

© С. В. Ковбасенко, канд. техн. наук, професор кафедри інженерії машин транспортного будівництва,  
 ORCID: 0000-0002-7309-8200  
 e-mail: s-kov@ukr.net  
 (Національний транспортний університет);  
 © Ю. В. Гонтар, аспірант Національного транспортного університету, завідувач відділу оцінки відповідності переобладнання транспортних засобів та їхніх складових частин,  
 ORCID: 0009-0005-6261-5216,  
 e-mail: yuragontar0511@gmail.com  
 (Державне підприємство «Державний автотранспортний науково-дослідний і проектний інститут»)

© Serhii Kovbasenko, Candidate of Technical Sciences, Professor of the Engineering Department of Transport Construction Machines, ORCID: 0000-0002-7309-8200, e-mail: s-kov@ukr.net  
 (National Transport University);  
 © Yurii Gontar, Postgraduate Student of the National Transport University, Head of the Department for Assessing the Conformity of the Conversion of Vehicles and their Components, ORCID: 0009-0005-6261-5216, e-mail: yuragontar0511@gmail.com  
 (State Enterprise «State Road Transport Research Institute»)

## МЕТОДИ ВИЗНАЧЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ПОКАЗНИКІВ МАШИН ТРАНСПОРТНОГО БУДІВНИЦТВА

### METHODS OF DETERMINING OPERATIONAL INDICATORS OF TRANSPORT CONSTRUCTION MACHINERY

**Анотація.** Наведено основні методи визначення основних експлуатаційних показників машин транспортного будівництва, якими є їхня паливна економічність та екологічність.

Розглянуто процедуру визначення норм витрати паливно-мастильних матеріалів дорожніх машин та механізмів, описану в стандарті СОУ 42.1-37641918-094:2017.

Одним із методів дослідження економічності та екологічних показників спеціальних машин, що працюють у транспортному будівництві та інших галузях, є дослідження за допомогою аналізу типових навантажувальних діаграм двигунів. Вони відображають залежність зміни моменту опору від часу протікання робочого циклу.

Проведено огляд методів дослідження за допомогою випробувальних циклів згідно зі стандартом ISO 8178. Процедура передбачає використання низки випробувальних циклів на моторному стенді. Кожен цикл є послідовністю усталених або перехідних режимів роботи двигуна з різними коефіцієнтами навантаження.

Якщо лабораторні випробування неможливі або недоцільні, стандарт ISO 8178-2 передбачає проведення вимірювань у реальних умовах експлуатації за допомогою портативної системи вимірювання шкідливих викидів. Ця система дає можливість отримувати дані безпосередньо під час роботи транспортного засобу у звичайному режимі.

Випробувальні цикли дозволяють змодельовувати режими роботи двигунів машин транспортного будівництва та є ключовими інструментами для оцінки паливної економічності та екологічних показників. Наведені методи визначення експлуатаційних показників є важливим аспектом зниження витрат та підвищення ефективності процедури дослідження екологічності та паливної економічності машин транспортного будівництва.

**Ключові слова:** випробувальний цикл, експлуатаційні показники, норми витрати паливо-мастильних матеріалів, паливна економічність, екологічна безпека, норми токсичності, навантажувальна діаграма двигуна, портативна система вимірювання шкідливих викидів, машини транспортного будівництва.

**Abstract.** The article presents the main methods of determining the main operational indicators of transport construction machines, which are their fuel efficiency and environmental friendliness.

Considered international standards such as STAGE and TIER set emission limits for off-road equipment, including transport construction machinery.

In Ukraine, the SOU 42.1-37641918-094:2017 standard is used to determine the fuel efficiency of road machines and mechanisms, which determines the consumption norms of fuel and lubricants. The calculations are based on the specific fuel consumption at the

*nominal power of the engine and the integral coefficient, which takes into account the average operating conditions of the machine during the work shift.*

*Typical engine load charts were analyzed to study the efficiency and environmental friendliness of special machines used in transport construction and other industries. They reflect the dependence of the torque change on the duty cycle time.*

