

УДК 621.371.344

**В.В. ПІЛІНСЬКИЙ, О.С. РАТУШНИЙ, Д.В. ТІТКОВ****АНАЛІЗ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОЇ ОБСТАНОВКИ ПРИСТРОЇВ ІНТЕРНЕТУ РЕЧЕЙ У ПРИМІЩЕННІ**

У статті досліджено електромагнітну обстановку в приміщенні офісу, де розташовано три прийнятно-передавальні Wi-Fi пристрої (IoT модулі, точки доступу, або маршрутизатори). Програмне середовище Tamograph Site Survey Evaluation, яким проведено дослідження, надає можливість створити довільну схему приміщення та розташувати у відповідному місці прийнятно-передавальні Wi-Fi пристрої (маршрутизатори (роутери), точки доступу, тощо) та змоделювати електромагнітну обстановку у різних режимах для різних налаштувань. Для дослідження обрано офіс з двома залами та іншими приміщеннями, обладнаними Wi-Fi маршрутизаторами, що працюють за стандартом 802.11n. Wi-Fi маршрутизатор обрано об'єктом дослідження, як компонент технології Інтернету речей, що з'єднані між собою та всесвітньою мережею безпроводовими засобами. Розповсюдженим способом з'єднання є технологія Wi-Fi, а маршрутизатори пристроями, що надають змогу керувати різними датчиками та іншими елементами, зокрема, «розумного дому». Дослідження проведено зі зміною параметрів маршрутизаторів, а саме зі зміною робочої частоти (зміна каналів). Наведено плани приміщення із рівнем сигналу, відношенням сигнал/завада за різних налаштувань. У результаті аналізу показано, що електромагнітною обстановкою можна керувати, налаштування апаратури може суттєво її покращити.

**Ключові слова:** електромагнітна сумісність, EMC, електромагнітна обстановка, ЕМО, Wi-Fi маршрутизатор, Інтернет речей.

**В.В. ПИЛИНСКИЙ, А.С. РАТУШНЫЙ, Д.В. ТИТКОВ****АНАЛИЗ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ОБСТАНОВКИ УСТРОЙСТВ ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ В ПОМЕЩЕНИИ**

В статье исследована электромагнитная обстановка у в помещении офиса, где расположены приемно-передающие Wi-Fi устройства (IoT модули, точки доступа, или маршрутизаторы). Исследование проведено в программной среде Tamograph Site Survey Evaluation, что дает возможность создать любую схему помещения и разместить в соответствующем месте приемно-передающие Wi-Fi устройства (маршрутизаторы (роутеры), точки доступа, т.п.) и смоделировать электромагнитную обстановку в различных режимах с изменениями настроек. Для исследования выбран офис с двумя залами и другими помещениями, оборудованными Wi-Fi маршрутизаторами, работающими по стандарту 802.11n. Wi-Fi маршрутизатор избран объектом исследования, как компонент, технологии, Интернета вещей, которые соединены между собой и всемирной сетью беспроводной способом. Распространенным способом соединения является технология Wi-Fi, а маршрутизатор предоставляют возможность управлять различными датчиками и другими элементами, в частности, умного дома. Исследование проведено с изменением параметров маршрутизаторов, а именно с изменением рабочей частоты (изменение каналов). Приведены планы помещения с уровнем сигнала, отношением сигнал / помеха при различных настройках. В результате анализа показано, что электромагнитной обстановкой можно управлять, изменение настроек аппаратуры может существенно ее улучшить.

**Ключевые слова:** электромагнитная совместимость, EMC, электромагнитная обстановка, ЕМО, Wi-Fi маршрутизатор, Интернет вещей.

**V.V. PILINSKY, O.S. RATUSHNYI, D.V. TITKOV****ANALYSIS OF THE ELECTROMAGNETIC ENVIRONMENT OF INTERNET OF THINGS DEVICES INDOORS**

The article investigates the electromagnetic environment in the office where the transceivers are located (three Wi-Fi routers). The Tamograph Site Survey Evaluation software environment allows you to create an arbitrary map or room layout and place the receiving and transmitting devices (routers, encoders, etc.) in the appropriate location and simulate the electromagnetic environment in different modes with, changes settings. For the study, an office with two rooms and other rooms equipped with Wi-Fi routers that operate on the 802.11n standard was selected. A Wi-Fi router is chosen as a research object as a component of technology, including the Internet of Things, which is connected to each other and to the World Wide Web. Wi-Fi technology is a common way of connecting, and routers are nowadays so-called smart devices that allow you to control different sensors and other elements, such as a smart home. The study was performed by changing the parameters of the routers, namely by changing the operating frequency, ie channels. Shows floor plans with signal level, signal / interference ratio for different settings. The result of the analysis showed that the electromagnetic environment can be controlled, it can be favorable after tuning various devices.

