

Тицький О.Ю., Токін О.П.
Національний транспортний університет

СИСТЕМА ДІАГНОСТИКИ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ДВИГУНІВ ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРЯННЯ ВЕЛИКОВАНТАЖНИХ АВТОМОБІЛІВ

У статті продемонстровано достатньо широкі можливості використання віддаленої автоматизованої діагностики великовантажних автомобілів, зокрема, діагностики двигунів автомобілів Scania.

За результатами використання функцій «Забезпечення балансу циліндрів», «Перевірка балансу циліндрів» та «Перевірка компресії» програмного забезпечення Scania Diagnos 3 & Programmer отримано параметри впливу окремих циліндрів двигуна DC13 164 L01 автомобіля Scania R 450 A4x2NA на величину циклової подачі, крутного моменту та рівномірності частоти обертання.

Отримані результати вимірювань свідчать про наявну різницю в ефективності окремих циліндрів та необхідність усунення причин цих відмінностей. Так, за результатом виконання функції «Перевірка балансу циліндрів» оцінено ефективність робочих ходів в окремих циліндрах та встановлено збільшення крутного моменту на 5 Нм порівняно з базовим у циліндрах 1, 5; на 1 Нм – у циліндрі 3; зниження на 7 Нм та 4 Нм – у циліндрах 6 та 2, що свідчить про значне погіршення ефективності циліндрів 6 та 2. При цьому, у циліндрі 6 погіршення викликано очевидно порушенням роботи елементів паливної системи, а у циліндрі 2 – це наслідок зменшення циклової подачі для забезпечення рівномірності ходу, що, в свою чергу призводить до збіднення суміші, зниження індикаторної роботи та, відповідно, крутного моменту.

Аналіз фактичних причин впливу роботи циліндрів на досліджені вище показники можливо зробити на основі поглибленої фізичної діагностики окремих вузлів або на основі реконструкції робочого процесу в окремих циліндрах за допомогою математичної моделі двигуна.

Ключові слова: система діагностики, вантажний автомобіль, двигун внутрішнього згоряння, ефективність роботи двигуна, циклова подача палива, крутний момент, рівномірність ходу двигуна, компресія.

ВСТУП

Автомобільний транспорт сьогодні забезпечує знаний обсяг перевезень, зокрема, вантажних. Технічний стан автомобілів значною мірою впливає на показники ефективності його експлуатації. Найважливішими показниками ефективності експлуатації вантажних автомобілів, зокрема, є показники тягово-швидкісних властивостей, паливної економічності, екологічності. Названі показники забезпечуються, насамперед, технічним станом двигунів автомобілів, серед яких найбільш поширеними і основними залишаються двигуни внутрішнього згоряння (ДВЗ). Тому, ефективність експлуатації вантажних автомобілів значно залежить від ефективності процесів діагностування технічного стану їхніх двигунів внутрішнього згоряння.

АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДАНИХ ТА ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Розроблення ефективних систем діагностування технічного стану автомобілів та їхніх двигунів є предметом досліджень багатьох українських та закордонних авторів. Зокрема, новітні методи діагностики ДВЗ з використанням цифрових двійників представлено в роботі [1], визначення вимог до сучасних способів та засобів визначення загального технічного стану бензинових та дизельних двигунів військових електростанцій та силових установок зразків озброєння та військової техніки здійснено у роботі [2], використання можливостей інтелектуальних систем для вирішення завдань технічної експлуатації транспорту та моніторингу технічного стану їхніх двигунів представлено в роботах [3, 4, 5], аналіз моделей діагностики для визначення технічного стану транспортних засобів виконано в роботі [6], метод обробки даних, який суттєво зменшує обсяг даних та оптимізує затримку передачі між системами дистанційної діагностики та серверами баз даних, розроблено в роботі [7], систематизація систем моніторингу автомобілів за видами апаратних засобів, використовуваних для отримання інформації про транспортний засіб та інфраструктурне середовище на різних етапах виконання властивих їм функцій в умовах експлуатації, проведена в статті [8].

Аналіз результатів цих та інших досліджень у сфері діагностики технічного стану автомобільних двигунів свідчить про значний інтерес дослідників до даного питання та постійний розвиток систем діагностування. Однак, у випадку використання конкретних двигунів внутрішнього згоряння виникає потреба у розробці відповідних методик, математичних моделей та програмного забезпечення, адаптованих до конкретних завдань. З цією метою необхідний аналіз функцій та особливостей використання наявного технічного забезпечення сервісних підприємств вантажних автомобілів.

ЦІЛЬ ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ

Метою роботи є дослідження функціональних можливостей апаратного і програмного забезпечення підприємств технічного сервісу великовантажних автомобілів для віддаленої діагностики автомобільних двигунів.