*Another research method involves testing using the test cycles described in ISO 8178. The procedure involves the use of several test cycles on an engine test bench. These cycles vary depending on the engine class and the type of equipment being tested. Each cycle is a sequence of stable or transient modes of operation of the engine with different load factors. In cases where laboratory testing is not possible or suitable, ISO 8178-2 provides measurements in real operating conditions using a portable emission measurement system (PEMS). This allows you to receive data directly during the normal operation of the car.*

*Test cycles are key tools for evaluating the fuel efficiency and environmental performance of construction vehicles. They allow you to simulate different modes of operation and obtain accurate data on the operational properties of the equipment. However, given the unique characteristics and operating conditions of different types of machines, there is a need to develop specialized test cycles that best match the actual conditions of use of the equipment.*

**Keywords:** *test cycle, performance indicators, consumption norms of fuel and lubricants, fuel efficiency, environmental safety, toxicity norms, engine load chart, portable system for measuring harmful emissions, transport construction machines.*

## Вступ

Машини транспортного будівництва значною мірою впливають на екологію. Основними критеріями, за якими визначають їхні експлуатаційні якості, є паливна економічність та екологічні показники. Незважаючи на прогрес у розробці альтернативних джерел енергії для приведення в рух більшості машин транспортного будівництва досі використовують традиційні види палива, такі як бензин та дизель.

У процесі застосування цих палив у двигунах внутрішнього згорання утворюються відпрацьовані гази, що містять понад 200 видів шкідливих речовин [1]. Найбільш розповсюдженими серед них є оксиди вуглецю (CO), оксиди азоту (NO<sub>x</sub>), сірковуглецеві сполуки (CS<sub>2</sub>) та тверді частки. Ці речовини мають значний негативний вплив на якість повітря, здоров'я людей та навколишнє середовище [2].

Згадані шкідливі речовини, які входять до складу відпрацьованих газів двигунів внутрішнього згорання, шкодять докільню, а також спричиняють розвиток різноманітних захворювань.

Час природної нейтралізації цих забруднювальних речовин у навколишньому середовищі може коливатися від кількох хвилин до

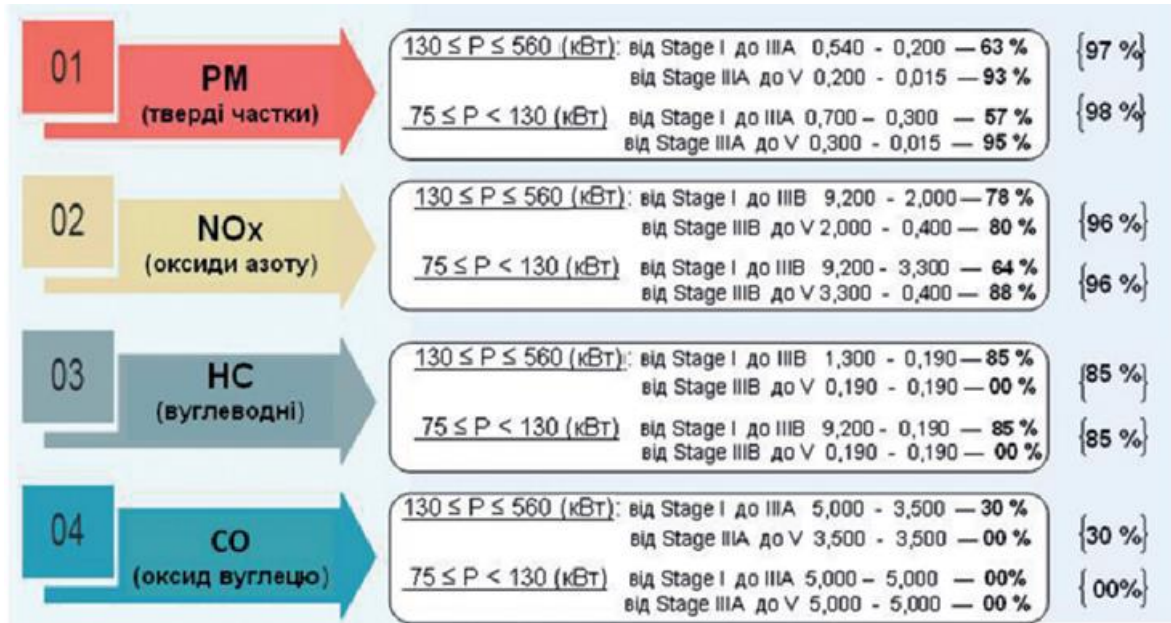
років, що ускладнює процес очищення та відновлення екосистеми. З огляду на це, поліпшення паливної економічності та зменшення викидів шкідливих речовин є важливими завданнями для сучасних розробників машин транспортного будівництва.

