

УДК 537.868:621.396.67:621.316

DOI <https://doi.org/10.32782/IT/2025-1-20>

Михайло МАЛЕЖИК

доктор фізико-математичних наук, професор, професор кафедри комп'ютерної та програмної інженерії, Український державний університет імені Михайла Драгоманова, вулиця Пирогова, 9, м. Київ, Україна, 02000

ORCID: 0000-0001-8507-4700

Владислав ШМОРГУН

старший викладач фахового коледжу, Київський університет інтелектуальної власності та права Національного університету «Одеська юридична академія», Харківське шосе, 210, м. Київ, Україна, 02121

ORCID: 0009-0005-1846-0122

Бібліографічний опис статті: Малежик, М., Шморгун, В. (2025). Вплив електромагнітного випромінювання на електричні сигнали низької напруги: механізми взаємодії та практичні аспекти протидії. *Information Technology: Computer Science, Software Engineering and Cyber Security*, 149–155, doi: <https://doi.org/10.32782/IT/2025-1-20>

ВПЛИВ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ НА ЕЛЕКТРИЧНІ СИГНАЛИ НИЗЬКОЇ НАПРУГИ : МЕХАНІЗМИ ВЗАЄМОДІЇ ТА ПРАКТИЧНІ АСПЕКТИ ПРОТИДІЇ

Статтю присвячено сучасному дослідженню впливу електромагнітного випромінювання на комп'ютерні системи та розгляду механізмів відслідковування впливів на провідники низької напруги.

Метою статті є визначення практичних аспектів протидії шкідливому електромагнітному впливу на системи комунікацій і комп'ютерні системи.

Методологія. У ході дослідження виконано розрахунки впливу електромагнітного випромінювання на низьковольтні системи, зокрема комп'ютерні, а також його шкідливий вплив на об'єкти телекомунікацій. Проаналізовано можливості та значення засобів захисту від випромінювання для визначення їх оптимального обсягу, необхідного для забезпечення стабільної роботи таких систем. Запропоновані підходи дають змогу адаптувати захисні методи відповідно до характеру та масштабу електромагнітних загроз, враховуючи особливості комп'ютерних систем.

Наукова новизна даного дослідження полягає в наступному: було розглянуто нові механізми взаємодії низькострумових систем, проведено аналіз раніше не опрацьованих механізмів впливу електромагнітного випромінювання (ЕМВ) на низьковольтні електричні сигнали, обґрунтовано та розглянуто інноваційні підходи до екранування та фільтрації впливу ЕМВ, використання матеріалів із новими електромагнітними властивостями (наприклад, метаматеріалів) для підвищення ефективності захисту. Щодо практичних аспектів – була проведена оцінка ефективності традиційних і нових методів захисту в реальних експлуатаційних умовах.

З огляду на постійний розвиток новітніх технологій, розглянуто різноманітні механізми цієї взаємодії, такі як електромагнітна індукція, шумове випромінювання та загальний вплив електромагнітного поля на параметри електричних ланцюгів і мікросхем. Особливу увагу приділено практичним аспектам протидії негативному впливу електромагнітних перешкод. Важливим напрямом в дослідженні даної теми є розгляд сучасних методів екранування комп'ютерних систем, фільтрації шкідливих сигналів та конструктивних рішень, що підвищують стійкість електронних пристроїв і систем низької напруги до впливу електромагнітного випромінювання різних частот.

Описано внесок М. А. Річардса, В. А. Холмса в теорію радіолокації, перетворення завадових електромагнітних сигналів, алгоритми їх обробки та застосування у електронних низькострумових системах.

Висновки. За результатами даного дослідження було рекомендовано до впровадження для захисту систем з низькими напругами певні методи такі як:

екранування матеріалами з високою електропровідністю, LC – фільтрація, використання поглинаючих покриттів, застосування активних систем, що генерують антифазні сигнали для придушення небажаного випромінювання тощо.

Дослідження демонструє успішне застосування та систематизацію знань щодо впливу електромагнітних перешкод на обчислювальну техніку та телекомунікаційні системи і надає інформацію, яка може лягти в основу подальших досліджень та розробок у цьому напрямку фізики.

