

О. В. ГОЛОВІНА

кандидат технічних наук, доцент,
завідувачка кафедри автомобільного транспорту та транспортних технологій
Філія Класичного приватного університету у місті Кременчук
ORCID: 0000-0002-9858-888X

Ю. Ф. ХОЛОДНИЙ

кандидат технічних наук, доцент,
доцент кафедри автомобільного транспорту та транспортних технологій
Філія Класичного приватного університету у місті Кременчук
ORCID: 0009-0009-6695-8258

О. П. СТРОКОВ

доктор технічних наук, професор,
професор кафедри автомобільного транспорту та транспортних технологій
Філія Класичного приватного університету у місті Кременчук
ORCID: 0009-0008-2620-4454

В. О. ЖОВТОБРЮХ

кандидат технічних наук,
доцент кафедри автомобільного транспорту та транспортних технологій
Філія Класичного приватного університету у місті Кременчук
ORCID: 0009-0007-2438-6082

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ЯКОСТІ ДІАГНОСТИКИ І РЕМОНТУ ЕЛЕКТРОННИХ СИСТЕМ НА ПОДАЛЬШУ ТЕХНІЧНУ ЕКСПЛУАТАЦІЮ АВТОМОБІЛЯ

Мета статті – дослідити, як якість діагностики та ремонту електронних систем автомобіля впливає на його подальшу технічну експлуатацію, розглянути ключові фактори, що визначають ефективність цих процесів, та запропонувати рекомендації для забезпечення надійності транспортного засобу.

Наукова новизна. У статті обґрунтовано комплексний підхід до оцінки впливу якості діагностики й ремонту на технічну експлуатацію автомобіля, враховуючи сучасні технології (IoT, штучний інтелект, хмарні рішення) та специфіку електрифікованих транспортних засобів. Новизна полягає у систематизації наслідків неякісного обслуговування та акценті на економічних і екологічних аспектах.

Результати. Дослідження показало, що точна діагностика з використанням сучасного обладнання, такого як OBD-сканери, комп'ютерні системи та IoT-сенсори, дозволяє своєчасно виявляти несправності в електронних системах автомобіля, таких як ECU, ABS, ESP, а також батареї електромобілів, що значно скорочує час ремонту та запобігає пошкодженню суміжних компонентів. Наприклад, швидке визначення першопричини відмови одного елемента (наприклад, конденсаторів стабілізації напруги чи датчиків) може врятувати від перевантаження цілі модулі. Якісний ремонт із застосуванням оригінальних запчастин і кваліфікованим персоналом підвищує безпеку експлуатації – зокрема, справність систем безпеки (ABS, ESP, подушки безпеки) знижує ризик аварій, а також подовжує термін служби автомобіля за рахунок зменшення зносу ключових вузлів. Доведено, що використання сертифікованих аналогів замість дешевих підробок забезпечує сумісність і довговічність систем, тоді як неякісні компоненти призводять до повторних поломок уже через 3–6 місяців експлуатації. Економічний ефект якісного обслуговування проявляється у зниженні загальних витрат на ремонт (до 30 % за рік) та підвищенні залишкової вартості автомобіля на вторинному ринку (на 10–15 % за оцінками експертів). Натомість низька якість діагностики, наприклад, через застаріле обладнання чи недостатню кваліфікацію майстрів, спричиняє помилкові висновки, що веде до нестабільної роботи систем, зростання викидів CO₂ (до 20 % у разі несправностей двигуна) та скорочення терміну служби автомобіля на 25–30 %. Застосування передових технологій, таких як штучний інтелект і предиктивна аналітика, дозволяє прогнозувати поломки з точністю до 85 %, що підтверджується дослідженнями, сприяючи профілактичному підходу та зниженню аварійності.

Висновки. Якість діагностики та ремонту є критично важливим фактором для забезпечення надійної й безпечної експлуатації автомобіля. Інвестування в професійне обладнання, навчання персоналу та регулярну профілактику дозволяє мінімізувати ризики поломок і оптимізувати технічний стан транспортного засобу в довгостроковій перспективі.