Для зменшення негативного впливу на навколишнє середовище законодавчі органи багатьох країн запровадили нормативні акти та стандарти, що регламентують викиди шкідливих речовин [3]. Такі норми стають дедалі жорсткішими з метою покращення якості повітря та захисту здоров'я населення.

Основними міжнародними стандартами, які встановлюють обмеження на викиди для позадорожньої техніки (до неї відносяться і машини транспортного будівництва), є стандарти STAGE та TIER.

Стандарти STAGE (Stage I, II, IIIA, IIIB, IV, V) регулюють викиди від позадорожньої техніки у країнах Європейського Союзу. Вони визначають максимальні рівні викидів оксидів азоту (NO<sub>x</sub>), вуглеводнів (HC), оксидів вуглецю (CO) та твердих часток (PM) [4].

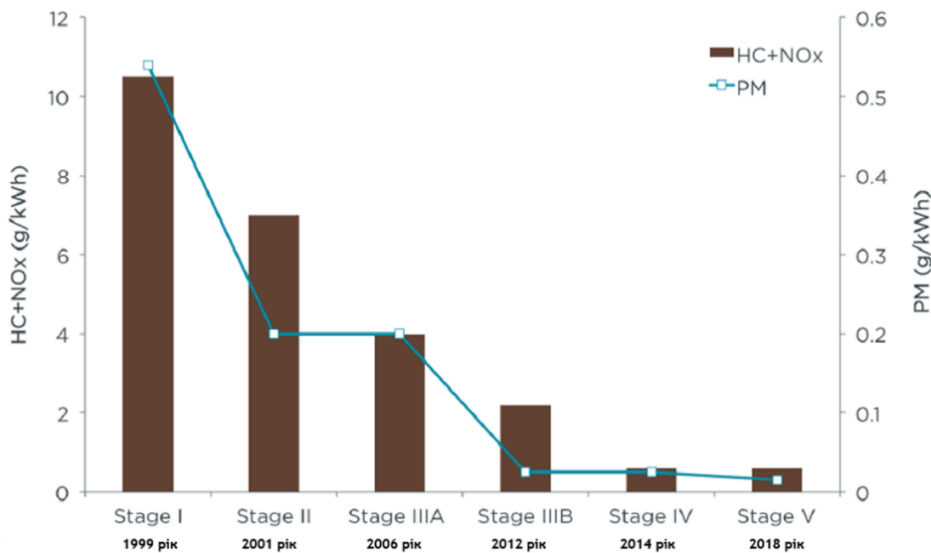
Stage V є найсуворішим стандартом на сьогодні. Його вимоги передбачають значне зменшення викидів твердих частинок (PM), оксиду азоту (NO<sub>x</sub>), вуглеводнів (HC) та оксидів вуглецю (CO) (**рис. 1**).



**Рис. 1.** Відсоткове співвідношення зміни обсягу викидів компонентів шкідливих речовин (г/кВт·год) у межах зміни рівнів норм викидів для діапазонів потужності двигунів  $130 \text{ кВт} \leq P \leq 560 \text{ кВт}$  та  $75 \text{ кВт} \leq P < 130 \text{ кВт}$  [5]

Зниження викидів згаданих шкідливих компонентів, у порівнянні

вимог STAGE I та STAGE V, склало понад 90% [6]. Динаміка зниження шкідливих викидів зображена на **рис. 2**.



**Рис. 2.** Динаміка зниження шкідливих викидів для  $\text{CH} + \text{NO}_x$  та  $\text{PM}$  (твердих частинок) [6]

Стандарти TIER (Tier 1, 2, 3, 4 Interim, 4 Final) були впроваджені Агентством з охорони навколишнього середовища США (EPA) для регулювання викидів від позадорожньої техніки.

