

<https://doi.org/10.31891/2307-5732-2026-361-84>  
УДК 621.317.7

**ГАРБАР ЄВГЕНІЙ**

Хмельницький національний університет  
<https://orcid.org/0000-0001-6952-4855>  
e-mail: [garbarzhenia@gmail.com](mailto:garbarzhenia@gmail.com)

**НЕЙМАК ВІТАЛІЙ**

Хмельницький національний університет  
<https://orcid.org/0000-0003-1204-3932>  
e-mail: [neimakvi@khmnu.edu.ua](mailto:neimakvi@khmnu.edu.ua)

**БОБУХ СЕРГІЙ**

Хмельницький національний університет  
<https://orcid.org/0009-0002-0026-0753>  
e-mail: [bobukhs@gmail.com](mailto:bobukhs@gmail.com)

**БОНЕК МИРОСЛАВ**

Сілезький технологічний університет  
<https://orcid.org/0000-0002-0321-7737>  
e-mail: [mirosław.bonek@polsl.pl](mailto:mirosław.bonek@polsl.pl)

## РОЗРОБКА МЕТОДИКИ КОМП'ЮТЕРНОГО ДІАГНОСТУВАННЯ АВТОМОБІЛЬНИХ СИСТЕМ

Швидке зростання складності сучасної електроніки автомобілів та збільшення кількості взаємопов'язаних електронних блоків управління роблять сучасні діагностичні навчальні системи критично важливими як для освіти, так і для прикладних досліджень. Для вирішення цієї проблеми розробляються спеціалізовані навчальні та дослідницькі платформи, які відтворюють розподілену електричну та мережеву архітектуру сучасних автомобілів в контрольованих лабораторних умовах. У статті надається комплексний огляд та технічний аналіз модульного навчального стенду, призначеної для вивчення автомобільної електроніки та комп'ютерної діагностики. Платформа відтворює структуру сучасної бортової електричної системи. Розглядається широкий спектр функціональних можливостей, включаючи вимірювання та аналіз аналогових і цифрових сигналів, моніторинг команд CAN, декодування ідентифікаторів повідомлень та оцінку механізмів арбітражу та обробки несправностей. Особлива увага приділяється контрольованому моделюванню несправностей, таких як розриви ланцюгів, короткі замикання, порушення живлення та збої в комунікації CAN, що дозволяє систематично досліджувати поширення несправностей та алгоритми їх усунення. Обговорюються перспективи подальшого розвитку, включаючи розширення за рахунок додаткових підсистем (управління двигуном, системи безпеки, клімат-контроль), інтеграцію сучасних інструментів аналізу сигналів та впровадження автоматизованих рішень для моніторингу та реєстрації даних.

**Ключові слова:** автомобільна електроніка; комп'ютерна діагностика; шина CAN; електронний блок управління (ECU); OBD2.

**HARBAR YEVHENII, NEIMAK VITALII, BOBUKH SERHII**

Khmelnytskyi National University

**BONEK MIROSLAW**

Silesian University of Technology

## THE DEVELOPMENT OF A METHODOLOGY FOR COMPUTER DIAGNOSIS OF AUTOMOTIVE SYSTEMS

The rapid growth in the complexity of modern vehicle electronics and the increasing number of interconnected electronic control units make advanced diagnostic training systems a critical requirement for both education and applied research. To address this challenge, specialized training and research platforms are being developed that reproduce the distributed electrical and network architecture of contemporary vehicles under controlled laboratory conditions. The article provides a comprehensive review and technical analysis of a modular training installation designed for the study of automotive electronics and computer diagnostics. The platform replicates the structure of a modern on-board electrical system. A wide range of functional capabilities is considered, including measurement and analysis of analog and digital signals, monitoring of CAN commands, decoding of message identifiers, and evaluation of arbitration and fault-handling mechanisms. Attention is given to the controlled simulation of faults, such as open circuits, short circuits, power supply disturbances, and CAN communication failures, allowing systematic investigation of failure propagation and troubleshooting algorithms. Prospects for further development are discussed, including expansion with additional subsystems (engine management, safety systems, climate control), integration of advanced signal analysis tools, and implementation of automated monitoring and data logging solutions. The proposed installation forms a foundation for modern practice-oriented training in automotive electronics and supports experimental research aligned with the principles of digitalization and network-based vehicle architecture. The results confirm the feasibility of employing the developed installation as a universal experimental framework for training specialists and conducting applied research in modern automotive electronic systems.

