© Хітров І.О., Клімов С.В. 2026

УДК 629.3:656.1:004.9
UDC 629.3:656.1:004.9

Хітров І.О., Клімов С.В.
Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне, Україна

БОРТОВІ ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНІ СИСТЕМИ ЯК ЗАСІБ ІНТЕГРАЦІЇ ТРАНСПОРТНОГО ЗАСОБУ З ТРАНСПОРТНОЮ ІНФРАСТРУКТУРОЮ

Інтенсифікація розвитку транспортних засобів, ускладнення їх конструкції та зростання вимог до безпеки, надійності й ефективності експлуатації зумовлюють необхідність проведення комплексних наукових досліджень у цьому напрямі. Сучасний транспортний засіб дедалі більше перетворюється на складну технічну та інформаційну систему, функціонування якої потребує обґрунтованих рішень щодо інтеграції апаратно-програмних компонентів і алгоритмів управління. У зазначеному контексті досліджено бортові інформаційно-комунікаційних систем (БІКС) транспортних засобів як ключового засобу інтеграції з транспортною інфраструктурою в умовах розвитку інтелектуальних транспортних систем. В статті розкрито сутність, функціональне призначення та роль БІКС у забезпеченні інформаційної взаємодії між транспортними засобами, елементами інфраструктури та системами управління рухом. Розглянуто еволюцію та класифікацію БІКС за рівнем інтеграції, функціональним призначенням і рівнем автоматизації. Визначено основні структурні компоненти сучасних інтегрованих систем та принципи їх функціонування в єдиному інформаційному просторі транспортної системи. З'ясовано, що впровадження БІКС сприяє підвищенню безпеки дорожнього руху, ефективності експлуатації транспортних засобів, оптимізації процесів технічного обслуговування і ремонту, а також зменшенню негативного впливу транспорту на довкілля. Визначено основні технічні, економічні та організаційні обмеження впровадження таких систем, а також окреслено перспективні напрями їх подальшого розвитку. Доведено, що БІКС є технологічною основою інтеграції транспортних засобів у єдиний інформаційний простір та формування сталих, безпечних і ефективних моделей сучасної мобільності. Це створює передумови для формування єдиного підходу до впровадження інтелектуальних транспортних технологій та забезпечення сталого розвитку транспортної галузі.

Ключові слова: транспортний засіб; бортові інформаційно-комунікаційні системи; транспортна інфраструктура; інтеграція транспортних систем; інтелектуальні транспортні системи.

ВСТУП

Сучасний етап розвитку транспортної галузі характеризується інтенсивною цифровізацією, зростанням рівня автомобілізації та ускладненням умов функціонування транспортних систем, особливо в міських агломераціях. За таких умов традиційні підходи до організації дорожнього руху та управління транспортною інфраструктурою дедалі частіше виявляються недостатньо ефективними, що зумовлює необхідність впровадження інтелектуальних та інтегрованих рішень [1].

Одним із ключових напрямів трансформації транспортної системи є забезпечення тісної взаємодії між транспортними засобами та транспортною інфраструктурою. У цьому контексті бортові інформаційно-комунікаційні системи (БІКС) відіграють роль базового засобу інтеграції, забезпечуючи обмін даними в режимі реального часу, підтримку прийняття рішень водієм або автоматизованими системами керування, а також адаптацію транспортного засобу до поточних умов руху. Такі системи є технологічною основою реалізації концепцій інтелектуальних транспортних систем, підключеного та автоматизованого транспорту.

Актуальність дослідження бортових інформаційно-комунікаційних систем зумовлена їх зростаючим впливом на рівень безпеки дорожнього руху, ефективність використання транспортної інфраструктури, пропускну здатність вулично-дорожньої мережі та екологічні показники транспорту. Водночас інтеграція транспортного засобу з інфраструктурою потребує системного підходу, що враховує технічні, інформаційні та організаційні аспекти функціонування транспортної системи в цілому.

АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДАНИХ ТА ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Сучасні дослідження в галузі інтелектуальних транспортних систем приділяють значну увагу розвитку інформаційно-комунікаційних систем, що забезпечують інтеграцію транспортних засобів з дорожньою інфраструктурою.

Наукова праця В. Волкова та співавт. [2] розкриває питання інтеграції системи технічної експлуатації автомобілів у склад інтелектуальних транспортних систем, доводячи, що комплексне управління технічним станом транспортних засобів є важливим чинником забезпечення надійності, безпеки та ефективності транспортного процесу.

Дослідження Г. Вайганг та К. Комар [3] аналізує БІКС транспортних засобів, оцінює їх функціонування, вразливості та методи забезпечення інформаційної безпеки і надійності.