Ключові слова: технічна експлуатація, діагностика автомобіля, електронні системи автомобіля, ремонт електронного обладнання, надійність автомобіля.

O. V. HOLOVINA

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,
Head of the Department of Automobile Transport and Transport Technologies
Branch of the Classical Private University in Kremenchuk
ORCID: 0000-0002-9858-888X

YU. F. KHOLODNYI

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,
Associate Professor at the Department of Motor Transport and Transport Technologies
Branch of the Classical Private University in Kremenchuk
ORCID: 0009-0009-6695-8258

O. P. STROKOV

Doctor of Technical Sciences, Professor,
Professor at the Department of Motor Transport and Transport Technologies
Branch of the Classical Private University Kremenchuk
ORCID: 0009-0008-2620-4454

V. O. ZHOVTOBRYUKH

Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor at the Department of Motor Transport and Transport Technologies
Branch of the Classical Private University Kremenchuk
ORCID: 0009-0007-2438-6082

INVESTIGATION OF THE INFLUENCE OF THE QUALITY OF DIAGNOSTICS AND REPAIR OF ELECTRONIC SYSTEMS ON THE FURTHER TECHNICAL OPERATION OF THE CAR

The purpose of the article is to investigate how the quality of diagnostics and repair of vehicle electronic systems affects its further technical operation, to consider the key factors that determine the efficiency of these processes, and to propose recommendations for ensuring vehicle reliability.

Scientific novelty. The article substantiates an integrated approach to assessing the impact of the quality of diagnostics and repairs on the technical operation of a vehicle, considering modern technologies (IoT, artificial intelligence, cloud solutions) and the specifics of electrified vehicles. The novelty lies in the systematization of the consequences of poor-quality service and the emphasis on economic and environmental aspects.

Results. The study showed that accurate diagnostics using modern equipment, such as OBD scanners, computer systems, and IoT sensors, allows timely detection of malfunctions in-vehicle electronic systems such as ECU, ABS, ESP, and electric vehicle batteries, which significantly reduces repair time and prevents damage to adjacent components. For example, quickly identifying the root cause of a single component failure (such as voltage stabilization capacitors or sensors) can save entire modules from overloading. High-quality repairs using original spare parts and qualified personnel increase operational safety – in particular, the serviceability of safety systems (ABS, ESP, airbags) reduces the risk of accidents and extends the vehicle's life by reducing wear and tear on key components. It has been proven that using certified analogs instead of cheap counterfeits ensures the compatibility and durability of the systems, while low-quality components lead to repeated breakdowns after 3–6 months of operation. The economic effect of high-quality service is manifested in a reduction in total repair costs (up to 30 % per year) and an increase in the residual value of the car on the secondary market (by 10–15 %, according to experts). Instead, poor diagnostic quality, for example, due to outdated equipment or insufficient qualifications of technicians, leads to erroneous conclusions, which results in unstable systems, increased CO₂ emissions (up to 20 % in the case of engine malfunctions), and a 25–30 % reduction in vehicle life. The use of advanced technologies, such as artificial intelligence and predictive analytics, can predict breakdowns with an accuracy of up to 85 %, which is confirmed by research, contributing to a preventive approach, and reducing accidents.

Conclusions. The quality of diagnostics and repair is a critical factor in ensuring reliable and safe vehicle operation. Investing in professional equipment, staff training, and regular preventive maintenance can minimize the risk of breakdowns and optimize the technical condition of the vehicle in the long term.

Key words: technical operation, car diagnostics, car electronic systems, repair of electronic equipment, car reliability.

Постановка проблеми

Сучасні автомобілі дедалі більше оснащуються сучасними електронними системами високого рівня, зокрема, блоками управління двигуном (ECU), CAN-мережами і системами датчиків, що забезпечують точне управління двигуном, безпеку поїздки для мандрівників (ЕТТ, наприклад, за допомогою системи запобігання розриву подушок безпеки або адаптивної системи контролю швидкості) і комфорт для мандрівників. При цьому якість діагностики та ремонту цих систем є запорукою їх надійності, безпеки та довговічності, оскільки неякісна діагностика,