Задачі дослідження:

- Аналіз сучасного рівня та можливостей автоматизації процесів технічної експлуатації автомобілів;
- Визначення основних технічних характеристик об'єкта діагностування – двигуна вантажного автомобіля;
- Аналіз функцій діагностування двигунів за допомогою програмного забезпечення Scania Diagnos 3 & Programmer;
- Аналіз отриманих результатів діагностування двигуна DC13 164 L01 автомобіля Scania R 450 A4x2NA.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Діагностика технічного стану двигунів внутрішнього згоряння є складовою загального процесу технічної експлуатації автомобілів. Сучасний підхід до діагностики технічного стану автомобілів передбачає застосування принципів інтелектуальних систем, зокрема, транспортних [3]. Програмне забезпечення транспортних інтелектуальних систем забезпечує зв'язок між інформаційними базами даних про параметри експлуатації автомобіля, веб-сервером обробки запитів-відповідей, інтелектуальними комплексами обробки даних про параметри експлуатації автомобілів та бортовими комплексами збору даних про роботу агрегатів автомобілів з використанням засобів інтернет-мережі. Приклад загальної структури обміну даними між вказаними елементами системи представлено на рис. 1.

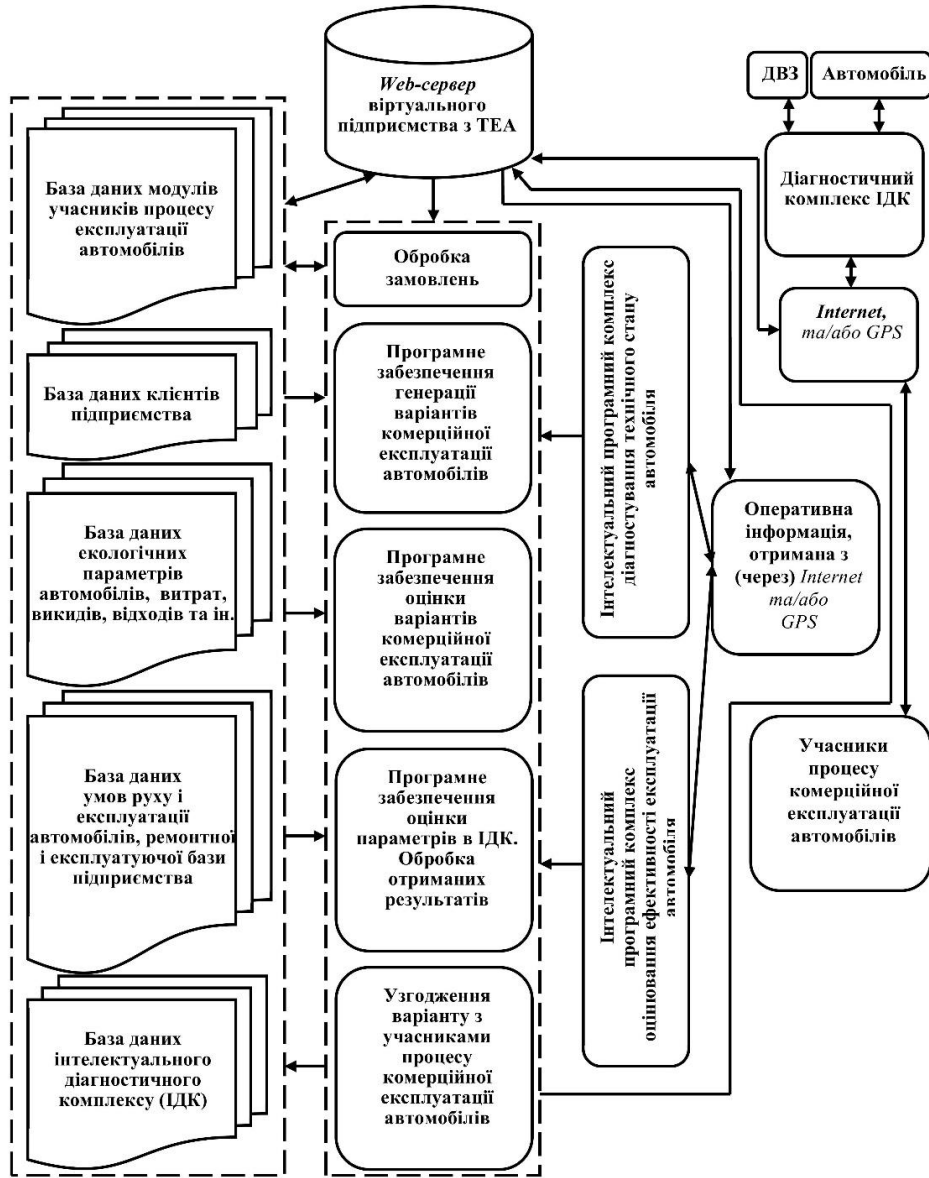


Рисунок 1 – Загальна структура обміну даними між елементами інтелектуальної системи під час технічної експлуатації автомобілів [3]

У якості прикладу застосування представленого підходу до технічної діагностики розглянемо систему діагностики двигунів автомобілів Scania. Об'єкт діагностування – сідельний тягач Scania R 450 A4x2NA з двигуном DC13 164 L01 (рис. 2). Основні технічні характеристики автомобіля наведено в таблиці 1.