Tier 4 Final є найсуворішим у США стандартом і вимагає значного зниження рівнів

$\text{NO}_x$  та  $\text{PM}$ . Досягається за допомогою технологій селективної каталітичної нейтралізації (SCR) [7] та фільтрів твердих частинок (DPF) [8].

Ці стандарти мають суттєвий вплив на проектування та виробництво техніки, сприяючи впровадженню інноваційних рішень для

зменшення шкідливих викидів. Виконання жорстких норм вимагає використання високо-ефективних двигунів та сучасних систем очищення відпрацьованих газів, що не тільки знижує негативний вплив на довкілля, але й покращує економічні показники експлуатації техніки.

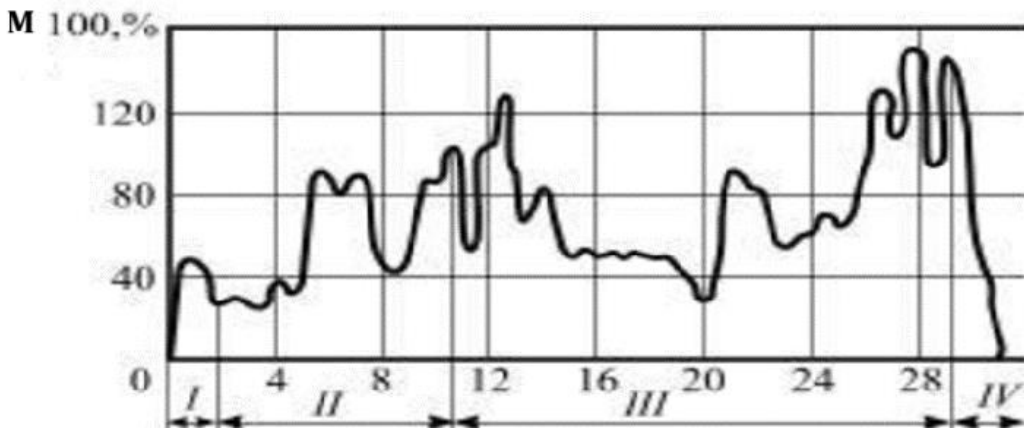
Тому для виробників двигунів, призначених для застосування на машинах транспортного будівництва, першочерговим є завдання з дослідження способів зниження показників витрат палива та викидів шкідливих речовин, що виділяються під час згоряння палива.

### Основна частина

Для дослідження економічності та екологічних показників машин транспортного будівництва, які працюють на будівництві та в інших галузях, проводять аналіз типових навантажувальних діаграм двигунів, які відображають залежність зміни моменту опору

від часу протікання робочого циклу [9]. Такі діаграми визначаються в результаті випробувань машин транспортного будівництва в умовах експлуатації. Величина і характер зміни моменту опору залежить від багатьох факторів: типу ґрунту та його неоднорідності, кваліфікації машиніста, технічного стану машини та інших, тому навантажувальні діаграми, отримані від однієї і тієї ж машини, не бувають ідентичними навіть в умовах виконання однакових технологічних операцій. Також навантажувальна діаграма може змінюватись від технічних характеристик двигуна, який застосовується на машинах транспортного будівництва.

Показник середнього навантажувального режиму двигуна за певної операції визначається за результатом обробки великої кількості осцилограм. Приклад навантажувальної діаграми двигуна бульдозера наведений на **рис. 3**.



**Рис. 3.** Навантажувальна діаграма двигуна бульдозера [9]

Навантажувальна діаграма демонструє робочий цикл бульдозера, що передбачає такі операції:

- I – опускання лопати бульдозера;
- II – зрізання ґрунту;
- III – волочіння ґрунту;
- IV – відсіпка ґрунту.

Для кожної операції циклу визначають параметри максимального моменту опору, часу технологічної операції, середнього моменту, кута обертання колінчастого вала двигуна за

час виконання операції, роботу, виконану двигуном.

Дорожньо-будівельні, будівельні, комунальні та інші автотранспортні організації в Україні для визначення паливної економічності дорожніх машин та механізмів використовують стандарт організації України СОУ 42.1-37641918-094:2017, згідно з яким визначаються норми витрат паливо-мастильних матеріалів [10].

