовах руху відповідно до вимог стандарту, на відповідність до якого визначають автомобіль. Доцільно використання багатопараметрових характеристик, оскільки це дає змогу визначити концентрації кожного з шкідливих компонентів відпрацьованих газів на будь-якому сталому режимі роботи двигуна [7].

Діючими стандартами відповідність автомобіля вимогам екологічної безпеки визначають методами, які передбачають проведення випробувань на режимах випробувальних циклів. На сьогодні існують різні підходи до визначення випробувальних циклів.

Будь який випробувальний цикл складається із ділянок. Тож можна проводити розрахунки, розбивши весь цикл на ділянки, а потім провести їх інтегрування:

$$q_{ki} = \frac{\sum_{i=1}^n (q_{ki} \cdot S_i)}{S_{\text{ц}}}, \quad (11)$$

де  $q_{ki}$  – шляхові викиди на окремих ділянках циклу,  $г/км$ ;  $S_i$  – довжина  $i$ -ї ділянки циклу,  $км$ ;  $S_{\text{ц}}$  – пробіг автомобіля за цикл,  $км$ ;  $n$  – кількість ділянок циклу.

Оскільки, під час проектування ще немає не тільки автомобіля, а й двигуна, який і є джерелом забруднення атмосфери, потрібно вирішувати задачу його вибору. Двигун потрібно спроектувати, або використати наявний, що відповідає вимогам. Часто використовують існуючі двигуни. Двигун повинен відповідати ряду вимог, в тому числі вимогам екологічної безпеки автомобіля. Екологічність двигуна перш за все оцінюють за концентраціями шкідливих компонентів відпрацьованих газів. Отже встає задача визначення їх допустимий рівень.

Допустимий рівень концентрацій у відпрацьованих газах за будь-яким компонентом можна розрахувати із рівняння (9), задавшись показником допустимих шляхових викидів  $k$ -го компонента, відповідно до вимог стандарту:

$$C_{km} = q_{kCT} \cdot \frac{\tau \cdot \pi \cdot r_k}{V_l \cdot \eta_V \cdot u_{mp}}, \quad (12)$$

де  $q_{kCT}$  – допустимий рівень шляхових викидів за стандартом.

### ОБГОВОРЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ

Отже, попередню оцінку відповідності автомобіля діючим стандартам за викидами шкідливих компонентів можна здійснити не проводячи випробувань самого автомобіля. Достатньо визначити концентрації шкідливих компонентів на режимах випробувань за методами відповідних стандартів. На нашу думку це значно спрощує метод оцінки автомобіля на його відповідність діючим стандартам екологічної безпеки.

### ВИСНОВКИ

Розроблено метод визначення екологічних показників автомобіля, за яким викиди шкідливих компонентів на одиницю пройденого автомобілем шляху визначаються за концентраціями шкідливих компонентів у відпрацьованих газах двигуна. Це значно спрощує оцінку автомобіля на його відповідність діючим стандартам екологічної безпеки та дозволяє скоротити витрати на проведення випробувань.

Відповідно до вимог стандарту, можна розрахувати допустимий рівень концентрацій у відпрацьованих газах за будь-яким компонентом.

#### ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Експерти перерахували всі автомобілі у світі. Це неймовірна кількість! Бук Інфо. URL: <https://ur0.jp/ZsKV3> (дата звернення 24.10.2024).
2. Wallington, T.J.; Anderson, J.E.; Dolan, R.H.; Winkler, S.L. (2022) Vehicle Emissions and Urban Air Quality: 60 Years of Progress. *Atmosphere*, 13, 650. <https://doi.org/10.3390/atmos13050650>.
3. Susan Anenberg, Joshua Miller, Daven Henze, Ray Minjares. (2019) A global snapshot of the air pollution-related health impacts of transportation sector emissions in 2010 and 2015. *International Council on Clean Transportation*.
4. Giechaskiel, B.; Casadei, S.; Rossi, T.; Forloni, F.; Di Domenico, A. (2021) Measurements of the Emissions of a “Golden” Vehicle at Seven Laboratories with Portable Emission Measurement Systems (PEMS). *Sustainability*, 13, 8762. <https://doi.org/10.3390/su13168762/>
5. Двигуни внутрішнього згоряння: у 6 т. Екологізація ДВЗ / За ред. проф. А.П. Марченка та засл. діяча науки України проф. А.Ф. Шеховцова. Харків: Прапор, 2004. Т. 5. 360 с.
6. Гутаревич Ю.Ф., Зеркалов Д.В., Говорун А.Г., Корпач А.О., Мерзживська Л.П. Екологія та автомобільний транспорт: навч. посібник. Київ: Арістей, 2006. 300 с.
7. Шапко В.Ф., Атамась А.І., Єлістратов В.О. Екологічні багатопараметрові характеристики автомобіля. *Вісник КрНУ імені Михайла Остроградського*. Кременчук: КрНУ ім. М. Остроградського, 2020. Випуск 2/2020 (121) С. 141-147.
8. Атамась, А.І., Шапко, В.Ф., Черненко, С.М., Семенов, В. Г. Екологічні показники дизельних двигунів з різними умовами сумішоутворення під час роботи на біодизельному паливі. *Вісник КНУ імені М. Остроградського*. Випуск 3/2011 (68). Частина 1. С. 137-140.

