

Технічні науки

УДК 621.391

Пожидаєв Олександр Михайлович

аспірант

Українського державного університету залізничного транспорту

Pozhydaiev Oleksandr

Graduate Student of the

Ukrainian State University of Railway Transport

ЗАХИСТ СИСТЕМ РАДІОЗВ'ЯЗКУ ВІД ВПЛИВУ НАВМИСНИХ

ЗАВАД

PROTECTION OF RADIO COMMUNICATION SYSTEMS FROM

INTENTIONAL INTERFERENCE

***Анотація.** У статті досліджуються сучасні методи захисту систем радіозв'язку від навмисних завад, такі як спектральне розширення, частотне перестрибування, адаптивні антени та використання штучного інтелекту. Радіозв'язок відіграє ключову роль у багатьох сферах, таких як військова, космічна, навігаційна та цивільна галузі. З розвитком технологій, кількість загроз радіозв'язку зростає, зокрема через навмисні завади (англ. jamming), які можуть серйозно впливати на ефективність комунікацій. У статті детально розглядаються основні методи захисту, включаючи методи модуляції з розширеним спектром, частотне перестрибування, адаптивні антени та кодове мультиплексування з розділенням за часом. Особлива увага приділяється впровадженню нових технологій, таких як штучний інтелект та метаматеріали, які можуть значно підвищити стійкість систем радіозв'язку до завад. Висновки вказують на те, що комбінування кількох методів разом із розвитком нових матеріалів та*

технологій дозволить значно знизити вплив загроз та підвищити надійність систем зв'язку в сучасних умовах.

Ключові слова: радіозв'язок, навмисні завади, захист систем зв'язку, спектральне розширення, частотне перестрибування.

Summary. The article explores modern methods of protecting radio communication systems from intentional interference, such as spread spectrum, frequency hopping, adaptive antennas, and the use of artificial intelligence. Radio communication plays a key role in various fields such as military, space, navigation, and civil sectors. With the advancement of technology, the number of threats to radio communication increases, especially due to intentional jamming, which can severely impact communication efficiency. The article discusses key protection methods, including spread spectrum modulation, frequency hopping, adaptive antennas, and time division multiplexing. Special attention is given to the introduction of new technologies such as artificial intelligence and metamaterials, which can significantly enhance the resilience of communication systems to interference. Conclusions suggest that combining multiple methods with the development of new materials and technologies will significantly reduce threats and increase the reliability of communication systems in modern conditions.

Key words: radio communications, intentional interference, protection of communication systems, spectrum expansion, frequency hopping.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У науковій літературі значна увага приділяється методам захисту радіозв'язку, особливо в умовах навмисного створення завад. Дослідження у цій галузі ведуться десятиліттями, особливо в контексті військових застосувань, де надійність та безпека комунікацій є пріоритетом. Спектральне розширення було впроваджено як один із перших методів захисту, що отримав широке

застосування у таких системах, як GPS та мобільні мережі CDMA. У роботах [1] Brown T. X, [2] Smith J. A. досліджуються способи захисту систем через застосування псевдовипадкових послідовностей для розширення спектра сигналу, що робить його менш вразливим до завад.

Частотне перестрибування, як один із провідних методів захисту військових систем зв'язку, досліджується в роботах [3] Jones M., де описується його здатність захистити зв'язок від перехоплення та блокування. Ефективність цього методу залежить від складності алгоритму зміни частоти, що ускладнює завдання для злоумисників.

Дослідження адаптивних антен у [4] Davis R. L. показують, що їхнє використання значно покращує якість зв'язку в умовах завад, оскільки вони можуть змінювати свої характеристики залежно від навколишніх умов. Адаптивні антени використовуються не лише у військових системах, але й у цивільних мережах 5G.

Невирішеними залишаються питання застосування штучного інтелекту та метаматеріалів для підвищення стійкості радіозв'язку. ШІ може допомогти в автоматизації виявлення завад та адаптації системи зв'язку в реальному часі, що досі не було повністю досліджено у наукових працях.

