

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»
МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

Лазуренко Богдан Олександрович

УДК 004.738

ДИСЕРТАЦІЯ
МОДЕЛІ ТА МЕТОДИ ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ МОБІЛЬНОГО ЗВ'ЯЗКУ
ШЛЯХОМ ЗАСТОСУВАННЯ НАДШИРОКОСМУГОВИХ
ТЕХНОЛОГІЙ

Спеціальність 172 – Телекомунікації та радіотехніка

Галузь знань 17 – Електроніка та телекомунікації

Подається на здобуття наукового ступеня доктора філософії

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей,
результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело



Б.О. Лазуренко

Науковий керівник:
Серков Олександр Анатолійович
доктор технічних наук, професор,
Горюшкіна (Jammine) Алла Ернестівна
кандидат технічних наук, професор

Харків – 2024

АНОТАЦІЯ

Лазуренко Б.О. Моделі та методи підвищення якості мобільного зв'язку шляхом застосування надширокосмугових технологій. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії зі спеціальності 172 – Телекомунікації та радіотехніка (17 – Електроніка та телекомунікації). – Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків, 2024.

Дисертаційна робота присвячена вирішенню актуальної науково-прикладної задачі, яка полягає у розробці методів забезпечення завадозахищеності із підтримкою якості обслуговування у безпроводових телекомунікаційних мережах на основі застосування надширокосмугових технологій.

Метою дисертаційної роботи є розробка нових та удосконалення існуючих методів підвищення завадозахищеності телекомунікаційних мереж шляхом розробки і вдосконалення відповідних моделей і методів формування ансамблів складних сигналів.

Об'єкт дослідження – процеси передачі інформації в безпроводових телекомунікаційних мережах.

Предмет дослідження – моделі та методи забезпечення завадозахищеності із підтримкою якості обслуговування в безпроводових телекомунікаційних мережах.

У вступі обґрунтовано актуальність забезпечення завадозахищеності на основі технології надширокосмугового зв'язку, представлено зв'язок роботи з науковими програмами, планами і темами, наведено наукову новизну, представлено практичне значення отриманих результатів, надано інформацію щодо особистого внеску здобувача, представлено перелік публікацій за темою дисертації.

У першому розділі виконано постановку науково-технічної задачі забезпечення завадозахищеності у безпроводових телекомунікаційних мережах.

Досліджено сучасний стан та тенденції подальшого розвитку методів організації систем мобільного зв'язку. Здійснено аналіз процесів передачі інформації та обґрунтовано доцільність застосування надширокосмугових сигналів в системах цифрового безпроводового мобільного зв'язку. Показано, що критерієм завадозахищеності є відношення середньої потужності інформаційного сигналу до потужності шуму. Доведено, що для забезпечення завадозахищеності при заданому рівні якості обслуговування, доцільно здійснити розробку та удосконалення нових моделей і методів на ґрунті технології надширокосмугових сигналів. Виконана формальна постановка задачі та сформульовані завдання дисертаційного дослідження.

У другому розділі розроблено метод формування ансамблів складних сигналів в системах мобільного зв'язку. Запропоновано метод створення сигнально-кової конструкції інформаційного сигналу та метод формування незалежних завадозахищених каналів зв'язку. Розроблено метод формування ансамблю складного надширокосмугового інформаційного сигналу та модель, яка реалізує розроблений метод одночасного формування опорного та інформаційного сигналів. Запропонований метод на основі складного надширокосмугового інформаційного сигналу дозволяє гарантовано забезпечити вимоги щодо завадозахищеності, прихованості і безпеки каналів безпроводового мобільного зв'язку. Розроблений метод формування складних інформаційних надширокосмугових імпульсних сигналів дозволяє збільшити щільність інформаційних каналів та обсяги інформації, що циркулює у безпроводових мережах із одночасним підвищенням її захищеності в умовах дії природних та штучних завад.

У третьому розділі досліджено моделі і методи побудови антенних систем для реалізації технології надширокосмугового зв'язку. Розроблено метод випромінювання ансамблю складних надширокосмугових сигналів та модель антенної системи, що його реалізує. Причому формування біполярного імпульсного інформаційного сигналу, який являє собою еквівалент похідної моноциклу Гауса, здійснюють шляхом інтерференції його складових у

еквівалентному загальному розкритті антени, що дозволяє у 2,37 разів підвищити радіус дії випромінювання антени. Створено і досліджено модель турнікетної антенної системи та метод мерехтливої поляризації, згідно якого кожен із серії чипів, що кодують інформаційний біт, по черзі подають на одну чи іншу антену, які в антенному блоці розташовані ортогональне, що дозволяє більш ніж удвічі підвищити радіус дії електромагнітного випромінювання антени. Це також забезпечує прийом і передачу електромагнітного випромінювання довільної поляризації, яке характерне для безпроводових телекомунікаційних систем мобільного зв'язку.

У четвертому розділі досліджено метод кореляційного прийому ансамблю складного сигналу, який дозволяє розпізнати і вилучити інформаційний сигнал із суміші гаусового білого шуму та корисного сигналу. Показано, що достовірне відновлення переданої бінарної інформації дозволяє за умови великої бази сигналу ($B > 300$) здійснювати приховану передачу сигналу ($c/m = -3 \dots -6$ дБ) із імовірністю похибки на біт менше, ніж 10^{-6} . Проведено оцінку ефективності розроблених науково-технічних рекомендацій щодо їх практичного використання, що дозволяє здійснювати завадозахищену надійну передачу двійкової цифрової інформації в умовах виникнення зовнішніх та внутрішньосистемних завад.

У висновках наведено основні результати наукової роботи щодо вирішення поставлених наукових задач дослідження.

За результатами дослідження отримано такі наукові результати:

1. *Вперше* запропоновано метод формування ансамблю складного надширокосмугового інформаційного сигналу в системах мобільного зв'язку, який дає можливість здійснювати безпроводовий зв'язок в широкій смузі частот, коли рівень інформаційного сигналу дорівнює чи нижче рівня шуму.

2. *Вперше* запропоновано моделі і методи побудови антенних систем для реалізації технології надширокосмугового зв'язку та метод мерехтливої поляризації для телекомунікаційних систем безпроводного мобільного зв'язку, який враховує особливості створення, розповсюдження у просторі та прийому

надширокосмугових інформаційних сигналів, що дозволяє виконати вимоги щодо забезпечення завадозахищеності безпроводових рухомих телекомунікаційних систем із підтримкою якості обслуговування.

3. *Удосконалено* метод одночасного кодування та модуляції інформації шляхом створення сигнально - кодової конструкції, який базується на зсуві у часі кодуючого сигналу щодо його основного положення у послідовності сигналів та відрізняється від відомих тим, що величина часового зсуву складає чверть тривалості кодуючого сигналу.

4. *Удосконалено* метод формування незалежних завадозахищених каналів із застосуванням ортогонального кодування, який базується на додатковому зсуві у часі кодуючого сигналу відносно опорної їх послідовності та відрізняється тим, що величина часового зсуву відносно опорної послідовності складає 2-3 порядки тривалості кодуючого сигналу, що дозволяє ущільнити канали зв'язку без порушення якості їх роботи.

5. *Отримав подальший розвиток* метод кореляційного прийому надширокосмугових сигналів, який дає можливість здійснювати подвійну спектральну обробку за час появи кожного біту інформації, що дозволяє збільшити співвідношення сигнал/завада на вході приймача.

6. *Отримав подальший розвиток* метод розпізнавання і вилучення інформаційного сигналу із суміші гаусового білого шуму та корисного сигналу шляхом кореляції прийнятого і опорного сигналу, що дозволяє підвищити достовірність прийому.

Дослідження, результати яких викладені в дисертаційній роботі, виконані на кафедрі «Системи інформації ім. В.О. Кравця» НТУ «Харківський політехнічний інститут» відповідно до завдань держбюджетної теми МОН України: Міжнародний проект за програмою ERASMUS+ (Project Number: 598236-EPP-1-2018-1-LT-EPPKA2-CBHE-SP) за темою «dComFra – Digital competence framework for Ukrainian teachers and other citizens», в яких здобувач був виконавцем окремих етапів.

За результатами дослідження підтверджено практичну та теоретичну цінність розроблених моделей та методів, надано практичні рекомендації, щодо застосування розроблених моделей та методів та розглянуто перспективи їх подальшого розвитку.

Ключові слова: аналіз, відмовостійкість, випромінювання, електромагнітна сумісність, завадостійкість, кодування, кореляція, методи, мережа, модель, моделювання, якість обслуговування, оптимізація, сигнал, система.

Список публікацій здобувача

Наукові праці, в яких опубліковано основні наукові результати:

1. B.A. Lazurenko, A.A. Serkov, K.A. Trubchaninova, A.E. Horiushkina. Security Improvement Techniques for mobile applications of Industrial Internet of Things, *IJCSNS International Journal of Computer Science and Network Security*, WoS, Korea, 2020. Vol. 20, No. 5, pp. 145-149.
2. V. Knyazev, V. Kravchenko, B. Lazurenko, O. Serkov, K. Trubchaninova, N. Panchenko. Development of Methods and Models to improve the Noise Immunity of Wireless Communication Channels, *Eastern – European Journal of Enterprise Technologies*, Kharkiv, 2022. Vol. 1. № 5(115). pp. 35–42. (A)
3. Aleksandr Serkov, Oleg. Kasilov, Bogdan. Lazurenko. Volodimir Pevnev, Karyna Trubchaninova. Strategy of Building a Wireless Mobile Communication System in the Conditions of Electronic Counteraction, *Radioelectronic and Computer Systems*, Kharkiv, 2023, № 2(106). pp. 160-170. (A).
4. Alla Jammine, Serkov Alexandr, Bogdan Lazurenko, Nait-Abdesselam Farid. The Order of Formation of Information Signals in IIoT, *IJCSNS International Journal of Computer Science and Network Security*, WoS, Korea, 2023. Vol. 23, No. 3, pp. 139-143.
5. N. Dzheniuk, S. Yevseiev, B. Lazurenko, O. Serkov, O. Kasilov. A Method of Protecting Information in Cyberphysical Space. *Advanced Information Systems*, Kharkiv, 2023. Vol. 7. No. 4. pp. 80-85. (A)

6. Aleksandr Serkov, Alla Jammine, Dmytro Kudii, Nataliia Dzheniuk, Nait-Abdesselam Farid, Bogdan Lazurenko. Security Models and Methods of Socio-Cyberphysical Systems. *Proceeding of IEEE 2023, 7th International Symposium on Multidisciplinary Studies and Innovative Technologies (ISMSIT 2023)*, (October 26-28, 2023, Ankara), Scopus, Turkey, 2023.

7. Nataliia Dzheniuk, Stanislav Milevskyi, Bogdan Lazurenko, Aleksandr Serkov, Andrii Zakharzhevskiy. Sociocyberphysical Security Systems Synthesis Models. *Confreres materials. Proceeding of IEEE 2023, 7th International Symposium on Multidisciplinary Studies and Innovative Technologies (ISMSIT 2023)*, (October 26-28, 2023, Ankara), Scopus, Turkey, 2023.

8. Б.О. Лазуренко, К.А. Трубочанінова, О.А. Серков. Метод забезпечення завадостійкості рухомого зв'язку при виникненні внутрішньо системних завад. *Системи управління, навігації та зв'язку*, Полтава, 2020. Випуск 1(59). С.155-159. (Б).

9. Б.О. Лазуренко, К.А. Трубочанінова, О.А. Серков. Завадостійкість мобільних телекомунікаційних систем. *Системи управління, навігації та зв'язку*, Полтава, 2020. Випуск 2 (60). С.169-172. (Б).

10. Б.О. Лазуренко, О.А. Серков, Н.Г. Кучук, А.Е. Горюшкіна. Метод формування інформаційних сигналів в системі Industrial Internet of Things. . *Системи управління, навігації та зв'язку*, Полтава, 2021. Випуск 2 (64). С.166-170. (Б).