У свою чергу, M. A. Rehman та співавт. [4] надають огляд технології комплексної взаємодії транспортних засобів, акцентуючи увагу на перевагах інтегрованих систем для оптимізації енергоспоживання, підвищення безпеки руху та забезпечення екологічної стабільності транспортної мережі.

Науковці R. Dhinesh Kumar та A. Rammohan [5] досліджують застосування технології мобільної взаємодії транспортного засобу з усіма об'єктами, підвищенні ефективності транспортних потоків, зменшенні аварійності, координації взаємодії між транспортними засобами та інфраструктурою, описуючи сучасні тенденції, сценарії використання та рекомендації.

У дослідженні J. Contreras-Castillo та співавт. [6] розглянуто архітектуру «інтернету» транспортних засобів, протоколи обміну даними та механізми безпеки, які є критично важливими для надійної та стабільної роботи інтегрованих систем.

Однак, незважаючи на значний обсяг досліджень, у науковій літературі недостатньо уваги приділено комплексній оцінці інтеграції бортових інформаційно-комунікаційних систем з транспортною інфраструктурою, взаємодії їх ключових компонентів та впливу на підвищення ефективності, надійності й безпеки транспортних процесів у рамках інтелектуальних транспортних систем.

ЦІЛЬ ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ

Метою дослідження є наукове обґрунтування ролі бортових інформаційно-комунікаційних систем як ключового інструменту інтеграції транспортного засобу з транспортною інфраструктурою в умовах розвитку інтелектуальних транспортних систем, а також визначення їх впливу на безпеку, ефективність експлуатації та управління транспортними процесами.

Для досягнення поставленої мети в роботі передбачено розв'язання таких основних завдань: проаналізувати сучасні підходи до формування та розвитку бортових інформаційно-комунікаційних систем транспортних засобів у контексті інтелектуальних транспортних систем; визначити функціональне призначення та місце БІКС у системі взаємодії транспортного засобу з елементами транспортної інфраструктури; систематизувати та класифікувати бортові інформаційно-комунікаційні системи за рівнем інтеграції, функціональним призначенням і ступенем автоматизації; дослідити структурну архітектуру сучасних інтегрованих БІКС і принципи їх функціонування в єдиному інформаційному просторі транспортної системи; проаналізувати можливості використання БІКС для підвищення безпеки дорожнього руху, ефективності експлуатації та оптимізації процесів технічного обслуговування і ремонту транспортних засобів; визначити основні технічні, економічні та організаційні обмеження впровадження БІКС і окреслити перспективні напрями їх подальшого розвитку.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Філософський зміст БІКС транспортних засобів полягає у трансформації самого уявлення про транспортний засіб як технічний об'єкт – від ізольованої механічної конструкції до відкритої кіберфізичної системи, інтегрованої в ширший інформаційний і соціальний простір. У цьому сенсі транспортний засіб перестає бути лише засобом переміщення та набуває властивостей активного суб'єкта взаємодії, здатного сприймати, інтерпретувати й передавати інформацію про власний стан і навколишнє середовище.

БІКС виступають посередником між фізичною реальністю руху та абстрактним інформаційним виміром управління, поєднуючи матеріальне й цифрове в єдиному процесі прийняття рішень. Через них реалізується перехід від інтуїтивного, людиноцентричного керування до раціонально організованого, алгоритмізованого управління, де знання формується на основі даних, а дія – на основі прогнозу. Водночас, наука, створюючи достовірні знання, покликана для подолання небезпеки та ризиків, які генеруються людською діяльністю [7].

У ширшому контексті розвитку суспільства БІКС відображають зміну парадигми мобільності – від індивідуальної автономії до колективної узгодженості. Взаємодія транспортних засобів між собою та з інфраструктурою формує нову форму технічної комунікації, у якій безпека, ефективність і сталість руху досягаються не за рахунок ізольованих рішень, а через координацію та взаємну відповідальність елементів транспортної системи [8].

БІКС, виступаючи функціональною ланкою між фізичними транспортними процесами та інформаційними системами управління, у результаті інтеграції інформаційних систем у транспортні засоби перетворюють їх на «комп'ютери на колесах», забезпечуючи узгоджену та ефективну взаємодію, а також підвищення рівня безпеки, автономності й комфорту в умовах розвитку інтелектуальних транспортних систем [9].

БІКС транспортних засобів являють собою сукупність апаратно-програмних засобів, призначених для збирання, оброблення, передавання та відображення інформації, необхідної для забезпечення функціонування транспортного засобу та його взаємодії з зовнішнім середовищем. Вони формують основу цифрової трансформації сучасного транспорту та є ключовим елементом інтелектуальних транспортних систем.

