

ВИКОРИСТАННЯ ДОРОЖНІХ СТАНЦІЙ DSRC ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ БЕЗПЕКИ РУХУ В УМОВАХ МІСЬКОЇ ЗАБУДОВИ

Владислав Павлюченко

аспірант кафедри акустичних та мультимедійних електронних систем

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», вул. Академіка Янгеля, 9/16, Київ, Україна, 03056, pva20200929-ames24@iill.kpi.ua

ORCID: 0000-0002-7481-9719

Володимир Макаренко

кандидат технічних наук,

доцент кафедри акустичних та мультимедійних електронних систем

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», вул. Академіка Янгеля, 9/16, Київ, Україна, 03056, mvv00610-ames@iill.kpi.ua

ORCID: 0000-0003-1232-5198

Використання технології DSRC для зв'язку між транспортними засобами, дорожньою інфраструктурою та пішоходами дозволяє значно знизити ризики виникнення дорожньо-транспортних пригод. У роботі розглянуті можливості обміну даними між автомобілями в умовах щільної міської забудови, де велика кількість будівель та складна конфігурація вулиць приводить до зменшення відстані впевненого прийому сигналів, що формуються пристроями DSRC, встановленими на транспортних засобах. Показано, що використання пристроїв DSRC для обміну даними між автомобілями в умовах щільної міської забудови недостатньо для своєчасного інформування водіїв. Для усунення цього недоліку пропонується використати дорожні станції DSRC в якості ретрансляторів сигналів і встановлювати їх в найбільш складних, з точки зору розповсюдження сигналів, місцях. Це дає змогу збільшити відстань впевненого зв'язку і дозволить завчасно отримати повідомлення про небезпеку, що особливо важливо в умовах мокрого або покритого льодом дорожнього покриття. Проведене дослідження показало, що такий спосіб використання дорожніх станцій дозволяє збільшити відстань впевненого обміну даними між транспортними засобами від 2 до 10 разів, що знижує ризик дорожньо-транспортних пригод. Дослідження проводилось за допомогою імітаційного моделювання міської інфраструктури та мережі системи DSRC в програмному середовищі Altair WinProp. Результати моделювання можуть бути використані при проектуванні мережі DSRC в міських умовах та у зонах з великою кількістю завад. Оригінальність статті полягає в моделюванні впливу конфігурації вулиці та міської забудови на поширення енергетичного поля передавачів DSRC, що встановлені у транспортних засобах та дорожній інфраструктурі.

Ключові слова: технологія DSRC, міська забудова, рівень, чутливість, потужність, розповсюдження сигналу.

ВСТУП. Наразі перед людством постала дуже серйозна проблема, пов'язана зі зростанням кількості аварій на автомагістралях та дорогах загального користування. Неуважність водіїв, нехтування правилами дорожнього руху, вплив деяких лікарських засобів, що погіршують реакцію, лише збільшують кількість аварійних ситуацій на дорогах. Використання безпроводових технологій зв'язку між транспортними засобами та пішоходами дозволяє значно знизити ризики дорожньо-транспортних пригод. У 1999 році FCC (федеральна комісія зв'язку Сполучених Штатів Америки) виділила діапазон частот від 5850 МГц до 5925 МГц спеціально для технології безпроводових мереж малого радіусу дії (Dedicated Short Range Communication, DSRC) [1]. Технологія DSRC є частиною системи зв'язку WAVE (Wireless Access for Vehicular Environment). Фізичний

рівень та каналний рівні моделі OSI системи DSRC визначені в сімействі стандартів IEEE 802.11 і IEEE 1609.x. [2]. Основною перевагою технології DSRC є швидке з'єднання між пристроями та мала затримка передачі пакетів, що досягається завдяки використанню протоколу WSMP (Wave Short Message Protocol) на транспортному рівні моделі OSI [3]. Ці особливості технології DSRC дозволяють побудувати безпроводову систему попередження водіїв та пішоходів про можливу небезпеку, що дозволить зменшити кількість дорожньо-транспортних пригод.