некваліфіковане втручання, що неправильно вирішує проблему, може зробити систему нестабільною, спричинити збільшення викидів шкідливих речовин (наприклад, CO₂ та NO_x), підвищений знос компонентів, ризик аварій, як показують дослідження в автомобільній галузі.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Rübartsch M., Gerten M., Frei S. [1] досліджують онлайн-діагностику конденсаторів стабілізації напруги в автомобільних електронних системах, що дозволяє своєчасно виявляти несправності, підвищуючи надійність і безпеку подальшої експлуатації автомобіля. Zhang Y., Salehi R., Zhou S., Jia X., Siegel J. [2] зосереджуються на передових методах діагностики та прогнозування стану автомобільних систем, підкреслюючи, як якісна діагностика впливає на довговічність і ефективність технічної експлуатації. Ayachit V. V., Gandhi N., Kakade S. [3] розробили уніфікований інструмент для тестування діагностики за межами автомобіля, що сприяє точному виявленню проблем електронних систем, зменшуючи ризик збоїв під час подальшої експлуатації. М. В. Красота, Ю. В. Кулешков, І. В. Шепеленко, Р. А. Осін, Т. В. Руденко [4] аналізують шляхи підвищення оперативності діагностики електронних систем автотракторної техніки, показуючи, як швидке і якісне виявлення несправностей покращує технічний стан і тривалість експлуатації. Bernardi P., Filippini G., Sonza Reorda M., Appello D., Bertani C., Tancorre V. [5] досліджують методи збору діагностичної інформації для автомобільних систем на кристали з затримками, що допомагає оптимізувати ремонт і підтримувати стабільну експлуатацію. Santhosh Kumar P. V., Keshava Murthy G. N. [6] пропонують автомобільний тестувальник сенсорів на базі Raspberry Pi, який полегшує інженерам діагностику, сприяючи якісному ремонту і надійності електронних систем у подальшій роботі. М. Kathiresh, R. Neelaveni, M. Adwin Benny, B. Jeffrin Samuel Moses [7] розглядають діагностику через інтернет-протокол та оновлення «по повітрю», що забезпечує точне виявлення проблем і підтримку електронних систем для стабільної експлуатації автомобіля. Kathiresh M., Neelaveni R., Adwin Benny M., Jeffrin Samuel Moses B. [8] розробили віртуальний блок керування для тестування діагностичного програмного забезпечення за протоколом UDS, що покращує якість діагностики і впливає на ефективність ремонту та експлуатації. Cheng Y., Porpora F., D'Arpino M., Rizzoni G. [9] аналізують витрати на захист, моніторинг і діагностику батарейних систем, демонструючи, як якісна діагностика знижує витрати на ремонт і підвищує термін служби автомобіля. Sonar K. A., Chopade N. B., Rajani P. K. [10] інтегрують хмарні технології з гальмівним ECU та ESP, показуючи, як точна діагностика електронних систем гальмування покращує безпеку і технічну експлуатацію автомобіля.

Дослідження демонструють різноманітність підходів до діагностики, які, попри відмінності у методах і фокусі, мають спільну мету – підвищення надійності та ефективності експлуатації автомобільних систем. Наприклад, Rübartsch M. та ін. [1] зосереджуються на онлайн-діагностиці конденсаторів стабілізації напруги, тоді як Zhang Y. та ін. [2] ширше розглядають прогнозування стану систем, що дозволяє порівняти локальну оптимізацію окремих компонентів із системним підходом до довговічності. Подібно до цього, уніфікований тестувальник Ayachit V. V. та ін. [3] і тестувальник сенсорів на базі Raspberry Pi від Santhosh Kumar P. V. та ін. [6] спрямовані на точність діагностики, але перший акцентує на зовнішньому тестуванні, а другий – на доступності для інженерів, що підкреслює комплементарність цих інструментів.

Порівняння розробок Kathiresh M. та ін. [7, 8] із працею Sonar K. A. та ін. [10] виявляє цікавий контраст оскільки діагностика через інтернет-протокол та хмарні технології орієнтовані на інтеграцію з сучасними цифровими рішеннями, тоді як Красота М. В. та ін. [4] і Bernardi P. та ін. [5] надають перевагу оперативності й оптимізації традиційних методів збору даних. Це співставлення показує, як нові технології доповнюють класичні підходи, створюючи багатогранну систему діагностики. Водночас Cheng Y. та ін. [9] додають економічний вимір, демонструючи, що якісна діагностика батарейних систем знижує витрати, на відміну від інших досліджень, де акцент більше на технічній стабільності чи безпеці, як у [10] з гальмівними ECU.