**Keywords:** automotive electronics; computer diagnostics; CAN bus; electronic control unit (ECU); OBD2.

Стаття надійшла до редакції / Received 20.12.2025

Прийнята до друку / Accepted 11.01.2026

Опубліковано / Published 29.01.2026



This is an Open Access article distributed under the terms of the [Creative Commons CC-BY 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

© Гарбар Євгеній, Неймак Віталій, Бобух Сергій, Бонек Мирослав

### Вступ

У статті представлено розгорнутий опис навчально-дослідного стенду, призначеного для підготовки фахівців у галузі електрообладнання транспортних засобів, а також для виконання експериментальних і прикладних досліджень у сфері автомобільної електроніки та комп'ютерної діагностики. Конструктивно стенд

відтворює архітектуру сучасного автомобіля на рівні електричних з'єднань, логіки взаємодії електронних блоків керування та протоколів обміну даними. Основним принципом його будови є максимальна відповідність реальній структурі автомобільної електросистеми, що забезпечує автентичність навчального процесу та коректність дослідницьких результатів.

### Об'єкт та методи дослідження

Об'єктом дослідження є процеси комп'ютерної діагностики та мережевої взаємодії електронних систем транспортного засобу, реалізовані на навчально-дослідному стенді, що відтворює архітектуру сучасного автомобіля. Основна увага приділяється алгоритмам зчитування, аналізу та інтерпретації діагностичної інформації, обміну даними по шині CAN, а також методам виявлення, локалізації й усунення несправностей у багатомодульних електронних системах. Для досягнення поставленої мети використано метод системного аналізу, який передбачає розгляд електронної системи як інтегрованого комплексу взаємопов'язаних блоків керування з багаторівневою структурою обміну даними. Експериментальні дослідження базуються на поєднанні теоретичного аналізу принципів роботи бортових мереж, практичного дослідження аналогових і цифрових сигналів, аналізу трасування шини CAN, а також застосування стандартних процедур комп'ютерної діагностики через інтерфейс OBD2.

### Постановка завдання

Мета роботи полягає у розробці та аналізі навчально-дослідної моделі електронної системи транспортного засобу, що відтворює реальну архітектуру сучасного автомобіля та забезпечує повноцінну комп'ютерну діагностику електронних блоків керування. Окремим завданням є процес симуляції простих та складних несправностей в системі електрообладнання автомобіля з метою подальшого навчання та аналізу.

### Результати та їх обговорення

Базою стенду є комплекс електронних блоків керування, змонтованих відповідно до типової структурної схеми серийного автомобіля (рис.1). До складу системи входять: діагностичний інтерфейс шин даних, блок керування бортової мережі, блок керування мультимедійною системою, дисплей мультимедійної системи, панель приладів, модуль рульових перемикачів, а також виконавчі елементи освітлювальних систем – передні фари та задні ліхтарі (рис.2). Всі елементи поєднані між собою джгутами проводки з використанням реальних роз'ємів, що забезпечує ідентичність електричних з'єднань та дозволяє здійснювати вимірювання у природних для автомобіля умовах.



Рис.1. Зображення стенду



Рис.2. Блоки керування

Особливістю установки є те, що блоки керування інтегровані згідно з реальною логікою функціонування транспортного засобу. Зв'язок між ними реалізовано за допомогою шини CAN (Controller Area Network) [1], яка в сучасних автомобілях є основним засобом обміну даними між електронними модулями. Такий підхід дозволяє відтворити повний цикл формування, передачі та обробки сигналів – від первинного впливу користувача до реакції виконавчих механізмів та індикації на панелі приладів.

Стенд забезпечує повноцінну роботу системи зовнішнього освітлення, включаючи ближнє та дальнє світло фар, габаритні вогні, сигнали повороту, стоп-сигнали та інші світлові елементи. Керування освітленням здійснюється через блок керування бортової мережі, який виконує функції центрального розподільчого модуля. Саме цей блок приймає команди від інших електронних модулів через шину CAN, аналізує їх та формує відповідні вихідні сигнали для керування виконавчими пристроями. Важливим компонентом установки є панель приладів, яка виконує не лише функцію відображення інформації, але й бере участь у системі імітації. Зчитування ключа здійснюється за допомогою котушки імітації, після чого дані передаються через шину CAN для подальшої авторизації. Така реалізація дозволяє досліджувати процеси автентифікації, обміну захищеними даними та взаємодії між модулями в межах протиугінної системи. Особливу увагу приділено мультимедійній системі, що складається з головного пристрою та дисплея. Блок мультимедіа інтегрований у загальну архітектуру мережі та обмінюється даними з іншими модулями, зокрема з блоком бортової мережі та панеллю приладів. Це дозволяє досліджувати інформаційні потоки, особливості взаємодії із загальною електронною інфраструктурою автомобіля, а також виконувати комп'ютерну діагностику. Функціональні можливості стенда передбачають дослідження як аналогових, так і цифрових сигналів. Користувач має змогу вимірювати напруги, струми, часові характеристики імпульсів, аналізувати форму сигналів за допомогою