Ключові слова: електромагнітне випромінювання, електричні сигнали, електромагнітна сумісність, екранування, фільтрація сигналів, протидія ЕМВ, комп'ютерні системи, захист електроніки.

Mykhailo MALEZHYK

Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Professor at the Department of Computer and Software Engineering, Dragomanov Ukrainian State University, 9, Pyrogova Str., Kyiv, Ukraine, 02000
ORCID: 0000-0001-8507-4700

Vladyslav SHMORGUN

Senior Lecturer at a Vocational College, Kyiv University of Intellectual Property and Law of the National University "Odesa Law Academy", 210, Kharkivske highway, Kyiv, Ukraine, 02121
ORCID: 0009-0005-1846-0122

To cite this article: Malezhyk, M., Shmorgun, V. (2025). Vplyv elektromagnitnoho vyprominiuvannia na elektrychni syhnaly nyzkoi napruhy: mekhanizmy vzaiemodii ta praktychni aspekty protydii [The influence of electromagnetic radiation on low voltage electrical signals: mechanisms of interaction and practical aspects of counteraction]. *Information Technology: Computer Science, Software Engineering and Cyber Security*, 149–155, doi: <https://doi.org/10.32782/IT/2025-1-20>

THE INFLUENCE OF ELECTROMAGNETIC RADIATION ON ELECTRICAL SIGNALS: MECHANISMS OF INTERACTION AND PRACTICAL ASPECTS OF COUNTERACTION

The article is devoted to the modern study of the influence of electromagnetic radiation on computer systems and the consideration of mechanisms for tracking the effects on low-voltage conductors.

The purpose of the article is to determine practical aspects of countering harmful electromagnetic effects on communication systems and computer systems.

Methodology. During the study, calculations were made of the influence of electromagnetic radiation on low-voltage systems, in particular computer systems, as well as its harmful effects on telecommunications facilities. The capabilities and significance of radiation protection measures were analyzed to determine their optimal volume, necessary to ensure stable operation of such systems. The proposed approaches make it possible to adapt protective methods in accordance with the nature and scale of electromagnetic threats, taking into account the characteristics of computer systems.

The scientific novelty of this study is as follows: new mechanisms of interaction of low-current systems were considered, previously unexplored mechanisms of influence of electromagnetic radiation (EMR) on low-voltage electrical signals were analyzed, innovative approaches to shielding and filtering of EMR influence were substantiated and considered, the use of materials with new electromagnetic properties (for example, metamaterials) to increase the effectiveness of protection was justified. Regarding practical aspects, the effectiveness of traditional and new protection methods in real operating conditions was assessed. Given the constant development of new technologies, various mechanisms of this interaction were considered, such as electromagnetic induction, noise radiation and the general influence of the electromagnetic field on the parameters of electrical circuits and microcircuits. Particular attention is paid to practical aspects of counteracting the negative impact of electromagnetic interference. An important direction in the study of this topic is the consideration of modern methods of shielding computer systems, filtering harmful signals and design solutions that increase the resistance of electronic devices and low-voltage systems to the influence of electromagnetic radiation of various frequencies.

The contribution of M.A. Richards, V.A. Holmes to the theory of radar, conversion of interfering electromagnetic signals, algorithms for their processing and application in electronic low-current systems is described.

Conclusions. According to the results of this study, certain methods were recommended for the protection of low-voltage systems, such as:

shielding with materials with high electrical conductivity, LC – filtration, the use of absorbing coatings, the use of active systems that generate antiphase signals to suppress unwanted radiation, etc.

The study demonstrates the successful application and systematization of knowledge regarding the impact of electromagnetic interference on computing and telecommunication systems and provides information that can form the basis for further research and development in this area of physics.

Key words: electromagnetic radiation, electrical signals, electromagnetic compatibility, shielding, signal filtering, EMI countermeasures, computer systems, electronics protection.