Функціональне призначення БІКС полягає у забезпеченні інформаційної взаємодії транспортного засобу з іншими учасниками дорожнього руху та елементами транспортної інфраструктури, підтримці процесів управління рухом і підвищенні безпеки та ефективності експлуатації, що реалізується через навігаційні, діагностичні, попереджувальні та керуючі функції, спрямовані на оптимізацію режимів руху й зменшення негативного впливу транспорту на довкілля. Зазначені системи виступають технологічною основою реалізації інтелектуальних транспортних систем, забезпечуючи адаптацію транспортного засобу до змінних умов руху та інтеграцію його в єдиний інформаційний простір транспортної системи.

Класифікація БІКС транспортних засобів дозволяє впорядкувати різноманіття існуючих технічних рішень і є необхідною умовою для їх наукового аналізу та практичного впровадження [10]. Залежно від рівня інтеграції такі системи поділяють на локальні, мережеві та інтегровані, де локальні виконують окремі функції без зовнішнього обміну даними, мережеві забезпечують зв’язок із зовнішніми інформаційними системами, а інтегровані поєднують функції збору, оброблення та передавання інформації в межах єдиного інформаційного середовища. За функціональним призначенням БІКС класифікують на інформаційні, діагностичні, керуючі та комунікаційні, що відображає їх роль у забезпеченні безпеки руху, управлінні експлуатацією та технічному стані транспортного засобу. За рівнем автоматизації розрізняють системи інформаційної підтримки водія, системи допомоги водієві та системи з елементами автономного керування. Крім того, класифікація може здійснюватися з урахуванням типу транспортного засобу та умов його експлуатації, що дозволяє адаптувати бортові інформаційно-комунікаційні системи до специфічних вимог автомобільного, вантажного або спеціалізованого транспорту.

Структурно БІКС включають сукупність датчиків і вимірювальних пристроїв, бортових обчислювальних модулів, навігаційних систем, засобів бездротового зв’язку, інтерфейсів взаємодії з водієм, а також програмного забезпечення для оброблення й аналізу даних (табл.). Така архітектура забезпечує збирання інформації про технічний стан транспортного засобу, параметри руху, дорожні умови та зовнішні впливи, а також її подальше використання для підтримки прийняття рішень [11].

Класичні бортові системи сформували початковий етап розвитку бортових інформаційно-комунікаційних рішень і були зосереджені переважно на інформуванні водія та забезпеченні базової безпеки руху. Функціонування цих систем ґрунтується на локальній обробці сигналів без розвинених комунікаційних можливостей і практично не передбачає взаємодії з зовнішнім інформаційним середовищем.

Середній рівень інтеграції, або напівінтелектуальні бортові системи, характеризується переходом від ізольованих функцій до комплексної обробки інформації та часткової автоматизації керування. На цьому етапі з’являються бортові комп’ютери, які об’єднують дані від численних датчиків і надають водієві розширену інформацію про режими руху та експлуатаційні показники. Значного розвитку набувають системи допомоги водієві, що підтримують процес керування шляхом попередження про небезпечні ситуації та адаптації швидкісних режимів. Важливу роль відіграють і супутникові навігаційні системи, які забезпечують орієнтування в просторі та перші елементи зв’язку з зовнішніми диспетчерськими й інформаційними системами.

Сучасні інтегровані та інтелектуальні БІКС є результатом глибокої цифровізації транспорту та розвитку інформаційно-комунікаційних технологій [3]. Вони забезпечують повноцінну інтеграцію транспортного засобу в єдиний інформаційний простір транспортної системи завдяки застосуванню V2X-технологій, телематичних платформ і високопродуктивних обчислювальних модулів. Такі системи поєднують функції безпеки, керування, навігації, зв’язку та інформаційно-розважальних сервісів, а також підтримують різні рівні автономного керування [4]. Окреме значення мають системи моніторингу технічного стану й прогнозного технічного обслуговування, які дозволяють підвищити надійність і ефективність експлуатації транспортних засобів за рахунок аналізу великих обсягів даних у режимі реального часу.

Таблиця Еволюція бортових інформаційно-комунікаційних систем транспортних засобів

Рівень / тип системи	Орієнтовні роки розвитку	Приклади систем	Основні функції та призначення
Базовий / класичні системи	1950-1980	Бортові прилади (спідометр, тахометр, датчики палива, температури, тиску); антиблокувальна система гальм; система моніторингу тиску в шинах	Надання базової інформації водію; забезпечення безпечного гальмування; контроль технічного стану коліс
Напівінтелектуальні / середній рівень інтеграції	1980-2010	Бортові комп'ютери; системи допомоги водієві (попередження про виїзд зі смуги руху, адаптивний круїз-контроль, система попередження про зіткнення тощо); супутникова навігація	Обробка даних від датчиків; підтримка допомоги водієві; навігація; часткова автоматизація керування
Інтелектуальні / сучасні інтегровані системи	2010-дотепер	складні системи взаємодії БІКС з програмним та хмарними сервісами: зв'язок з усім (V2X-системи), автономне керування, моніторинг стану водія; системи прогнозного технічного обслуговування	Реальний час обміну даними з іншими транспортними засобами та інфраструктурою; мультимедійні та комунікаційні сервіси; автономне управління; раннє виявлення несправностей, підвищення безпеки та ефективності