**Keywords:** electromagnetic compatibility, EMC, electromagnetic environment, EME, Wi-Fi router, Internet of things.

**Постановка проблеми.** Особливою ознакою сьогодення є безперервне експоненціальне зростання застосування електронного обладнання, більша частина

якого містить вбудовані перетворювачі енергії, генератори, передавачі, приймачі тощо. Це прилади для широкого спеціального та побутового користування і

пристрої, що безпосередньо впливають на розвиток технології Інтернету речей (Internet of Things–IoT [1]) та поступово змінюють звичне інформаційне середовище [2]. Зростання кількості пристроїв, оснований на передаванні-прийманні радіосигналів, суттєво ускладнило забезпечення їх працездатності, особливо з урахуванням впливу електромагнітних завад, що виникають під час роботи спільно та/або на відстані розташованих пристроїв. Звідси випливає, що подібні пристрої необхідно трактувати, як емітери неумисних електромагнітних завад і, як рецептори завад, тобто, є чутливими до зовнішнього впливу емісії від інших приладів з навколишнього середовища та за кондуктивними колами. Тобто розробник електричного або електронного обладнання має бути професійно обізнаним із вимогами та засадами забезпечення електромагнітної сумісності (ЕМС) [3] на основі даних, наведених у технічних характеристиках. Вони пов'язані зі стандартами, перелік деяких наведено у [2], яким мають відповідати розроблені вироби. Інакше вироби не можливо поставляти на ринки країн Європейської співдружності [4]. Виконання вимог, стандартів, щодо забезпечення ЕМС та електробезпеки є обов'язковими – їх контролюють відповідні органи з сертифікації конкретного виду продукції.

**Аналіз публікацій.** У роботі [2] обґрунтовано особливості щодо забезпечення ЕМС внаслідок стрімкого зростання кількості безпроводових пристроїв. У цій роботі також наведено прогноз розвитку технології Інтернету речей. Вказано, що пристрої Інтернету речей з'єднують між собою безпроводників з використанням багатьох стандартів зв'язку, таких як Wi-Fi, Zigbee, LoRaWAN, NFC, Bluetooth та інші. У роботі [2] логічно показано хронологію створення стандартів щодо забезпечення електромагнітної сумісності та обґрунтовано необхідність їх постійного оновлення за координацією Міжнародної електротехнічної комісії з Регіональними та Національними структурами.

У роботі [5] наведено математичний спосіб оцінювання забезпечення електромагнітної сумісності.

Важливим етапом розв'язання задачі забезпечення ЕМС є прогнозування електромагнітної обстановки (ЕМО). З появою нових пристроїв, збільшують вимоги до оцінки ЕМО. Саме тому потрібно завжди розвивати дослідження у цій галузі.

**Мета статті.** Дослідити електромагнітну обстановку в офісному приміщенні, та довести можливість її покращення.

**Налаштування програми.** Дослідження виконують на основі програмного середовища Tamograph Site Survey Evaluation [6], яке дає змогу скласти будь-яку схему приміщення та розташувати у відповідному місці на схемі приймально-передавальні пристрої (маршрутизатори, датчики з Wi-Fi модулем, тощо) та змодельовати електромагнітну обстановку, це можна робити зміненням їх налаштування. Як об'єкт дослідження обрано офісне приміщення (рис. 1) [7]. Потрібно виконати відповідні налаштування.