Актуальність проблеми. Дослідження цієї теми в умовах війни України є стратегічно важливим у контексті енергетики та промисловості. Збої у роботі ключових державних органів і цифрових баз даних через вплив електромагнітного випромінювання можуть мати катастрофічні наслідки. Тому створення рішень для забезпечення

стійкості систем до електромагнітних перешкод є пріоритетним завданням. Забезпечення електромагнітної сумісності є ключовим напрямом у розробці сучасної електроніки в Україні.

Вивчення механізмів впливу електромагнітного випромінювання на електричні сигнали низької напруги дозволяє створювати ефективні

засоби захисту від перешкод. Це особливо важливо для таких критичних сфер, як медичне обладнання, авіоніка, системи управління авіацією, банківські системи та системи проти-повітряної оборони. Окрім того, дослідження впливу випромінювання на технічні системи та здоров'я людини стають актуальними через впровадження 5G, Starlink та інших комунікаційних технологій.

Дослідження взаємодії випромінювання з біологічними тканинами може допомогти оцінити ризики тривалого впливу на здоров'я людини, що є важливим для визначення безпечних норм експлуатації сучасних технологій.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Проблема впливу електромагнітного випромінювання на електричні сигнали активно досліджується впродовж останніх десятиліть у зв'язку з розвитком високотехнологічних галузей, зокрема телекомунікацій, радіоелектроніки, комп'ютерної техніки та автоматизованих систем управління. Серед ключових напрямів досліджень варто виокремити роботи, присвячені вивченню механізмів взаємодії електромагнітного випромінювання з різними типами матеріалів, які застосовуються в електронних компонентах. Наприклад, дослідження впливу електромагнітного поля на напівпровідникові пристрої, проведені в межах аналізу стабільності роботи мікроелектроніки, підкреслюють критичну важливість захисту від зовнішніх впливів. Значний внесок зроблено у сферу аналізу електромагнітної сумісності (EMS), зокрема у роботах, які розглядають способи екранування та фільтрації високочастотних перешкод, таких як праці К. Поля (2018) та М. Шилова (2020). У них автори наголошують на важливості моделювання впливу електромагнітного випромінювання для прогнозування його наслідків у реальних умовах експлуатації.

Дослідження, що фокусуються на джерелах електромагнітного випромінювання, таких як антени, генератори чи побутові електронні пристрої, також є важливими. Зокрема, у роботах Р.Джонсона (2021) та Н. Лі (2022) досліджено спектральні характеристики випромінювання та методи зменшення його негативного впливу на прилеглі електронні системи. Незважаючи на значні досягнення, деякі аспекти цієї проблеми залишаються недостатньо дослідженими. Наприклад, взаємодія електромагнітного випромінювання з новітніми матеріалами, такими як наноккомпозити та гібридні структури, а також специфічний вплив високочастотних сигналів на малопотужні пристрої, потребують подальшого вивчення.

Окрім того, більшість існуючих підходів орієнтована на загальні методи протидії впливу випромінювання, тоді як адаптація цих методів до конкретних умов експлуатації (наприклад, у компактних мобільних пристроях або складних промислових системах) залишається відкритим питанням. Зазначена стаття спрямована на аналіз цих невирішених аспектів проблеми, зокрема на розробку практичних рекомендацій щодо мінімізації впливу електромагнітного випромінювання, удосконалення існуючих захисних технологій та інтеграцію цих рішень у сучасні технічні системи.

Мета дослідження. Метою статті є всебічний аналіз впливу електромагнітного випромінювання на електричні сигнали, розкриття основних механізмів цієї взаємодії та розробка практичних рекомендацій щодо мінімізації його негативних наслідків. Завдання дослідження включають ідентифікацію основних джерел електромагнітного випромінювання, вивчення спектральних характеристик та параметрів, що впливають на стабільність і точність електричних сигналів у сучасних електронних системах. Особливу увагу приділено дослідженню специфіки впливу високочастотного випромінювання на різні типи електронних компонентів, таких як напівпровідники, конденсатори, резистори та мікропроцесори.