АКТУАЛЬНІСТЬ ДОСЛІДЖЕННЯ. Наразі існує дуже багато досліджень проблем фізичного рівня стандарту IEEE 802.11p (DSRC) [4]. Щільна міська забудова доволі сильно впливає на розповсюдження сигналу [5; 6; 7]. Дослідження, проведене в «сліпих кутах» [8; 9], показало, що

технологія DSRC є відмінним доповненням до наявних методів візуальної ідентифікації авто, оскільки може ідентифікувати транспортний засіб без візуального контакту. Проте вплив будівель на розповсюдження сигналу є дуже вагомим. Дослідження відбиття хвиль сигналу від будівель [10–12] показало, що сигнал може розповсюджуватись на дальні відстані завдяки явищам дифракції та відбиття.

Важливою умовою для технології DSRC є забезпечення мережі надійним зв'язком на великій відстані, оскільки об'єктами системи виступають високошвидкісні транспортні засоби. Через ослаблений сигнал може виникнути затримка в ідентифікації об'єкту системи, що може призвести до виникнення аварійної ситуації. Водночас дорожні станції в системі DSRC, які призначені для автоматизованого контролю транспортних засобів на пунктах пропуску безоплатного проїзду та до паркомісць, можуть бути використані для підвищення безпеки руху у зонах з обмеженою видимістю. Такі зони в умовах щільної забудови завжди існують у містах і є зонами підвищеної небезпеки з точки зору безпеки руху.

ВИБІР ОБЛАДНАННЯ ТА РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ. Для аналізу характеристик поля сигналів в системі DSRC необхідно враховувати параметри вже наявного обладнання для побудови такої системи. Для моделювання характеру розповсюдження сигналу обладнання, що встановлюється на транспортному засобі, було обрано модуль OBU-301U компанії “Unex”.

Основні характеристики OBU-301U:

- 1) діапазон робочих частот 5.850...5.925 ГГц;
- 2) потужність передавача 20 дБм;
- 3) чутливість приймача –92 дБм.

В якості дорожньої станції DSRC, встановленої у міській інфраструктурі, була обрана станція RIS-9160 австрійської компанії “Kapsch”.

Основні характеристики дорожньої станції RIS-9160:

- 1) діапазон робочих частот 5.850...5.925 ГГц;
- 2) потужність передавача 21 дБм;
- 3) чутливість приймача –95 дБм.

Моделювання поля в умовах міста в системі DSRC проводилось в програмі Altair WinProp, що призначена для дослідження розповсюдження радіохвиль у різних середовищах.

На рис. 1 наведено розташування транспортних засобів для найбільш складного випадку взаємного розташування автомобілів та будинків.

Транспортні засоби знаходяться поза зоною прямої видимості. Між ними розташована велика кількість різних об'єктів міської забудови. Транспортний засіб 1 (далі ТЗ-1) здійснює рух у напрямку транспортного засобу 2 (далі ТЗ-2), що стоїть припаркований на дорозі загального користування. Обидва транспортні засоби оснащені обладнанням DSRC OBU-301U. Матеріалом будівель обрано бетон, щоб перевірити зону впевненого прийому сигналу при обміні даними в системі DSRC для випадку найбільшого загасання сигналу. Розподіл потужності поля, що випромінює модуль ТЗ-2, наведено на рис. 2.