У розрахунку обов'язковими є питома витрата палива за номінальної потужності двигуна та інтегральний коефіцієнт, який враховує середні умови експлуатації машини впродовж робочої зміни.

Норма витрати палива на машино-годину роботи машин у кг визначається за формулою:

$$H_i = q_e \cdot N_e \cdot C,$$

де  $H_i$  – індивідуальна норма витрати палива дорожньої машини, кг/маш. год (враховує середні умови експлуатації дорожніх машин упродовж робочої зміни);

$q_e$  – питома витрата палива за номінальної потужності двигуна г/кВт·год (приймається за технічними даними двигуна або за таблицею Б СОУ 42.1-37641918-094:2017);

$N_e$  – номінальна потужність двигуна дорожньої машини, кВт (приймається за технічними даними двигуна або за таблицею Б.1 СОУ 42.1-37641918-094:2017);

$C$  – інтегральний коефіцієнт, який враховує середні умови експлуатації машини впродовж робочої зміни та визначається за формулою:

$$C = K_{ДВ} \cdot K_{ДН} \cdot K_{ТН} \cdot K_{ТЗ} \cdot K_p,$$

де  $K_{ДВ}$  – коефіцієнт використання двигуна в часі (таблиця А.1 СОУ 42.1-37641918-094:2017);

$K_{ДН}$  – коефіцієнт використання двигуна за потужністю (таблиця А.1 СОУ 42.1-37641918-094:2017);

$K_{ТН}$  – коефіцієнт, який враховує зміни питомої витрати палива залежно від ступеня використання двигуна за потужністю (таблиця Б.2 СОУ 42.1-37641918-094:2017);

$K_{ТЗ} = 1,03$  – коефіцієнт, який враховує витрату палива на запуск і регулювання роботи двигуна, а також щозмінне технічне обслуговування машини;

$K_p = 1,02$  – коефіцієнт приведення витрати палива до середньорічного.

Недоліком визначення витрати палива за цим стандартом є розрахунок за допомогою розрахунково-аналітичного методу, який на-

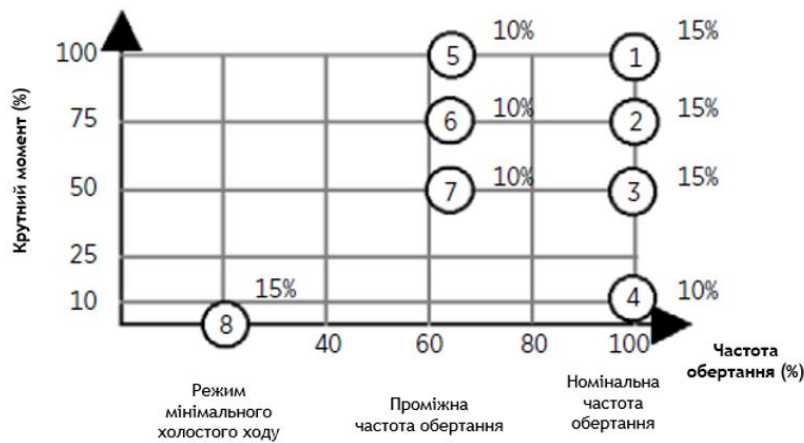
ближено дозволяє враховувати виконану роботу, кліматичні, дорожні та інші умови експлуатації та не забезпечує високої точності.

Визначення витрати палива та вмісту шкідливих речовин у відпрацьованих газах двигунів внутрішнього згоряння дійсно є важливим аспектом для різних типів техніки. Тому одним із основних способів виконання таких досліджень є використання випробувальних циклів, що імітують реальні умови експлуатації техніки.