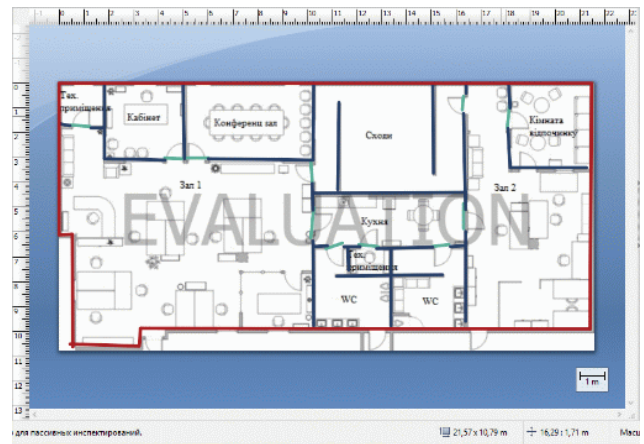


Рисунок 1 – План приміщення

Моделювання виконано для звичайного офісного приміщення, це тип ЕМО приміщення з суттєвим загасанням сигналу (рис. 2).

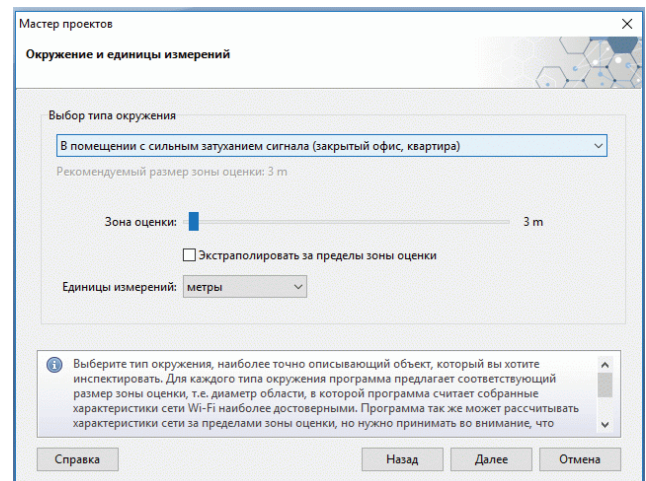


Рисунок 2 – Попередні налаштування програми

Для приміщення потрібно провести налаштування перешкод: стін, дверей.

Наступний етап – розташування Wi-Fi пристроїв у приміщенні. Місця для маршрутизаторів необхідно обрати так, щоб вони розповсюджували сигнал на усій площі офісу. Робочі частоти маршрутизаторів обрано у діапазонах 2,4 ГГц та 5 ГГц, відповідно до стандарту 802.11n [8]. Маршрутизатори розташовано у центрі зали 1, зали 2 та у кабінеті.

**Моделювання електромагнітної обстановки.** Після налаштування проведено моделювання за [6] рівня сигналу, результати показано на рис. 3 та для інших ситуацій у [9].

Кольорові позначення для рівня сигналу у програмі визначають за шкалою, яку наведено унизу кожного зображення екрану.

Розподіл сигналу на рис. 3 (червоний колір означає сигнал менший за -80 дБм, а синій – більше -20 дБм) можна зробити висновок, що трьох маршрутизаторів достатньо щоб покрити Wi-Fi сигналом увесь офіс.

Виконано аналіз приміщення щодо відношення сигнал-завада. Результат наведено на рис. 4.