Важливою складовою роботи є аналіз існуючих методів захисту електронних пристроїв від впливу електромагнітного випромінювання, включаючи екранування, фільтрацію, заземлення та використання спеціальних конструктивних матеріалів. Стаття має на меті оцінити ефективність цих методів у різних умовах експлуатації та визначити їхні обмеження. Крім того, планується розробка нових підходів до захисту електричних сигналів, які враховують сучасні виклики, пов'язані з інтеграцією електронних пристроїв у високотехнологічні системи.

Практична складова дослідження спрямована на формулювання рекомендацій для розробників електронних пристроїв щодо проектування стійких до електромагнітних перешкод систем. Окремим завданням є моделювання впливу випромінювання на електричні сигнали з урахуванням різних технічних параметрів та робочих умов. Результати роботи мають забезпечити підвищення надійності функціонування електронних пристроїв, зниження ризику збоїв у їхній роботі та сприяти розвитку технологій забезпечення електромагнітної сумісності у сучасних системах (Жученко, 2019).

Виклад основного матеріалу дослідження. Дослідження впливу електромагнітного випромінювання на електричні сигнали ґрунтується на вивченні механізмів взаємодії електромагнітних хвиль з елементами електронних систем, аналізі їхніх фізичних властивостей та розробці методів протидії впливу. У ході роботи проведено експериментальне моделювання та математичний аналіз впливу різних частот електромагнітного спектра на стабільність і точність електричних сигналів.

Електромагнітне випромінювання є фундаментальним фізичним явищем, яке супроводжує більшість процесів передачі енергії та інформації. У багатьох випадках воно впливає на електричні сигнали, викликаючи їх спотворення, зміну параметрів або навіть повну втрату інформації. Це явище є особливо актуальним у сферах телекомунікацій, медичної апаратури, військових систем та промислової електроніки. Взаємодія електромагнітного випромінювання з електричними сигналами відбувається за кількома механізмами (Кульчицький, Гладун, 2018).

Першим механізмом є індукція електромагнітних хвиль у провідниках, коли змінне магнітне поле викликає електрорушійну силу в провіднику відповідно до закону Фарадея, що описується рівнянням:

$$\varepsilon_i = -\frac{d\Phi}{dt},$$

де Φ – це магнітний потік через контур провідника, а t – час проходження магнітного потоку.

Якщо частота електромагнітного поля збігається з робочою частотою системи, це може призвести до інтерференції сигналів.

Другим механізмом є вплив, коли між провідниками виникають паразитні ємності, через які проходить небажаний струм. Це явище особливо впливає на високочастотні підсилювачі й антени, які є частинами електромагнітних приладів. Ємність такого зв'язку обчислюється як (Тимошенко, 2021):

$$C = \frac{\varepsilon \varepsilon_0 S}{d},$$

де ε – діелектрична проникненість середовища, ε_0 – електрична константа, S – площа пластин в конденсаторі, d – відстань між пластинами.

Магнітна складова електромагнітного випромінювання може спричиняти виникнення вихрових струмів у провідниках, що супроводжується додатковими втратами енергії та нагріванням. Вихрові струми визначаються як :

$$I = \frac{\varepsilon}{R},$$

де R – опір провідника, ε – електрорушійна сила джерела.

Ще одним важливим механізмом є резонанс, коли частота випромінювання електромагнітної хвилі збігається з резонансною частотою системи, що призводить до значного зростання амплітуди коливань.

Протидія впливу електромагнітного випромінювання реалізується за допомогою різних технічних рішень. Одним із найефективніших є екранування, яке полягає у використанні металевих щитів для блокування випромінювання. Інтенсивність сигналу після екрану зменшується експоненціально за законом ослаблення