11. В.В. Князєв, В.І. Кравченко, Б.О. Лазуренко, О.А. Серков, К.А. Трубочанінова. Метод забезпечення електромагнітної сумісності мобільних телекомунікаційних систем зв'язку. *Системи управління, навігації та зв'язку*, Полтава, 2021. Випуск 3 (65). С.134-138. (Б).

12. V. Knyazev, B. Lazurenko, A. Serkov. Methods and tools for assessing the level of noise immunity of wireless communication channels. *Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries*, Kharkiv, 2022. No. 1 (19), pp. 92–98. (Б).

Патенти та свідоцтва про винаходи:

13. Спосіб передачі інформації надширокосмуговими імпульсними сигналами в транспортних засобах: патент на корисну модель UA 140210 U Україна: МПК H04B 1/12 (2006.01) / С.В. Панченко, О.А. Серков, К.А. Трубчанінова, М.С. Курцев, Б.О. Лазуренко; и 2019 07640; заявл. 08.07.2019; опубл. 10.02.2020, Бюл. № 3.

14. Спосіб збудження надширокосмугової антени з мерехтливою поляризацією: патент на корисну модель UA 141131 U Україна: МПК H01Q 21/06 (2006.01) / С.В. Панченко, О.А. Серков, К.А. Трубчанінова, М.С. Курцев, Б.О. Лазуренко; и 2019 08723; заявл. 19.07.2019; опубл. 25.03.2020, Бюл. № 6.

15. Надширокосмугова антена з мерехтливою поляризацією: патент України на корисну модель UA 141130 U МПК H01Q 21/02 / О.А. Серков, С.В. Панченко, К.А. Трубчанінова Б.О. Лазуренко, М.С. Курцев; и 2019 08722 заявл. 30.07.2019; опубл. 25.03.20, Бюл. № 6.

16. Спосіб прийому цифрових двійкових сигналів в умовах шуму: патент України на корисну модель UA 145319 U, МПК H04B 1/06, / О.А. Серков, С.В. Панченко, К.А. Трубчанінова Б.О. Лазуренко, А.Є. Горюшкіна; и 2020 04847 заявл. 29.07.2020, опубл. 25.11.20, Бюл. № 22.

17. Спосіб передачі інформації надширокосмуговими імпульсними сигналами: патент України на винахід № 123519 U, МПК H04B 1/02 (2006.01), H04B 1/69 (2011.01), H04B 7/00, / Б.О. Лазуренко, О.А. Серков, В.Я. Пєвнєв, В.А. Ткаченко, В.С. Харченко; а 201905980 заявл. 30.05.2019, опубл. 14.04.2021, Бюл. № 15.

18. Надширокосмугова антена з мерехтливою поляризацією та спосіб її збудження: патент України на винахід № 126475 U МПК H01Q 21/06, H01Q 13/08, / С.В. Панченко, О.А. Серков, К.А. Трубчанінова, М.С. Курцев, Б.О. Лазуренко; а 201908720 заявл. 19.07.2019, опубл. 13.10.22, Бюл. № 41.

19. Спосіб передачі інформації в безпроводних телекомунікаційних мережах: патент України на корисну модель № 156075 U МПК H04B 1/12, / Пєвнєв В.Я., Серков О.А., Лазуренко, Б.О., Цуранов М.В., Землянко Г.А; и 202302882 заявл. 14.06.2023, опубл. 09.05.24, Бюл. № 19.

20. Спосіб формування топології мобільної безпроводної повітряної мережі: патент України на корисну модель № 156381 U МПК H04B 1/12, / Дженюк Н.В., Євсєєв С.П., Лазуренко Б.О., Серков О.А., Хвостенко В.С., Корчагін М.В., Орєхов С.В., Лезік О.В., Корсунов С.І., Воропай Н.І.; u 202301793 заявл. 18.04.2023, опубл. 20.06.24, Бюл. № 25.

21. Комп'ютерна програма для забезпечення електромагнітної сумісності в самоорганізованій безпроводній радіомережі «Compatibility» / О.А. Серков, В.В. Князєв, В.І. Кравченко, Б.О. Лазуренко // Свідоцтво № 106702 від 27.07.2021, (заявка № с202104661), про реєстрацію авторського права на твір.

22. Комп'ютерна програма для експертної оцінки рівня блискавкозахисту будівель та споруд «Експертиза» / О.А. Серков, В.В. Князєв, В.І. Кравченко, Б.О. Лазуренко // Свідоцтво № 108356 від 30.09.2021, (заявка № с202106154), про реєстрацію авторського права на твір.

Інші публікації:

23. N. Dzheniuk, B. Lazurenko, O. Serkov, I. Yatsenko. Electromagnetic compatibility of telecommunication systems: Laboratory works, NTU “KhPI”, Kharkiv, 2021. - 60 p.

Опубліковані праці апробаційного характеру:

24. Lazurenko B.A. Quality criteria for wireless communication channel. *Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я (MicroCAD – 2021): тез. доп. XXIX МНПК (Харків, Україна, 18 - 20 травня 2021р).* Харків, 2021. Р. 110.

25. Лазуренко Б.О., Корольов А.О. Метод підвищення якості передачі інформації в безпроводній мережі. *Сучасні напрями розвитку інформаційно-комунікаційних технологій та засобів управління: тези доповідей XI-ї МНТК, (Харків, 8-9 квітня 2021р.)* Харків: Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», 2021. С. 37.

6. Б.О. Лазуренко, О.А. Серков Метод завадостійкого кодування двійкових сигналів в каналах зв'язку з шумами. *Проблеми інформатики та моделювання (ПІМ-21)*: тези доповідей XXI МНТК (Харків, Україна, 09 – 14 вересня 2021р.). Харків, 2021. С. 63-64.

27. B. Lazurenko, A. Serkov, K. Trubchaninova. Method of Assessing the Level of Disability of Wireless Communication Channels. *Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті*: тези доповідей XXXV МНПК (Харків, Україна, 11 листопада 2022р.). Харків, 2022. С. 16.

28. Б.О. Лазуренко. Ефективність цифрових систем зв'язку. *Сучасні напрями розвитку інформаційно-комунікаційних технологій та засобів управління*: тези доповідей XII МНТК (Харків, Україна, 17-18 квітня 2022р.). Харків, 2022, Т1. С. 15.

29. О. Серков, Б. Лазуренко. Технологія забезпечення завадозахищеності безпроводних каналів зв'язку. *Проблеми інформатики та моделювання (ПІМ-22)*: тези доповідей XXII МНТК (Харків, Україна, 09 – 14 листопада 2022р.). Харків, 2022. С. 12.

30. Б. Лазуренко, М. Охрименко. Метод побудови топології мобільних безпроводних мереж. *Сучасні напрями розвитку інформаційно-комунікаційних технологій та засобів управління*: тези доповідей XIII МНТК (Харків, Україна, 26-27 квітня 2023р.). Харків, 2023. С. 50.

31. О.А. Серков, Н.В. Дженюк, Б.О. Лазуренко. Методологія підвищення ефективності систем електронної комунікації. *Проблеми інформатики та моделювання (ПІМ-23)*: тези доповідей XXIII МНТК (Харків, Україна, 20 – 22 вересня 2023р.). Харків, 2023. С. 17-19.

32. N Dzheniuk, S. Yevseiev, B. Lazurenko, O. Serkov, O. Kasilov. A Method of Protecting Information in Cyberphysical Space. *Комп'ютерні та інформаційні системи і технології (СІТ'2023)*: тези доповідей VI МНТК (Харків, Україна, 21–22 червня 2023р.). Харків, 2023.

33. О.А. Серков, Б.О. Лазуренко. Методи штучного інтелекту у системах електронної комунікації рухомих об'єктів. *Проблеми інформатизації*: тези

доповідей XI МНТК (Харків, Україна, 16–17 листопада 2023р.). Харків, 2023, Т 1. С. 42.

34. О.А. Серков, К.А. Трубчанінова, О.В. Касілов, Н.В. Дженюк, Б.О. Лазуренко. Метод підвищення ємності інформаційного сигналу. *Інформаційні проблеми теорії акустичних, радіоелектронних і телекомунікаційних систем (IPST-2023): тези доповідей XII МНТК (Харків, 11-1350 листопада 2023 р.)* Харків, 2023. С. 150-151.

ABSTRACT

Lazurenko B.O. Models and Methods for Improving the Quality of Mobile Communication by Using Ultra-Wideband Technologies. – Qualifying scientific work on manuscript rights.

The thesis is submitted to obtain a scientific degree of Doctor of Philosophy, specialty 172 – Telecommunications and Radio Engineering (17 – Electronics and telecommunications). - National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv, 2024.

The dissertation work is devoted to solving an urgent scientific and applied problem, which is to develop methods for ensuring interference immunity with maintaining the quality of service in wireless telecommunication networks based on the use of ultra-wideband technologies.

The purpose of the dissertation work is to develop new and improve existing methods for increasing the noise immunity of telecommunication networks by developing and improving appropriate models and methods for forming ensembles of complex signals.

Object of the research is the processes of information transmission in wireless telecommunication networks.

The subject of research is models and methods for providing noise immunity with quality of service support in wireless telecommunication networks.

The introduction substantiates the relevance of providing noise immunity based on ultra-wideband communication technology, presents the connection of the work with scientific programs, plans and topics, provides scientific novelty, presents the practical significance of the results obtained, provides information on the personal contribution of the applicant, and presents a list of publications on the topic of the dissertation.

In the first chapter, the scientific and technical problem of ensuring interference immunity in wireless telecommunication networks is formulated. The current state and trends in the further development of methods for organizing mobile communication systems are investigated. An analysis of information transmission processes is carried

out and the feasibility of using ultra-wideband signals in digital wireless mobile communication systems is substantiated. It is shown that the criterion of noise immunity is the ratio of the average power of the information signal to the noise power. It is proved that in order to ensure noise immunity at a given level of service quality, it is advisable to develop and improve new models and methods based on ultra-wideband signal technology. The formal statement of the problem and the tasks of the dissertation research are formulated.

In the second chapter, a method for forming ensembles of complex signals in mobile communication systems is developed. A method for creating a signal-code design of an information signal and a method for forming independent noise-protected communication channels are proposed. A method for forming an ensemble of complex ultra-wideband information signals and a model that implements the developed method of simultaneous formation of reference and information signals are developed. The proposed method, based on a complex ultra-wideband information signal, allows to guarantee the requirements for noise immunity, secrecy and security of wireless mobile communication channels. The developed method of forming complex ultra-wideband information pulse signals allows increasing the density of information channels and the amount of information circulating in wireless networks while improving its security under the influence of natural and artificial interference.

In the third chapter, we study models and methods for constructing antenna systems for the implementation of ultra-wideband communication technology. A method for radiating an ensemble of complex ultra-wideband signals and a model of the antenna system that implements it have been developed. Moreover, the formation of a bipolar pulse information signal, which is the equivalent of the derivative of the Gaussian monocycle, is carried out by interfering its components in the equivalent total antenna opening, which allows to increase the radiation range of the antenna by 2.37 times. A model of a turnstile antenna system and a method of flickering polarization are created and studied, according to which each of a series of chips encoding an information bit is fed to a single antenna. They are alternately fed to one or the other antenna, which are arranged orthogonally in the antenna unit, which allows more than

doubling the range of the antenna's electromagnetic radiation. It also provides reception and transmission of electromagnetic radiation of arbitrary polarization, which is typical for wireless telecommunication systems of mobile communication.

In the fourth chapter, we investigate the method of correlation reception of a complex signal ensemble, which allows us to recognize and extract an information signal from a mixture of Gaussian white noise and a useful signal. It is shown that the reliable recovery of the transmitted binary information allows, provided a large signal base ($B > 300$) covert signal transmission ($S/N = -6 \dots -3 \text{ dB}$) with a bit error probability of less than 10^{-6} . The effectiveness of the developed scientific and technical recommendations for their practical use has been evaluated, which allows for the reliable transmission of binary digital information in the face of external and intra-system interference.