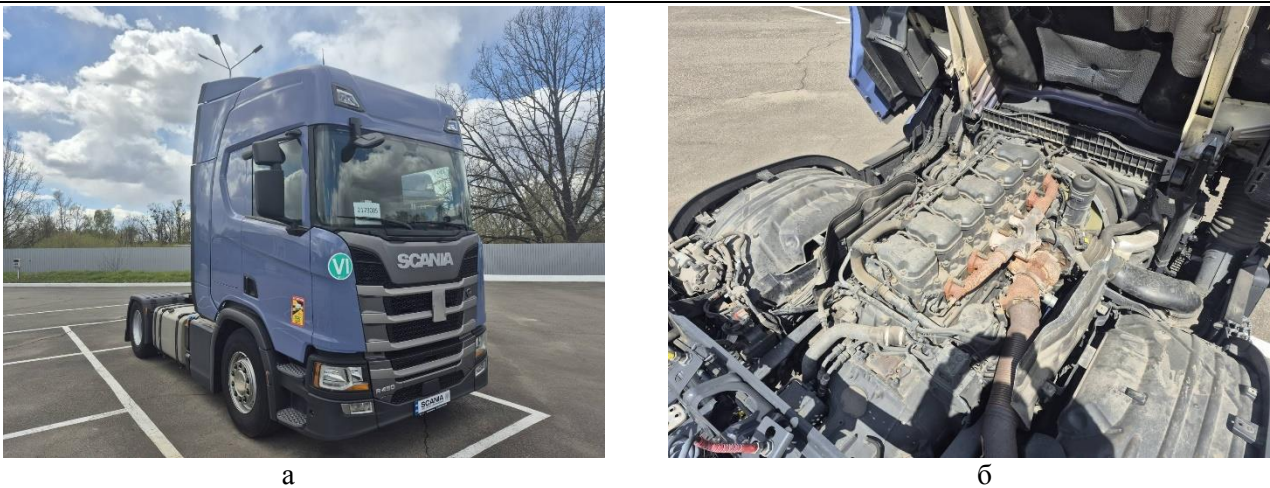


Рисунок 2 – Об’єкт діагностування – сідельний тягач Scania R 450 A4x2NA (а) з двигуном DC13 164 L01 (б)

Таблиця 1 – Основні технічні характеристики автомобіля Scania R 450 A4x2NA

Назва параметру	Значення параметру
VIN-код	YS2R4X20005614812
Тип автомобіля	Сідельний тягач
Колісна формула	4x2
Колісна база, мм	3750
Ширина шасі,	2550
Навантаження на передню вісь, кг	7500
Навантаження на задню вісь, кг	11500
Повна маса, кг	19000
Повна маса автопоїзда, кг	45000
Двигун	DC13 164 L01
Тип	рядний, 4-тактний
Вид палива	Дизельне
Число циліндрів	6
Порядок роботи циліндрів	1-5-3-6-2-4
Літраж, л	12,7
Максимальна потужність, кВт	331
Максимальний крутний момент, Нм	2350
Паливна система	Common Rail EMD1
Система очистки відпрацьованих газів	нейтралізатор SCR DNXR805EX з електричним підігрівом, окислювальний нейтралізатор DW1006SW, сажовий фільтр DPF DW2167SW
Екологічний клас	Euro 6
Зчеплення	Автоматичне фрикційне K432 62
Коробка передач	GRS895R з демультіплікатором та дільником
Ретардер	Scania TMS R3500

Основне програмне забезпечення, яке використовується для процесу діагностування – Scania Diagnos 3 & Programmer (рис. 3а), яке підключається до автомобіля за допомогою інтерфейсу VCI3 (рис. 3б).



а



б

Рисунок 3 – Програмне забезпечення Scania Diagnos 3 & Programmer (а) та інтерфейс VCI3 (б)

За допомогою вказаного діагностичного та інтерфейсного обладнання здійснюється віддалена діагностика усіх основних систем автомобіля та моніторинг стану систем відповідно вимог безпеки перевезень.