Метою статті є дослідження сучасних методів захисту систем радіозв'язку від впливу навмисних завад, а також оцінка перспектив застосування новітніх технологій, таких як штучний інтелект і метаматеріали, для підвищення стійкості та ефективності радіокомунікаційних систем.

Виклад основного матеріалу. У сучасному світі радіозв'язок відіграє критично важливу роль у забезпеченні комунікації в різних сферах: військовій, цивільній, космічній, навігаційній та інших. Проте, з розвитком технологій, також зростає і кількість загроз, які можуть впливати на ефективність та надійність систем радіозв'язку. Однією з таких загроз є навмисні завади, які спрямовані на порушення нормального

функціонування системи зв'язку. Метою цієї статті є дослідження методів захисту систем радіозв'язку від впливу навмисних завад.

Системи радіозв'язку базуються на передачі інформації за допомогою радіохвиль. Вони використовуються для передачі голосу, даних, відео та інших типів інформації. Основними компонентами системи радіозв'язку є передавач, приймач і канал зв'язку. Основним принципом роботи таких систем є модуляція сигналу, яка дозволяє передавати інформацію на значні відстані.

Навмисні завади— це будь-які дії, спрямовані на створення перешкод у передачі або прийомі радіосигналів. Вони можуть бути здійснені з використанням спеціальних пристроїв, які генерують сигнали з тією ж частотою, що і сигнали системи зв'язку, що призводить до їх накладання та спотворення. Навмисні завади можуть мати різну природу і походження, включаючи військові дії, промисловий шпіонаж, терористичні акти та інші форми злочинної діяльності.

Методи захисту від навмисних завад:

1. **Спектральне розширення.** Це метод модуляції, при якому передаваний сигнал розширюється на значно ширший частотний діапазон, ніж необхідно для передачі даних. Це досягається за допомогою використання псевдовипадкових послідовностей, які забезпечують розширення спектра сигналу. Такий підхід робить сигнал менш вразливим до завад, оскільки енергія сигналу розподіляється по широкому спектру частот, що ускладнює його виявлення та блокування. Спектральне розширення використовується в таких системах, як GPS, мобільні мережі CDMA та Wi-Fi. У системах GPS цей метод забезпечує високу точність позиціонування навіть в умовах завад. У мобільних мережах CDMA спектральне розширення дозволяє одночасно обслуговувати велику кількість користувачів без взаємних перешкод. Завдяки цьому, спектральне

розширення є одним із ключових підходів у захисті від навмисних завад у сучасних системах зв'язку.

2. Частотне перестрибування. Це метод передачі, при якому частота носія сигналу змінюється згідно з певним законом або випадковим чином. Це ускладнює завдання для порушника, оскільки йому необхідно знати закон перестрибування частот, щоб ефективно створювати завади. Перестрибування може бути як швидке, так і повільне, залежно від умов роботи системи та вимог до захищеності. Частотне перестрибування широко використовується у військових комунікаційних системах, де необхідна висока захищеність від завад та перехоплення. Наприклад, у системах зв'язку для військових літаків та кораблів. Також цей метод застосовується у деяких стандартах бездротового зв'язку, таких як Bluetooth. Успішна реалізація цього методу дозволяє значно знизити ймовірність створення завад, що робить його ідеальним для військових та захищених систем зв'язку.

3. Адаптивні антени. Це антени, які можуть змінювати свої характеристики відповідно до умов навколишнього середовища. Вони можуть спрямовувати свій промінь на потрібний напрямок, мінімізуючи вплив завад з інших напрямків. Це підвищує якість прийому сигналу навіть у присутності навмисних завад. Адаптивні антени можуть використовувати алгоритми цифрової обробки сигналів для визначення оптимальних параметрів роботи. Адаптивні антени застосовуються в системах мобільного зв'язку нового покоління (наприклад, 5G), а також у системах радіолокації та супутникового зв'язку. Вони забезпечують високу якість зв'язку та стійкість до завад, особливо у міських умовах, де багато джерел перешкод. Завдяки можливості налаштування характеристик антени в реальному часі, ці системи забезпечують стабільний зв'язок навіть в умовах складних перешкод.