Архітектура сучасних БІКС транспортних засобів формується як багаторівнева структура, що забезпечує безперервний рух інформаційних потоків від фізичних процесів до систем управління. На сенсорному рівні здійснюється збирання первинних даних за допомогою датчиків, камер, радарів та вимірювальних пристроїв, які фіксують параметри руху, технічний стан транспортного засобу та характеристики дорожнього середовища [5]. Рівень бортової обробки даних забезпечує фільтрацію, агрегування та аналіз отриманої інформації з використанням вбудованих обчислювальних модулів і алгоритмів прийняття рішень у режимі реального часу. Комунікаційний рівень реалізує обмін даними між транспортним засобом, іншими учасниками руху та інфраструктурою за допомогою технологій V2V, V2I та V2C, формуючи єдиний інформаційний простір транспортної системи. Рівень зовнішніх інформаційних систем об'єднує диспетчерські центри, сервісні платформи та системи управління транспортними потоками, які використовують отримані дані для аналізу, прогнозування та оптимізації експлуатації, технічного обслуговування й розвитку транспортної інфраструктури [6].

Прикладом застосування сучасних БІКС є функціонування підключеного та частково автономного транспортного засобу в умовах міської транспортної мережі. У такому транспортному засобі бортова система інтегрує дані від навігаційних супутникових систем, камер, радарів і датчиків технічного стану, а також інформацію, що надходить від елементів дорожньої інфраструктури та інших учасників руху за технологією V2X (рис.).

У режимі реального часу БІКС отримує від інфраструктури дані про сигнали світлофорів, дорожні обмеження, дорожні роботи та рівень завантаженості вулично-дорожньої мережі. На основі цієї інформації система автоматично коригує маршрут руху, швидкісний режим і режими роботи допоміжних систем, що сприяє зменшенню часу поїздки, витрат палива та шкідливих викидів. Водій при цьому отримує зрозумілі візуальні та звукові повідомлення або, у разі підвищеного рівня автоматизації, бере участь у керуванні лише в критичних ситуаціях. Одночасно БІКС здійснює постійний моніторинг технічного стану транспортного засобу, аналізуючи параметри роботи силової установки, гальмівної системи та елементів ходової частини. За результатами аналізу формується прогноз технічного обслуговування, а відповідна інформація передається до сервісних центрів або диспетчерських систем.

Рисунок – Взаємодія БІКС підключеного транспортного засобу з елементами міської транспортної інфраструктури (V2X)

Взаємодія сучасних інтегрованих та інтелектуальних БІКС транспортного засобу в контексті експлуатації, технічного обслуговування та ремонту має комплексний характер і охоплює всі етапи життєвого циклу транспортного засобу. Такі системи забезпечують безперервний інформаційний зв'язок між транспортним засобом, сервісною інфраструктурою та системами управління експлуатацією.

У процесі експлуатації БІКС здійснюють постійний моніторинг параметрів руху, технічного стану основних агрегатів і умов навколишнього середовища. На основі даних від датчиків та зовнішніх інформаційних джерел система адаптує режими роботи транспортного засобу, формує попередження про потенційно небезпечні ситуації та підтримує оптимальні режими експлуатації. Одночасно інформація про фактичні режими роботи накопичується та передається до централізованих інформаційних систем для аналізу ефективності використання транспортного засобу та прийняття управлінських рішень.

У сфері технічного обслуговування інтелектуальні БІКС виконують функції діагностування та прогнозування технічного стану. Система аналізує динаміку зміни контрольованих параметрів, виявляє відхилення від нормативних значень і визначає ознаки зародження несправностей. На основі алгоритмів прогнозної аналітики формується рекомендація щодо строків і обсягу технічного обслуговування, що дозволяє перейти від регламентного до станоорієнтованого та передбачуваного обслуговування. Відповідна інформація автоматично передається до сервісних підприємств, що підвищує готовність ремонтної інфраструктури [2].

У процесі ремонту БІКС забезпечують інформаційну підтримку діагностичних і відновлювальних робіт. Накопичені дані про експлуатаційні режими та історію відмов використовуються для уточнення причин несправностей і вибору оптимальних методів ремонту. Система може формувати електронні діагностичні звіти, коди помилок і рекомендації щодо заміни або відновлення вузлів і агрегатів, що скорочує тривалість ремонту та зменшує імовірність повторних відмов. Після завершення ремонтних робіт БІКС фіксують результати втручання, оновлюючи цифрову історію технічного стану транспортного засобу.