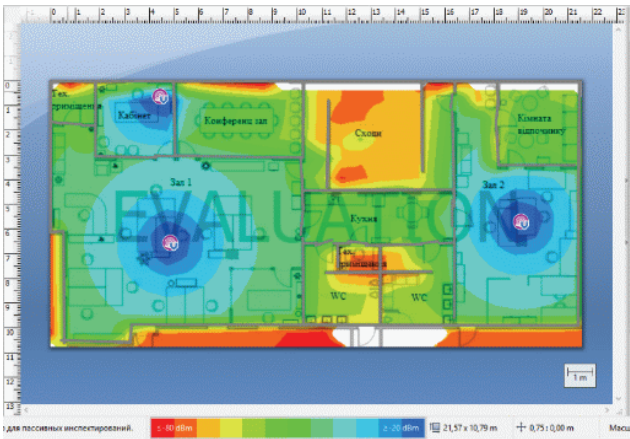


Рисунок 3 – Розподіл рівня сигналу

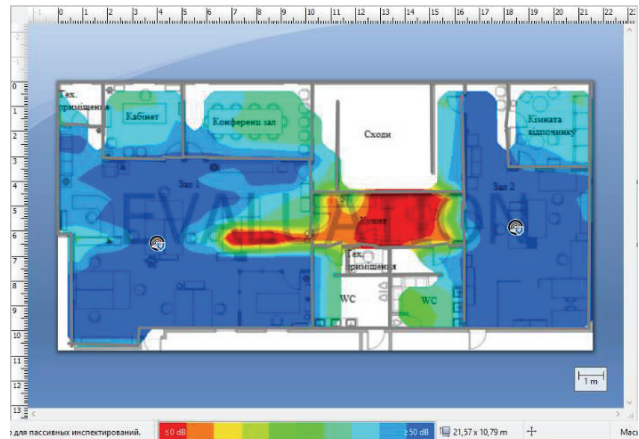


Рисунок 4 – Розподіл відношення сигнал-завада

Для відношення сигнал-завада червоний колір – менше 0 дБ, а синій – більше 50 дБ. Як впливає з рис. 4 ЕМО у приміщенні офісу сприйнятлива, тобто ЕМС майже забезпечено. Проте на кухні маршрутизатори заважають один одному – рівень завад у цій зоні більший. Це можна пояснити тим, що для маршрути-

заторів, які працюють у діапазоні частот 5 ГГц за стандартом 802.11n, стандартними налаштуваннями визначено діапазон каналів 36-40 з близькими частотами (рис. 5, а). Змінимо діапазон каналів на одному із маршрутизаторів на 100-104, як показано на рис. 5, б.

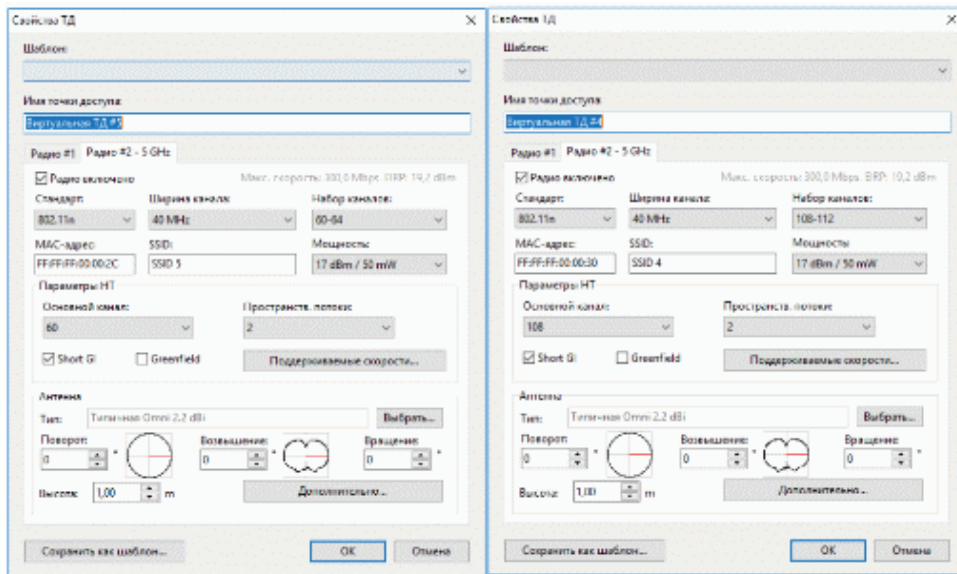


Рисунок 5 – Налаштування роутера: а – стандартні, б – змінені

Результати моделювання наведено на рис. 6.

Після зміни діапазону каналів на другому маршрутизаторі маршрутизатори не заважають один одному (рис. 6). Це пов'язано з тим, що після проведення налаштувань вони працюють у різних частотних діапазонах.

За стандартом 802.11 маршрутизатори можуть працювати також у діапазоні 2,4 ГГц. Тому проведено дослідження для сигналу від трьох маршрутизаторів, що працюють у діапазоні 2,4 ГГц. Результат моделювання рівня сигналу від трьох маршрутизаторів за стандартними налаштуваннями наведено на рис. 7, а. Результат моделювання відношення сигнал-завада наведено на рис. 7. У порівнянні з маршрутизаторами, що працюють на частоті 5 ГГц, ці маршрутизатори мають краще поширення сигналу, але й створюють