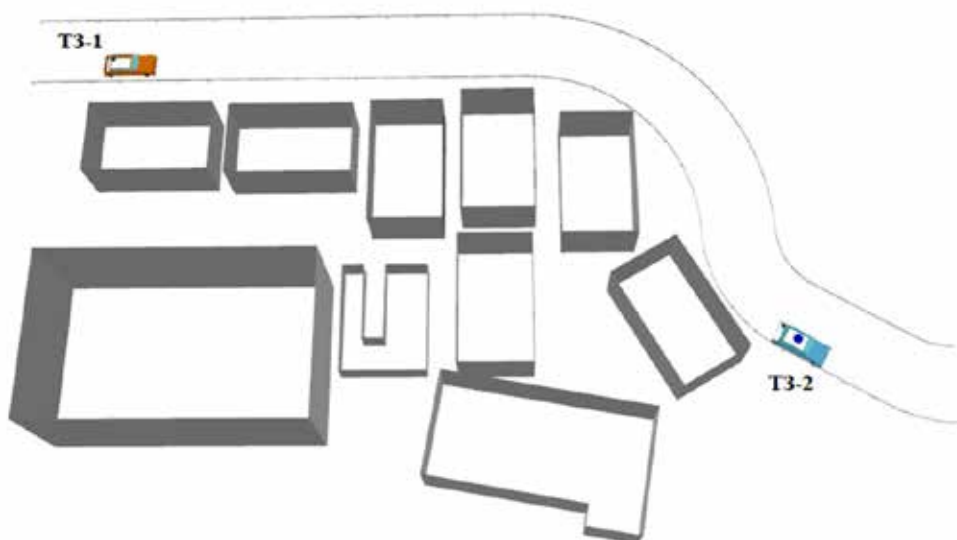


Рис. 1. Розташування транспортних засобів для найбільш складного випадку взаємного розташування цих об'єктів

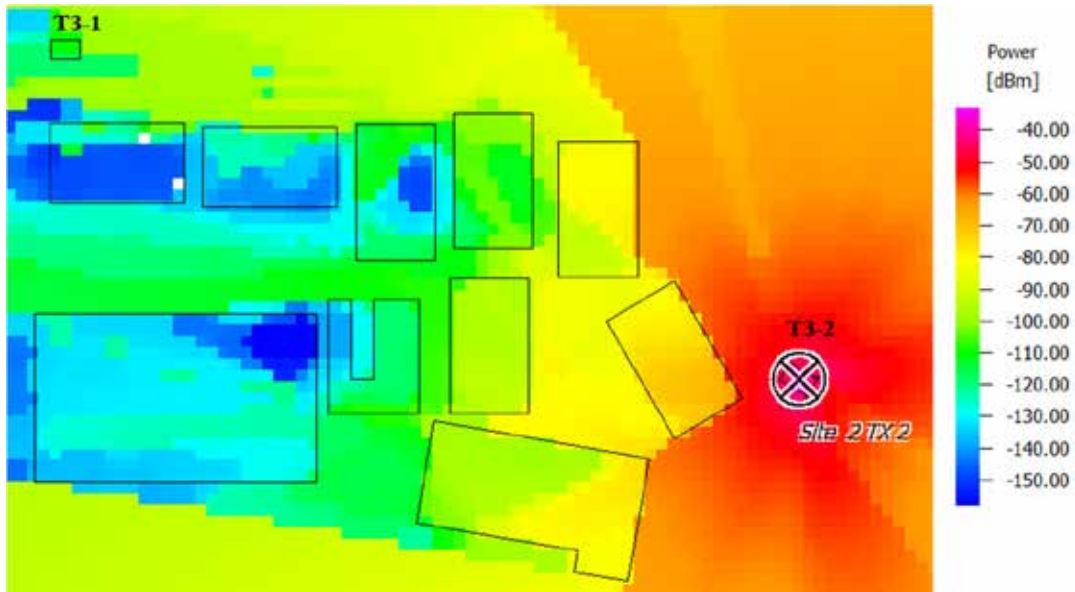


Рис. 2. Розподіл інтенсивності поля сигналу при двох градаціях потужності

Згідно з результатами моделювання рівень сигналу в точці розташування T3-1 дорівнює -110 дБм. А оскільки чутливість приймача модуля DSRC складає -92 дБм, то T3-1 не отримає інформацію про місцезнаходження T3-2. Для прикладу, що розглядається, відстань між транспортними засобами становить 80 м.

Для того щоб з'ясувати, на якій максимальній відстані модуль, встановлений на T3-1, зможе прийняти і обробити сигнал, отриманий від модуля T3-2, включено режим з двома градаціями потужності сигналу – більше та менше

-92 дБм. Цей рівень відповідає чутливості приймачів модулів OBU-301U. Розподіл інтенсивності поля сигналу при двох градаціях потужності наведено на рис. 3.

