

ПЕРСПЕКТИВИ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЕКСПЛУАТАЦІЇ АВТОМОБІЛІВ ЗАСТОСУВАННЯМ V2X-ТЕХНОЛОГІЙ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

В роботі розглянуто сучасний стан впровадження V2X-технологій на автомобільному транспорті. Проаналізовано можливості даних технологій щодо підвищення ефективності експлуатації автомобілів та окреслено проблеми, які потребують розв'язання.

Ключові слова: автомобільний транспорт, «транспортний засіб – транспортний засіб» (V2V), «транспортний засіб – інфраструктура» (V2I), «транспортний засіб – пішоходи» (V2P), «транспортний засіб-мережа» (V2N), «транспортний засіб – усе» (V2X), стільниковий зв'язок.

Abstract

The paper aims to examine the contemporary state of V2X technology deployment in automotive transport. It provides analysis of the potential of these technologies to enhance vehicle operational efficiency and delineates the challenges that require further resolution.

Keywords: automotive transport, vehicle-to-vehicle (V2V), vehicle-to-infrastructure (V2I), vehicle-to-pedestrians (V2P), vehicle-to-network (V2N), vehicle-to-everything (V2X), cellular network.

Автомобільний транспорт є одним із найважливіших секторів економіки, що забезпечує доставку товарів та перевезення пасажирів в Україні та світі. Проте розвиток автомобільного транспорту вимагає розв'язання ряду науково-прикладних задач, таких як зниження витрат паливно-енергетичних ресурсів, зниження викиді парникових газів, зниження рівня аварійності на дорогах, підвищення загальної ефективності використання рухомого складу та інші.

На сьогодні досить інтенсивними темпами відбувається розвиток технологій «підключених» автомобілів та автоматизації водіння. Сучасний автопарк економічно розвинених країн вже налічує велику кількість таких автомобілів, яка постійно зростає. Таким чином одним із способів вирішення зазначених вище проблем є створення та впровадження інтелектуальної транспортної системи (Intelligent Transport System, ITS) на основі підключених автоматизованих автомобілів.

Існують різні типи технологій взаємодії автомобілів та інших учасників дорожнього руху, які можуть обмінюватися даними. Технології, що передбачають зв'язок виключно між автомобілями, що спілкуються безпосередньо один з одним, називаються «транспортний засіб – транспортний засіб» (vehicle-to-vehicle, V2V). Технології, коли автомобілі обмінюються даними з придорожною інфраструктурою називають «транспортний засіб – інфраструктура» (vehicle-to-infrastructure, V2I), а з пішоходами – «транспортний засіб – пішоходи» (vehicle-to-pedestrians, V2P). Якщо автомобіль обмінюється даними з ІТ-мережами та/або центрами обробки даних, тип технології називається «транспортний засіб-мережа» (vehicle-to-network, V2N). Загальний термін, який об'єднує всі ці типи взаємодії, забезпечуючи зв'язок автомобілів з різними одержувачами, називається «транспортний засіб – усе» (vehicle-to-everything, V2X) [1, 2].

На автомобільному транспортному активно ведуться дослідження, спрямовані на підвищення ефективності та екологічності перевезень за рахунок впровадження ITS. Одним із ключових напрямків у даній області є автоматизована колона (platooning), тобто формування колони з декількох легкових або вантажних автомобілів з використанням прямого зв'язку V2V. Дана технологія дозволяє скоротити витрату палива і підвищити пропускну спроможність дорожньої мережі. Основна увага досліджень приділяється питанням зниження паливно-енергетичних витрат за рахунок оптимізації дистанції між автомобілями в колоні та узгодженого керування швидкісними режимами.

Одним із найбільш детально опрацьованих компонентів систем управління є Кооперативний Адаптивний Круїз-Контроль (Cooperative Adaptive Cruise Control, CACC). Коректно задані алгоритми керування враховують різні сценарії дорожньої обстановки, наприклад, раптове гальмування лідируючого автомобіля, і забезпечують узгоджену реакцію всіх учасників колони. Таким чином досягається баланс між безпекою та ефективністю руху [3-5].