У якості прикладу розглянемо процес діагностування технічного стану двигуна. Вікно доступу до основних операцій діагностування двигуна (рис. 4) дозволяє вибрати потрібну систему та діагностичну функцію.

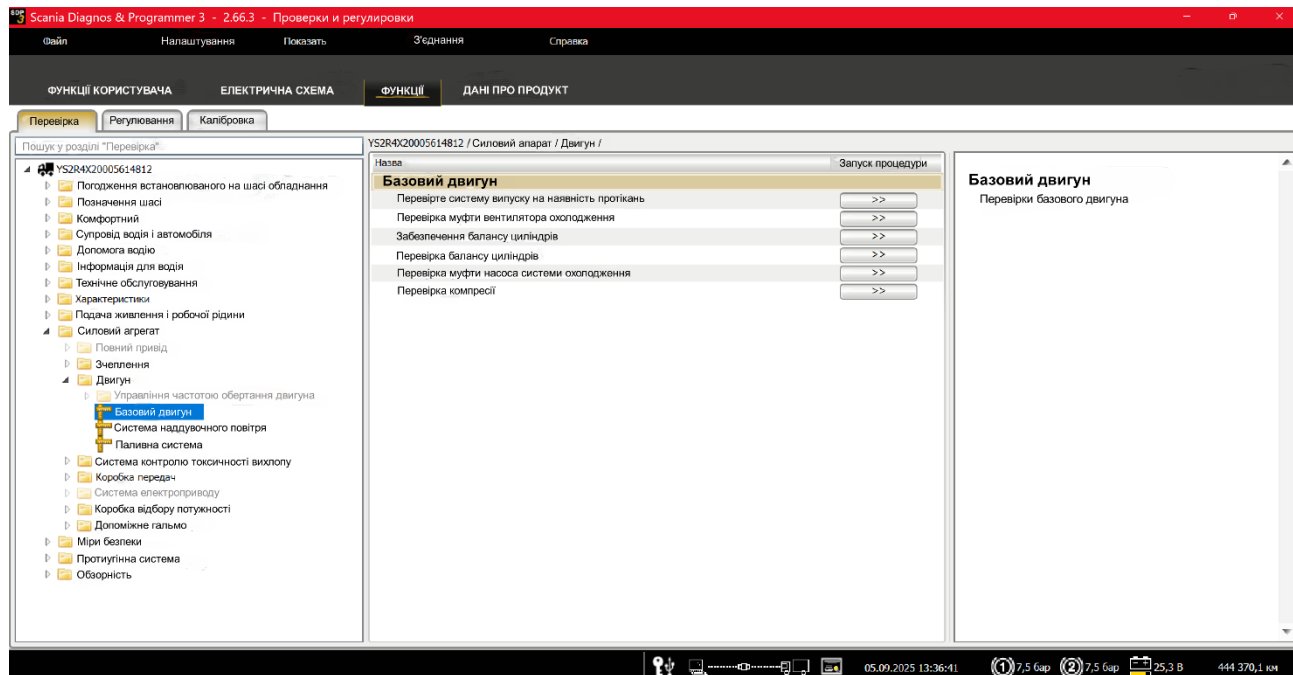


Рисунок 4 – Вікно доступу до основних операцій діагностування двигуна

Основну комплексну інформацію про технічний стан паливної системи та механізмів двигуна можна отримати на основі функцій «Забезпечення балансу циліндрів», «Перевірка балансу циліндрів» та «Перевірка компресії».

Програмне забезпечення містить основні вимоги до виконання кожної діагностичної функції та виконує весь процес в автоматизованому режимі (оператор вибирає функцію, діагностична система виконує усі подальші операції без участі оператора).

На рис. 5 показано результат виконання функції «Забезпечення балансу циліндрів».