Цей дослід показав, що T3-1 не потрапляє у зону з рівнем сигналу більшим ніж -92 дБм. Максимальна відстань на якій T3-1 може ідентифікувати T3-2 становить 60 м (точка А на рис. 3). Використавши формулу розрахунку гальмівного шляху, можна знайти відстань, на якій T3-1 зможе завершити свій гальмівний шлях після отримання координат від T3-2:



Рис. 3. Розподіл інтенсивності поля модуля OBU-301U при двох градаціях потужності

$$S = \frac{V^2}{250K}. \quad (1)$$

де V – швидкість автомобіля, K – коефіцієнт зчеплення коліс з асфальтом (0.8 при умові сухого асфальту, 0.4 за умови вологого асфальту, 0.1 за умови голольоду).

Якщо ТЗ-1 рухається зі швидкістю 60 км/год, його гальмівний шлях становитиме:

$$S_1 = \frac{V^2}{250 \cdot K} = \frac{60^2}{250 \cdot 0.8} = 18 \text{ м}. \quad (2)$$

За умови сухого асфальту та миттєвої реакції водія на повідомлення від системи DSRC про небезпеку зіткнення вдасться уникнути аварії з ТЗ-2. Проте за умови наявності льоду на асфальті гальмівний шлях збільшиться і буде дорівнювати:

$$S_2 = \frac{V^2}{250 \cdot K} = \frac{60^2}{250 \cdot 0.1} = 144 \text{ м}. \quad (3)$$

За умови льодового покриття на асфальті ТЗ-1 не зможе завчасно отримати повідомлення про небезпеку, тому необхідне збільшення рівня сигналу DSRC в умовах щільної міської забудови. Для збільшення рівня сигналу на ділянках з обмеженою видимістю пропонується встановлювати дорожні станції DSRC на цих ділянках таким чином, щоб забезпечити максимальну зону покриття у небезпечних, з точки зору ДТП, місцях.

При встановленні дорожньої станції DSRC на стику ділянок з обмеженою видимістю отримано розподіл енергії поля, випромінюваного її передавачем, що наведений на рис. 4.

Виходячи з принципу роботи системи DSRC, ТЗ-2 відправляє повідомлення про своє місце знаходження усім іншим пристроям, що потрапляють у зону покриття рівня сигналу його модуля DSRC. В зону дії модуля ТЗ-2 потрапляє лише дорожня станція DSRC, яка ретранслює повідомлення від ТЗ-2 і відправляє його координати всім транспортним засобам, що потрапляють у її зону дії. Дорожня станція встановлена у зоні прямої видимості модулів, тому рівень сигналу від її модуля для обох транспортних засобів складає не менше ніж -66 дБм, що дозволяє ТЗ-1 завчасно отримати повідомлення про місцезнаходження ТЗ-2 і уникнути зіткнення навіть при наявності голо льоду.

Як слідує з рис. 5, максимальна відстань інформування у випадку відсутності завад становить близько 700 м. У дослідженні не було враховано завади у вигляді дерев, машин, людей та інших об'єктів дорожньої інфраструктури. При врахування усіх видів завад розподіл енергії поля буде меншим, що зменшить максимальну відстань виявлення. Встановлення дорожніх станцій в умовах обмеженої видимості збільшує максимальну відстань інформування, що надає змогу зупинити свій транспортний засіб завчасно, без виникнення аварійної ситуації.

ВИСНОВКИ. У роботі проведено аналіз можливостей системи DSRC для своєчасного попередження водіїв транспортних засобів про можливість зіткнення в умовах щільної міської забудови. Встановлено, що в умовах обмеженої видимості пристроїв DSRC, встановлених на транспортних засобах, недостатньо для забезпечення своєчасного інформування водіїв.