The conclusions present the main results of the scientific work on solving the research tasks.

The research has yielded the following scientific results:

1. The method of forming an ensemble of a complex ultra-wideband information signal in mobile communication systems was first proposed, which makes it possible to carry out wireless communication in a wide frequency band when the level of the information signal is equal to or lower than the noise level.

2. For the first time, models and methods for constructing antenna systems for the implementation of ultra-wideband communication technology and the method of flickering polarization for telecommunication systems of wireless mobile communication, which takes into account the peculiarities of creating, distributing in space and receiving ultra-wideband information signals, which allows to fulfill the requirements for ensuring the noise immunity of wireless mobile TCS with maintaining the quality of service.

3. The method of simultaneous coding and modulation of information is improved by creating a signal-code construction based on the time shift of the coding signal relative to its basic position in the signal sequence and differs from the known ones in that the value of the time shift is a quarter of the duration of the coding signal.

4. An improved method of forming independent noise immune channels using orthogonal coding, which is based on an additional time shift of the coding signal relative to their reference sequence and is characterized by the fact that the value of the time shift relative to the reference sequence is 2-3 orders of magnitude of the duration of the coding signal, which allows to compact communication channels without compromising the quality of their operation.

5. The method of correlation reception of ultra-wideband signals was further developed, which makes it possible to perform double spectral processing during the appearance of each bit of information, which allows to increase the signal-to-noise ratio at the receiver input.

6. The method of recognizing and extracting an information signal from a mixture of Gaussian white noise and a useful signal by correlating the received and reference signals was further developed, which allows to increase the reliability of reception.

The research, the results of which are presented in the dissertation, was carried out at the department "Information Systems named after V.O. Kravets" of NTU "Kharkiv Polytechnic Institute" in accordance with the tasks of the state budget topic of the Ministry of Education and Culture of Ukraine: International project under the ERASMUS+ program (Project Number: 598236-EPP-1-2018-1-LT-EPPKA2-CBHE-SP) on the topic "dComFra – Digital competence framework for Ukrainian teachers and other citizens" (implementation period 2018-2021), in which the applicant was the executor of individual stages.

Based on the results of the study, the practical and theoretical value of the developed models and methods was confirmed, practical recommendations were given regarding the application of the developed models and methods, and the prospects for their further development were considered.

Keywords: analysis, fault tolerance, radiation, electromagnetic compatibility, interference immunity, coding, correlation, methods, network, model, simulation, quality of service, optimization, signal, system.

List of publications of the acquirer

Scientific works in which the main scientific results were published:

1. B.A. Lazurenko, A.A. Serkov, K.A. Trubchaninova, A.E. Horiushkina. Security Improvement Techniques for mobile applications of Industrial Internet of Things, *IJCSNS International Journal of Computer Science and Network Security*, WoS, Korea, 2020. Vol. 20, No. 5, pp. 145-149.
2. V. Knyazev, V. Kravchenko, B. Lazurenko, O. Serkov, K. Trubchaninova, N. Panchenko. Development of Methods and Models to improve the Noise Immunity of Wireless Communication Channels, *Eastern – European Journal of Enterprise Technologies*, Kharkiv, 2022. Vol. 1. № 5(115). pp. 35–42. (A)
3. Aleksandr Serkov, Oleg. Kasilov, Bogdan. Lazurenko. Volodimir Pevnev, Karyna Trubchaninova. Strategy of Building a Wireless Mobile Communication System in the Conditions of Electronic Counteraction, *Radioelectronic and Computer Systems*, Kharkiv, 2023, № 2(106). pp. 160-170. (A).
4. Alla Jammine, Serkov Alexandr, Bogdan Lazurenko, Nait-Abdesselam Farid. The Order of Formation of Information Signals in IIoT, *IJCSNS International Journal of Computer Science and Network Security*, WoS, Korea, 2023. Vol. 23, No. 3, pp. 139-143. (B)
5. N Dzheniuk, S. Yevseiev, B. Lazurenko, O. Serkov, O. Kasilov. A Method of Protecting Information in Cyberphysical Space. *Advanced Information Systems*, Kharkiv, 2023. Vol. 7. No. 4. pp. 80-85. (A)
6. Aleksandr Serkov, Alla Jammine, Dmytro Kudii, Nataliia Dzheniuk, Nait-Abdesselam Farid, Bogdan Lazurenko. Security Models and Methods of Socio-Cyberphysical Systems. *Confreres materials. Proceeding of IEEE 2023, 7th International Symposium on Multidisciplinary Studies and Innovative Technologies (ISMSIT 2023), (October 26-28, 2023, Ankara), Scopus, Turkey, 2023.*
7. Nataliia Dzheniuk, Stanislav Milevskyi, Bogdan Lazurenko Aleksandr Serkov, Andrii Zakharzhevskyi. Sociocyberphysical Security Systems Synthesis Models. *Confreres materials. Proceeding of IEEE 2023, 7th International Symposium*

on Multidisciplinary Studies and Innovative Technologies (ISMSIT 2023), (October 26-28, 2023, Ankara), Scopus, Turkey, 2023.

8. Lazurenko B.O., Trubchaninova K.A. Serkov O.A. Metod zabezpechennya zavadostijkosti ruxomogo zvyazku pry vynyknneni vnutrishnosy`stemnyx zavad. *Systemy upravlinnia, navihatsii ta zviazku. Poltava: PNTU, 2020. Issue 1(59). P.155 - 159. DOI: 10.26906/SUNZ.2020.1.155. (Б).*

9. Lazurenko B.O., Trubchaninova K.A. Serkov O.A. Zavadostijkist mobilnyx telekomunikacijnyx system. *Systemy upravlinnia, navihatsii ta zviazku. Poltava: PNTU,. 2020. Issue 2(60). P.169 -172. (Б).*

10. B.O. Lazurenko, O.A. Serkov, N.G. Kuchuk, A.E. Goriuschkina. Metod formuvannja informatsiynich signaliv v sistemi Industrial Internet of Things. *Systemy upravlinnia, navihatsii ta zviazku. Poltava: PNTU,. 2021. Issue 2(64). P.166-170. (Б).*

11. V.V. Knyazev, V.I. Kravchenko, Б.О. B.O. Lazurenko, O.A. Serkov, K.A. Trubchaninova. Metod zabezpechennja electromagnitnoi sumisnosty mobilnich telecommunikatsijnych system zvjazku. *Systemy upravlinnia, navihatsii ta zviazku. Poltava: PNTU,. 2021. Issue 3(65). P. 134-138. (Б).*

12. V. Knyazev, B. Lazurenko, A. Serkov. Methods and tools for assessing the level of noise immunity of wireless communication channels. *Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries, Kharkiv, 2022. No. 1 (19), pp. 92–98. (Б).*

Patents and certificates of inventions:

13. Sposib peredachi informatsii nadshyrokosmuhovymy impulsnymy syhnalamy v transportnykh zasobakh: patent na korysnu model UA 140210 U Ukraina: MPK H04V 1/12 (2006.01) / S.V. Panchenko, O.A. Serkov, K.A. Trubchaninova, M.S. Kurtsev, B.O. Lazurenko; u 2019 07640; zaiavl. 08.07.2019; opubl. 10.02.2020, Biul. № 3.

14. Sposib zbudzhennia nadshyrokosmuhovoi anteny z merekhtlyvoiu poliaryzatsiieiu: patent na korysnu model UA 141131 U Ukraina: MPK H01Q 21/06 (2006.01) / S.V. Panchenko, O.A. Serkov, K.A. Trubchaninova, M.S. Kurtsev, B.O. Lazurenko; u 2019 08723; zaiavl. 19.07.2019; opubl. 25.03.2020, Biul. № 6.

15. Nadshyrokosmuhova antena z merekhtlyvoiu poliaryzatsiieiu: patent na korysnu model UA 141130 U Ukraina: MPK H01Q 21/06 (2006.01) / S.V. Panchenko, O.A. Serkov, K.A. Trubchaninova, M.S. Kurtsev, B.O. Lazurenko; u 2019 08722; zaiavl. 30.07.2019; opubl. 25.03.2020, Biul. № 6.

16. Sposib pryomu tsyfrovyykh dviikovykh syhnaliv v umovakh shumy: patent na korysnu model UA 145319 U Ukraina: MPK H04B 1/02 (2006.01) / S. V. Panchenko, O.A. Serkov, K.A. Trubchaninova, M.S., A.Ie. Horiushkina, B.O. Lazurenko; u 2020 04847; zaiavl. 29.07.2020; opubl. 25.11.2020, Biul. № 22.

17. Sposib peredachi informatsii nadshyrokosmuhovimi impulsnymi signalami: patent Ukraini na vinachid № 123519 U, MPK H04B 1/02 (2006.01), H04B 1/69 (2011.01), H04B 7/00, / B.O. Lazurenko, O.A. Serkov, V.J. Pevnev, V.A. Tkachenko, V.S. Harchenko; a 201905980 zaiavl. 30.05.2019, opubl. 14.04.2021, Biul. № 15.

18. Nadshyrokosmuhova antena z merekhtlyvoiu poliaryzatsiieiu ta sposib ii zbudzhennia: patent Ukraini na vinachid № 126475 U MPK H01Q 21/06, H01Q 13/08, / S.V. Panchenko, O.A. Serkov, K.A. Trubchaninova, M.S. Kurtsev, B.O. Lazurenko; a 201908720 zaiavl. 19.07.2019, opubl. 13.10.22, Biul. № 41.

19. Sposib peredachi informatsii v bezprovidnih telecommunicatsiinich merezhach: patent na korysnu model UA 156075 U MPK H04B 1/12, / V.J. Pevnev, O.A. Serkov, B.O. Lazurenko, M.B. Tsuranov, G.A. Zemljanko; u 202302882 zaiavl. 14.06.2023, opubl. 09.05.24, Biul. № 19.

20. Sposib formuvannja topologii mobilnoi bezprovidnoi povitrjanoi merezchi: patent na korysnu model UA 156381 U MPK H04B 1/12, / N.V. Dzcheniuk, S.P. Evseev, B.O. Lazurenko, O.A. Serkov, V.S. Hvostenko, M.V. Korchagin, S.V. Orehov, O.V. Lezik, S.I. Korsunov, N.I. Voropai; u 202301793 zaiavl. 18.04.2023, opubl. 25.06.24, Biul. № 25.

21. Compjuterna programa dlja zabezpechennja electromagnitnoi sumisnosty v samoorganizovanii bezprovidnii radiomerezchi «Compatibility» / O.A. Serkov, V.V. Knyazev, V.I. Kravchenko, B.O. B.O. Lazurenko // Svidotstvo № 106702 vid 27.07.2021, (zaiavka № c202104661), pro reestratsiju avtorskogo prava na tvir.

22. Компьютерна програма длја експертної оцінки рівня блискавокозачуства будівель та споруд «Експертиза» / О.А. Серков, В.В. Князев, В.І. Кравченко, Б.О. Б.О. Лазуренко // Свідотство № 108356 від 30.09.2021, (заявка № с202106154), про реєстрацію авторського права на твір.

Other publications:

23. N. Dzheniuk, B. Lazurenko, O. Serkov, I. Yatsenko. Electromagnetic compatibility of telecommunication systems: Laboratory works, NTU “KhPI”, Kharkiv, 2021. - 60 p.

Published works of approbation nature:

24. Lazurenko B.A. Quality criteria for wireless communication channel. *Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я (MicroCAD – 2021): тез. доп. XXIX МНПК* (Kharkiv, Ukraina, 18 - 20 травня 2021р). Kharkiv, 2021. S. 110.

25. Lazurenko B.O., Korolov A.O. Method of determining the level of quality of information in the network. *Сучасні напрями розвитку інформаційно-комунікаційних технологій та засобів управління: тези доповіді XI-ї МНТК*, (Kharkiv, 8-9 квітня 2021р.) Kharkiv: NTU “KhPI”, 2021. S. 37.