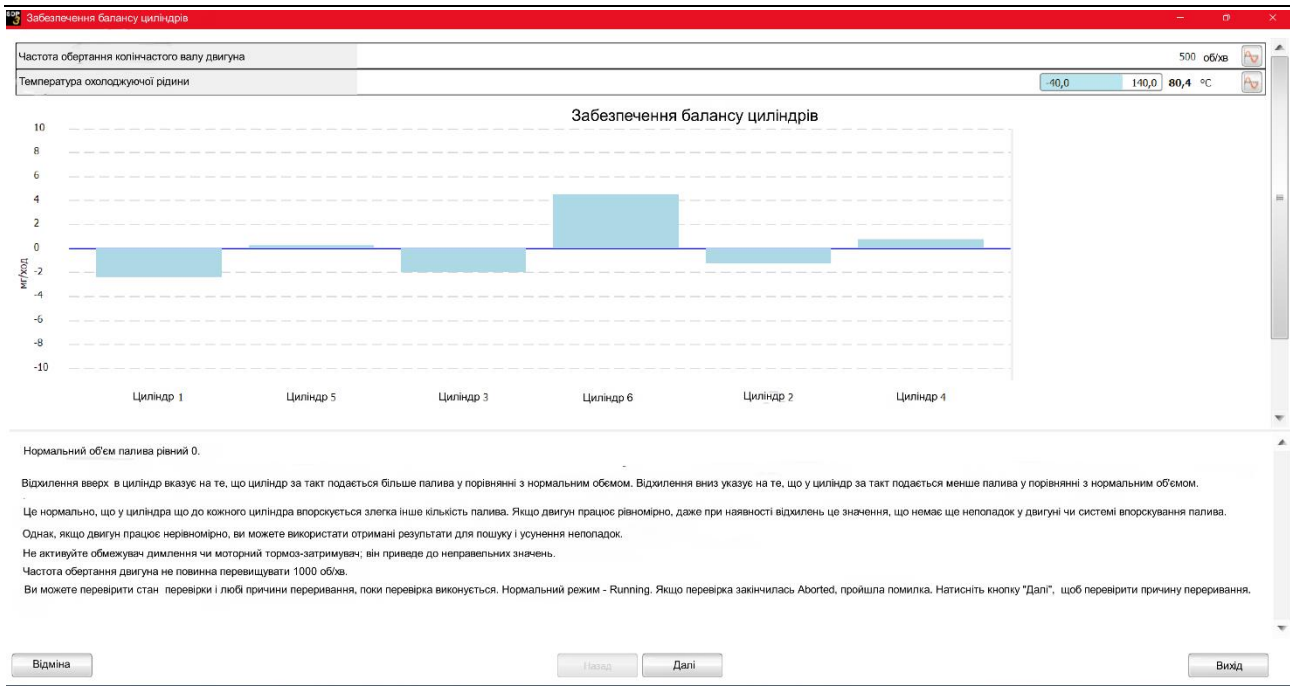


Рисунок 5 – Результат виконання функції «Забезпечення балансу циліндрів»

Дана функція показує наскільки відрізняється циклова подача палива по циліндрам двигуна для забезпечення необхідної рівномірності ходу.