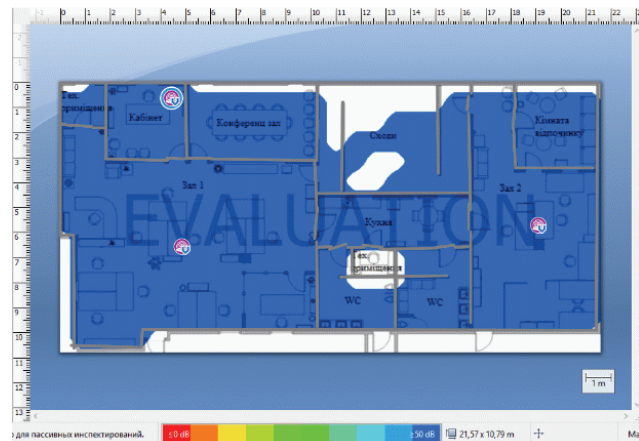


Рисунок 6 – Рівень відношення сигналу до завади після зміни каналів на маршрутизаторах



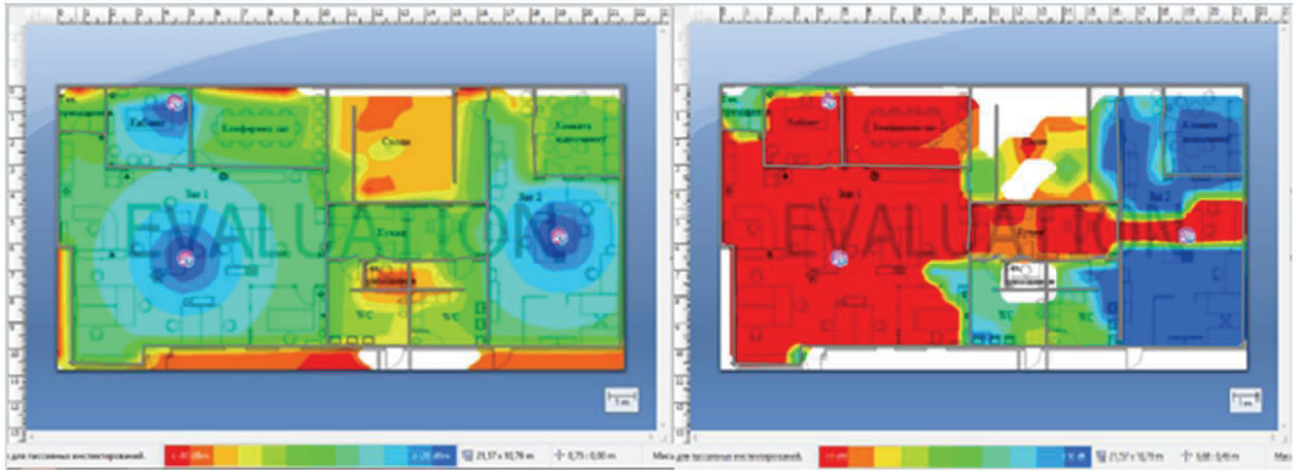


Рисунок 7 – Моделювання: а – рівня сигналу; б – відношення сигнал-завада

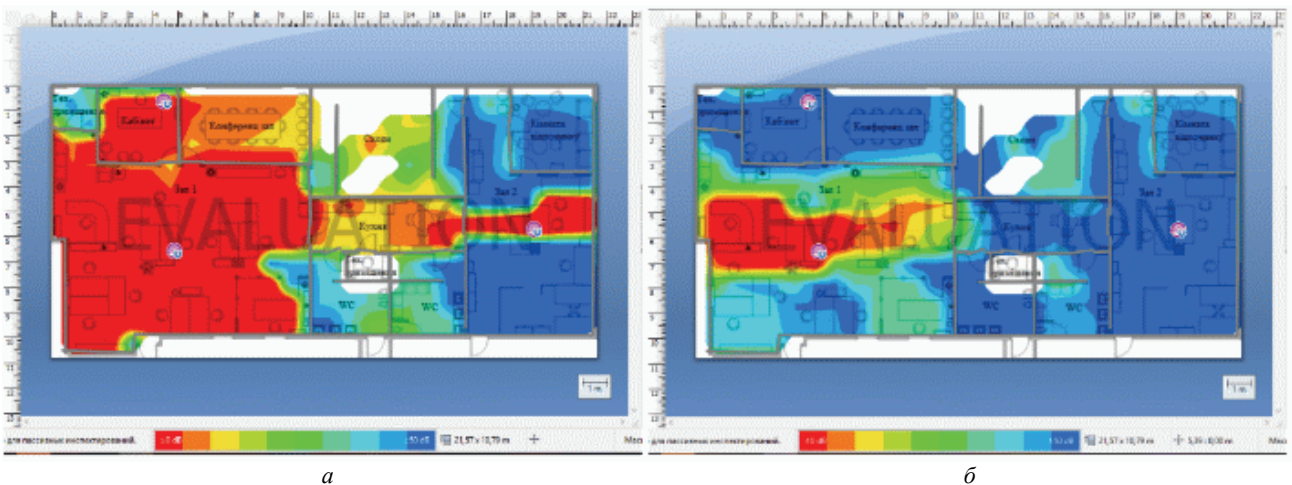


Рисунок 8 – Результат моделювання: а – на 4-ому каналі; б – на 6-ому каналі

завади більшого рівня. За стандартними налаштуваннями маршрутизатори на частоті 2,4 ГГц працюють у 1-ому каналі. Змінимо на маршрутизаторі у залі 1 канал на четвертий.

Як результат ЕМО в офісі майже не змінилась. Замінімо канали на тому ж маршрутизаторі спочатку на 4-ий потім на 6-ий рис. 8.

ЕМО покращено після того, як канал маршрутизатора змінено на 6-ий. Це пов'язано з тим що за стандартом 802.11n канали розбивають за частотами, що показано на рис. 9.

1	2.401	2.412	2.423
2	2.406	2.417	2.428
3	2.411	2.422	2.433
4	2.416	2.427	2.438
5	2.421	2.432	2.443
6	2.426	2.437	2.448
7	2.431	2.442	2.453
8	2.436	2.447	2.458
9	2.441	2.452	2.463
10	2.446	2.457	2.468
11	2.451	2.462	2.473
12	2.456	2.467	2.478
13	2.461	2.472	2.483

Рисунок 9 – Частотний план за стандартом 802.11n

Отже заміненнями каналів, наприклад: налаштуємо другий маршрутизатор на 7 канал, а третій на 12. У результаті стан електромагнітної обстановки у офісі суттєво змінено на більш сприйнятливий.

Можна зробити висновок, що у діапазоні 2,4 ГГц змінення каналів така ж ефективна як і у діапазоні 5 ГГц. Лише треба враховувати відповідний частотний план і переналаштовувати канали за ним.

За необхідності аналізу ЕМО у кондуктивних колах доцільно застосувати інформацію, наведену у роботі [10], де запропоновано рекомендації та засоби зменшення електромагнітних завад у колах електроживлення. Конкретну методику обрання мережевих протизавадних фільтрів на основі баз даних відомих провідних фірм розробників фільтрів наведено у роботі [11].