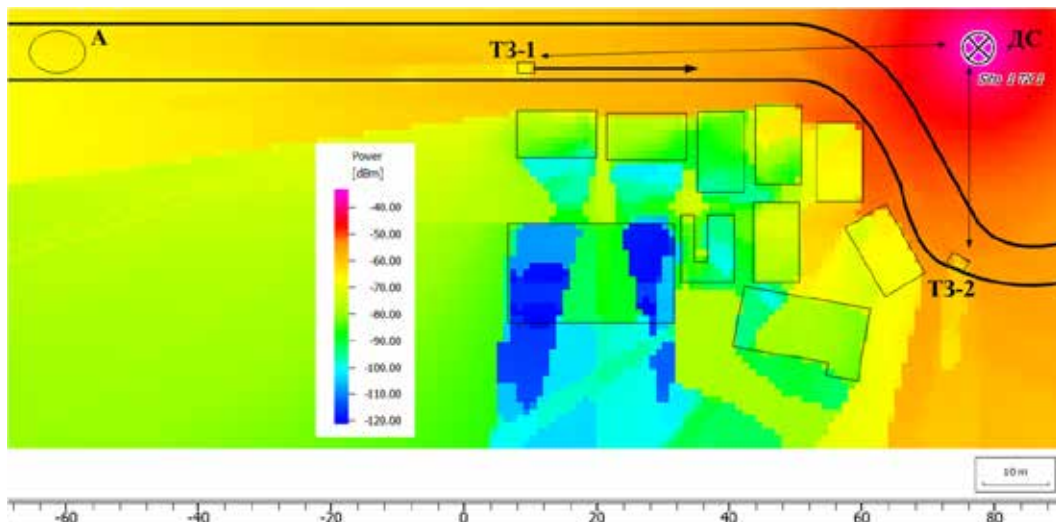


Рис. 4. Розподіл інтенсивності поля, випромінюваного передавачем дорожньої станції DSRC

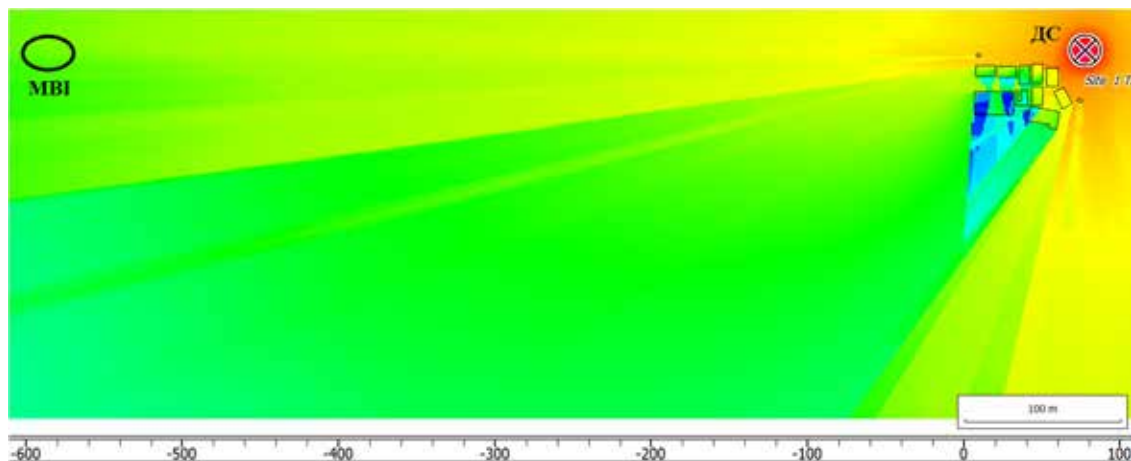


Рис. 5. Розподіл енергії поля, випромінюваного передавачем дорожньої станції DSRC

Для усунення цього недоліку запропоновано встановлювати дорожні станції DSRC у зонах обмеженої видимості у якості повторювачів сигналів транспортних засобів. Це дає змогу на прямих ділянках збільшити відстань впевненого зв'язку і дозволить завчасно отримати повідомлення про небезпеку, що особливо важливо в умовах мокрого або покритого льодом покриття.