осцилографічних методів, а також досліджувати цифровий обмін даними у шині CAN. Шина CAN все частіше використовується в діагностиці автомобілів. У цьому випадку електронний блок управління підключається безпосередньо до шини CAN і таким чином одразу отримує інформацію, необхідну для діагностики [2]. Це створює умови для комплексного вивчення принципів роботи автомобільних електронних систем, починаючи від фізичного рівня сигналу і завершуючи логічним рівнем протоколу передачі даних.

Показовим прикладом функціонування системи є алгоритм роботи сигналів повороту (рис.3). У разі активації відповідного підрульового перемикача формується первинний аналоговий сигнал, який надходить до блоку керування рульових перемикачів. Даний блок виконує аналого-цифрове перетворення, інтерпретує стан перемикача та формує відповідне повідомлення для передачі по шині CAN. Повідомлення містить команду активації сигналів повороту та індикації на панелі приладів. Після отримання цифрового повідомлення блок керування бортової мережі обробляє його згідно з програмною логікою та генерує керуючі сигнали для виконавчих елементів – ламп передніх фар та задніх ліхтарів. Одночасно панель приладів, отримавши відповідне повідомлення по CAN, активує світлову індикацію повороту. Таким чином реалізується багаторівнева взаємодія, що включає аналоговий вхід, цифрову передачу даних, програмну обробку та формування вихідного сигналу. Завдяки такій структурі користувач має змогу здійснювати діагностику на кожному етапі функціонування системи. Можливе як комп'ютерне зчитування параметрів і кодів несправностей через стандартний діагностичний роз'єм OBD2, так і фізичне вимірювання сигналів безпосередньо на контактах роз'ємів. Стенд підтримує повноцінну діагностику кожного встановленого блоку керування, включаючи зчитування та стирання кодів несправностей, перегляд параметрів у режимі реального часу, тестування виконавчих механізмів [3].



Рис.3. Режим роботи установки з увімкненим денним ходовим вогнем та покажчиком повороту

Суттєвою перевагою є можливість штучного створення несправностей. Передбачено введення розривів у ланцюгах, імітацію коротких замикань, порушення зв'язку по шині CAN [1], відключення окремих модулів. Це дозволяє формувати різноманітні сценарії відмов і відпрацьовувати алгоритми пошуку несправностей. Такий підхід є надзвичайно важливим у навчальному процесі, оскільки забезпечує формування практичних навичок діагностики в умовах, максимально наближених до реальних. У минулому електричні системи були в основному автономними. Наприклад, система запалювання відповідала лише за подачу напруги, необхідної для запалювання свічок. Час запалювання контролювався вакуумними та механічними системами. Сьогодні дуже мало електричних систем, які все ще є незалежними. Сьогодні більшість виробників об'єднують свої електричні системи в мережу за допомогою комп'ютерів. Це означає, що інформація, зібрана однією системою, може бути використана іншою. В результаті несправний компонент може спричинити кілька симптомів [4]. Стенд також створює умови для дослідження особливостей мережевої взаємодії. Аналіз трафіку CAN дозволяє вивчати структуру кадрів, ідентифікатори повідомлень, періодичність передачі, механізми арбітражу та обробку помилок [5]. Це є актуальним з огляду на зростаючу складність електронних систем сучасних транспортних засобів, де кількість блоків керування може перевищувати кілька десятків, а коректна взаємодія між ними визначає функціональність і безпеку автомобіля. Конструктивне виконання стенда забезпечує зручність доступу до всіх компонентів. Вузли розташовані відкрито, що дозволяє візуально простежити розташування проводки, ідентифікувати роз'єми та контакти, виконувати вимірювання без демонтажу елементів. Такий підхід підвищує наочність навчального процесу та сприяє кращому розумінню структурних зв'язків у системі. Особливість конструкції дозволяє розширювати функціональні можливості шляхом встановлення додаткових блоків керування та інтеграції нових систем. Це відкриває перспективи адаптації установки до різних освітніх програм та дослідницьких завдань. Можлива інтеграція систем керування двигуном, систем безпеки, клімат-контролю та інших підсистем, що забезпечить ще більш повне відтворення архітектури сучасного автомобіля.