Оцінювання ефективності впровадження БІКС є важливим етапом обґрунтування доцільності їх використання в сучасних системах і має базуватися на сукупності кількісних та якісних показників не лише на окремий транспортний засіб, а й на функціонування транспортної системи загалом, з урахуванням безпеки, економічної ефективності та якості експлуатації.

Одним із ключових показників ефективності є рівень зниження аварійності, який безпосередньо пов'язаний із функціонуванням систем допомоги водієві, попередження про небезпечні ситуації та взаємодії транспортного засобу з інфраструктурою. Використання БІКС забезпечує своєчасне інформування водія або автоматизованих систем керування про потенційні

загрози, що сприяє зменшенню кількості дорожньо-транспортних пригод та тяжкості їх наслідків. У цьому контексті ефективність може оцінюватися шляхом порівняння статистичних показників аварійності до і після впровадження відповідних систем.

Важливим економічним критерієм є скорочення витрат на технічне обслуговування і ремонт транспортних засобів. Завдяки функціям постійного моніторингу та прогнозування технічного стану БІКС дозволяють своєчасно виявляти ознаки зношування або відмов, що дає змогу переходити до станоорієнтованого та передбачуваного технічного обслуговування [12]. Це знижує імовірність раптових відмов, скорочує обсяг позапланових ремонтів і оптимізує використання матеріальних та трудових ресурсів сервісних підприємств.

Ще одним важливим показником є підвищення пропускної здатності транспортної мережі, яке досягається за рахунок інтеграції транспортних засобів у єдиний інформаційний простір. Обмін даними між БІКС та елементами транспортної інфраструктури дозволяє оптимізувати маршрути руху, адаптувати швидкісні режими та зменшувати затримки, пов’язані з перевантаженням окремих ділянок вулично-дорожньої мережі. У результаті забезпечується більш рівномірний розподіл транспортних потоків і підвищується загальна ефективність функціонування транспортної системи.

Окрему увагу слід приділити зменшенню часу простою транспортних засобів, який є важливим показником експлуатаційної готовності. Завдяки автоматизованому діагностуванню, плануванню технічного обслуговування та оперативному обміну інформацією з сервісними структурами БІКС сприяють скороченню часу перебування транспортного засобу в неробочому стані. Це особливо актуально для вантажного та громадського транспорту, де простій безпосередньо впливає на економічні показники діяльності перевізників і якість транспортного обслуговування.

Впровадження сучасних БІКС супроводжується низкою технічних обмежень, пов’язаних насамперед із питаннями сумісності та надійності. Різноманіття виробників транспортних засобів, електронних компонентів і програмного забезпечення ускладнює інтеграцію окремих систем у єдине інформаційне середовище. Відсутність уніфікованих стандартів або їх часткова реалізація може призводити до обмеженої взаємодії між бортовими системами та інфраструктурою. Крім того, надійність каналів зв’язку, особливо в умовах високої щільності руху або складних метеорологічних умов, залишається критичним фактором, що безпосередньо впливає на стабільність функціонування БІКС.

Окрему групу проблем становлять питання кібербезпеки та захисту даних. Оскільки БІКС здійснюють постійний обмін великими обсягами даних із зовнішніми інформаційними системами, вони потенційно стають об’єктом кіберзагроз [3]. Несанкціонований доступ до бортових систем може призвести не лише до втрати або спотворення інформації, а й до порушення процесів керування транспортним засобом, що створює загрозу безпеці дорожнього руху.

Суттєвим стримувальним чинником є висока вартість впровадження та експлуатації БІКС. Витрати пов’язані не лише з придбанням апаратних компонентів і розробленням програмного забезпечення, а й з інтеграцією систем у наявну транспортну та сервісну інфраструктуру. Додаткові фінансові ресурси необхідні для обслуговування, оновлення та модернізації БІКС протягом усього життєвого циклу транспортного засобу. Для транспортних підприємств це потребує ретельного економічного обґрунтування та оцінювання окупності інвестицій.

Важливими є також кадрові та організаційні аспекти впровадження. Ефективне використання інтелектуальних бортових систем вимагає наявності фахівців із міждисциплінарними компетенціями у сферах транспорту, інформаційних технологій та систем управління. Недостатній рівень підготовки персоналу може суттєво знизити ефективність застосування БІКС і обмежити реалізацію їх потенціалу. Крім того, впровадження таких систем часто потребує перегляду організаційних процесів експлуатації, технічного обслуговування та управління транспортом, що може супроводжуватися додатковими складнощами на етапі адаптації

ОБГОВОРЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ

Отримані результати дозволяють стверджувати, що бортові інформаційно-комунікаційні системи транспортних засобів слід розглядати не лише як окремі технічні рішення, а як системоутворювальний елемент сучасних інтелектуальних транспортних систем. На відміну від традиційних підходів, у яких транспортний засіб функціонує переважно автономно, впровадження БІКС формує принципово нову модель взаємодії, засновану на безперервному обміні даними між транспортним засобом, інфраструктурою та системами управління рухом.