#### REFERENCES

1. Eksperty pererakhuvaly vsi avtomobili u sviti. Tse neimovirna kilkist! Buk Info. URL: <https://ur0.jp/ZsKV3> (data zverennya 24.10.2024)/
2. Wallington, T.J.; Anderson, J.E.; Dolan, R.H.; Winkler, S.L. (2022) Vehicle Emissions and Urban Air Quality: 60 Years of Progress. *Atmosphere*, 13, 650. <https://doi.org/10.3390/atmos13050650>.
3. Susan Anenberg, Joshua Miller, Daven Henze, Ray Minjares. (2019) A global snapshot of the air pollution-related health impacts of transportation sector emissions in 2010 and 2015. *International Council on Clean Transportation*.
4. Giechaskiel, B.; Casadei, S.; Rossi, T.; Forloni, F.; Di Domenico, A. (2021) Measurements of the Emissions of a “Golden” Vehicle at Seven Laboratories with Portable Emission Measurement Systems (PEMS). *Sustainability*, 13, 8762. <https://doi.org/10.3390/su13168762>
5. Dvyhuny vnutrishnoho zhoriannya: u 6 t. Ekologizatsiya DVZ / Za red. prof. A.P. Marchenka ta zasl. diiacha nauky Ukrainy prof. A.F. Shekhovtsova. Kharkiv: Prapor, 2004. T. 5. 360 s.
6. Hutariievych Yu.F., Zerkalov D.V., Hovorun A.H., Korpach A.O., Merzhyievskya L.P. Ekologiya ta avtomobilnyy transport: navch. posibnyk. Kyiv: Aristey, 2006. 300 s.
7. Shapko V.F., Atamash A.I., Yelistratov V.O. Ekologichni bahatoparametrovi kharakterystyky avtomobilya. *Visnyk KrNU imeni Mykhaila Ostrorhads'koho*. Kremenchuk: KrNU im. M. Ostrorhads'koho, 2020. Vypusk 2/2020 (121) S. 141-147.
8. Atamash, A.I., Shapko, V.F., Chernenko, S.M., Semenov, V.H. Ekologichni pokaznyky dyzelnykh dviguniv z riznymy umovamy sumishoutvorennya pid chas roboty na biodizelnomu palyvi. *Visnyk KNU imeni M. Ostrorhads'koho*. Vypusk 3/2011 (68). Chastyna 1. S. 137-140.

#### **V. Shapko, S. Chernenko. Method for Determining the Environmental Performance of a Vehicle During its Design**

The article addresses a critical issue in modern automotive engineering — determining the environmental indicators of a vehicle during its design phase. Given the increasing number of vehicles in use

worldwide, their impact on the environment is becoming increasingly significant. The authors note that the number of cars has exceeded 1.5 billion and continues to grow. This highlights the need to develop effective methods for assessing the environmental safety of vehicles even before they reach the market.

The aim of the study is to develop a reliable method for calculating the environmental indicators of a vehicle during its design. Since there is no physical vehicle available for testing at the design stage, the determination of environmental indicators can only be achieved through calculation methods. The article proposes a method that allows for the calculation of harmful emissions per unit of distance traveled by the vehicle. This method not only helps to predict the level of pollution but also takes into account the impact of the vehicle's structural parameters, such as engine displacement, transmission gear ratios, wheel radius, and more.

The proposed method enables the determination of acceptable levels of harmful component concentrations based on established standards, without the need for full-scale vehicle testing, significantly simplifying the assessment process.

The conclusions emphasize that the developed method not only allows for assessing the vehicle's compliance with environmental requirements but also contributes to improving its environmental performance during the development phase. This approach enables automotive engineers to make more environmentally sound decisions and ensure compliance with modern environmental protection standards.

**Keywords:** vehicle, engine, environmental safety, transportation, emissions, concentrations, method.

*ШАПКО Володимир Федорович*, кандидат технічних наук, професор, кафедри автомобілів та тракторів, Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського, вул. Університетська, 20, м. Кременчук, Україна, 39600. [vfshapko@gmail.com](mailto:vfshapko@gmail.com). ORCID: 0000-0002-8201-8743

*ЧЕРНЕНКО Сергій Михайлович*, кандидат технічних наук, доцент кафедри автомобілів та тракторів, Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського, вул. Університетська, 20, м. Кременчук, Україна, 39600. [sercher174@gmail.com](mailto:sercher174@gmail.com). ORCID: 0000-0002-7670-5168

*Volodymyr SHAPKO*, PhD in Engineering, Professor of the Automobiles and Tractors Department, Kremenchuk Mykhailo Ostrohradsky National University, 20 Universytetska St., Kremenchuk, Ukraine. [vfshapko@gmail.com](mailto:vfshapko@gmail.com). ORCID: 0000-0002-8201-8743

*Serhii CHERNENKO*, PhD in Engineering, Assoc. Professor of the Automobiles and Tractors Department, Kremenchuk Mykhailo Ostrohradsky National University, 20 Universytetska St., Kremenchuk, Ukraine 39600. [sercher174@gmail.com](mailto:sercher174@gmail.com). ORCID: 0000-0002-7670-5168

DOI 10.36910/automash.v2i23.1551