Процес діагностування бортової електричної мережі транспортного засобу доцільно виконувати відповідно до структурованого алгоритму, що передбачає послідовне застосування засобів комп'ютерної

діагностики та аналізу параметрів функціонування електронних систем. На початковому етапі здійснюється підключення діагностичного інтерфейсу до стандартного діагностичного роз'єму OBD-II з подальшим виконанням процедури ідентифікації транспортного засобу за допомогою спеціалізованого програмного забезпечення. Після встановлення зв'язку з транспортним засобом необхідно визначити та обрати відповідний електронний блок керування згідно з топологією шин даних, що використовується в архітектурі електронних систем автомобіля. Як приклад застосування описаного підходу розглянемо алгоритм діагностування несправності системи показників повороту. Ефективність виконання діагностичних процедур значною мірою залежить від розуміння принципу функціонування даної системи у конкретному транспортному засобі, оскільки логіка взаємодії електронних блоків керування та алгоритми обробки сигналів можуть відрізнятися залежно від конструктивних особливостей моделі автомобіля. Першим етапом діагностики є аналіз зовнішніх проявів несправності. Необхідно встановити, чи відсутня робота показників повороту у передніх або задніх світлових приладах, а також перевірити наявність відповідної індикації на комбінації приладів. У випадку, коли показники повороту не функціонують у жодному із світлових приладів і одночасно відсутня індикація на комбінації приладів, можна зробити припущення про відсутність керуючої команди на їх активацію. У такій ситуації необхідно здійснити пошук причини відсутності відповідного сигналу керування. Оскільки формування та передача команди активації показників повороту через шину CAN здійснюється блоком керування підрульових перемикачів, наступним етапом є проведення його діагностування. Спочатку виконується процедура ідентифікації електронного блока керування з метою перевірки наявності та стабільності зв'язку з ним. У разі успішного встановлення зв'язку проводиться опитування пам'яті кодів несправностей.

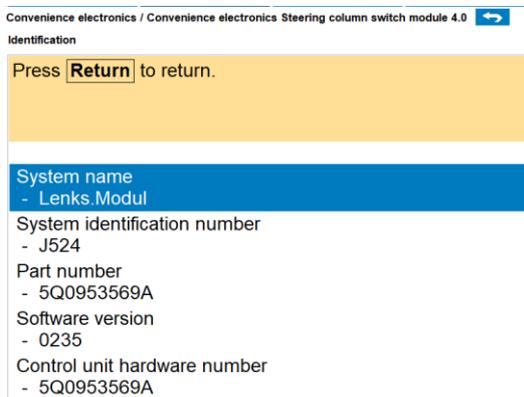


Рис. 4. Ідентифікація блока керування

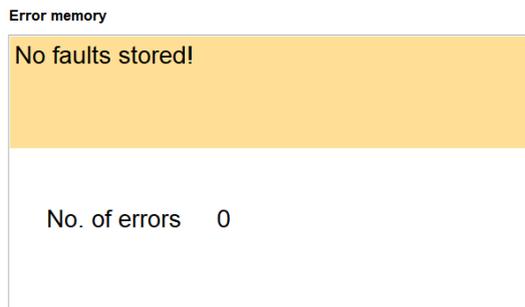


Рис. 5. Реєстратор подій

Серед зареєстрованих кодів можуть бути помилки, пов'язані з функціонуванням перемикачів, зокрема код, що вказує на формування нелогічного сигналу важелем показника повороту. Наявність відповідних кодів несправностей може свідчити про порушення роботи певного вузла або елемента системи, однак слід враховувати, що у деяких випадках несправність може бути присутня навіть за відсутності збережених кодів. Подальшим етапом є аналіз вимірювальних параметрів, які характеризують поточний стан вхідних сигналів блока керування. Для цього важіль перемикачів переводиться у положення активації показника повороту, після чого здійснюється контроль зміни відповідних параметрів у вимірювальних каналах.