Аналіз функціональних і структурних характеристик БІКС свідчить, що їх ефективність визначається не стільки рівнем окремих технічних компонентів, скільки ступенем інтеграції у єдиний

інформаційний простір транспортної системи. У цьому контексті результати дослідження підтверджують положення, висловлені у працях [3-6], щодо ключової ролі V2X-взаємодії як базової умови підвищення безпеки та ефективності руху. Водночас у даній роботі наголошено на комплексному характері впливу БІКС, який охоплює не лише процеси руху, а й експлуатацію, технічне обслуговування та ремонт транспортних засобів.

Особливого значення набуває виявлений зв'язок між використанням БІКС і переходом до станоорієнтованих та прогнозних моделей технічного обслуговування. Результати дослідження свідчать, що інтеграція діагностичних і комунікаційних функцій у складі БІКС створює передумови для зниження експлуатаційних витрат і підвищення надійності транспортних засобів, що узгоджується з висновками [2]. При цьому БІКС виступають інформаційною основою формування цифрової історії транспортного засобу, яка може бути використана для прийняття управлінських рішень на рівні транспортних підприємств і органів управління транспортною інфраструктурою.

Проведене дослідження також дозволяє уточнити роль БІКС у підвищенні ефективності функціонування транспортної мережі загалом. Обмін інформацією в режимі реального часу між транспортними засобами та інфраструктурою сприяє оптимізації транспортних потоків, зменшенню затримок і більш раціональному використанню пропускної здатності вулично-дорожньої мережі. У цьому аспекті БІКС доцільно розглядати як інструмент не лише індивідуальної, а й колективної оптимізації руху, що відповідає сучасним концепціям сталої та розумної міської мобільності.

Разом з тим результати дослідження вказують на наявність низки обмежень, які можуть стримувати практичне впровадження БІКС. Зокрема, проблеми стандартизації, сумісності та кібербезпеки залишаються критичними чинниками, що потребують системного вирішення. Це підтверджує доцільність подальших досліджень у напрямі розроблення уніфікованих архітектурних підходів і механізмів захисту інформації, а також методів оцінювання ризиків у середовищі підключеного та автономного транспорту.

ВИСНОВКИ

1. Філософський зміст БІКС полягає в утвердженні ідеї транспорту як інтелектуально організованого середовища, де технологія стає не лише інструментом, а й умовою гармонійної взаємодії людини, машини та простору.

2. БІКС транспортних засобів є універсальним засобом інтеграції фізичних транспортних процесів з інформаційними системами управління, забезпечуючи комплексне підвищення безпеки, ефективності та якості функціонування сучасних транспортних систем.

3. Інтегровані та інтелектуальні БІКС виступають центральним елементом інформаційної взаємодії в процесах експлуатації, технічного обслуговування та ремонту, забезпечуючи підвищення надійності, експлуатаційної готовності та економічної ефективності використання транспортних засобів, підвищують безпеку та ефективність руху, а також формують технологічну основу для розвитку інтелектуальних транспортних систем і розумної міської мобільності.

4. Оцінювання ефективності впровадження БІКС має здійснюватися на основі системи взаємопов'язаних показників, що відображають безпекові, економічні та експлуатаційні аспекти. Такий підхід дозволяє обґрунтовано визначити практичну доцільність використання БІКС та їх роль у розвитку інтелектуальних транспортних систем.

5. Проблеми та обмеження впровадження БІКС мають комплексний характер і охоплюють технічні, інформаційні, економічні та організаційні аспекти. Їх урахування є необхідною умовою формування ефективної стратегії розвитку інтелектуальних транспортних систем і забезпечення сталого функціонування сучасного транспорту.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. United Nations Economic Commission for Europe. Intelligent Transport Systems for sustainable mobility. Geneva : UNECE, 2023. URL: https://unece.org/sites/default/files/2024-06/ITS%20for%20sustainable%20Mobility_E_pdf_web.pdf.

2. Волков В., Волкова Т., Кужель В., Верхломчук В., Нікіфоров Н. Основи інтеграції системи технічної експлуатації автомобілів в інтелектуальні транспортні системи. *Вісник машинобудування та транспорту*. 2024. Вип. 10(2). С. 21-30. https://doi.org/10.63341/vjmet/2.2024.21.

3. Weigang G., Komar K. Analysis of the security of on-board information systems in vehicles. Transport technologies. 2023. Vol. 4(1). p. 62-72. https://doi.org/10.23939/tt2023.01.062.