Аналізуючи загальні тенденції розвитку V2V можна зробити висновок, що дані технології ще далекі від широкого впровадження в реальну практику. Незважаючи на явні переваги в паливній економічності, стабільності потоку та екологічності, існує ряд невирішених проблем. Залишаються питання, пов'язані з надійністю та безпекою систем зв'язку, кібербезпекою, готовністю дорожньої інфраструктури, взаємодія з іншими учасниками дорожнього руху, які не мають відповідних систем комунікації тощо.

Підвищення ефективності та екологічності експлуатації автомобілів за рахунок технологій взаємодії з дорожньою інфраструктурою, V2I, привертає все більше уваги в сучасній транспортній інженерії та системах управління рухом. Дослідження в цьому напрямку охоплюють не тільки суто технічні аспекти, пов'язані з алгоритмами управління енергетичною установкою, оптимізацією алгоритмів управління рухом груп автомобілів, але також питання взаємодії з елементами інфраструктури – світлофорами, дорожніми знаками, системами моніторингу трафіку тощо.

Оптимізація швидкості руху при під'їзді автомобіля до світлофора досягається через постійний обмін інформацією з інфраструктурою, що надає дані про режими світлофора та час до перемикавання сигналу. Така система може рекомендувати водієві оптимальну швидкість в режимі реального часу, або автоматично її регулювати у випадку систем автоматизації водіння. У результаті знижується кількість зупинок на червоний сигнал світлофора, що приводить до економії енергії [6, 7].

Використання V2I-технологій змінює парадигму управління транспортним потоком з локальної на системну. Адаптивні та кооперативні методи управління здатні не тільки підвищити енергетичну ефективність та екологічність перевезень, а й покращити пропускну здатність доріг, знизити кількість заторів та підвищити безпеку дорожнього руху. В міських умовах, де кількість автомобілів продовжує зростати, V2I-технології дають значні переваги у зниженні витрати палива та викидів за рахунок оптимального управління рухом.

Найявні дослідження, окрім значного потенціалу даних технологій, вказують на ряд проблем, які необхідно розв'язати: необхідність координації та уніфікації різних галузевих стандартів, надійність зв'язку в режимі реального часу та витрати на масштабний розвиток інфраструктури.

Паливно-енергетична ефективність автомобілів може значно підвищуватись при правильному використанні даних про рельєф місцевості. Інтеграція топографічної інформації та інтелектуальних алгоритмів управління з урахуванням рельєфу місцевості та профілю дороги (напрямок поворотів, підйоми, спуски тощо) дозволяє оптимізувати режими руху автомобіля (розгони, гальмування, рух накатом тощо), знизивши паливно-енергетичні витрати.

Багато досліджень приділяють увагу питанням предиктивного управління та еко-маршрутизації. Однак широкому застосуванню даних технологій заважають недостатня інфраструктура, неоднорідність дорожніх умов та технологічні обмеження щодо обчислювальних потужностей та програмних засобів. При цьому тенденція розвитку електронних систем, засобів зв'язку та обчислювальних потужностей така, що вже найближчими роками очікується більш масштабне впровадження технологій врахування рельєфу в серійні автономні автомобілі [8, 9].

Значний ефект дає об'єднане застосування кількох технологій: попередньої інформації про маршрут (цифрові карти з даними про рельєф місцевості), V2I-технології (завантаженість доріг, світлофори тощо), прогнози поведінки самих автомобілів та транспортного потоку, що отримується через V2X-протоколи. Алгоритми в реальному часі перераховують оптимальну швидкість та режими роботи силової установки, що дозволяє суттєво підвищити паливно-енергетичну ефективність та знизити викиди вуглекислого газу. Однак для роботи таких систем потрібна інфраструктура, яка наразі не завжди доступна на дорогах загального користування [10, 11].