ЛІТЕРАТУРА

1. Laboratory Division Office of Engineering and Technology Federal Communications Commission. Phase I testing of prototype U-NII-4 Devices. October, 2018. P. 20–21.
2. Dengzheng H., Ragad M. Development of IEEE 802.11p Transceiver in Simulink & Evaluation of the Electromagnetic Interference Effects. *Chalmers University of Technology*. 2014. P. 3–6.
3. Song G., Alvin L. An empirical Study of DSRC V2V Performance in Truck Platooning Scenarios. *Digital Communications and Networks*. 2. November, 2016.
4. Abdelgader A., Lenan W. The Physical Layer of the IEEE 802.11p WAVE Communication Standart: The Specifications and Challenges. *Proceedings of the World Congress on Engineering and Computer Science 2014*. October, 2014. V. 2. P. 691–698.
5. Oishi J., Saskura K., Watanabe T. A Communication Model for Inter-vehicle Communication Simulation Systems Based on Properties of Urban Areas. *IJCSNS International Journal of Computer Science and Network Security*. October 2006, V. 6. P. 213–219.
6. Mahajan A., Potnis N., Gopalan K., Wang A., Modeling VANET deployment in urban settings. *Proceedings of the 10th ACM Symposium on Modeling, Analysis, and Simulation of Wireless and Mobile Systems*. January 2007. P. 151–158.
7. Martinez F., Fogue M., Coll M., Cano J.-C., Calafate C., Manzoni P. Evaluating the Impact of a Novel Warning Message Dissemination Scheme for VANETs Using Real City Maps. *Networking 2010, 9th International IFIP TC 6 Networking Conference*. May 11–15, 2010. P. 265–267.
8. Jaktheerangkoon S., Nakorn K., Rojviboonchai K. Blind Corner Propagation Model for IEEE 802.11p Communication in Network Simulators. *Journal of Advanced Transportation*. 2018. P. 1–11.
9. Sommer C., Eckhoff D., Reinhard G., Dressler F. A Computationally Inexpensive Empirical Model of IEEE 802.11p Radio Shadowing in Urban Environments. *Eight International Conference on Wireless On-Demand Network Systems and Services*. 2011. P. 84–90.
10. Sun Q., Tan S. Y., Kah C. Teh. Analytical Formulae for Path Loss Prediction in Urban Street Grid Microcellular Environments. *IEEE transactions on vehicular technology*. July, 2005. V. 54. P. 1251–1258.
11. Jardosh P., Belding E., Almeroth K., Suri S. Towards Realistic Mobility Models For Mobile Ad hoc Networks. *Proceedings of the Annual International Conference on Mobile Computing and Networking, MOBICOM*. September, 2003. P. 217–229.
12. Otto J.S., Bustamante F.E., Berry R.A., Down the Block and Around the Corner. *29th IEEE International Conference on Distributed Computing Systems*. 2009. P. 605–614.

USING OF DSRC ROAD STATIONS TO IMPROVE TRAFFIC SAFETY IN URBAN AREAS

Vladyslav Pavliuchenko

Postgraduate Student at the Department of Acoustic and Multimedia Electronic Systems

National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”, Peremohy ave., 37, Kyiv, Ukraine, 03056, pva20200929-ames24@iill.kpi.ua

ORCID: 0000-0002-7481-9719

Volodymir Makarenko

Candidate of technical sciences, senior researcher, associate professor at the Department of Acoustic and Multimedia Electronic Systems

National Technical University of Ukraine "I. Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Peremohy ave., 37, Kyiv, Ukraine, 03056, mvv00610-ames@lil.kpi.ua