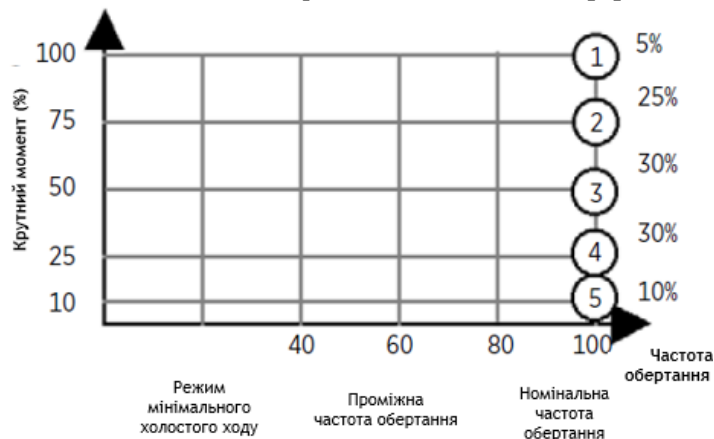
Вимірювання викидів шкідливих речовин та твердих частинок у відпрацьованих газах двигунів внутрішнього згоряння здійснюються за методами, описаними в Міжнародному стандарті ISO 8178 [11]. Цей стандарт призначений для таких двигунів транспортних засобів і техніки, які встановлюються на судна, тепловози, генератори, машини транспортного будівництва тощо.

Стандарт ISO 8178 передбачає використання низки випробувальних циклів, за допомогою яких проводяться дослідження на моторному стенді. Ці цикли відрізняються залежно від класу двигуна та типу обладнання, що тестується. Кожен цикл є послідовністю усталених або перехідних режимів роботи двигуна, що характеризуються різними коефіцієнтами навантаження. Такі випробування дозволяють отримати точні дані про витрату палива та рівні викидів шкідливих речовин, що є критично важливим для оцінки екологічного впливу та ефективності двигунів. Приклади восьмирежимного випробувального циклу С1 та п'ятирежимного циклу D2 за ISO 8178-4 наведені на **рис. 4** та **5**. Цикл С1 застосовується для дизельних двигунів за змінної частоти обертання на усталених режимах. D2 – за постійної частоти обертання.

Кожен із циклів має свої особливості та спеціально розроблений для того, щоб найкращим чином імітувати умови роботи відповідного типу техніки. Використання таких стандартизованих методів забезпечує порівнянність результатів тестувань та сприяє розробці більш ефективних та екологічних двигунів.



**Рис. 4.** Восьмирежимний цикл C1 [4]



**Рис. 5.** П'ятирежимний цикл D2 [4]

Основна частина випробувань за стандартом ISO 8178 проводиться в лабораторних умовах на моторному стенді з використанням визначених випробувальних циклів. Однак, коли лабораторні випробування є неможливими або недоцільними, стандарт передбачає проведення вимірювань у реальних умовах експлуатації за ISO 8178-2. У таких випадках стандартні лабораторні випробувальні цикли не застосовуються. Замість цього випробування проводяться безпосередньо під час роботи транспортного засобу в його звичайному експлуатаційному режимі.

Для визначення показників шкідливих викидів використовується портативна система вимірювання шкідливих викидів (PEMS – Portable Emissions Measurement System). До неї входить таке обладнання:

- газоаналізатори (служать для аналізу складу відпрацьованих газів, зокрема вмісту таких речовин, як CO<sub>2</sub>, CO, NO<sub>x</sub>, HC тощо);

- масові витратоміри відпрацьованих газів (вимірюють масовий потік відпрацьованих газів, що дозволяє точно визначити кількість викидів за одиницю часу);

- система глобального позиціонування (GPS) (відстежує положення транспортного засобу та дозволяє корелювати дані вимірювань із географічним положенням і режимом роботи двигуна);