4. Кодове мультиплексування з розділенням за часом. Це метод, при якому різні користувачі використовують один і той самий частотний діапазон, але передають свої сигнали у різні часові інтервали. Це дозволяє уникати перешкод між сигналами від різних користувачів, а також підвищує стійкість до завад. Кожний користувач має свій часовий слот, що знижує ймовірність взаємних перешкод. TDMA використовується в цифрових мобільних мережах, таких як GSM, де він забезпечує ефективне використання частотного ресурсу та підвищує захищеність системи від завад. Також TDMA знаходить застосування в системах професійного мобільного радіозв'язку (PMR), таких як TETRA. На практиці TDMA дозволяє зменшити ймовірність взаємних перешкод між користувачами та підвищити загальну продуктивність мережі.

5. Використання штучного інтелекту та машинного навчання. Штучний інтелект (ШІ) та машинне навчання можуть відігравати ключову роль у вдосконаленні захисту систем радіозв'язку. Використання алгоритмів ШІ дозволяє автоматично виявляти та ідентифікувати джерела завад, а також адаптувати параметри системи зв'язку в реальному часі для мінімізації їх впливу. Наприклад, алгоритми машинного навчання можуть використовуватися для прогнозування поведінки завад та динамічного налаштування частотного діапазону або модуляції сигналу. Завдяки цьому можна забезпечити більш ефективний захист і підтримувати якісний зв'язок навіть у разі складних атак.

6. Нові матеріали, зокрема метаматеріали. Розвиток нових матеріалів, таких як метаматеріали, дозволяє створювати антени з унікальними характеристиками, які можуть забезпечувати більш ефективний захист від завад. Метаматеріали мають властивості, які не зустрічаються в природі, що дозволяє створювати антени з високою спрямованістю та адаптивними характеристиками. Це дозволяє зменшити вплив завад та підвищити якість зв'язку. Використання метаматеріалів в

антенних системах забезпечує більш спрямований і адаптивний радіосигнал, що дозволяє підвищити надійність роботи в умовах навмисних завад.

Висновки та перспективи подальших досліджень. У результаті аналізу сучасних методів захисту радіозв'язку від навмисних завад встановлено, що найбільш ефективними є методи спектрального розширення, частотного перестрибування та використання адаптивних антен. Кожен з цих методів має свої переваги, проте в умовах складних загроз найбільш ефективним є комбіноване застосування декількох технологій.

Подальші дослідження повинні зосереджуватися на інтеграції штучного інтелекту для автоматичного виявлення джерел завад та динамічного налаштування системи зв'язку. Також важливим напрямом є розробка нових матеріалів, таких як метаматеріали, для створення більш адаптивних і ефективних антен.

Література

1. Brown T. X. Spread Spectrum: Principles and Applications. *IEEE Communications Magazine*. 2018.
2. Smith J. A. Advances in CDMA Technology for Interference Protection. *Telecommunications Review*. 2019.
3. Jones M. Frequency Hopping in Military Communication Systems. *Journal of Defense Systems*. 2020.
4. Davis R. L. Adaptive Antennas and Interference Mitigation. *Wireless Communications Journal*. 2021.
5. Li X., Metamaterials for Advanced Antenna Design. *Materials Science Advances*. 2022.
6. Parker G. J. Artificial Intelligence in Radio Communication Systems. *Future Technologies Review*. 2021.