Результат виконання функції «Перевірка балансу циліндрів» представлено на рис. 6

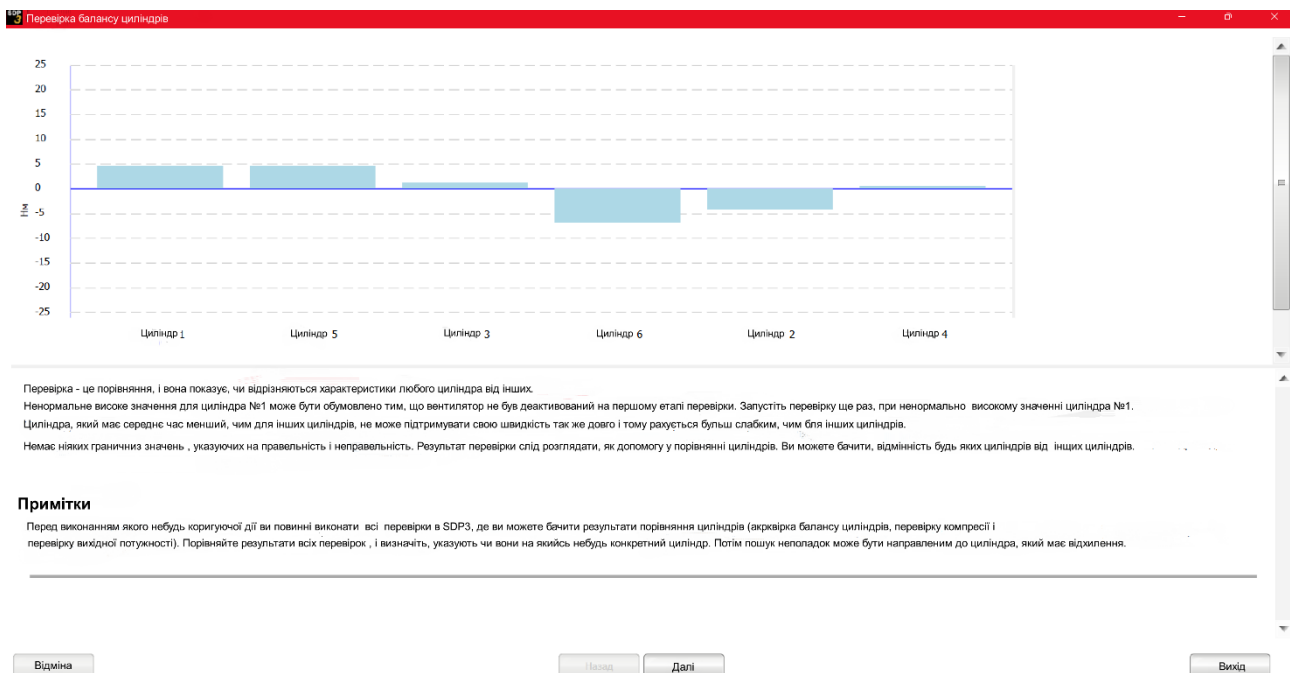


Рисунок 6 – Результат виконання функції «Перевірка балансу циліндрів»

Дана функція дозволяє оцінити наскільки відрізняється внесок у створення крутного моменту кожним циліндром за даної рівномірності ходу двигуна.

В результаті застосування функції «Перевірка компресії» отримано наступний результат (рис. 7).



Рисунок 7 – Результат виконання функції «Перевірка компресії»

Ця функція показує відхилення від рівномірності ходу від впливу кожного циліндра.

ОБГОВОРЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ

Отримані результати свідчать про достатньо широкі можливості використання віддаленої автоматизованої діагностики великовантажних автомобілів, зокрема, діагностики двигунів автомобілів Scania.

Так, за результатами застосування функції «Забезпечення балансу циліндрів» отримано наступні результати. У циліндрах 1, 3, 2 спостерігається зниження циклової подачі палива на 1-2 мг порівняно з базовою подачею; у циліндрі 6 циклова подача збільшена на 4,5 мг; у циліндрі 4 – збільшена на 1 мг; у циліндрі 5 – майже не відрізняється від базової. Такі результати свідчать про вищу ефективність роботи циліндрів 1, 3, 2 порівняно з іншими циліндрами. Циліндр 5 має середню ефективність. Циліндри 4 та 6 мають знижену ефективність. Електронна система управління подачею палива намагається забезпечити рівномірний хід двигуна через управління подачею палива по циліндрам. Однак, отриманий результат може бути наслідком нерівномірності параметрів паливного насоса та форсунок при роботі окремих циліндрів.

Тому, для оцінювання ефективності саме робочого ходу в циліндрах служить функція «Перевірка балансу циліндрів». За результатом цієї функції встановлено збільшення крутного моменту на 5 Нм порівняно з базовим у циліндрах 1, 5; на 1 Нм – у циліндрі 3; зниження на 7 Нм та 4 Нм – у циліндрах 6 та 2; у циліндрі 4 майже не відрізняється від базового. Це свідчить про значне погіршення ефективності циліндрів 6 та 2. При цьому, у циліндрі 6 погіршення викликано очевидно порушенням роботи елементів паливної системи, а у циліндрі 2 – це наслідок зменшення циклової подачі для забезпечення рівномірності ходу.

Додаткову інформацію дає результат функції «Перевірка компресії» який характеризує вплив різниці в компресії окремих циліндрів на миттєву частоту обертання колінчастого валу. З результатів видно, що компресія у циліндрах 1, 6 майже однакова, у циліндрі 5 – дещо погіршена, у циліндрах 3, 2, 4 – трохи вища середньої. Це може пояснювати погіршену ефективність циліндра 2 за впливом на крутний момент внаслідок збіднення суміші (більша компресія є наслідком більшого наповнення циліндра повітрям, а зменшення циклової подачі палива викликає збіднення паливоповітряної суміші, що знижує індикаторну роботу та відповідно крутний момент).

Аналіз фактичних причин впливу роботи циліндрів на досліджені вище показники можливо зробити на основі поглибленої фізичної діагностики окремих вузлів або на основі реконструкції робочого процесу в окремих циліндрах за допомогою математичної моделі двигуна.

ВИСНОВКИ

У статті продемонстровано достатньо широкі можливості використання віддаленої автоматизованої діагностики великовантажних автомобілів, зокрема, діагностики двигунів автомобілів Scania.

За результатами використання функцій «Забезпечення балансу циліндрів», «Перевірка балансу циліндрів» та «Перевірка компресії» програмного забезпечення Scania Diagnos 3 & Programmer отримано параметри впливу окремих циліндрів двигуна DC13 164 L01 автомобіля Scania R 450 A4x2NA на величину циклової подачі, крутного моменту та рівномірності частоти обертання.