Однією з головних проблем при роботі з транспортними потоками є передача даних. Наразі існують дві технології передачі даних, які можна використовувати в системах V2X: технологія спеціалізованого зв'язку ближнього радіусу дії (dedicated short-range communications, DSRC) та технології «стільниковий зв'язок транспортний засіб – усе» (cellular vehicle-to-everything, C-V2X). Технології DSRC використовуються для передачі даних між транспортними засобами, придорожньою інфраструктурою та пішоходами, коли відстань обмежена кількома сотнями метрів.

Обмін даними здійснюється між пристроями системи зв'язку, встановленими в транспортних засобах DSRC, які називаються бортовими пристроями (on board units, OBU), та придорожніми пристроями, (road side units, RSU), а також портативними мобільними пристроями пішоходів. Багато урядів світу наразі підтримують та інвестують у впровадження та дослідження комунікаційних технологій DSRC [1].

Стільникові мережі мають перевагу теоретично нескінченної дальності дії і здатні обробляти більший потік даних, але тільки там, де є покриття. Крім втрати пакетів, має місце і затримка в отриманні повідомлень. У середньому ця затримка дорівнює від 5 до 50-100 мс (у моменти високого навантаження на мережу) для DSRC, та як правило 20-50 мс для V2X-LTE. Проте впровадження 5G стільникових мереж, як очікується, принесе значні покращення порівняно з технологією LTE та знизить затримки до 1-5 мс [1].

В останні роки великі технологічні компанії, автовиробники та виробники компонентів інвестують великі кошти в розвиток даних технологій та програмного забезпечення, серед яких можна виділити Qualcomm Technologies, ZF, Bosch та інших. Так Qualcomm Technologies розробила платформи «Snapdragon Automotive Cockpit», що забезпечують персоналізований досвід роботи в автомобілі з розширеними телематичними та інформаційно-розважальними сервісами; бездротові платформи «Snapdragon Wireless», що підтримують мультигігабітне підключення 4G LTE і 5G NR (New Radio), рішення C-V2X допомагають підвищити ефективність і безпеку дорожнього руху, а платформа «Snapdragon Ride» відкриває можливості масштабованості і гнучкого налаштування для систем ADAS і автономного водіння [12].

Використання комунікацій V2X, разом з існуючими можливостями сучасних транспортних засобів, може підвищити ефективність експлуатації рухомого складу автотранспортних підприємств. Деякі приклади таких майбутніх послуг наведені Консорціумом комунікацій CAR2CAR у своєму опублікованому маніфесті: різні попередження про небезпеку, покращене та повне керівництво маршрутом та навігація, рекомендації щодо оптимальної швидкості руху в зоні світлофорів, допомога в об'єднанні V2V, доступ до Інтернету в автомобілях, інформування водія, віддалена «розумна діагностика» транспортних засобів та багато іншого [1].

Для автотранспортних підприємств технологія підключених автомобілів допомагає покращити безпеку, ефективність та продуктивність в довгостроковому періоді. Оскільки все більше нових комерційних автомобілів є «підключеними», підприємства отримують більше розуміння про те, як використовується рухомий склад, де трапляються затримки та які проблеми можуть виникати. Переваги для експлуатації автопарку включають:

- зменшення аварійності раннім попередженням та дієвими сповіщеннями;
- скорочення часу простою рухомого складу, зниження витрати палива та поліпшення екологічності експлуатації автомобілів;
- зниження витрат на технічне обслуговування та ремонт завдяки аналізу діагностичних даних та тенденцій зміни технічного стану, планування проведення технічного обслуговування з урахуванням інформації про умови експлуатації тощо;
- покращення маршрутизації, використання рухомого складу та диспетчеризації перевезень;
- підтримка відповідності нормативним вимогам та правилам перевезень, документування виробничих процесів;
- оптимізація офісних робочих процесів, покращення планування заходів з підвищення кваліфікації тощо.