Рис. 6. Відображення вимірювальних величин

Якщо значення параметра, що відображає стан вхідного сигналу, не відповідає фактичному положенню важеля перемикачів, це дозволяє ідентифікувати несправність у системі підрульових перемикачів або у відповідному сигнальному колі. Іншим можливим варіантом несправності є ситуація, коли показник повороту не функціонує лише у певному світловому приладі (наприклад, спереду або ззаду), тоді як індикація на комбінації приладів залишається працездатною. У такому випадку необхідно виконати діагностику блока керування електронікою бортової мережі, який відповідає за керування зовнішніми світловими приладами. Спочатку здійснюється процедура ідентифікації блока керування з метою підтвердження наявності коректного зв'язку з ним.

Software number  
 - 5Q0937086S  
 Software version  
 - 0106  
 Engine  
 - BCM PQ37BOSCH  
 System name  
 - EV\_BodyContrModul1UDSBosc

Рис. 7. Ідентифікація блока керування

Після цього проводиться опитування реєстратора подій для виявлення можливих кодів несправностей. У подібних випадках система може зафіксувати код, що вказує на обрив електричного кола лампи показчика повороту.



Рис. 8. Реєстратор подій

Наступним етапом є проведення функціональної перевірки освітлювальних приладів за допомогою діагностичної функції активації виконавчих механізмів. Використання відповідної сервісної процедури дозволяє ініціювати автоматичну перевірку всіх світлових приладів транспортного засобу. Після запуску тесту виконується візуальний контроль роботи ламп, що дає змогу підтвердити або спростувати наявність несправності. Додатково проводиться аналіз вимірювальних параметрів, що характеризують електричне навантаження на вихідні канали блока керування бортовою мережею. Отримані значення дозволяють оцінити стан електричного кола та визначити наявність або відсутність струмового навантаження. На завершальному етапі виконується перевірка справності лампи розжарювання та цілісності електричного кола з метою виявлення можливого обриву провідників або контактних з'єднань. У разі необхідності здійснюється заміна несправного елемента або відновлення пошкодженого електричного кола. Окремо слід розглянути ситуацію, коли показчики повороту відсутні у всіх зовнішніх світлових приладах автомобіля, проте індикація їх роботи на комбінації приладів залишається активною. Такий прояв може свідчити про порушення зв'язку з блоком керування бортової мережі. Виявлення подібної несправності здійснюється шляхом виконання процедури комп'ютерної діагностики. Якщо під час ідентифікації електронного блока керування встановлено відсутність зв'язку з ним, необхідно виконати подальший аналіз причин несправності. До основних можливих причин належать порушення живлення блока керування, обрив або коротке замикання у мережі CAN, а також внутрішня несправність самого електронного блока керування.

#### Висновки

Представлена система є універсальною платформою для експериментальних досліджень у галузі автомобільної електроніки. Вона дозволяє аналізувати вплив різних факторів на роботу мережі, досліджувати алгоритми обробки сигналів, тестувати нові підходи до діагностики та моніторингу стану систем. Крім того, стенд може бути використаний для апробації методів безпеки автомобільних мереж, що є актуальним напрямом сучасних досліджень. Таким чином, описана навчально-дослідна установка є ефективним інструментом для підготовки фахівців з автомобільної електроніки та комп'ютерної діагностики. Вона повністю відтворює логіку роботи реального транспортного засобу, забезпечує можливість комплексного дослідження електричних і цифрових процесів та підтримує повноцінну діагностику відповідно до стандарту OBD2. Гнучкість конструкції та можливість розширення функціоналу роблять її перспективною платформою як для освітніх, так і для наукових цілей.

#### Література

1. Road vehicles — Controller area network (CAN) — Part 1: Data link layer and physical coding sublayer : ISO 11898-1:2024. – Geneva : International Organization for Standardization, 2024. – 82 p.
2. Bosch automotive electrics and automotive electronics: systems and components, networking and hybrid drive / Robert Bosch GmbH. – 5th ed. – Wiesbaden : Springer Fachmedien Wiesbaden, 2014. – IX, 521 p. – P. 92.
3. Denton T. Automobile electrical and electronic systems / T. Denton. – 5th ed. – Abingdon ; New York : Routledge, 2018. – XXI, 673 p. – P. 96–97.
4. Hollembeak B. Classroom manual for automotive electricity and electronics / B. Hollembeak. – 5th ed. – United States : Delmar, Cengage Learning, 2011. – P. 1–2.
5. Road vehicles — Controller area network (CAN) — Part 3: Low-speed, fault-tolerant, medium-dependent interface : ISO 11898-3:2024. – Geneva : International Organization for Standardization, 2024.