Отримані результати вимірювань свідчать про наявну різницю в ефективності окремих циліндрів та необхідність усунення причин цих відмінностей. Аналіз фактичних причин впливу роботи циліндрів на досліджені вище показники можливо зробити на основі поглибленої фізичної діагностики окремих вузлів або на основі реконструкції робочого процесу в окремих циліндрах за допомогою математичної моделі двигуна.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Мінчев Д.С. Методи діагностики технічного стану двигунів внутрішнього згоряння з використанням цифрових двійників: дис. ... д-р техн. наук : 05.05.03. Одеса, 2023. 408 с. URL: <https://repository.kpi.kharkov.ua/server/api/core/bitstreams/bec103f8-ac92-4500-ac18-2198162ac3ed/content>
2. Кононов В.Б., Кононова О.А., Мусаїрова Ю.Д. Обґрунтування вимог до сучасних способів та засобів визначення загального технічного стану бензинових та дизельних двигунів військових електростанцій та силових установок зразків озброєння та військової техніки. Системи Управління, Навігації Та Зв'язку. Збірник Наукових Праць, 2020. № 2(60), С. 21–26. URL: <https://doi.org/10.26906/sunz.2020.2.021>.
3. Волков В.П., Матейчик В.П., Комов П.Б., Грицук І.В., Смешек М., Волкова Т.В., Цюман М.П. Інтелектуальні системи моніторингу транспорту: монографія. Харків: Вид-во ІТМТ, 2015. 336 с.
4. Дмитриченко М.Ф., Матейчик В.П., Волков В.П., Грицук О.К., Цюман М.П., Грицук І.В., Вайгант Г.О., Клименко О.А. Програмне забезпечення систем моніторингу транспорту: монографія. К.: НТУ, 2016. 204 с. URL: http://lib.ntu.edu.ua/catalog/docs/VRM/VRM%2098_2016.pdf.
5. Dobrovolskyi, O., & Navrotskyi, A. (2025). Analysis and synthesis of functional capabilities of monitoring systems of vehicle operation processes. The National Transport University Bulletin, 29(2), 18-29. <https://doi.org/10.33744/2308-6645-2025-2-29-18-29>.
6. Бурлака, С., Митко, М., Борисюк, Д. (2024). Аналіз моделей діагностики для визначення технічного стану транспортних засобів. Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. № 343(6(1)). С. 39-42. URL: <https://doi.org/10.31891/2307-5732-2024-343-6-5>.
7. Görne, L., Reuss, H.-C., Krätschmer, A., & Sauerwald, R. (2022). Smart data preprocessing method for remote vehicle diagnostics to increase data compression efficiency. Automotive and Engine Technology, 7, 307-316. <https://doi.org/10.1007/s41104-022-00113-9>.
8. Матейчик, В., Навроцький, А. (2024). Систематизація схем апаратного забезпечення систем моніторингу експлуатації транспортних засобів. Вісник Приазовського Державного Технічного Університету. Серія: Технічні науки, № (48), С. 184–192. URL: <https://doi.org/10.31498/2225-6733.48.2024.310711>.

REFERENCES

1. Minchev, D.S. (2023). Metody diahnostryky tekhnichnoho stanu dvyhuniv vnutrishnoho zghoriannia z vykorystanniam tsyfrovyykh dviinykiv [Diagnostic Methods for Internal Combustion Engines Technical Condition Assessment using Digital Twins]. Doctor's thesis. Odessa: Odessa National Maritime University [in Ukrainian].
2. Kononov, V., Kononova, O., & Musairova, Yu. (2020). Obhruntuvannia vymoh do suchasnykh sposobiv ta zasobiv vyznachennia zahalnoho tekhnichnoho stanu benzynovykh ta dyzelynykh dvyhuniv viiskovykh elektrostansii ta sylovykh ustanovok zrazkiv ozbroiennia ta viiskovoi tekhniki [Substantiation of requirements for modern methods and means of determining the general technical condition of gasoline and diesel engines of military power plants and power installations of weapons and military equipment]. Systemy Upravlinnia, Navihatsii Ta Zviazku. Zbirnyk Naukovykh Prats – Control, Navigation, and Communication Systems. Collection of Scientific Papers, 2(60), 21–26. <https://doi.org/10.26906/sunz.2020.2.021> [in Ukrainian].
3. Volkov V.P., Mateichyk V.P., Komov P.B., Hrytsuk I.V., Smeshkek M., Volkova T.V., Tsiuman M.P. (2015). Intelktualni systemy monitorynhu transportu: monohrafiia [Intelligent transport monitoring systems: monograph]. Kharkiv, Ukraine: ITMT. [in Ukrainian].
4. Dmytrychenko M.F., Mateichyk V.P., Volkov V.P., Hryshchuk O.K., Tsiuman M.P., Hrytsuk I.V., Vaihanh H.O., Klymenko O.A. Prohramne zabezpechennia system monitorynhu transportu: monohrafiia

[Software for transport monitoring systems: monograph]. Kyiv, Ukraine: NTU. http://lib.ntu.edu.ua/catalog/docs/VRM/VRM%2098_2016.pdf [in Ukrainian].