### Висновки

1. Досліджено електромагнітну обстановку у офісі, в якому розташовано 3 Wi-Fi маршрутизатори, що працюють у діапазонах частот 2,4 ГГц та 5 ГГц. За раціональної зміни каналів на маршрутизаторах, електромагнітну сумісність гарантовано забезпечено.

2. Обґрунтовано, яким чином на прикладі діапазону 2,4 ГГц, раціонально змінювати канали задля

формування сприйнятливої ЕМО.

3. Показано, що для покращення ЕМО необхідно скласти частотний план, за яким налаштувати усі маршрутизатори у приміщенні, що забезпечить позитивний результат навіть за умови дуже щільного розташування обладнання.

#### Список літератури

1. *Kia Wiklundh, Peter Stenumgaard* EMC Challenges for the Internet of Things. EMC EUROPE 2017, Angers, France, September 4-8, 2017.

2. *Рентюк В.* Электромагнитная совместимость: проблема, от которой не уйти. Компоненты и технологии. 2017. № 7. С. 4-5

3. ДСТУ ІЕС 60050-161. Словник електротехнічних термінів. Электромагнітна сумісність. Київ: Держспоживстандарт України, 2005. 60 с.

4. Directive 2014/30/EU of 26 February 2014 on the harmonization of the laws of the Member States relating to electromagnetic compatibility (recast)(in short referred to as «the EMC Directive»).

5. *Козирацький Ю.Л., Иванцов А.В., Мамаджян Е.А.* Метод оперативной оценки радиоэлектронной обстановки в интересах обеспечения скрытности и электромагнитной совместимости радиоэлектронных средств. Журнал сибирского федерального университета «Инженерия та технології». 2018. № 11(3). С. 256-262.

6. Офіційний сайт розробника Tamograph Site Survey. URL: <https://www.tamos.ru/products/wifi-site-survey/> (дата звернення 05.06.2019).