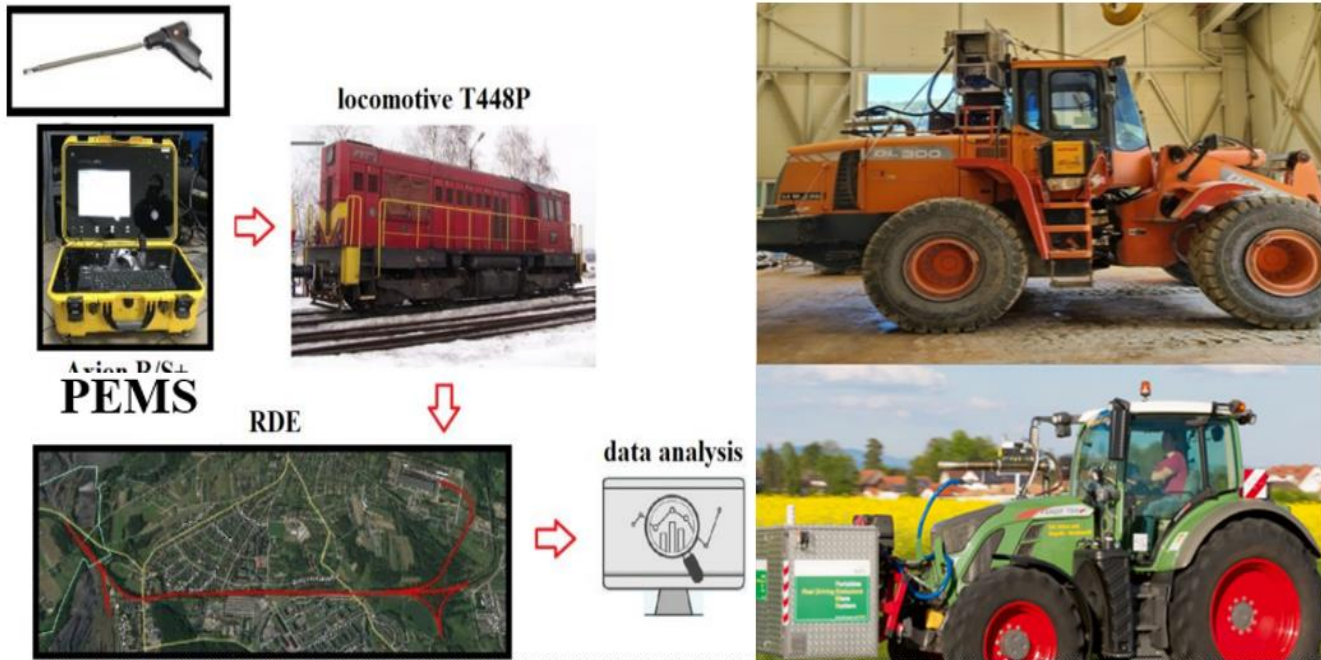
- метеостанція (фіксує погодні умови, які можуть впливати на результати вимірювань – температуру, вологість та тиск повітря);

- інші прилади (можуть включати датчики для вимірювання швидкості транспортного засобу, обертів двигуна, навантаження та інших параметрів, що впливають на рівень викидів).

Отже, використання методів випробувань у реальних умовах експлуатації з застосування PEMS, описаних у ISO 8178-2, дозволяє

отримати достовірні дані про експлуатаційні показники двигунів внутрішнього згоряння, що працюють на спеціальній техніці та транс-

портних засобах, які не можуть бути протестовані в лабораторії. Приклад застосування PEMS наведений на **рис. 6**.



**Рис. 6.** Приклад застосування PEMS [12], [13]

### Висновки

Випробувальні цикли є одним із ключових інструментів для оцінки паливної економічності та екологічних показників машин транспортного будівництва. Вони дозволяють отримати точні дані про експлуатаційні властивості техніки, моделюючи різні режими роботи. Однак, з огляду на унікальні особливості та умови експлуатації різних типів машин, виникає необхідність у розробці спеціалізованих випробувальних циклів, що максимально відповідають реальним умовам використання такої техніки.

Робочі цикли, які охоплюють різні операції, мають різний час виконання, різні режими навантаження та потребують індивідуального підходу до розробки випробувальних циклів.

Спеціалізовані цикли дозволяють врахувати характерні навантаження, типові операції та частоту змін робочих режимів, що сприяє отриманню більш точних результатів.

Для досягнення максимальної точності результатів важливо проводити випробування в умовах, максимально наближених до реальних. Це дозволяє врахувати вплив факторів, які можуть змінюватися під час експлуатації техніки на будівельних майданчиках або в інших умовах.

Використання даних, отриманих у реальних умовах експлуатації для коригування випробувальних циклів, забезпечує більш достовірні результати, що відображають реальні експлуатаційні показники.

Розробка нових випробувальних циклів, які б спрощували деякі етапи дорожніх випробувань, є важливим аспектом зниження витрат та підвищення ефективності процедури дослідження екологічності та економічності машин транспортного будівництва.