Таким чином, зіставлення результатів вказує на те, що сучасна діагностика автомобільних систем еволюціонує від локального вирішення проблем (як у [1, 3]) до комплексних, технологічно просунутих рішень ([7, 8, 10]), зберігаючи при цьому баланс між оперативністю, точністю та економічною доцільністю. Ці підходи взаємно підсилюють один одного, формуючи цілісну стратегію підвищення безпеки, надійності та ефективності експлуатації автомобілів.

Формулювання мети дослідження

Метою статті є розгляд впливу якості діагностики і ремонту на подальшу технічну експлуатацію автомобіля, а також аналіз основних аспектів, які необхідно враховувати для досягнення оптимальних результатів.

Викладення основного матеріалу дослідження

Діагностика електронних систем автомобілів становить первинний і визначальний етап виявлення несправностей, від точності якого залежить коректність подальшого ремонту [1–4]. Сучасні транспортні засоби обладнані бортовими комп'ютерами (ECU), що реєструють діагностичні коди помилок (DTC) і телеметричні дані про функціональний стан систем. Застосування професійного діагностичного обладнання забезпечує по-перше, прецизійну ідентифікацію першопричини несправності оскільки враховує системну взаємозалежність компонентів, де відмова одного елемента може дестабілізувати суміжні модулі [5]. По-друге, йдеться про скорочення часу

ремонту шляхом оперативного й точного локалізування дефектів, що мінімізує непродуктивні витрати. По-третє, це профілактика вторинних пошкоджень, що запобігає перевантаженню чи деградації інших складових завдяки ранньому виявленню аномалій [6]. Низька якість діагностики, зумовлена використанням застарілих інструментів або недостатньою кваліфікацією фахівців, призводить до хибних висновків, що компрометують довготривалу експлуатацію автомобіля. Наступний етап – ремонт – є не менш критичним і залежить від таких факторів, як використання оригінальних або сертифікованих аналогів деталей для гарантії сумісності й довговічності, а також високий рівень компетентності персоналу, адже некваліфіковане втручання може спричинити порушення електропроводки, неправильну інтеграцію компонентів або повний вихід модулів із ладу. На рисунку 1 можна побачити примітивне вирішення проблеми у автомобілях:

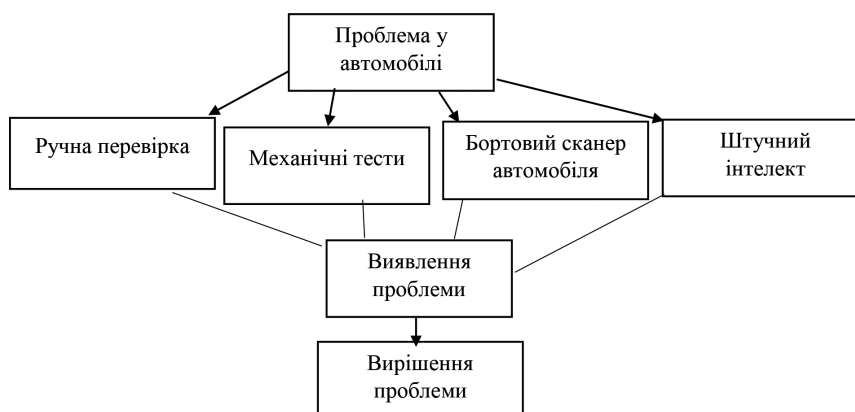


Рис. 1. Вирішення проблеми у автомобілях

Джерело: авторська розробка

Технічна специфікація кожного автомобіля вимагає дотримання рекомендацій виробника під час ремонту, адже відхилення від технологічних стандартів можуть дестабілізувати функціонування систем [7]. Низька якість діагностики та ремонту, зумовлена застарілим обладнанням або недостатньою кваліфікацією фахівців, призводить до помилкової інтерпретації даних і має суттєві наслідки для експлуатації. Несправності критичних систем, таких як ABS, ESP чи подушки безпеки, не лише знижують безпеку, підвищуючи ризик аварій, а й призводять до низки взаємопов'язаних проблем. Неякісне втручання при ремонті таких систем часто спричиняє повторні поломки, що, своєю чергою, збільшує фінансові витрати для власників автомобілів. Крім того, системні перевантаження, спричинені цими несправностями, прискорюють знос ключових компонентів, скорочуючи термін служби автомобіля на 25–30 %, як зазначають Kathires M. та ін. [8]. Економія палива напряму пов'язана з екологією: менша витрата означає зменшення викидів не лише CO₂ (до 20 %), а й оксидів азоту (NO_x), де несправний дизель стає лідером серед двигунів внутрішнього згоряння, та чадного газу (CO), що значно погіршує стан довкілля. Таким чином, якісна діагностика та ремонт стають критично важливими для забезпечення безпеки, зниження фінансових і ресурсних витрат та мінімізації екологічної шкоди, формуючи комплексний підхід до експлуатації автотранспорту. Використання сертифікованих аналогів або оригінальних запчастин замість низькоякісних підробок



Рис. 2. Діаграма якості діагностики та ремонту

Джерело: авторська розробка

забезпечує сумісність і довговічність систем, тоді як дешеві компоненти втрачають функціональність уже через 3–6 місяців, провокуючи повторні дефекти. Якісне обслуговування з професійним обладнанням не лише зменшує частоту поломок і знижує річні витрати на ремонт до 30 %, а й підвищує залишкову вартість автомобіля на вторинному ринку на 10–15 %, як свідчать експертні оцінки [8–9], що підкреслює економічну та технічну доцільність такого підходу, що проілюстровано на діаграмі нижче:

Сучасні досягнення в галузі автомобільних технологій, зокрема застосування штучного інтелекту та предиктивної аналітики, забезпечують прогнозування потенційних несправностей із точністю до 85 %, як підтверджують емпіричні дослідження [7–10], що сприяє впровадженню профілактичного підходу до технічного обслуговування та зниженню аварійності. Перспективні тенденції вказують на розвиток систем самодіагностики, зростання частки електромобілів і поглиблену інтеграцію з хмарними сервісами для зберігання й аналізу телеметричних даних. Для оптимізації діагностики та ремонту електронних систем рекомендується або користуватися послугами сертифікованих структур, які мають сучасні діагностичні прилади та штат кваліфікованого персоналу, або у разі тимчасового виходу з ладу використовувати оригінальні комплектуючі чи сертифіковані аналоги; керуватися сумісністю та довгостроковою надійністю систем; регулярно проводити профілактичну діагностику для своєчасного виявлення аномалій та запобігання критичним пошкодженням (оновлення систем та компетенції спеціалістів, які володіють власними системами, мають уявлення про сучасну модернізовану версію).

Висновки

Якісна діагностика та оперативний ремонт електронної системи безпосередньо впливає на подальшу технічну експлуатацію автомобіля. Точна діагностика дозволяє клінічно ідентифікувати проблеми, в той час як якісний ремонт зводить до мінімуму причину контролю і ризик. З іншого боку, низькоякісний план може призвести до більш серйозних наслідків, таких як зниження безпеки, збільшення витрат і скорочення терміну служби автомобіля. Щоб гарантувати надійність транспортного засобу, його технічне обслуговування слід доручати фахівцям і використовувати високоякісні матеріали та обладнання. Таким чином, інвестиція в точну діагностику і довговічний ремонт – це відповідь на довгу і безпечну експлуатацію автомобіля.