$$A = A_0 e^{-\lambda d},$$

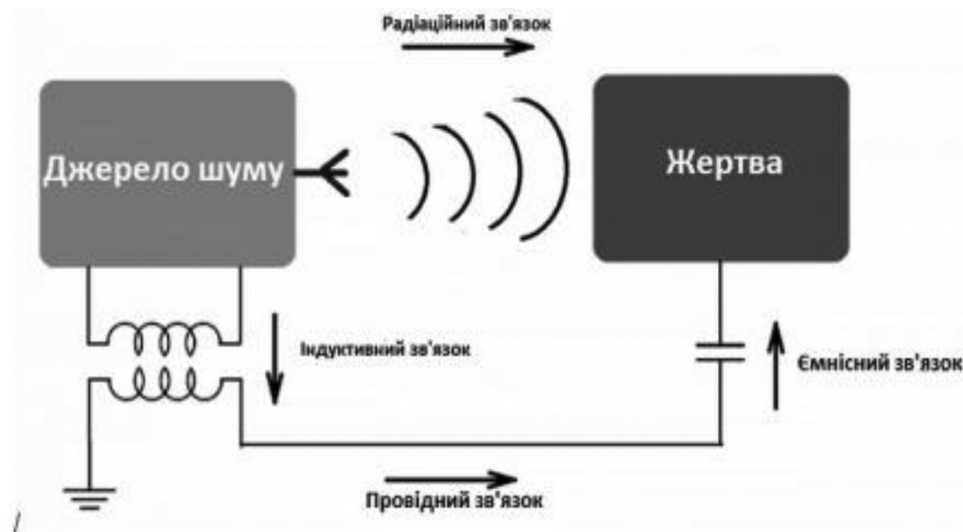


Рис. 1. Електромагнітна перешкода (ЕМП)

Джерело: (Тимошенко, 2021)

де λ – коефіцієнт ослаблення хвилі, d – товщина захисного екрану, A_0 – власна амплітуда коливань системи.

Для зниження високочастотних перешкод застосовуються LC-фільтри, частота зрізу яких визначається як (Луценко, В.П., та Сидоренко, 2017):

$$\nu = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}},$$

де L – індуктивність провідника, C – ємність провідника.

Правильне заземлення також є ключовим фактором у протидії впливу електромагнітного випромінювання. Заземлюючі системи дозволяють відводити індуковані струми, а їх ефективність залежить від параметрів ґрунту та конструкції заземлення. Крім того, для мінімізації впливу магнітних полів використовуються феритові матеріали, які поглинають енергію магнітних хвиль. Оптичні комунікації є альтернативним методом, оскільки світлові хвилі, на відміну від електричних сигналів, не піддаються впливу електромагнітного випромінювання.

Практичні приклади реалізації таких рішень включають застосування багатошарових екранів і фільтрів у телекомунікаційних системах, захист медичної апаратури від шумів, а також використання феритових елементів у промислових установках. Наприклад, у базових станціях мобільного зв'язку спеціальні щити забезпечують зменшення впливу електромагнітного випромінювання на електронні компоненти, а в медичних пристроях впроваджуються

багатоступеневі фільтри для захисту від електромагнітних завад (Шаповал, 2020).

Отже, вплив електромагнітного випромінювання на електричні сигнали є значущою проблемою, однак сучасні технічні рішення дозволяють мінімізувати його негативний ефект. Ефективне екранування, фільтрація, заземлення та оптичні комунікації забезпечують стабільну роботу систем у різних галузях, від телекомунікацій до медицини та промисловості.

Реальним прикладом впливу електромагнітного випромінювання на електричні сигнали є ситуація, яка виникла під час впровадження систем 5G у міських умовах. Ці системи, працюючи на високих частотах у діапазоні міліметрових хвиль (від 24 до 100 ГГц), суттєво підвищують швидкість передачі даних і якість зв'язку. Проте їх вплив на інфраструктуру, яка працює у нижчих частотах, таких як телекомунікаційні мережі 4G, системи навігації GPS, радіолокаційні станції та навіть медичне обладнання, викликав певні проблеми через інтерференцію електромагнітного випромінювання (Іванов, Мельник, 2018).