7. <https://elvnxfint.appspot.com/shema-planirovki-ofisa.html/> (дата звернення 05.06.2019).

8. IEEE 802.11-2016 - IEEE Standard for Information technology--Telecommunications and information exchange between systems Local and metropolitan area networks--Specific requirements - Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications.

9. *Ратушний О.С.* Особливості забезпечення електромагнітної сумісності пристроїв Інтернету речей: дипломна робота рівня бакалавр. Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського». Київ: 2019. 63 с.

10. *Векслер Г.С., Недочетов В.С., Пилинський В.В.* и др. Подавление электромагнитных помех в цепях электропитания. Киев: Техника, 1990. 167 с.

11. *Пілінський В.В., Тітков Д.В., Ратушний О.С.* Effective approach to the selection of mains radio frequency interference filters. Электромагнітна сумісність та безпека на залізничному транспорті. 2018. № 15. С. 27-30.

#### References (transliterated)

1. *Kia Wiklundh, Peter Stenumgaard* EMC Challenges for the Internet of Things. EMC EUROPE 2017, Angers, France, September 4-8, 2017.

2. *Rentyuk V.* Elektromagnitnaya sovmestimost: problema, ot kotoroj ne uiti. Komponenty i tehnologii 2017. № 7. S. 4-5

3. DSTU IEC 60050-161. Slovník elektrotechnických terminů. Elektromagnitna sumisnist. Kyiv: Derzspozhyvstandart Ukrainy. 2005. 60 s.

4. Directive 2014/30/EU of 26 February 2014 on the harmonization of the laws of the Member States relating to electromagnetic compatibility (recast)(in short referred to as «the EMC Directive»).

5. *Koziratskiy Yu.L., Ivantsov A.V., Mamadzhanyan E.A.* Metod operativnoy otsenki radioelektronnoy obstanovki v interesah obespecheniya skryitnosti i elektromagnitnoy sovmestimosti radioelektronnykh sredstv. Zhurnal sibirskogo federalnogo universitetu «Inzheneriya ta tehnologiyi». 2018. № 11(3). P. 256-262.

6. Ofitsijnij sayt rozrobnika Tamograph Site Survey. URL: <https://www.tamos.ru/products/wifi-site-survey/> (access date 05.06.2019).

7. <https://elvnxfint.appspot.com/shema-planirovki-ofisa.html/> access date 05.06.2019).

8. IEEE 802.11-2016 - IEEE Standard for Information technology--Telecommunications and information exchange between systems Local and metropolitan area networks--Specific requirements - Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications.

9. *Ratushny O.S.* Osoblivosti zabezpechennya elektromagnitnoyi sumisnosti pristroyiv Internetu rechet: diplomna robota rivnya bakalavr Natsionalnogo tehnicnogo universitetu Ukraini «Kiyivskiy politehnicnij institut imeni Igorya Sikorskogo». Kyiv: 2019. 63 p.

10. *Veksler G.S., Nedochetov V.S., Pilynskiy V.V.* i dr. Podavlenie elektromagnitnykh pomeh v tsepyah elektropitaniya. Kyiv: Tehnika, 1990. 167 p.

11. *Pillinskiy V.V., Titkov D.V., Ratushny O.S.* Effective approach to the selection of mains radio frequency interference filters. Elektromagnitna sumisnist ta bezpeka na zaliznichnomu transporti. 2018. № 15. P. 27-30.

Надійшла (received) 22.06.2019

#### Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

**Пілінський Володимир Володимирович (Пилинский Владимир Владимирович, Pilinsky Vladimir Vladimirovich)** – кандидат технічних наук, професор Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Київ, Україна; ORCID:0000-0002-2569-9503, тел.: (095) 276-92-70; e-mail: [pww@ukr.net](mailto:pww@ukr.net)

**Ратушний Олексій Сергійович (Ратушний Алексей Сергеевич, Ratushnyi Oleksii Serhiiovych)** – бакалавр, студент Національного технічного університету України Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Київ, Україна; тел.: (066)-879-28-43; e-mail: [ratushny.aleksey@gmail.com](mailto:ratushny.aleksey@gmail.com)

**Тітков Дмитро Валерійович (Титков Дмитрий Валериевич, Titkov Dmitro Valeriiovych)** – асистент Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Київ, Україна; ORCID: 0000-0002-7491-6754; e-mail: [titkov@ukr.net](mailto:titkov@ukr.net)