26. B.O. Lazurenko, O.A. Serkov. Method of determining the level of quality of two-level signals in the channels of the connection with noise. *Проблеми інформатики та моделювання (PIM-21): тези доповіді XXI МНТК*, (Kharkiv, Ukraina, 09 – 14 вересня 2021р.). Kharkiv, 2021. S. 63-64.

27. B. Lazurenko, A. Serkov, K. Trubchaninova. Method of Assessing the Level of Disability of Wireless Communication Channels. *Інформаційно-керувальні системи на залізничному транспорті: тези доповіді XXXV МНТК*, (Kharkiv, Ukraina, 11 листопада 2022р.). Kharkiv, 2022. S. 16.

28. B.O. Lazurenko. Effectiveness of digital systems of the connection. *Сучасні напрями розвитку інформаційно-комунікаційних технологій та засобів управління: тези*

dopovidei XII MNTK, (Kharkiv, Ukraina, 17-18 kvitnja 2022p.). Kharkiv, 2022, T1. S. 15.

29. O. Serkov, B. Lazurenko. Tehnologija zabezpechennja zavadozahizhennosti bezprovidnih kanaliv zvjazku. *Problemi informatiki ta modeluvannja (PIM-22)*: tezi dopovidei XXII MNTK, (Kharkiv, Ukraina, 09 – 14 listopada 2022p.). Kharkiv, 2022. S. 12.

30. B. Lazurenko, M. Ohrimenko. Metod pobudovi topologii mobilnih bezprovidnih mrezech. *Suchasni naprjami rozvitku informatsiino-kommunikatsiinih tehnologii ta zasobiv upravlinnja*: tezi dopovidei XII MNTK, (Kharkiv, Ukraina, 26-27 kvitnja 2023p.). Kharkiv, 2023. S. 50.

31. O.A. Serkov, N.V. Dzheniuk, B.O. Lazurenko. Metodologija pidvischennja efekтивности system elektronnoi komunikatsii. *Problemi informatiki ta modeluvannja (PIM-23)*: tezi dopovidei XXIII MNTK, (Kharkiv, Ukraina, 20 – 22 veresnja 2023p.). Kharkiv, 2023. S. 17-19.

32. N. Dzheniuk, S. Yevseiev, B. Lazurenko, O. Serkov, O. Kasilov. A Method of Protecting Information in Cyberphysical Space. *Computerni ta informatsiini systemi i tehnologii (CEIT'2023)*: tezi dopovidei VI MNTK (Kharkiv, Ukraina, 21–22 chervnja 2023p.). Kharkiv, 2023.

33. O.A. Serkov, B.O. Lazurenko. Metodi schtuchnogo intelektu u systemah elektronnoi komunikatsii ruhomih obektiv. *Problemi informatizatsii i informatizacii*: tezi dopovidei XI MNTK (Kharkiv, Ukraina, 16–17 listopada 2023p.). Kharkiv, 2023, T 1. S. 42.

34. O.A. Serkov, K.A. Trubchaninova, O.V. Kasilov, N.V. Dzheniuk, B.O. Lazurenko. Method pidvischennja emnosti informatsiinogo signal. *Informatsiini problem teorii akustichnih, radioelektronnih i telekomunikatsiinih system (IPST-2023)*: tezi dopovidei XII MNTK (Kharkiv, Ukraina, 11-13 listopada 2023 p.) Kharkiv, 2023. S. 150-151.

ЗМІСТ

ВСТУП	5
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ МЕТОДІВ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЗАВАДОЗАХИЩЕНОСТІ ІЗ ПІДТРИМКОЮ ЯКОСТІ ОБСЛУГОВУВАННЯ СИСТЕМ МОБІЛЬНОГО ЗВ'ЯЗКУ	15
1.1. Сучасний стан та тенденції розвитку мобільних систем зв'язку	15
1.1.1. Тенденції подальшого розвитку методів організації систем мобільного зв'язку	17
1.1.2. Аналіз технологій надширокосмугового зв'язку	20
1.1.3. Особливості розповсюдження сигналів в безпроводовій мережі	23
1.2. Класифікація безпроводових систем мобільного зв'язку	24
1.2.1. Обґрунтування критерію якості мобільного зв'язку	24
1.2.2. Аналіз та класифікація існуючих систем радіодоступу	26
1.3 Аналіз процесів передачі інформації в системах мобільного зв'язку	29
1.3.1 Аналіз придатності надширокосмугових сигналів для їх застосування в системах цифрового мобільного зв'язку	29
1.3.2 Властивості надширокосмугових сигналів	30
1.3.3. Генератори надширокосмугових сигналів в ТКС мобільного зв'язку	36
1.4 Постановка науково-технічної задачі	38
Висновки до розділу 1	39
РОЗДІЛ 2. РОЗРОБКА МЕТОДУ ФОРМУВАННЯ АНСАМБЛІВ СКЛАДНИХ СИГНАЛІВ В СИСТЕМАХ МОБІЛЬНОГО ЗВ'ЯЗКУ	41
2.1. Методи створення сигнально-кової конструкції інформаційного сигналу	41
2.2. Метод формування незалежних завадозахищених каналів зв'язку	46
2.3. Метод формування ансамблю складного надширокосмугового інформаційного сигналу	48

2.3.1. Модель одночасного формування опорного та інформаційного сигналів.....	52
2.3.2. Модель кодування інформаційного сигналу протилежними чипами	54
2.3.3. Модель розділеного формування опорного та інформаційного сигналів.....	56
2.4. Метод забезпечення завадостійкості із підтримкою якості обслуговування безпроводових ТКС мобільного зв'язку	58
Висновки до розділу 2	63
РОЗДІЛ 3. МОДЕЛІ І МЕТОДИ ПОБУДОВИ АНТЕННИХ СИСТЕМ ДЛЯ РЕАЛІЗАЦІЇ ТЕХНОЛОГІЇ НАДШИРОКОСМУГОВОГО ЗВ'ЯЗКУ	65
3.1. Класифікація антенних систем	65
3.2. Аналіз широкосмугових антен	67
3.2.1. Фрактальні антени	67
3.2.2. Антени TSA	71
3.3 Розробка моделі антени для випромінювання ансамблю складних НШС сигналів.	76
3.3.1 Метод випромінювання ансамблю складних НШС сигналів та модель, що його реалізує	76
3.3.2.Модель антенної системи для застосування в мобільному зв'язку.....	78
3.4 Метод мерехтливої поляризації для завадозахищених систем безпроводового мобільного зв'язку.....	80
Висновки до розділу 3	83
РОЗДІЛ 4. РОЗРОБКА МОДЕЛЕЙ І МЕТОДІВ КОРЕЛЯЦІЙНОГО ПРИЙОМУ АНСАМБЛІВ СКЛАДНИХ СИГНАЛІВ В СИСТЕМАХ МОБІЛЬНОГО ЗВ'ЯЗКУ.....	85
4.1. Метод кореляційного прийому ансамблю складного НШС сигналу	85

4.2. Метод розпізнавання і вилучення інформаційного сигналу із суміші гаусового білого шуму та корисного сигналу	90
4.3. Метод розпізнавання та виявлення двох відомих сигналів на фоні шуму	93
4.4. Метод оцінки впливу завад на якість відновлення інформації	101
4.5. Оцінка ефективності розроблених науково-технічних рекомендацій щодо їх практичного використання	107
Висновки до розділу 4	109
ВИСНОВКИ.....	111
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	114
ДОДАТОК А.....	128
СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ	128
ДОДАТОК Б	134
ПАТЕНТИ ТА СВІДОЦТВА ПРО ВІНАХОДИ	134
ДОДАТОК С	149
АКТИ ВПРОВАДЖЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ДИСЕРТАЦІЙНОЇ РОБОТИ.....	149

ВСТУП

Актуальність теми дослідження. Постійне вдосконалення і розвиток мобільного зв'язку є ключовим пріоритетом у забезпеченні конкурентоздатності національної економіки та обороноздатності України в цілому. При цьому, надзвичайно інтенсивний розвиток безпроводових технологій став одним з основних сучасних напрямків розвитку інфокомунікаційної індустрії. У свою чергу, нагальною стає проблема забезпечення вимог до якості обслуговування (Quality of Service, QoS), яка обумовлена вимогами до високої швидкості передачі інформації, щільності безпроводових каналів на один квадратний метр робочої зони, їх пропускну здатності та завадозахищеності в умовах дії природних та штучних завад.

Збільшення попиту на додаткову пропускну здатність з боку різних служб радіозв'язку в умовах обмеженості радіочастотного ресурсу призводить до ускладнення електромагнітної обстановки, внаслідок чого виникають завади, які мають значний вплив на якість зв'язку та кількість абонентів, що обслуговуються одночасно. Для вирішення цих завдань необхідно застосовувати методи, що дозволяють ефективно використовувати служб, розташованих в одній смузі частот, у тому числі ефективно спільне використання обмежених радіочастотних ресурсів.

Забезпечення високого рівня якості обслуговування та завадозахищеності каналів у безпроводовій телекомунікаційній мережі можливе на єдиній методологічній основі - технології надширокосмугового зв'язку. Застосування підходів на основі надширокосмугових технологій сприяє ефективному використанню спектра. Однак для їх реалізації необхідно вирішити ряд нових складних завдань, основним з яких є впровадження нових ансамблів складних сигналів.

У сучасних умовах основна увага приділяється завданням боротьби з завадами, які виникають під час одночасної роботи радіосистем у загальній смузі частот і впливають на кількість одночасно обслуговуваних абонентів і

якість зв'язку між ними. Але завдання підвищення завадозахищеності із забезпеченням заданого рівня якості обслуговування в безпроводових телекомунікаційних мережах потребує подальшого дослідження. Одночасно з істотним підвищенням вимог до завадозахищеності із забезпеченням заданого рівня якості обслуговування в безпроводових телекомунікаційних мережах, існує фізична обмеженість радіочастотного спектру, яка не дозволяє забезпечити якість обміну інформацією, особливо в умовах складної електромагнітної обстановки, яку створено щільно розташованими мобільними безпроводовими пристроями.

У зв'язку з цим, **актуальною науковою задачею** є розробка нових та удосконалення існуючих моделей і методів забезпечення завадозахищеності із підтримкою якості обслуговування в безпроводових телекомунікаційних мережах на основі застосування надширокосмугових технологій, що визначило напрям дисертаційного дослідження.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дослідження, результати яких викладені в дисертаційній роботі, виконані на кафедрі системи інформації ім. В.О. Кравця НТУ «ХПІ» при виконанні науково-дослідної роботи за держзамовленням «Розробка системи випробувань типових видів озброєння та військової техніки України за стандартами НАТО з електромагнітної сумісності» (№ ДР 0119U002571, акт впровадження від 25.02.2021 р.); міжнародного проекту за програмою ERASMUS+ НТУ «ХПІ» Project Number: 598236-EPP-1-2018-1-LT-EPPKA2-CBHE-SP) за темою «dComFra – Digital competence framework for Ukrainian teachers and other citizens» (2018-2021pp, акт впровадження від 16.02.2021 р.), у яких здобувач брав безпосередню участь як виконавець окремих розділів.

Мета і завдання дослідження. Мета роботи полягає у розробці нових та удосконалення існуючих методів підвищення завадозахищеності із підтримкою якості обслуговування у безпроводових телекомунікаційних мережах шляхом розробки і вдосконалення відповідних моделей і методів формування ансамблів складних сигналів.