Під час тестування мереж 5G у великих містах, наприклад у Лондоні, було зафіксовано спотворення сигналів у пристроях навігації та метеорологічного обладнання. Зокрема, антени, налаштовані на частоти радіолокаційних станцій (приблизно 23.8 ГГц), приймали паразитні сигнали від базових станцій 5G. Це стало причиною хибного інтерпретування даних погоди і порушення точності прогнозів. Основною причиною стало частотне перекриття сигналів, яке виникає через недостатню ізоляцію частотних

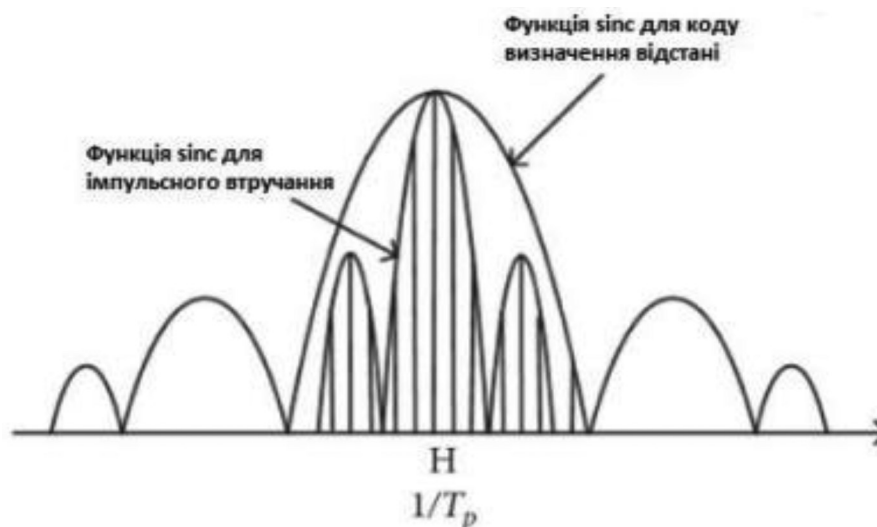


Рис. 2. Аналіз ефекту впливу електромагнітних хвиль на імпульсні перешкоди та на приймач навігації

Джерело: (Тимошенко, 2021)

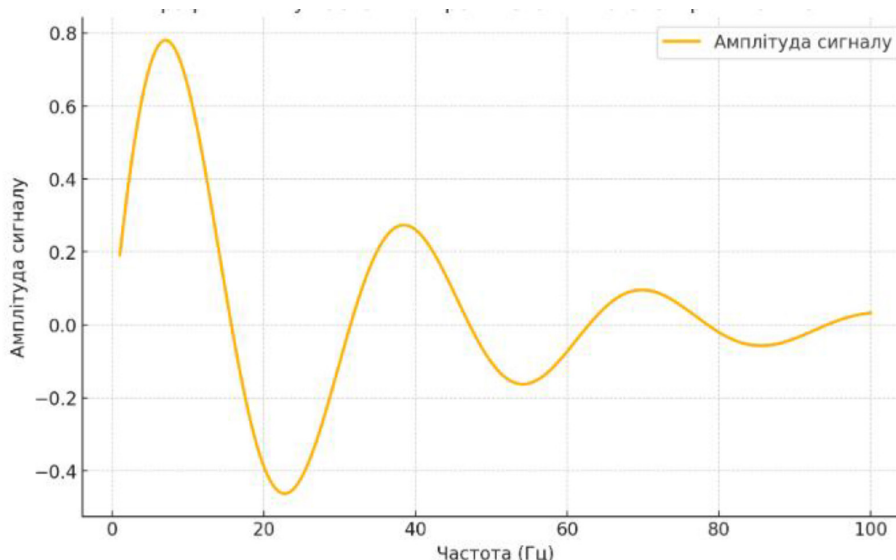


Рис. 3. Графік впливу частоти випромінювання на електричні сигнали

Джерело: Автор

каналів, що використовуються різними пристроями (Корнеєв, Бабій, 2019).

На початкових частотах амплітуда сигналу є відносно високою, що вказує на мінімальний вплив випромінювання на його стабільність. З підвищенням частоти випромінювання спостерігається поступове зменшення амплітуди сигналу, що пов'язано з ефектами згасання та резонансу в електричному ланцюзі. Це може бути викликано зростанням втрат енергії в системі через індуктивні та ємнісні характеристики провідників низької напруги в електричних ланцюгах і відповідно згасання електромагнітного випромінювання.