Враховуючи високу вартість та трудомісткість випробувань, існує необхідність у розробці спеціалізованого програмного забезпечення для моделювання та аналізу випробувальних циклів, що дозволяє автоматизувати

процеси збору, обробки даних та підвищує точність і надійність результатів. Такі програмні засоби можуть містити моделі для симуляції роботи техніки, аналізу викидів шкідливих речовин, витрати палива та інших важливих параметрів.

Застосування новітніх технологій, таких як віртуальне моделювання та дистанційний моніторинг, може значно знизити витрати на проведення випробувань та визначення ек-

плуатаційних показників машин транспортного будівництва, сільськогосподарської, будівельної, великогабаритної техніки, тепловозів, генераторів, суден та інших машин різноманітного призначення.

Все це дозволить підвищити точність результатів випробування двигунів внутрішнього згоряння, які застосовуються в машинах транспортного будівництва та іншій техніці.

## References

- Zaporozhets, O. I., Boychenko, S. V., Matveeva, O. L., Shamanskyi, S. Y., Dmytrokha, T. I., Madzhd, S. M. (2017). Transport ecology: a study guide, in general edited by S. V. Boychenko, Kyiv.
- Urban Reforms. (2017). Ukrainian climate network. The impact of transport on the ecology of the city. Analysis and strategies for Ukraine. Retrieved from: [https://ucn.org.ua/wp-content/uploads/2017/02/transport-ukr4\\_small.pdf](https://ucn.org.ua/wp-content/uploads/2017/02/transport-ukr4_small.pdf)
- BorgWarner. (2024). Worldwide emission standards. Passenger cars. Retrieved from: <https://i-test.borgwarner.com/technologies/emissions-standards>
- BorgWarner. (2024). Worldwide emissions standards on and off-highway commercial vehicles. Retrieved from: <https://i-test.borgwarner.com/technologies/emissions-standards>
- UkrNDIPVT named after L. Pohorilo. (2021). Collection of Scientific Works 2021. Justification of the model of implementation of European environmental standards for vehicles and engines of agricultural and forestry tractors in Ukraine, 29 (43). Retrieved from: <https://www.ndipvt.com.ua/Zbyrnyk/Edition27%2841%29/Collection%20of%20scientific%20works%20Edition%20%2841%29article1.pdf>
- International Council on Clean Transportation. (2016). European stage V non-road emission standards. Retrieved from: [https://theicct.org/sites/default/files/publications/EU-Stage-V\\_policy%20update\\_ICCT\\_nov2016.pdf](https://theicct.org/sites/default/files/publications/EU-Stage-V_policy%20update_ICCT_nov2016.pdf)
- North Sea Lubricants. (2024). SIR selective catalyst neutralization system. Retrieved from: <https://northsea.com.ua/article/SCR>
- Careers of Ukraine. (2024). Diesel particulate filter (DPF). Retrieved from: <https://www.karer.in.ua/sazheviy-filtr.php>
- Khmara, L. A., Kravets, S. V., Nichke, V. V., Nazarov, L. V., Skobluk, M. P., Nikitin, V.G. (2010). Machines for earthworks: a study guide, Rivne-Dnipropetrovsk-Kharkiv.
- SE "NIDI". (2017). SOU 42.1-37641918-094:2017. Road machines and mechanisms. Norms of consumption of fuel and lubricants. Retrieved from: [https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id\\_doc=73075](https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=73075)
- SE UkrNDNC. (2018). ISO 8178 Internal combustion piston engines – exhaust gas measurement standard.
- Kaminska, M., Kolodziejek, D., Szymlet, N., Fuc, P., Grzeszczyk, R. (2022). Measurement of rail vehicles exhaust emissions. Retrieved from: <https://www.combustion-engines.eu/Measurement-of-rail-vehicles-exhaust-emissions.142526.0.2.html>
- Dong, In Lee; Junhong, Park; Myunghwan, Shin; Jongtae, Lee; Sangki, Park. (2022). Characteristics of Real-World Gaseous Emissions from Construction Machinery. Retrieved from: <https://www.mdpi.com/1996-1073/15/24/9543>