Для досягнення поставленої мети в дисертаційній роботі були сформульовані та вирішені такі задачі дослідження:

- проведено аналіз сучасного стану та тенденцій подальшого розвитку засобів забезпечення завадозахищеності із підтримкою якості обслуговування в безпроводових телекомунікаційних системах мобільного зв'язку;
- розроблено метод формування ансамблю складного надширокосмугового інформаційного сигналу в системах мобільного зв'язку;
- удосконалено метод одночасного кодування і модуляції інформації шляхом створення сигнально - кодової конструкції та метод формування незалежних завадозахищених каналів зв'язку;
- розроблено моделі і методи побудови антенних систем для реалізації технології надширокосмугового зв'язку та метод мерехтливої поляризації для завадозахищених телекомунікаційних мереж безпроводового мобільного зв'язку;
- розвинуто метод кореляційного прийому надширокосмугових сигналів та метод розпізнавання і вилучення інформаційного сигналу із суміші гаусового білого шуму та корисного сигналу;
- проведено оцінку ефективності та здійснено розробку науково-технічних рекомендацій щодо практичного використання запропонованих у дисертації рішень.

Об'єкт дослідження – процеси передачі інформації із підтримкою якості обслуговування та забезпеченням завадозахищеності каналів зв'язку в безпроводовій телекомунікаційній мережі.

Предмет дослідження – моделі та методи забезпечення завадозахищеності із підтримкою якості обслуговування в безпроводових телекомунікаційних мережах.

Методи дослідження.

- теорія передачі сигналів та електрозв'язку для розробки математичних моделей процесів створення, розповсюдження у просторі та прийому надширокосмугових інформаційних сигналів;

- методи теорії потенційної завадозахищеності та теорії інформації для розв'язання задач забезпечення завадозахищеності телекомунікаційних систем;

- імітаційне моделювання, комп'ютерні моделі для імітації реальних процесів при створенні надширокосмугових антенних систем.

Наукова новизна отриманих результатів. У результаті виконання дисертаційної роботи отримані наступні наукові результати:

Вперше розроблені:

- метод формування ансамблю складного надширокосмугового інформаційного сигналу в системах мобільного зв'язку, який дає можливість здійснювати безпроводовий зв'язок в широкій смузі частот, коли рівень інформаційного сигналу дорівнює чи нижче рівня шуму;

- моделі і методи побудови антенних систем для реалізації технології надширокосмугового зв'язку та метод мерехтливої поляризації для телекомунікаційних систем безпроводового мобільного зв'язку, який враховує особливості створення, розповсюдження у просторі та прийому надширокосмугових інформаційних сигналів, що дозволяє виконати вимоги щодо забезпечення завадозахищеності безпроводових рухомих ТКС із підтримкою якості обслуговування;

Удосконалені:

- метод одночасного кодування і модуляції інформації шляхом створення сигнально - кодової конструкції, яка базується на зсуві у часі кодуючого сигналу щодо його основного положення у послідовності сигналів та відрізняється від відомих тим, що величина часового зсуву складає чверть тривалості кодуючого сигналу;

- метод ортогонального кодування який базується на додатковому зсуві у часі кодуючого сигналу відносно опорної їх послідовності, що дозволяє формування незалежних завадозахищених каналів зв'язку, та відрізняється тим, що величина часового зсуву відносно опорної послідовності складає 2-3 порядки тривалості кодуючого сигналу;

Отримали подальший розвиток:

- метод прийому надширокосмугових сигналів, який дозволяє збільшити співвідношення сигнал/завада на вході приймача за час появи кожного біту інформації за рахунок застосування кореляційного прийому;

- метод розпізнавання і вилучення інформаційного сигналу, який дозволяє за рахунок застосування кореляційного прийому вилучити його із суміші гаусового білого шуму та корисного сигналу.

Достовірність нових наукових положень і висновків дисертаційної роботи підтверджується:

- відповідністю результатів експериментальних досліджень до положень теорії передачі сигналів та електрозв'язку;

- відповідністю припущень, зроблених при створенні моделей і методів, досвіду експлуатації мобільних пристроїв;

- результатами практичного впровадження розроблених моделей і методів у системи безпроводового зв'язку.

Практична значимість отриманих результатів полягає в тому, що розроблені у роботі моделі і методи є науково-практичною основою для забезпечення завадозахищеності із підтримкою якості обслуговування в безпроводових телекомунікаційних систем.

Представлені на їх основі інженерні методи та алгоритми дають змогу в широкій смузі частот здійснювати багатоканальний зв'язок, який забезпечує захист та прихованості інформації в безпроводових мережах; підвищити захист від зовнішнього електромагнітного випромінювання та пасивних завад; захистити від багатопроменевого розповсюдження радіохвиль.

За темою досліджень отримано 2 патенти України на винахід, 4 патенти України на корисну модель та 2 свідоцтва про реєстрацію авторського права на твір, які підтверджують новизну і практичну значимість результатів дисертації.

Результати досліджень впроваджено (Додаток В):

- в системах передачі інформації НДПКІ «МОЛНІЯ» (м.Харків);

– у звіті про виконання міжнародного проекту за програмою ERASMUS+ НТУ «ХП»

– в навчальний процес кафедри систем інформації ім. В.О. Кравця НТУ «ХП».

Авторський внесок здобувача полягає у розробці нових та удосконалення існуючих методів та моделей підвищення завадозахищеності із підтримкою якості обслуговування у безпроводових телекомунікаційних мережах, які забезпечують виконання поставлених в дисертаційні роботі наукових завдань. Результати дисертаційної роботи отримані здобувачем особисто та в співавторстві опубліковані у публікаціях (Додаток А):

А) фахові видання України:

[1] – здобувачем проведено оцінку впливу завад на якість відновлення інформації. Співавторами: Серковим О.А. запропоновано загальна постановка задачі. Трубочаніновій К.А. належить визначення особливостей забезпечення завадостійкості рухомого зв'язку.

[2] – здобувачем розроблено метод виявлення та розрізнення двійкових сигналів на фоні білого шуму. Співавторами: Серковим О.А. запропоновано загальна постановка задачі. Трубочаніновій К.А. належить визначення критеріїв, що впливають на завадостійкість мобільних телекомунікаційних систем;

[3] – здобувачем розроблено функціональну схему формування інформаційних надширокосмугових сигналів з усталеною синхронізацією. Співавторами: Серковим О.А. запропоновано загальна модель формування інформаційних сигналів. Кучук Н.Г. належить перевірка працездатності розробленої моделі. Горюшкіна А.Е. запропонувала використовувати такі сигнали в системах Industrial Internet of Things;

[4] – здобувачем розроблено метод формування незалежних завадозахищених каналів із застосуванням ортогонального кодування. Співавторами: Серковим О.А. запропоновано застосування ортогонального кодування. Князєву В.В. належить пропозиція застосовувати ортогональне

кодування у безпроводових системах зв'язку. Кравченко В.І. запропонував застосовувати розроблений метод для забезпечення електромагнітної сумісності. Трубочанінова К.А. запропонувала ущільнити канали зв'язку без порушення якості їх роботи;

[5] – здобувачем запропоновано метод одночасного кодування і модуляції інформації шляхом створення сигнально - кодової конструкції, за якою величина часового зсуву складає чверть тривалості кодуємого сигналу. Співавторами: Серковим О.А. запропоновано загальна постановка задачі. Князєву В.В. належить пропозиція застосовувати складні сигнально - кодові конструкції у безпроводових комунікаційних каналах зв'язку.

Б) статті у наукових виданнях, проіндексованих у базах даних Web of Science Core Collection та/або Scopus:

[6] – здобувачем розроблено метод мерехтливої поляризації та модель блоку прийому/передачі надширокосмугових сигналів для телекомунікаційних мереж безпроводового мобільного зв'язку;

[7] – здобувачем розроблено метод формування ансамблю складного надширокосмугового інформаційного сигналу в системах мобільного зв'язку;

[8] – здобувачем запропоновано використання надширокосмугових сигналів для побудови стратегії безпроводових мобільних систем;

[9] – здобувачем розроблено метод одночасного кодування та синхронізації при формуванні ансамблю складного надширокосмугового інформаційного сигналу в системах мобільного зв'язку;

[10] – здобувачем запропоновано метод формування біполярного імпульсу в еквівалентному загальному просторі розкрити двох поряд розташованих антен;

[11] – здобувачем обґрунтовано можливість сумісної одночасної беззавадової роботи в одному частотному діапазоні традиційних вузькосмугових і надширокосмугових систем зв'язку;

[12] – здобувачем запропоновано інформаційні сигнали з великою базою;

Б) патенти та свідоцтва про винаходи:

[13] – здобувачем запропоновано спосіб передачі інформації надширокосмуговими імпульсними сигналами;

[14] – здобувачем запропоновано спосіб формування надширокосмугового інформаційного сигналу випромінювання;

[15] – здобувачем розроблено модель надширокосмугової антени з мерехтливою поляризацією;

[16] – здобувачем запропоновано метод кореляційного прийому надширокосмугових сигналів;

[17] – здобувачем запропоновано метод формування ансамблю складного надширокосмугового інформаційного сигналу в системах мобільного зв'язку;

[18] – здобувачем розроблено модель бінарної антени для надширокосмугового зв'язку;

[19] – здобувачем розроблено метод кореляційного прийому та розпізнавання інформаційного сигналу у суміші гаусового шуму та корисного сигналу;

[20] – здобувачем запропоновано застосувати методи штучного інтелекту при побудові топології мережі;

[21] – здобувачем запропоновано алгоритм програмно – конфігурованого керування маршрутизацією в безпроводовій телекомунікаційній мережі;

[22] – здобувачем запропоновано за критерій прийняття рішень застосовувати принцип максимальної правдоподібності.

Д) інші публікації:

[23] – здобувачем запропоновано метод моделювання кондуктивних завад та засоби їх усунення.

[24] - здобувачем запропоновано критерій якості безпроводового зв'язку;

[25] - здобувачем запропоновано метод підвищення якості передачі інформації у безпроводовій мережі;

[26] - здобувачем запропоновано метод завадостійкого кодування двійкових сигналів;

[27] - здобувачем запропоновано метод оцінки рівня завадостійкості безпроводових каналів мережі;

[28] - здобувачем запропоновано критерій ефективності цифрових систем зв'язку;

[29] - здобувачем запропоновано метод забезпечення завадозахищеності безпроводових каналів зв'язку;

[30] - здобувачем запропоновано критерій побудови топології мобільних мереж;

[31] - здобувачем запропоновано метод підвищення ефективності систем електронної комунікації;

[32] - здобувачем запропоновано метод захисту інформації;

[33] - здобувачем запропоновано використовувати методи штучного інтелекту у системах електронної комунікації;

[34] - здобувачем запропоновано метод підвищення ємності інформаційного сигналу.

Апробація результатів. Основні положення дисертаційної роботи були представлені та обговорені на: XXIX МНПК «Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я» (MicroCAD – 2021), (Харків, 2021р.), XI-ї МНТК «Сучасні напрями розвитку інформаційно-комунікаційних технологій та засобів управління» (Харків, 2021р.), XXI МНТК «Проблеми інформатики та моделювання (ПІМ-21)» (Харків, 2021р.), XXXV МНПК «Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті» (Харків, 2022р.), XII-ї МНТК «Сучасні напрями розвитку інформаційно-комунікаційних технологій та засобів управління» (Харків, 2022р.), XXII МНТК «Проблеми інформатики та моделювання (ПІМ-2022)» (Харків, 2022р.), XIII-ї МНТК «Сучасні напрями розвитку інформаційно-комунікаційних технологій та засобів управління»

(Харків, 2023р, XXIII МНТК «Проблеми інформатики та моделювання (ПІМ-2023) (Харків, 2023р.), VI МНТК «Комп'ютерні та інформаційні системи і технології (СЕІТ'2023)» (Харків, 2023р), XI МНТК «Проблеми інформатизації» (Харків, 2023 р.), XII МНТК «Інформаційні проблеми теорії акустичних, радіоелектронних і телекомунікаційних систем (IPST-2023)» (Харків, 2023 р.).

Публікації. Основні положення і результати дисертаційних досліджень, які виносяться на захист, опубліковані у 34 наукових працях: 5 статей у наукових виданнях, включених до переліку наукових фахових видань України, 2 статті у закордонних наукових фахових виданнях, які включені до міжнародної наукометричної бази Web of Science, 5 статей в наукових фахових виданнях України, які включені до міжнародної наукометричної бази Scopus що віднесені до 1-3 кuartилів, 11 матеріалів апробаційного характеру, 2 патенти України на винахід, 6 патентів України на корисну модель та 2-свідоцтва про реєстрацією авторського права на твір.