4. Rehman M. A., Numan M., Tahir H., Rahman U., Khan M. W., Iftikhar M. Z. A comprehensive overview of vehicle to everything (V2X) technology for sustainable EV adoption. *Journal of Energy Storage*. 2023. Vol. 74. Part A. 109304. https://doi.org/10.1016/j.est.2023.109304.

5. Dhinesh Kumar R., Rammohan A. Revolutionizing Intelligent Transportation Systems with Cellular Vehicle-to-Everything (C-V2X) technology: Current trends, use cases, emerging technologies, standardization bodies, industry analytics and future directions. *Vehicular Communications*. 2023. Vol. 43. https://doi.org/10.1016/j.vehcom.2023.100638.

6. Contreras-Castillo J., Zeadally S., Guerrero-Ibañez J. Internet of vehicles: architecture, protocols, and security. *IEEE Internet of Things Journal*. 2017. Vol. 5, Issue 5, 2017, pp. 3701 - 3709. https://doi.org/10.1109/JIOT.2017.2690902.

7. Броннікова Л. В. Філософські аспекти трансформаційних процесів у сучасній науці. *Актуальні проблеми філософії та соціології*. 2021. Вип. 33. С. 13-17. https://doi.org/10.32837/apfs.v0i33.1063.

8. Клімов, С. В., Никончук, В. М., Хітров, І. О. Застосування технологій штучного інтелекту в інформаційних системах на автомобільному транспорті. Вісник Національного університету водного господарства та природокористування. 2024. 1(105). с. 297-316. http://ep3.nuwm.edu.ua/31599/1/Vt10523.pdf.

9. Кашканов А. А., Кужель В. П., Грисюк О. Г. Інформаційні комп'ютерні системи автомобільного транспорту : навч. посіб. Вінниця : ВНТУ, 2010. 230 с. URL: https://atm.vntu.edu.ua/subject/books/IKCAT/Lec_Lab_IKS_AT_2010.pdf.

10. Кашканов В. А., Кашканов А. А., Кужель В. П. Інформаційні системи і технології на автомобільному транспорті : навч. посіб. Вінниця : ВНТУ, 2020. 104 с. URL: https://pdf.lib.vntu.edu.ua/books/IRVC/Kashkanov_2020_104.pdf.

11. Кір'янов О. Ф., Мороз М. М., Загорянський В. Г., Кузєв І. О. Інформаційні системи і технології в транспортній логістиці: навч. посіб. Кременчук: Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського, 2022. 427 с. URL: https://document.kdu.edu.ua/info_zab/275_1446.pdf.

12. Хітров І. О. Дослідження впливу конструктивної надійності і безпечності транспортного засобу для здійснення перевезень та пристосованості до технічного обслуговування. Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки. Кропивницький. 2024. С. 214-222. https://mapiea.kntu.kr.ua/pdf/8(39)_II/27.pdf.

REFERENCES

1. Intelligent Transport Systems for sustainable mobility, [online]. Available at: https://unece.org/sites/default/files/2024-06/ITS%20for%20sustainable%20Mobility_E_pdf_web.pdf.

2. Volkov, V., Volkova, T., Kuzhel, V., Verkhlomchuk, V., & Nikiforov, N. (2024). Basics of integration of vehicle technical operation system into intelligent transport systems. *Journal of Mechanical Engineering and Transport*, 10(2), 21-30. Available at: https://doi.org/10.63341/vjmet/2.2024.21 (in Ukrainian).

3. Weigang, G. & Komar, K. (2023). Analysis of the security of on-board information systems in vehicles. *Transport technologies*, Vol. 4(1). p. 62-72. Available at: https://doi.org/10.23939/tt2023.01.062 (in Ukrainian).

4. Rehman, M. A., Numan, M., Tahir, H., Rahman, U., Khan, M. W. & Iftikhar, M. Z. (2023). A comprehensive overview of vehicle to everything (V2X) technology for sustainable EV adoption. *Journal of Energy Storage*, Vol. 74. Part A. 109304. Available at: https://doi.org/10.1016/j.est.2023.109304.

5. Dhinesh Kumar, R. & Rammohan, A. (2023). Revolutionizing Intelligent Transportation Systems with Cellular Vehicle-to-Everything (C-V2X) technology: Current trends, use cases, emerging technologies, standardization bodies, industry analytics and future directions. *Vehicular Communications*, Vol. 43. Available at: https://doi.org/10.1016/j.vehcom.2023.100638.

6. Contreras-Castillo, J., Zeadally, S. & Guerrero-Ibañez, J. (2017). Internet of vehicles: architecture, protocols, and security. *IEEE Internet of Things Journal*, Vol. 5, Issue 5, 2017, pp. 3701 - 3709. Available at: https://doi.org/10.1109/JIOT.2017.2690902.