ORCID: 0000-0003-1232-5198

Purpose. The use of DSRC technology for communication between vehicles, road infrastructure, and pedestrians can significantly reduce the risk of traffic accidents. The main purpose of this work is to study the capabilities of the technology to prevent road accidents in dense urban areas with no direct visibility between traffic objects. **Methodology.** The study was conducted using simulation modeling of urban infrastructure and DSRC system in the Altair WinProp software environment. **Findings.** The work examines the potential possibilities of preventing car collisions with a complex configuration of streets and a large number of buildings between them. It is shown that the use of DSRC devices for data exchange between cars in dense urban areas is not enough to promptly inform drivers. To eliminate this disadvantage, it is proposed to use DSRC road stations for signal retransmission, installing them in places that are the most difficult in terms of signal distribution. **Originality.** The paper shows the influence of street configuration and urban development on the propagation of the energy field of DSRC transmitters. **Practical value.** The simulation results can be used in the design of the DSRC network in urban areas. **Conclusions.** It is established that in conditions of limited visibility, DSRC devices installed on vehicles are not enough to provide timely information to drivers. To eliminate this drawback, it is proposed to install DSRC road stations in areas of limited visibility as repeaters of vehicle signals. This makes it possible to increase the distance of reliable communication and will allow receiving a message about danger in advance, which is especially important in conditions of wet or icy road surfaces.

Key words: DSRC technology, urban development, signal sensitivity, signal strength, propagation of the signal.

REFERENCES

1. Laboratory Division Office of Engineering and Technology Federal Communications Commission (2018). Phase I testing of prototype U-NII-4 Devices. pp. 20–21.
2. Dengzheng, H., Ragad, M. (2014). Development of IEEE 802.11p Transceiver in Simulink & Evaluation of the Electromagnetic Interference Effects. *Chalmers University of Technology*. pp. 3–6.
3. Song, G., Alvin, L. (2016). An empirical Study of DSRC V2V Performance in Truck Platooning Scenarios. *Digital Communications and Networks*. 2. pp. 1–20.
4. Abdelgader, A., Lenan, W. (2014). The Physical Layer of the IEEE 802.11p WAVE Communication Standart: The Specifications and Challenges. *Proceedings of the World Congress on Engineering and Computer Science 2014*. V. 2. pp. 691–698.
5. Oishi, J., Saskura, K., Watanabe, T. A. (2006). Communication Model for Inter-vehicle Communication Simulation Systems Based on Properties of Urban Areas. *IJCSNS International Journal of Computer Science and Network Security*. V.6. pp. 213–219.
6. Mahajan, A., Potnis, N., Gopalan, K., Wang, A. (2007). Modeling VANET deployment in urban settings. *Proceedings of the 10th ACM Symposium on Modeling, Analysis, and Simulation of Wireless and Mobile Systems*. pp. 151–158.
7. Martinez, F., Fogue, M., Coll, M., Cano, J.-C., Calafate, C., Manzoni, P. (2010). Evaluating the Impact of a Novel Warning Message Dissemination Scheme for VANETs Using Real City Maps. *Networking 2010, 9th International IFIP TC 6 Networking Conference*. pp. 265–267.
8. Jaktheerangkoon, S., Nakorn, K., Rojviboonchai, K. (2018). Blind Corner Propagation Model for IEEE 802.11p Communication in Network Simulators. *Journal of Advanced Transportation*. pp. 1–11.
9. Sommer, C., Eckhoff, D., Reinhard, G., Dressler, F. (2011). A Computationally Inexpensive Empirical Model of IEEE 802.11p Radio Shadowing in Urban Environments. *Eight International Conference on Wireless On-Demand Network Systems and Services*. pp. 84–90.
10. Sun, Q., Tan, S. Y., Kah, C. (2005). Analytical Formulae for Path Loss Prediction in Urban Street Grid Microcellular Environments. *IEEE transactions on vehicular technology*. V. 54. pp. 1251–1258.
11. Jardosh, P., Belding, E., Almeroth, K., Suri, S. (2003). Towards Realistic Mobility Models For Mobile Ad hoc Networks. *Proceedings of the Annual International Conference on Mobile Computing and Networking, MOBICOM*. pp. 217–229.
12. Otto, J.S., Bustamante, F.E., Berry, R.A. (2009). Down the Block and Around the Corner. 29th IEEE International Conference on Distributed Computing Systems. pp. 605–614.

Стаття надійшла 12.08.2022