Структура і обсяг дисертації. Дисертаційна робота складається з анотації, вступу, чотирьох розділів, висновків та додатків. Робота містить 173 сторінок тексту, серед них: 40 рисунків по тексту, 4 рисунка на 4 окремих сторінках, 3 таблиці по тексту, списку використаних джерел з 120 найменувань на 15 сторінках, додатків на 28 сторінках.

РОЗДІЛ 1.

АНАЛІЗ МЕТОДІВ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЗАВАДОЗАХИЩЕНОСТІ ІЗ ПІДТРИМКОЮ ЯКОСТІ ОБСЛУГОВУВАННЯ СИСТЕМ МОБІЛЬНОГО ЗВ'ЯЗКУ

1.1. Сучасний стан та тенденції розвитку мобільних систем зв'язку

Стрімкий розвиток мобільних систем зв'язку, Internet та безпроводових локальних мереж робить все більш нагальною потребу у збільшенні ємності безпроводових мереж, їх захищеності та швидкості передачі інформації із підтримкою якості обслуговування [1-3, 4, 16, 68, 112]. При цьому слід зазначити, що обсяг мобільного трафіку зростає у геометричній прогресії, а його вигляд стає усе більш різноманітним. У той же час існуючий радіочастотний ресурс перевантажено (рис.1.1), що викликає зниження рівня завадозахищеності систем та якості наданих послуг (QoS – Quality of Service). Це стимулює розробку нових методів, які забезпечують підвищення швидкості передачі інформації, зниження впливу завад та економне використання смуги частот. Однак існуючі технології не мають змоги задовольнити нових потреб [6-9].

Інструментарієм для зниження рівня завадової електромагнітної обстановки, компенсації спотворень цифрового інформаційного сигналу, що викликані міжсимвольною інтерференцією та багатопроменевим розповсюдженням радіохвиль із одночасним збільшенням швидкості та обсягів інформації в безпроводових мобільних системах є застосування технології надширокосмугових сигналів. Причому, за критерій якості каналу мобільного зв'язку QoS прийнято відношення сигнал/завада E_s/N_0 , (SNR, signal-to-noise ratio), який пов'язує середню потужність сигналу S до середньої потужності шуму N . [27, 101, 102, 117].

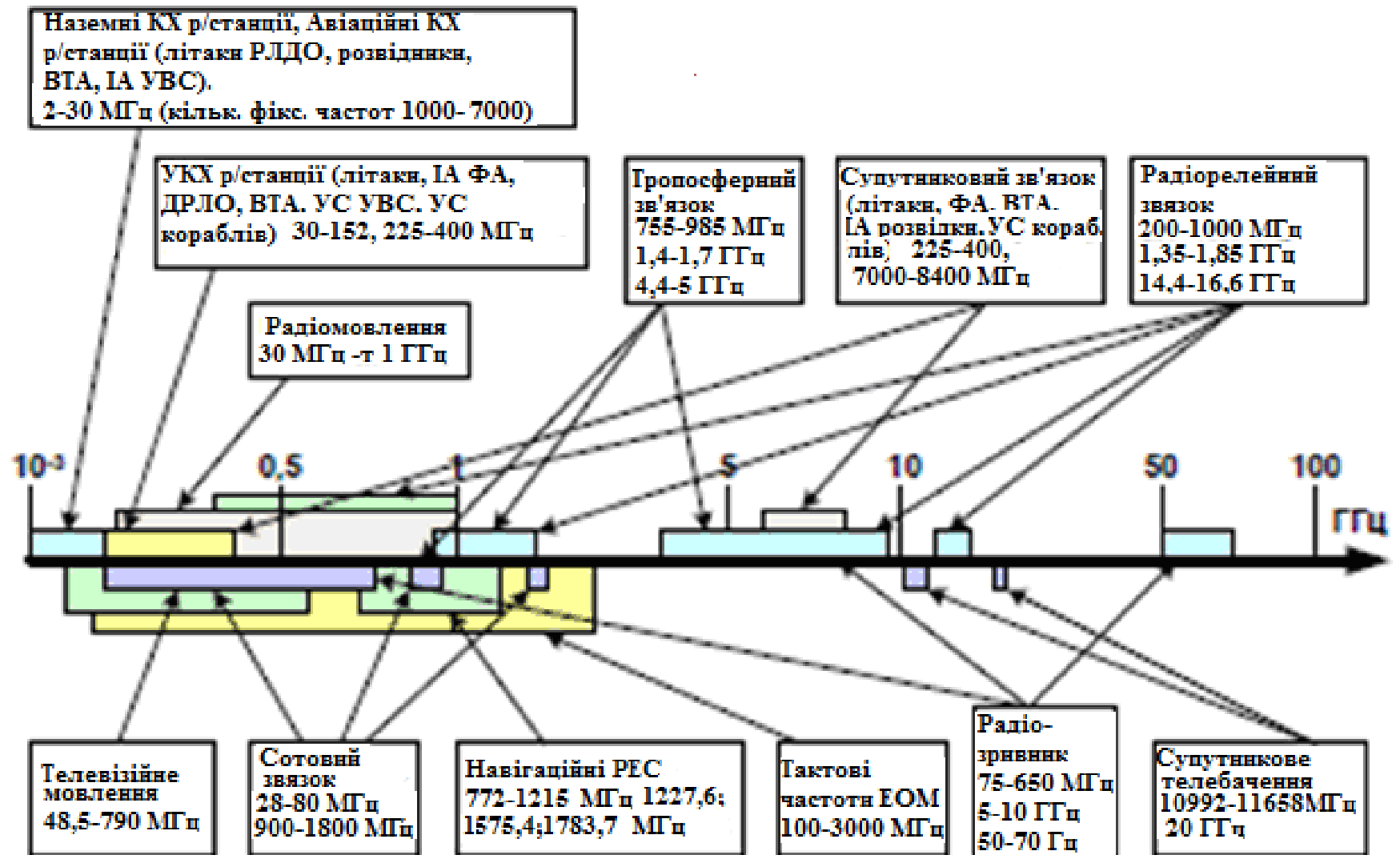


Рисунок 1.1 – Розподіл за робочими частотами засобів зв'язку і навігації [27].

1.1.1. Тенденції подальшого розвитку методів організації систем мобільного зв'язку

Створення сучасних мобільних систем зв'язку здійснюється на ґрунті нових інформаційних технологій, які забезпечують високий рівень надійності, завадозахищеності та здатність передачі великого обсягу інформації з високою швидкістю. На сьогоднішній час мобільні безпроводові мережі стикаються із двома тенденціями, які знаходяться у протиріччі одна до одної [39-42, 59, 61, 68]. Зростання вимог до якості надання послуг мобільного зв'язку обумовлено зростанням ємності додатків, які постійно удосконалюють шляхом збільшення їх обсягів. Це призводить до зростання вимог щодо пропускної здатності каналів зв'язку. У той же час ефективність доступного спектру частот близька до насичення. Як показують теоретичні й експериментальні дослідження процесів обміну інформацією в безпроводових мережах ефективність доступного спектру радіочастот близька до насичення. Максимальна пропускна здатність каналу зв'язку, яку можливо досягти, обмежено границею К. Шенноном [109, 110]. Та подальші покращення ефективності використання радіочастотного спектру є надто коштовними для їх здійснення і забезпечують лише обмежену користь.

На рис. 1.2 наведено розподіл частотного ресурсу між ліцензованими безпроводовими системами мобільного зв'язку [22, 28].

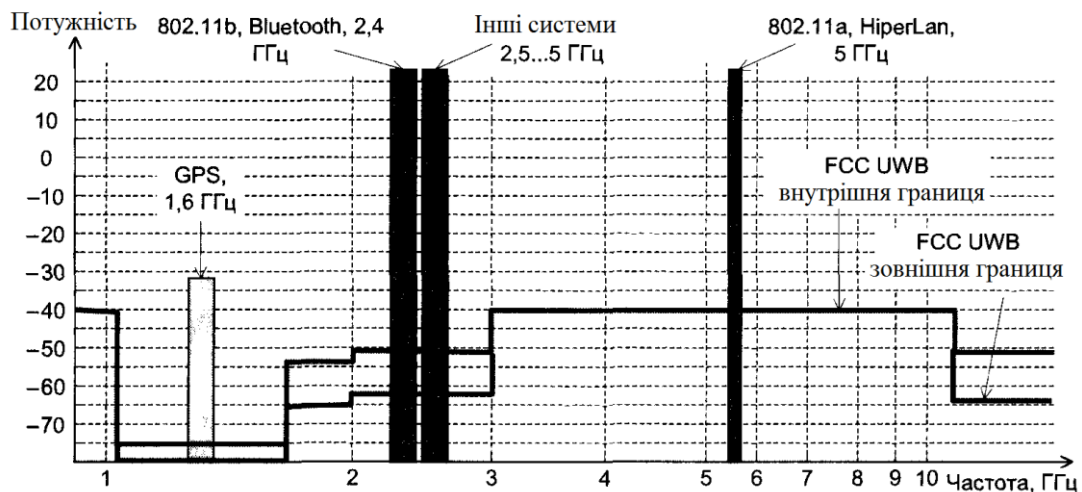


Рисунок 1.2 – Розподіл частотного ресурсу

Аналіз наведеної номограми показує, що найбільша кількість безпроводових радіотехнічних пристроїв зосереджено в діапазоні частот від 1 до 11 МГц, що є найбільш розповсюдженим та оптимальним для безпроводових систем мобільного зв'язку [22, 28]. Визначені межі діапазону смуги частот обумовлені тим, що на частотах менше, ніж 1 ГГц мають місце значні завади з боку промислових та побутових електронних пристроїв. У той же час на частотах вище 10 ГГц виникає значне поглинання сигналу середовищем розповсюдження за рахунок виникнення резонансів на краплинах дощу, туману чи пилу. Таким чином, середовище розповсюдження сигналів суттєво впливає на якість зв'язку мобільних безпроводових систем.

У сучасних безпроводових мережах домінує командно-адміністративний підхід до управління використанням спектру, де фіксовані ділянки спектру ліцензовані для кожної окремої безпроводової послуги або технології. Зростання безпроводових додатків, що працюють в неліцензованих смугах, призвели до переповненості цих смуг. Так, наприклад, для безліцензійного використання надширокосмугових сигналів пристроями в Євросоюзі виділені діапазони 6 – 8 ГГц у США – 3,1 – 10,6 ГГц. Дозволені смуги частот для організації НШС зв'язку у різних країнах світу наведено на рис. 1.3 [22, 28, 66, 72 - 74].