Висновки

Як показав виконаний аналіз, що застосування технологій V2X «підключених» автомобілів дозволяє підвищити ефективність та екологічність на автомобільному транспорті, знизити паливно-енергетичні витрати та підвищити безпеку дорожнього руху. На наш погляд, розвиток технології V2X найбільш перспективно розглядати у розрізі технології C-V2X поверх стільникових мереж 5G NR, адже питання уніфікації радіочастотних діапазонів під V2X глобально є невирішеним. З розвитком систем 5G NR C-V2X з'являються нові можливості в управлінні автомобільним транспортом – безперервна адаптація систем ADAS та автономного водіння, «розумна діагностика», застосування «хмарних обчислень» для складних математичних моделей управління рухом в режимі реального часу, покращене управління процесом перевезень та інше. При цьому потребують розв'язання питання, пов'язані з надійністю систем зв'язку та кібербезпекою.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Kiela, K.; Barzdenas, V.; Jurgo, M.; Macaitis, V.; Rafanavicius, J.; Vasjanov, A.; Kladovscikov, L.; Navickas, R. Review of V2X–IoT Standards and Frameworks for ITS Applications. Appl. Sci. 2020, 10, 4314. <https://doi.org/10.3390/app10124314>
2. Lori, A. Connected vehicles: A guide to V2V and V2X technology. URL: <https://www.verizonconnect.com/resources/article/connected-vehicle-technology-v2v-v2i-v2x/>. (Дата звернення: 20.03.2026.)
3. Ploeg, J.; Scheepers, B. T. M.; van Nunen, E.; van de Wouw, N.; and Nijmeijer, H. "Design and experimental evaluation of cooperative adaptive cruise control," 2011 14th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC), Washington, DC, USA, 2011, pp. 260-265, doi: 10.1109/ITSC.2011.6082981.
4. Davila A., Nombela M. Platooning - Safe and Eco-Friendly mobility. SAE Technical Papers on CD-ROM/SAE Technical Paper Series. 2012.
5. Van Arem B., Van Driel C.J.G., Visser R. The impact of cooperative Adaptive Cruise Control on Traffic-Flow characteristics. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems. 7 (4): 429-436. 2006.
6. Barth M., Boriboonsomsin K. Energy and emissions impacts of a freeway-based dynamic eco-driving system. Transportation Research Part D Transport and Environment. 14 (6): 400-410. 2009.
7. Slevanovic A., Slevanovic J., Kcrgayc C. Green Light Optimized Speed Advisory Systems. Transportation Research Record Journal of the Transportation Research Board. 2390 (1): 53-59. 2013.
8. Kamal M.A.S., Mukai M., Murata J., Kawabe I. Ecological driving based on preceding vehicle prediction using MPC. IFAC Proceedings Volumes. 44 (1) : 3X43-3X48. 2011.
9. Singh J., Gautam N., Singh G., Obaid A J. Energy-efficient route-planning path selection for Electric vehicles. Research Gate. 2022.
10. De Nunzio G., De Wit C.C., Moulin P., Di Domenico D. Eco-driving in urban traffic networks using traffic signals information. International Journal of Robust and Nonlinear Control. 26 (6): 1307-1324. 2015.
11. Elbery, A., Rakha, H., Elnainay, M., Drira, W., & Filali, F. (2015). Eco-Routing Using V2I Communication: System Evaluation. IEEE ITSC 2015, 71-76. <https://doi.org/10.1109/itsc.2015.20>
12. Qualcomm. The Qualcomm® Snapdragon™ Automotive Development Platform. URL: <https://www.qualcomm.com/media/documents/files/snapdragon-automotive-development-platform-spec-sheet.pdf> (Дата звернення: 20.03.2026.)

Смирнов Євгеній Валерійович – канд. техн. наук, доцент кафедри автомобілів та транспортного менеджменту, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: zhekasmirnov@vntu.edu.ua

Пилявець Олександр Богданович – здобувач вищої освіти групи 1AT-24мс2, Факультет машинобудування та транспорту, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: sasapilya63@gmail.com

Smyrnov Yevhenii V. – Cand. Sc. (Eng.), Associate Professor of the Department of Automobiles and Transport Management, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: zhekasmirnov@vntu.edu.ua

Pyliavets Oleksandr B. – higher education student of group 1AT-24ms2, Faculty of Mechanical Engineering and Transport, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: sasapilya63@gmail.com