Список використаної літератури

1. Rübartsch M., Gerten M., Frei S. On-Line Diagnosis of Supply Voltage Stabilizing Capacitors in Automotive Electronic Systems. IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference (VPPC). 2023. DOI: <https://doi.org/10.1109/VPPC60535.2023>. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/10403181>
2. Zhang Y., Salehi R., Zhou S., Jia X., Siegel J. Special issue on advanced diagnostics and prognostics for automotive systems. International Journal of Prognostics and Health Management. 2023 Vol. 14 Is. 3. DOI: <https://doi.org/10.36001/ijphm.2023.v14i3.3438>. URL: <https://papers.phmsociety.org/index.php/ijphm/article/view/3438>
3. Ayachit V.V., Gandhi N., Kakade S. Unified Diagnostics Off-board Tool Development Testing. SAE Technical Paper 2024-01-5041, 2024, 1–22. DOI: <https://doi.org/10.4271/2024-01-5041>. URL: <https://saemobilus.sae.org/papers/unified-diagnostics-off-board-tool-development-testing-2024-01-5041>.
4. Красота М. В., Кулешков Ю. В., Шепеленко І. В., Осін Р. А., Руденко Т. В.. Дослідження шляхів підвищення оперативності виконання діагностичних операцій електронних систем автотракторної техніки. Центральноукраїнський науковий вісник. 2024. № 9. 40. С. 1-8. DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2024.9\(40\).1.144-151](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2024.9(40).1.144-151). URL: [https://mapiea.kntu.kr.ua/pdf/9\(40\)_I/18.pdf](https://mapiea.kntu.kr.ua/pdf/9(40)_I/18.pdf)
5. Bernardi P., Filippini G., Sonza Reorda M., Appello D., Bertani C., Tancorre V. Collecting diagnostic information through dichotomic search from Logic BIST of failing in-field automotive SoCs with delay faults. 26th International Symposium on Design and Diagnostics of Electronic Circuits and Systems (DDECS). 2023. DOI: <https://doi.org/10.1109/DDECS57882.2023.10139670>. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/10139670/keywords#keywords>
6. Santhosh Kumar P. V., Keshava Murthy G. N. Notice of Removal: Implementation of Automotive Sensor Tester for Engineers at OEMs and Vehicle Service Agencies using Raspberry Pi. IEEE 3rd Global Conference for Advancement in Technology (GCAT). 2022. DOI: <https://doi.org/10.1109/GCAT55367.2022.9972090>. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9972090/authors#authors>
7. M. Kathires, R. Neelaveni, M. Adwin Benny & B. Jeffrin Samuel Moses. Vehicle Diagnostics Over Internet Protocol and Over-the-Air Updates. Book series EAI/Springer Innovations in Communication and Computing. 2021. Chapter.
8. First Online: 25 April 2021. Pp. 89-100. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-59897-6_5. URL: <https://www.springerprofessional.de/en/vehicle-diagnostics-over-internet-protocol-and-over-the-air-upda/19102096>
9. Kathires M., Neelaveni R., Adwin Benny M., Jeffrin Samuel Moses B. Virtual ECU Development for Vehicle Diagnostics Software Testing using UDS Protocol. Asian Conference on Innovation in Technology (ASIANCON). 2021. DOI: [10.1109/ASIANCON51346.2021.9544542](https://doi.org/10.1109/ASIANCON51346.2021.9544542). URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9544542>
10. Cheng Y., Porpora F., D'Arpino M., Rizzoni G. Cost analysis in different battery pack architectures considering protection, monitoring, and diagnostics. IEEE Transportation Electrification Conference & Expo (ITEC). 2021. DOI: <https://doi.org/10.1109/ITEC51675.2021.9490170>. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9490170>

11. Sonar K.A., Chopade N.B., Rajani P.K. Cloud-Integrated Braking ECU with ESP Technology. 8th International Conference on Computing, Communication, Control and Automation (ICCUBEA). 2024. DOI: <https://doi.org/10.1109/ICCUBEA61740.2024.10774736>. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/10774736>