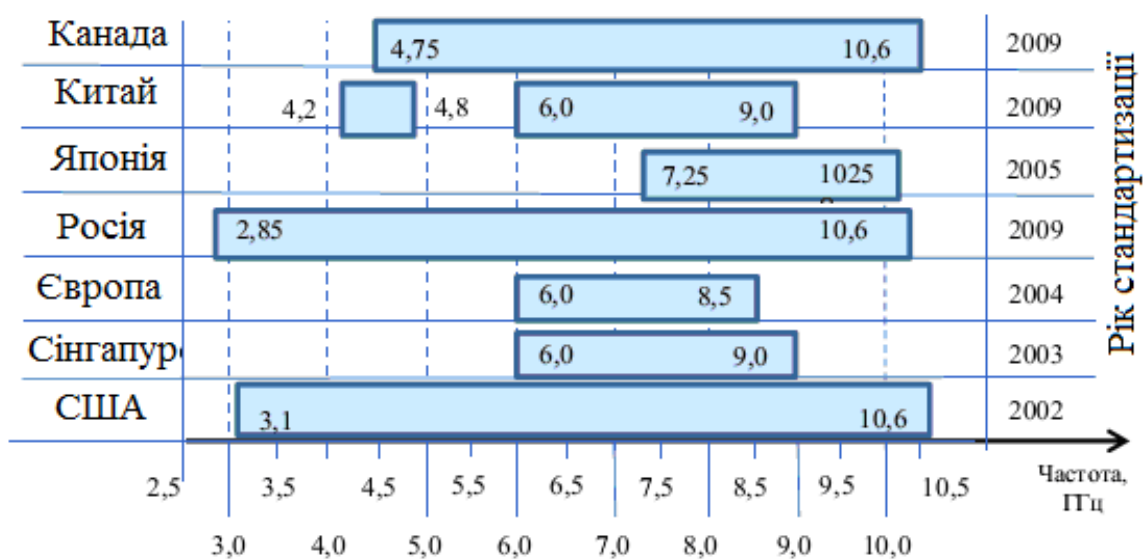


Рисунок 1.3 – Дозволені смуги частот для організації НШС зв'язку [22]

Зменшенню інтерференції між усіма системами зв'язку, які працюють в НШС спектрі частот, сприяє обмеження їх потужності: 41,3 дБм/МГц в США та Євросоюзі. В залежить від країни світу для конкретних застосувань розроблені шаблони дозволених потужностей в смузі пропускання НШС систем [80]. Промислові об'єкти, що використовують сучасні інформаційні технології при автоматизованому управлінні підприємством, вимагають гарантованої надійності та безпеки інформації, що циркулює як в середині системи, так і за її межами [87, 88]. Обробка інформації окремими елементами комп'ютерної системи всередині промислового об'єкту під час керування, призводить до появи просторового інтелекту, який примушує промисловий об'єкт працювати як єдиний організм. При цьому під просторовим інтелектом розуміють просторове об'єднання обчислювальних елементів до єдиної системи [32, 34, 89]. Сучасні інтелектуальні системи зазвичай обмежені окремою машиною чи пристроєм. Розширення переваг просторового інтелекту до розмірів промислового об'єкту дає змогу остаточного бачення промислового об'єкту у вигляді робота. При цьому цінність його значення полягає у охопленні усього підприємства від робочих і обладнання на виробничих лініях до систем навантаження-розвантаження матеріалів та сировини. Таким чином, в центрі концепції реалізації безпеки мобільних додатків просторового інтелекту в системах ІоТ (Industrial Internet of Things) є необхідність розташування у просторі об'єкту безпроводових мікролокаційних датчиків, які сумісно із відповідним програмним забезпеченням гарантують сумісну роботу людей і машин, вимагаючи при цьому підвищення швидкості та обсягів циркуляції інформації [99]. У свою чергу це змушує збільшувати смугу пропускання каналу доступу, знижуючи рівень його завадостійкості та безпеки. ІоТ є розподіленою багаторівневою системою, побудованою на базі персональних і локальних мереж із низьким енергоспоживанням за умов дії природних та штучних електромагнітних завад. Вона працює в режимі реального часу за умов дії електромагнітних

завад із підвищеними вимогами до безпеки і затримкам передачі даних в безпроводових мережах зв'язку.

Таким чином, основною тенденцією розвитку мобільних систем зв'язку є забезпечення зростаючих вимог до якості та завадозахищеності інформації, у безпроводових мережах шляхом застосування технології надширокосмугових сигналів.

1.1.2. Аналіз технологій надширокосмугового зв'язку

Збільшення попиту на використання радіочастотного спектру призвели до того, що кількість вільних ділянок спектру не задовольняє попиту на нього, що викликає дефіцит ділянок спектру. Фундаментальні патенти в області НШС зв'язку, що отримані американськими дослідниками Д. Росом [54, 75, 107, 108] і К. Роббінсоном [55], стали підґрунтям для розробки американською компанією Multispectral Solutions систем безпроводового зв'язку з високою завадозахищеністю із підтримкою якості обслуговування. Вони стали основою для рекомендацій Федеральної комісії із зв'язку США (FCC - Federal Communication Commision) [80] по створенню систем, працюючих в діапазоні частот 2-10 ГГц, які мають надзвичайно широку смугу пропускання, завдяки чому отримали назву надширокосмугових (UWB). Перші кроки у практичному застосуванні UWB систем здійснив американський вчений Л. Фуллертон, який на ґрунті патентів в області надширокосмугового зв'язку [56 - 58] заснував компанію Time Domain, яка зараз є лідером у галузі портативних надширокосмугових облаштувань систем зв'язку. Дослідження вчених Астаніна Л.Ю. [1], Чурюмова Г.І. [19,100, 112], Москалец Н.В. [39-42, 104-106] та інших заклали теоретичну основу для розробки та використання НШС сигналів у вітчизняних системах надширокосмугового зв'язку.

Застосування технології НШС сигналів забезпечує можливість впоратися із значним зростанням обсягів, швидкості та завадостійкості

цифрової інформації в безпроводовій мережі за умов низької потужності випромінювання у смузі частот до 10 ГГц. Вона фундаментально відрізняється від усіх інших радіочастотних комунікаційних систем, оскільки не використовує несучу радіочастоту. Випромінювання інформаційних імпульсних сигналів здійснюють шляхом випромінювання безпосередньо до вільного простору. Причому, інформаційна місткість UWB систем радіозв'язку значно більша, ніж у інших технологій, завдяки тому, що використовує сигнали з малою енергією та тривалістю, що дозволяє реалізовувати більш швидкодіючі безпроводові мережі із високою пропускнуою спроможністю. У той же час мала енергія випромінювання НШС інформаційних сигналів дозволяє ефективно реалізувати захист інформації як від несанкціонованого доступу, так і штучних чи природних електромагнітних завад [27]. Так, технологія НШС сигналів дозволяє використовувати у якості носія інформації, згідно стандарту IEEE 802.15.3a [82-84] надкороткі імпульсні сигнали. При цьому, кожному імпульсному сигналу відповідає один біт інформації, що накладає певні обмеження на дальність зв'язку, та вступає у протиріччя з тенденцією зниження рівня електромагнітного випромінювання. Частково вирішенням цього протиріччя, згідно стандарту IEEE 802.15.4a, є перехід від передачі одного біту інформації одним сигналом до передачі одного біту інформації серією імпульсних сигналів. У цьому випадку при збереженні енергії випромінювання на один біт інформації, можливо знизити енергію, яка припадає на один сигнал пропорційне числу імпульсних сигналів в серії, що означає перехід від сигналів з одиничною базою до сигналів з великою базою.

Порівняльні характеристики технологій безпроводового доступу, що реалізовано у обладнанні п'яти поколінь наведено в табл. 1.1. Параметри цих рівнів характеризують специфіку обладнання систем радіозв'язку. При цьому визначають такі його найважливіші характеристики як дальність дії, пропускну здатність, кількість одночасно зайнятих каналів зв'язку. До безпроводових технологій відноситься і надширокосмуговий (UWB)

безпроводовий зв'язок [42]. При цьому швидкості передачі, які треба забезпечити в кожному каналі доступу в рамках реалізації систем п'ятого покоління сягає 100 Мбіт/с. UWB технології передбачають використання субнаносекундних імпульсів для передачі повідомлень. До складу систем прийому/передачі входять антенні системи, призначенням яких є вирішення комплексу задач стосовно боротьби із завмираннями, підвищення швидкості передачі інформації, просторовий розподіл сигналів та боротьби із завадами.

Таблиця 1.1

Характеристика	1-е покоління	2-е покоління	3-е покоління	4-е покоління	5-е покоління
Df	0,03...1 ГГц	1...26 ГГц	1...26 ГГц	2,4...42 ГГц	1...60 ГГц
ΔF	25 кГц	3,5...14 МГц	1...14 МГц	1...20 МГц	1...7000 МГц
Вид модуляції	F3E, F3D	G7W	G7W, DSSS, FHSS	G7W, OFDM, DSSS, FHSS	G7W, UWB, DSSS, FHSS
Послуги зв'язку	Передача мови і даних по комутованим мережам	Мова, дані ISDN	Мова, дані, телематика E1, MMDS, IP, LMDS, ISDN	Мова, дані, телематика E1, IP	Мова, дані, телематика E1, IP
Швидкість передавання у каналі	19,2 кбит/с	64, 144 кбит/с 2 Мбит/с	0,2...10 Мбит/с	0,2...100 Мбит/с	До 100 Мбит/с на абонента
Місце застосування	Офіс, сільська місцевість	Корпоративні мережі, офісні мережі FWA	Міські (MAN), локальні мережі (LAN), BWA, FWA	Міські мережі (MAN) WiMax, локальні мережі (LAN) WiFi	Міські мережі, локальні мережі внутрішньо-офісні мережі
Дальність дії (менше)	200 м 70 км	5...15 км 700 км	30 км (MAN) 300 м (LAN)	7 км (MAN) 300 м (LAN; PAN)	1...7 км (MAN) 300...1000 м (LAN,PAN)
Технологія доступу	FDMA, FDD	TDMA; FDD; TDD; CT2; DECT	CDMA; FDD; TDD; TCP/IP, UDP/IP	TCP/IP, TDD, FDD, CDMA, SDMA, TDMA, OFDMA	TCP/IP, TDD, FDD, CDMA, SDMA, TDMA, OFDMA
Стандарт	Алтай, MPT 1327, УТК, СТ0, СТ1	Стандарти TDMA, CDMA CT-2, DECT, IS-95	Стандарти FH CDMA, DS CDMA, Bluetooth (802.15.1), 802.11, 802.11b	802.16 MAN 802.11a MAN, LAN 802.11g LAN 802.15.4, Zig Bee, IMT-2000	802.16a, e, d 802.15.3 Soft Radio 802.15.3a

Порівняльний аналіз інформації (табл. 1.1) довів, що для організації ефективного та якісного прийому/передачі даних слід застосовувати технологію доступу з використанням надширокосмугових сигналів, який відносять до п'ятого покоління систем радіозв'язку [39]. Розширення спектру

призводить до того, що сигнал більш рівномірно та менш щільно розподіляється у визначеній області спектру. Таким чином, основу технології НШС багатоканального зв'язку складає використання смуги частот яка є значно ширшою, ніж мінімальна, що необхідна для передачі даних [38].

1.1.3. Особливості розповсюдження сигналів в безпроводовій мережі

Система передачі даних в рухомих комп'ютерних системах базується на використанні безпроводової мережі, де середовищем розповсюдження є вільний простір. Середовище розповсюдження сигналів є фізичним шляхом між передавачем та приймачем для багатоканального доступу.

Додаткові обмеження на якість зв'язку накладає така їх властивість, як рухомість. Мобільний зв'язок між рухомими об'єктами здійснюється, коли один чи обидва мобільних об'єкта пересуваються та займають один відносно іншого випадкову позицію. В залежності від взаємного розташування антен приймально/передавального пристроїв змінюється вектор поляризації сигналу, що призводить до зміни рівня прийнятого сигналу. При цьому параметри каналу доступу змінюються у часі, оскільки переміщення у просторі призводить до зміни умов розповсюдження сигналу [32, 34, 52, 53].

Однак, ключовим параметром, який впливає на вирішення задачі створення безпроводового каналу зв'язку є співвідношення сигнал/шум (SNR). Для її вирішення необхідно здійснювати попередній прогноз інтенсивності сигналу в деякій точці простору, що віддалена від антени передавача, із урахуванням ефектів, які супроводжують розповсюдження електромагнітної хвилі.

Існує велика кількість факторів, що викликає як детерміноване, так і випадкове ослаблення сигналу на вході приймача. Внаслідок їх впливу прийнятий сигнал спотворюється не тільки *адитивним шумом*, но і *мультиплікативною завадою*, яка виникає під час перемноження шуму з інформаційним сигналом.