Окрім цього, на графіку видно осциляції амплітуди сигналу при певних частотах. Ці коливання вказують на можливість виникнення резонансних явищ, коли частота випромінювання збігається з власною частотою коливань системи. У таких випадках амплітуда сигналу тимчасово зростає, що може призводити до значного спотворення або навіть збоїв у роботі електронних пристроїв.

Зменшення амплітуди сигналу на високих частотах також вказує на важливість використання методів екранування та фільтрації, щоб забезпечити стабільну роботу електричних систем в умовах впливу електромагнітного випромінювання.

Щоб вирішити проблему, потрібно застосувати кілька практичних заходів. По-перше, для зменшення взаємного впливу треба вдосконалити алгоритми кодування сигналів у базових станціях 5G, які впливають на низьконапружні електричні схеми. Використання технологій формування вузьких діаграм спрямованості антен (beamforming) дозволило точніше направляти

сигнал у бік кінцевого користувача, мінімізуючи розсіювання випромінювання в непотрібні зони. Це значно зменшило паразитний вплив на сусідні частотні діапазони і відповідно на електричні мікросхеми.

По-друге, треба впровадити додаткові екрани та фільтри в обладнанні радіолокаційних станцій і метеорологічних антен. Ці фільтри працюють за принципом пропускання тільки необхідної частоти, відсікаючи все, що знаходиться поза межами робочого діапазону. Наприклад, використовувалися височастотні фільтри з характеристиками, які забезпечують ослаблення сигналу в непотрібних діапазонах на 60 децибел, що еквівалентно ослабленню в тисячі разів (Пасічник, 2021).

Крім того, було змінено розташування деяких базових станцій 5G у зонах з високою концентрацією критичного обладнання. Переміщення антен на вищі щогли дозволило збільшити відстань між джерелом випромінювання і чутливими пристроями, що також зменшило рівень індукованих сигналів.

У промислових умовах проблема електромагнітної сумісності також виникає в медичних закладах. Наприклад, у лікарнях, де використовуються апарати МРТ (магнітно-резонансної томографії), вплив мобільних телефонів чи іншого бездротового обладнання може викликати спотворення зображень, отриманих під час сканування пацієнтів. МРТ працює з потужними магнітними полями та радіочастотним випромінюванням у певному діапазоні. Випромінювання від мобільного телефону може індукувати додаткові сигнали, які перекривають слабкі сигнали від тканин пацієнта. Для вирішення цієї

проблеми лікарні впроваджують суворі правила використання мобільних пристроїв у зонах роботи МРТ, а також екранують приміщення, де розташоване обладнання, за допомогою мідних чи алюмінієвих матеріалів (Гончарук, 2020).

Висновки. Таким чином, реальні приклади впливу електромагнітного випромінювання на електричні сигнали демонструють складність проблеми та необхідність застосування багаторівневих технічних рішень. Випадки з системами 5G і низьконапруговими пристроями такими як