7. Bronnikova, L. V. (2021). Philosophical aspects of transformation processes in modern science. *Current Problems of Philosophy and Sociology*, Vol. 33. Pp. 13-17. Available at: https://doi.org/10.32837/apfs.v0i33.1063 (in Ukrainian).

8. Klimov, S., Nykonchuk, V. & Khitrov, I. (2024). Application of artificial intelligence technologies in information systems for road transport. Bulletin of the National University of Water and Environmental Engineering, Vol. 1(105). Pp. 297-316. Available at: http://ep3.nuwm.edu.ua/31599/1/Vt10523.pdf (in Ukrainian).

9. Kashkanov, A., Kuzhel, V. & Hrysiuk, O. Informatsiini kompiuterni systemy avtomobilnoho transport [Road transport information computer systems]. Vinnytsia : VNTU, 2010. 230 p. Available at: https://atm.vntu.edu.ua/subject/books/IKCAT/Lec_Lab_IKS_AT_2010.pdf (in Ukrainian).

10. Kashkanov, V., Kashkanov, A. & Kuzhel, V. Informatsiini systemy i tekhnolohii na avtomobilnomu transporti [Information systems and technologies in road transport]. Vinnytsia : VNTU, 2020. 104 p. Available at: https://pdf.lib.vntu.edu.ua/books/IRVC/Kashkanov_2020_104.pdf (in Ukrainian).

11. Kirianov, O., Moroz, M., Zahorianskyi, V. & Kuziev, I. Informatsiini systemy i tekhnolohii v transportnii lohistytsi [Information systems and technologies in transport logistics]. Kremenchuk: Kremenchutskyi natsionalnyi universytet imeni Mykhaila Ostrohradskoho, 2022. 427 p. Available at: https://document.kdu.edu.ua/info_zab/275_1446.pdf (in Ukrainian).

12. Khitrov, I. (2023). Study of the influence of structural reliability and safety of the vehicle for transportation and adaptability to maintenance. Central Ukrainian Scientific Bulletin Technical Sciences, Vol. 8(39), Part II, Pp. 214-222. Available at: https://doi.org/10.32515/2664-262X.2023.8(39).2.214-222 (in Ukrainian).

I. Khitrov, Klimov S. **On-board information and communication systems as a means of integrating vehicles with transport infrastructure**

The intensification of vehicle development, the increasing complexity of their design, and the growing requirements for safety, reliability, and operational efficiency necessitate comprehensive scientific research in this field. A modern vehicle is increasingly transforming into a complex technical and information system, the functioning of which requires well-founded decisions regarding the integration of hardware–software components and control algorithms.

In this context, on-board information and communication systems (OICS) of vehicles are investigated as a key means of integration with transport infrastructure under the conditions of intelligent transportation systems development. The article reveals the essence, functional purpose, and role of OICS in ensuring information interaction between vehicles, infrastructure elements, and traffic management systems. The evolution and classification of OICS according to the level of integration, functional purpose, and degree of automation are considered. The main structural components of modern integrated systems and the principles of their operation within a unified information space of the transport system are identified. It is established that the implementation of OICS contributes to improving road traffic safety, enhancing the operational efficiency of vehicles, optimizing maintenance and repair processes, and reducing the negative environmental impact of transport. The main technical, economic, and organizational constraints on the implementation of such systems are identified, and prospective directions for their further development are outlined. It is proven that OICS constitute the technological basis for integrating vehicles into a unified information space and for forming sustainable, safe, and efficient models of modern mobility. This creates prerequisites for the development of a unified approach to the implementation of intelligent transport technologies and for ensuring the sustainable development of the transport sector.

Key words: vehicle; onboard information and communication systems; transport infrastructure; integration of transport systems; intelligent transportation systems.

ХІТРОВ Ігор Олександрович, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри транспортних технологій і технічного сервісу, Національний університет водного господарства та природокористування, e-mail: i.o.khitrov@nuwm.edu.ua; https://orcid.org/0000-0003-2310-1472.

КЛІМОВ Сергій Васильович, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри транспортних технологій і технічного сервісу, Національний університет водного господарства та природокористування, e-mail: s.v.klimov@nuwm.edu.ua; https://orcid.org/0000-0002-5993-847X.

Ihor KHITROV, PhD, Associate Professor of the Transport Technology and Technical Service Department, National University of Water and Environmental Engineering, e-mail: i.o.khitrov@nuwm.edu.ua; https://orcid.org/0000-0003-2310-1472.

Serhii KLIMOV, PhD, Associate Professor of the Transport Technology and Technical Service Department, National University of Water and Environmental Engineering, e-mail: s.v.klimov@nuwm.edu.ua; https://orcid.org/0000-0002-5993-847X.

Дата надходження статті до видання: 27.01.2026
Дата прийняття статті до друку після рецензування: 03.03.2026
https://doi.org/10.36910/vjnvhg60