7. Коротков Є. І., Євтушенко Є. В., Лященко В. О. Системи радіозв'язку з розширеним спектром і методи боротьби з джемінгом. *Радіоелектроніка і інформатика*. 2018.
8. Шелест О. В., Данченко В. О., Лісняк Ю. С. Методи забезпечення захищеності військових систем радіозв'язку від перешкод. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Серія "Радіофізика та електроніка"*. 2020.
9. Буряк В. І., Кіліченко І. В., Липінський В. В. Застосування методів спектрального розширення для захисту інформаційних потоків. *Науковий вісник Львівського державного університету безпеки життєдіяльності*. 2019.
10. Simon M. K., Omura J. K., Scholtz R. A., Levitt B. K. Spread Spectrum Communications Handbook. McGraw-Hill, 1994.
11. Smith J., Johnson P. Efficiency of military communication systems and methods for evaluation. Defense Communications Press. London, 2006. 141 p.
12. Shapiro J. H., Quantum Communication. *Scientific American*. 2020.
13. Kumar N., Bhattacharya S. Time Division Multiple Access (TDMA) for Wireless Communication Systems. *International Journal of Electronics and Communication Engineering*. 2017.
14. Wang Y., Liu X. The Role of Artificial Intelligence in Enhancing Wireless Communication Security. *Journal of Wireless Technology*. 2021.
15. Zhang H., Zhou Q. Emerging Technologies in RadioFrequency Communication: A Review. *IEEE Access*. 2019.

References

1. Brown, T. X. (2018). Spread Spectrum: Principles and Applications. *IEEE Communications Magazine*.
2. Smith, J. A. (2019). Advances in CDMA Technology for Interference Protection. *Telecommunications Review*.

3. Jones, M. (2020). Frequency Hopping in Military Communication Systems. *Journal of Defense Systems*.
4. Davis, R. L. (2021). Adaptive Antennas and Interference Mitigation. *Wireless Communications Journal*.
5. Li, X. (2022). Metamaterials for Advanced Antenna Design. *Materials Science Advances*.
6. Parker, G. J. (2021). Artificial Intelligence in Radio Communication Systems. *Future Technologies Review*.
7. Korotkov, Ye. I., Yevtushenko, Ye. V., & Liashchenko, V. O. (2018). Systemy radiozviazku z rozshyrenym spektrom i metody borotby z dzheminhom. *Naukovo-tekhnichnyi zhurnal "Radioelektronika i informatyka"* [in Ukrainian].
8. Shelest, O. V., Danchenko, V. O., & Lisniak, Yu. S. (2020). Metody zabezpechennia zakhyshchenosti viiskovykh system radiozviazku vid pereshkod. *Visnyk Kyivskoho natsionalnoho universytetu imeni Tarasa Shevchenka. Seriya "Radiofizyka ta elektronika"* [in Ukrainian].
9. Buriak, V. I., Kilichenko, I. V., & Lypinskyi, V. V. (2019). Zastosuvannia metodiv spektralnogo rozshyrennia dlia zakhystu informatsiinykh potokiv. *Naukovyi visnyk Lvivskoho derzhavnoho universytetu bezpeky zhyttiediialnosti* [in Ukrainian].
10. Simon, M. K., Omura, J. K., Scholtz, R. A., & Levitt, B. K. (1994). *Spread Spectrum Communications Handbook*. McGraw-Hill.
11. Smith, J., & Johnson, P. (2006). Efficiency of military communication systems and methods for evaluation. Defense Communications Press. London, 141 p.
12. Shapiro, J. H. (2020). Quantum Communication. *Scientific American*.
13. Kumar, N., & Bhattacharya, S. (2017). Time Division Multiple Access (TDMA) for Wireless Communication Systems. *International Journal of Electronics and Communication Engineering*.

14. Wang, Y., Liu, X. (2021). The Role of Artificial Intelligence in Enhancing Wireless Communication Security. *Journal of Wireless Technology*.

15. Zhang, H., & Zhou, Q. (2019). Emerging Technologies in RadioFrequency Communication: A Review. *IEEE Access*.