комп'ютерні системи та телекомунікаційні системи підкреслюють, що інженерні заходи, такі як екранування, фільтрація, використання вузько-спрямованих антен та просторове розділення, є ефективними інструментами для мінімізації негативного впливу електромагнітного випромінювання. В статті досліджено, що зменшення впливу завадового випромінювання може бути досягнене шляхом збільшення товщини захисних екранів, додаванням індуктивно-ємнісних фільтрів тощо.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Жученко О.І. Електромагнітна сумісність радіоелектронних засобів: Навчальний посібник. Київ : Наукова думка, 2019. 280 с.
2. Кульчицький О.Б., Гладун І.В. Теорія електромагнітних полів. Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2018. 352 с.
3. Тимошенко В.І. Основи радіофізики та електродинаміки. Харків : ХНУ ім. В. Н. Каразіна, 2021. 400 с.
4. Луценко В.П., Сидоренко А.Г. Електромагнітна сумісність і засоби захисту: Навчальний посібник. Київ : КНУБА, 2017. 295 с.
5. Шаповал С.М. Електромагнітні хвилі та їх застосування в техніці. Вінниця : Універсум, 2020. 316 с.
6. Іванов П.М., Мельник Г.О. Захист інформаційних систем від впливу електромагнітного випромінювання. Одеса : ОНПУ, 2018. 272 с.
7. Корнєєв М.В., Бабій Л.І. Електромагнітне випромінювання та його вплив на живі організми. Полтава : ПНТУ, 2019. 244 с.
8. Пасічник О.І. Методи аналізу електромагнітних полів у технічних системах. Дніпро : ДНУ, 2021. 310 с.
9. Гончарук В.А. Сучасні методи фільтрації високочастотних перешкод. Київ : ІСЗЗІ, 2020. 289 с.
10. Richards M.A., Scheer J.A., & Holm W.A. Principles of Modern Radar: Basic Principles. SciTech Publishing. 2014. URL: https://ftp.idu.ac.id/wp-content/uploads/ebook/tdg/MILITARY%20PLATFORM%20DESIGN/Richards_M._Scheer_J._Holm_W._Principles_of_mo.pdf

REFERENCES:

1. Zhuchenko, O.I. (2019). Elektromagnitna sumisnist' radioelektronnykh zasobiv [Electromagnetic compatibility of radio-electronic means]: Navchal'nyy posibnyk [Study guide.]. Kyiv : Naukova dumka, 280. [in Ukrainian].
2. Kulchytskyi, O.B., Gladun, I.V. (2018). Teoriya elektromagnitnykh poliv [Theory of electromagnetic fields]. Lviv : Vydavnytstvo L'vivskoyi politekhniki. [Lviv : Lviv Polytechnic Publishing House], 352. [in Ukrainian].
3. Tymoshenko, V.I. (2021). Osnovy radiofizyky ta elektrodynamiky [Fundamentals of radio physics and electrodynamics]. Kharkiv : V.N.Karazin KhNU, 400. [in Ukrainian].
4. Lutsenko, V.P., Sydorenko, A.G. (2017). Elektromagnitna sumisnist' i zasoby zakhystu: Navchal'nyy posibnyk. [Electromagnetic compatibility and means of protection: Tutorial.]: Textbook. Kyiv : KNUBA, 295. [in Ukrainian].
5. Shapoval, S.M. (2020). Electromagnetic waves and their application in technology [Electromagnetic waves and their application in technology]. Vinnytsia: Universum [Vinnytsia: Universum], 316. [in Ukrainian].
6. Ivanov, P.M., Mel'nyk, H.O. (2018). Zakhyst informatsiynykh system vid vplyvu elektromagnitnoho vypromin'uvannya [Protection of information systems from the influence of electromagnetic radiation. PU]. Odesa: ONPU, 272. [in Ukrainian].
7. Kornieiev, M.V., Babii, L.I. (2019). Elektromagnitne vypromin'uvannya ta yoho vplyv na zhyvi orhanizmy [Electromagnetic radiation and its impact on living organisms.]. Poltava: PNTU, 244. [in Ukrainian].
8. Pasichnyk, O.I. (2021). Metody analizu elektromagnitnykh poliv u tekhnichnykh systemakh [Methods of analysis of electromagnetic fields in technical systems]. Dnipro: DNU, 310. [in Ukrainian].
9. Honcharuk, V. (2020). AND. Suchasni metody filtratsii vysokochastotnykh pereshkod [Modern methods of filtering high-frequency interference]. Kyiv : ISZZI, 289. [in Ukrainian].
10. Richards, M.A., Scheer, J.A., & Holm, W.A. (2014). Principles of Modern Radar: Basic Principles. SciTech Publishing, 962. Retrieved from: https://ftp.idu.ac.id/wp-content/uploads/ebook/tdg/MILITARY%20PLATFORM%20DESIGN/Richards_M._Scheer_J._Holm_W._Principles_of_mo.pdf