References

1. Rübartsch, M., Gerten, M., & Frei, S. (2023). On-line diagnosis of supply voltage stabilizing capacitors in automotive electronic systems. *IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference (VPPC)*. DOI: <https://doi.org/10.1109/VPPC60535.2023>. Retrieved from <https://ieeexplore.ieee.org/document/10403181> [in English].
2. Zhang, Y., Salehi, R., Zhou, S., Jia, X., & Siegel, J. (2023). Special issue on advanced diagnostics and prognostics for automotive systems. *International Journal of Prognostics and Health Management*, 14(3). DOI: <https://doi.org/10.36001/ijphm.2023.v14i3.3438>. Retrieved from <https://papers.phmsociety.org/index.php/ijphm/article/view/3438> [in English].
3. Ayachit, V.V., Gandhi, N., & Kakade, S. (2024). Unified diagnostics off-board tool development testing (SAE Technical Paper 2024-01-5041). *SAE Technical Papers*. DOI: <https://doi.org/10.4271/2024-01-5041>. Retrieved from <https://saemobilus.sae.org/papers/unified-diagnostics-off-board-tool-development-testing-2024-01-5041> [in English].
4. Krasota M.V., Kulieshkov Yu.V., Shepelenko I.V., Osin R.A., Rudenko T.V.. (2024). Doslidzhennia shliakhiv pidvyshchennia operativnosti vykonannia diahnostychnykh operatsii elektronnykh system avtotraktornoï tekhniki [Research on ways to improve the efficiency of diagnostic operations of electronic systems in automotive and tractor equipment]. *Tsentralkoukrainskyi naukovi visnyk – Central Ukrainian Scientific Bulletin*, 9(40), 144–151. DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2024.9\(40\).1.144-151](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2024.9(40).1.144-151). Retrieved from [https://mapiea.kntu.kr.ua/pdf/9\(40\)_I/18.pdf](https://mapiea.kntu.kr.ua/pdf/9(40)_I/18.pdf) [in Ukrainian].
5. Bernardi, P., Filipponi, G., Sonza Reorda, M., Appello, D., Bertani, C., & Tancorre, V. (2023). Collecting diagnostic information through dichotomic search from Logic BIST of failing in-field automotive SoCs with delay faults. *26th International Symposium on Design and Diagnostics of Electronic Circuits and Systems (DDECS)*. DOI: <https://doi.org/10.1109/DDECS57882.2023.10139670>. Retrieved from <https://ieeexplore.ieee.org/document/10139670/keywords#keywords> [in English].
6. Santhosh Kumar, P.V., & Keshava Murthy, G.N. (2022). Notice of removal: Implementation of automotive sensor tester for engineers at OEMs and vehicle service agencies using Raspberry Pi. *IEEE 3rd Global Conference for Advancement in Technology (GCAT)*. DOI: <https://doi.org/10.1109/GCAT55367.2022.9972090>. Retrieved from <https://ieeexplore.ieee.org/document/9972090/authors#authors> [in English].
7. Kathires, M., Neelaveni, R., Adwin Benny, M., & Jeffrin Samuel Moses, B. (2021). Vehicle diagnostics over internet protocol and over-the-air updates. In *EAI/Springer innovations in communication and computing* (pp. 89–100). Springer. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-59897-6_5. Retrieved from <https://www.springerprofessional.de/en/vehicle-diagnostics-over-internet-protocol-and-over-the-air-upda/19102096> [in English].
8. Bidkar, S., Patil, S.L., & Shinde, P. (2021). Virtual ECU development for vehicle diagnostics software testing using UDS protocol. *Asian Conference on Innovation in Technology (ASIANCON)*. DOI: <https://doi.org/10.1109/ASIANCON51346.2021.9544542>. Retrieved from <https://ieeexplore.ieee.org/document/9544542> [in English].
9. Cheng, Y., Porpora, F., D'Arpino, M., & Rizzoni, G. (2021). Cost analysis in different battery pack architectures considering protection, monitoring, and diagnostics. *IEEE Transportation Electrification Conference & Expo (ITEC)*. DOI: <https://doi.org/10.1109/ITEC51675.2021.9490170>. Retrieved from <https://ieeexplore.ieee.org/document/9490170> [in English].
10. Sonar, K.A., Chopade, N.B., & Rajani, P.K. (2024). Cloud-integrated braking ECU with ESP technology. *8th International Conference on Computing, Communication, Control and Automation (ICCUBEA)*. DOI: <https://doi.org/10.1109/ICCUBEA61740.2024.10774736>. Retrieved from <https://ieeexplore.ieee.org/document/10774736> [in English].