5. Dobrovolskyi, O., & Navrotskyi, A. (2025). Analysis and synthesis of functional capabilities of monitoring systems of vehicle operation processes. *The National Transport University Bulletin*, 29(2), 18-29. <https://doi.org/10.33744/2308-6645-2025-2-29-18-29> [in English].

6. Burlaka, Serhii, Mytko, Mykola, & Borysiuk, Dmytro. (2024). Analiz modelei diahnostyky dlia vyznachennia tekhnichnoho stanu transportnykh zasobiv [Analysis of diagnostic models for determining technical condition vehicles]. *Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. Tekhnichni nauky – Herald of Khmelnytskyi National University. Technical Sciences*, 343(6(1)), 39–42. <https://doi.org/10.31891/2307-5732-2024-343-6-5> [in Ukrainian].

7. Görne, L., Reuss, H.-C., Krätschmer, A., & Sauerwald, R. (2022). Smart data preprocessing method for remote vehicle diagnostics to increase data compression efficiency. *Automotive and Engine Technology*, 7, 307-316. <https://doi.org/10.1007/s41104-022-00113-9> [in English].

8. Mateichyk, V. P., & Navrotskyi, A. V. (2024). Systematyzatsiia skhem aparatnoho zabezpechennia system monitorynhu ekspluatatsii transportnykh zasobiv [Systematization of hardware schemes of vehicle operation monitoring systems]. *Visnyk Pryazovskoho Derzhavnogo Tekhnichnoho Universytetu. Serii: Tekhnichni Nauky – Bulletin of the Azov State Technical University. Series: Technical Sciences*, (48), 184–192. <https://doi.org/10.31498/2225-6733.48.2024.310711> [in Ukrainian].

Tytskyi O.Yu., Tokin O.P. System for diagnosing the technical condition of internal combustion engines of heavy duty vehicles.

The article demonstrates the wide possibilities of using remote automated diagnostics of heavy trucks, in particular, diagnostics of Scania engines.

Based on the results of using the functions "Ensuring cylinder balance", "Cylinder balance check" and "Compression check" of the Scania Diagnos 3 & Programmer software, the parameters of the influence of individual cylinders of the DC13 164 L01 engine of the Scania R 450 A4x2NA vehicle on the value of cyclic fuel feed, torque and uniformity of rotation frequency were obtained.

The obtained measurement results indicate the existing difference in the efficiency of individual cylinders and the need to eliminate the causes of these differences. Thus, based on the results of the "Cylinder balance check" function, the efficiency of the working strokes in individual cylinders was assessed and an increase in torque of 5 Nm compared to the base torque in cylinders 1, 5 was established; by 1 Nm in cylinder 3; a decrease of 7 Nm and 4 Nm in cylinders 6 and 2, respectively, indicating a significant deterioration in the efficiency of cylinders 6 and 2. At the same time, in cylinder 6, the deterioration was obviously caused by a malfunction of the fuel system elements, and in cylinder 2, it was a consequence of a decrease in the cyclic supply to ensure uniformity of the stroke, which, in turn, leads to a leaner mixture, a decrease in indicator work and, accordingly, torque.

The analysis of the actual causes of the influence of cylinder operation on the above-studied indicators can be done on the basis of in-depth physical diagnostics of individual nodes or on the basis of reconstruction of the working process in individual cylinders using a mathematical model of the engine.

Keywords: diagnostic system, truck, internal combustion engine, engine efficiency, cyclic fuel feed, torque, engine frequency uniformity, compression.

ТИЦЬКИЙ Олександр Юрійович, аспірант кафедри виробництва, ремонту і матеріалознавства, Національний транспортний університет, e-mail: alexandert1976@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0002-3148-2746>.

ТОКІН Олександр Павлович, професор кафедри виробництва, ремонту і матеріалознавства, Національний транспортний університет, e-mail: a2atp@meta.ua, <https://orcid.org/0000-0002-7353-4228>.

Oleksandr TYTSKYI, Postgraduate Student, Department of Manufacturing, Repairing and Materials Science, National Transport University, e-mail: alexandert1976@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0002-3148-2746>.

Oleksandr TOKIN, Candidate of Technical Sciences, Professor, Department of Manufacturing, Repairing and Materials Science, National Transport University, e-mail: a2atp@meta.ua, <https://orcid.org/0000-0002-7353-4228>.

Дата надходження статті до видання: 01.04.2026

Дата прийняття статті до друку після рецензування: 01.05.2026

<https://doi.org/10.36910/tnex5v29>