Крім того, у більшості випадків мобільний канал доступу характеризує відсутність прямої видимості між передавачем та приймачем. Тому під час взаємодії з різними об'єктами в просторі виникає багатопроменеве розповсюдження електромагнітних хвиль, яке створює складну електромагнітну обстановку в місці прийому сигналу, створюючи їх шляхом їх *інтерференції*. Переміщення мобільного пристрою у просторі викликає *доплерівський зсув*, величина якого пропорційне частоті передачі та швидкості руху. Навіть при переміщенні на невеликі відстані, які співставні з довжиною хвилі сигналу, виникають суттєві зміни його параметрів. Об'єкти, що з'являються на шляху прямого розповсюдження сигналів, обмежують пряму видимість і викликають *затемнення та втрати* в каналі зв'язку, що спотворює параметри сигналу.

Таким чином, аналіз особливостей розповсюдження сигналів у безпроводових рухомих системах зв'язку дозволив здійснити їх класифікацію та сформулювати основні вимоги щодо забезпечення необхідного рівня якості мобільного зв'язку.

1.2. Класифікація безпроводових систем мобільного зв'язку

1.2.1. Обґрунтування критерію якості мобільного зв'язку

Забезпечити необхідний рівень якості та завадостійкості систем рухомого зв'язку здатна технологія НШС зв'язку. Суть її полягає у передачі малопотужних кодованих імпульсів в дуже широкій смузі частот без несучої частоти. Причому широкосмужність системи визначає не абсолютна величина ширини використаної смуги частот, а співвідношенням спектра повідомлення, який визначено швидкістю отримання інформації, та шириною спектра сигналу [28, 30, 31, 33, 35].

Припускаємо, що ΔF є шириною спектра повідомлення, W – ширина спектра сигналу, а T – тривалість сигналу. Добуток $B = WT$ є базою сигналу.

Зазвичай, для надширокосмугових систем $W \gg \Delta F$ та $B \gg I$. Розширюючи смугу частот із ΔF до W виникає можливість збільшення швидкості передачі інформації, укорочуючи передані сигнали з величини $T \cong 1/\Delta F$ до $T_1 \cong 1/W$, причому $T_1 \ll T$. Таким чином до переданого сигналу вводять деяку надмірність, величину якої визначає коефіцієнт розширення спектра $K_f \cong W/\Delta F$. Саме наявність цієї надмірності визначає такі властивості надширокосмугових систем, як можливість переборення явища багатопроменевості, усталеність до завад та можливість ефективного використання спектра під час використання перевантаженого частотного діапазону та цифрової обробки сигналу.

Зазвичай нижня межа співвідношення спектральних щільностей сигналу N_S та завади N_0 складає 7 дБ на вході приймача, що гарантує його нормальну роботу. Цей рівень відповідає такому співвідношенню [27]:

$$\frac{N_S}{N_0} \leq 0.2. \quad (1.1)$$

У той же час спектральну щільність сигналу N_S визначають таким співвідношенням:

$$N_S = P/W = E/WT, \quad (1.2)$$

де P – потужність сигналу;

W – ширина спектру сигналу;

E – енергія сигналу;

T – тривалість сигналу.

Таким чином, з урахуванням співвідношень (1.1), (1.2) критерієм завадостійкості стає розв'язання такої нерівності [27]:

$$E/WT \leq 0.2. \quad (1.3)$$

Згідно з теорією потенціальної завадостійкості Котельнікова В. А. характеристики інформаційного сигналу залежать від відношення подвійної енергії сигналу E до спектральної щільності потужності шуму N_0 та складає величину:

$$Q = 2E/N_0 = 2q_0B,$$

де $q_0 = \frac{E/T}{N_0W}$ – відношення середньої потужності сигналу $P_{S0} = E/T$ до потужності шуму $P_{N0} = N_0W$ на вході приймача, а $B = WT$ є базою сигналу.

При цьому співвідношення (1.3) набуде такого вигляду [27]:

$$q^2/WT \leq 0.4, \quad (1.4)$$

де сам критерій визначено у термінах відношення сигнал / завада на вході приймача q та виграшу від обробки WT .

Зниження рівня електромагнітного випромінювання є основним методом забезпечення завадостійкості в системах мобільного безпроводового зв'язку. Тому сприйнятливим щодо забезпечення усталеної беззавадової роботи є зниження інформаційного сигналу на вході приймача до рівня шуму ($q = 1$). Це обумовлює критерій щодо забезпечення завадостійкості рухомих ТКС ($WT \geq 2.5$).

Таким чином, для забезпечення завадостійкості безпроводових мобільних ТКС, найбільш доцільним є застосування надширокосмугових сигналів з базою сигналу $B \geq 2.5$.

1.2.2. Аналіз та класифікація існуючих систем радіодоступу

Метод багатоканального радіодоступу із часовим розподіленням обумовлює роботу із скороченими символами випромінювання у порівнянні з часовим інтервалом, який відведено одному біту інформації. Спектр

хвильового представлення сигналу, що породжується Фур'є-перетворенням розтягується, при стисканні самої хвильової функції, і навпаки [26].

Згідно принципу невизначеності Габора добуток тривалості сигналу на зайняту їм смугу задовольняє нерівності $WT \geq a$, де константа a залежить від способу визначення тривалості сигналу та ширини смуги. Однак, у більшості випадків її значення дорівнює одиниці. Сигнал, база якого $WT \approx 1$ є простим. Єдиним способом збільшення смуги частот, який займає простий сигнал, є зменшення його тривалості. З іншого боку, детермінований сигнал, для якого $WT \gg 1$ та смуга якого може змінюватися незалежно від тривалості є сигналом з розширеним спектром чи широкосмужним.

Таким чином, система що ґрунтується на використанні сигналів з розподіленим спектром, є широкосмужовою. Класифікацію систем і мереж багатоканального радіодоступу здійснено за поколіннями розвитку, засобами передавання і поданням інформації, видами послуг та типом розв'язуваних задач наведено на рис. 1.4. Застосування цифрових засобів передачі і подання інформації [35] дозволяє надавати широкий спектр таких послуг, як передача даних, відеозображень, мультимедіа, телематика та зв'язок.

У свою чергу цифрові технології п'ятого покоління дозволяють ефективно розв'язувати прикладні задачі в галузях мереж та систем зв'язку, систем керування та моніторингу [30, 33, 36, 37]. Згідно наведеної класифікації, забезпечення ефективної роботи сучасних рухомих комп'ютерних систем можливе здійснити лише в рамках п'ятого покоління розвитку систем та мереж радіодоступу.



Рисунок 1.4 – Класифікація систем і мереж радіодоступу

1.3 Аналіз процесів передачі інформації в системах мобільного зв'язку

1.3.1 Аналіз придатності надширокосмугових сигналів для їх застосування в системах цифрового мобільного зв'язку

Структура, призначення елементів та умови функціонування різних підсистем цифрового мобільного зв'язку дозволяють визначити основні фактори, які обумовлюють застосування і розробку технологій, спрямованих на забезпечення ефективності роботи усієї системи.

Різноманіття додатків, які використовують при організації цифрового мобільного зв'язку, обумовлюють обрання технології НШС сигналів. Зокрема це стосується текстових даних, графічні данні, відеоінформація, голосова інформація та інші. Цей фактор обумовлює і вимоги, які висувають до забезпечення передачі інформації за *критерієм широкосмужності*.

Згідно тенденціям розвитку і побудови цифрового мобільного зв'язку визначено такий фактор, як постійне зростання у безпроводових мережах обсягів циркулюючої інформації. Інформаційні потоки будуть об'єднуватися *в інтегровані потоки великої інтенсивності – інтегральні потоки даних*. Вищезазначені фактори грають безперечно важливу роль при впровадженні НШС технологій у системах мобільного зв'язку [19, 21, 28, 42].

Виходячи з вищезазначеного, визначаємо наступне.

1. Зовнішніми факторами, що визначають якість передачі інформації є різноманіття додатків, великі обсяги переданих даних, збільшення інтенсивності інформаційних потоків, вплив внутрішньосистемних та несистемних завад.

2. Основними факторами, що впливають на якість передачі інформації є

- інтенсивність інформаційних потоків;
- пропускна здатність каналу доступу;

- завадозахищеність каналу;
- стійкість до несанкціонованого доступу;
- стійкість до спотворення сигналів їх багатопроменевим розповсюдженням.

Обрання технології НШС сигналів при організації цифрового мобільного зв'язку у рухомих ТКС вимагає провести аналіз їх властивостей.

1.3.2 Властивості надширокосмугових сигналів

Застосування технології НШС сигналів здійснюють шляхом попереднього перетворення відносно вузькосмугових інформаційних сигналів з ефективною смугою спектра Δf на НШС з шириною спектру ΔF , за умов збереження його загальної енергії E . При цьому спектральну щільність енергії канального сигналу упереджено зменшують у $\Delta F / \Delta f$ рази, яка у цьому випадку складатиме $E/\Delta F$. Таким чином база канального сигналу зростає у $\Delta F / \Delta f$ разів. Широкопосмужність системи зв'язку визначає не абсолютна величина ширини використаної смуги частот, а співвідношенням спектру повідомлення, який визначено швидкістю отримання інформації, та шириною спектра сигналу. Нехай ΔF є шириною спектру повідомлення, W – ширина спектру сигналу, а T – тривалість сигналу. Добуток $B = WT$ є базою сигналу [100].

Показник ширини смуги пропускання B_f визначається

$$B_f = \frac{B}{f_c} \times 100\% = \frac{(f_B - f_H)}{(f_B + f_H)/2} \times 100\% = \frac{2(f_B - f_H)}{(f_B + f_H)} \times 100\%,$$

де f_B і f_H - верхня і нижня частоти перетину спектра сигналу.

За показником ширини смуги пропускання інформаційні сигнали поділяють (рис. 1.5) на вузькосмугові, широкопосмугові і надширокопосмугові

вузькосмугові сигнали: $B_f < 1\%$;

широкосмугові сигнали: $1\% < B_f < 25\%$;

надширокосмугові сигнали: $B_f > 25\%$.

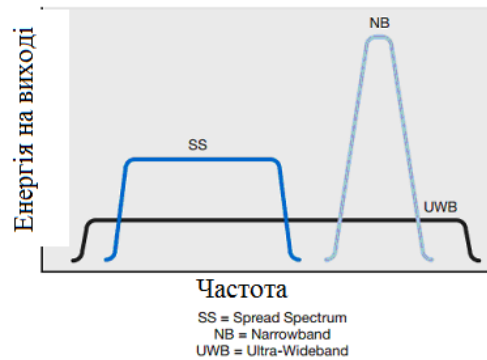


Рисунок 1.5 Порівняння вузько-, широко- і надширокосмугових сигналів

Зазвичай для широкосмугових систем $W \gg \Delta F$ та $B \gg 1$. Розширюючи смугу частот із ΔF до W виникає можливість збільшення швидкості передачі інформації, скорочуючи передані сигнали з величини $T \cong 1/\Delta F$ до $T_1 \cong 1/W$, причому $T_1 \ll T$. Таким чином до переданого сигналу вводять деяку надмірність, величину якої визначає коефіцієнт розширення спектру $K_f = W/\Delta F$. Саме наявність цієї надмірності визначає такі властивості надширокосмугових систем, як можливість переборення явища багатопроменевості, усталеність до завад, та можливість ефективного використання спектру під час використання перевантаженого частотного діапазону.

Найбільш простим та зручним методом розширення бази сигналу є метод прямого розширення спектру частот [27]. При цьому, чим вище застосована частота, тим вища потенційна швидкість передачі інформації.

Традиційні вузькосмугові системи зв'язку передають безперервні інформаційні сигнали за допомогою специфічних сигналів хвильового виду з

несучою частотою. Безперервна хвильова форма сигналу має енергію сигналу у вузькій смузі частот, що дозволяє досить легко визначити наявність сигналу і прослухати його. Короткі у часі UWB імпульси розподіляють енергію інформаційного сигналу по широкій смузі частот: від майже постійного струму до декількох гігагерц з дуже низькою спектральною щільністю потужності, яка є його потужністю в частотній області. (рис. 1.6).

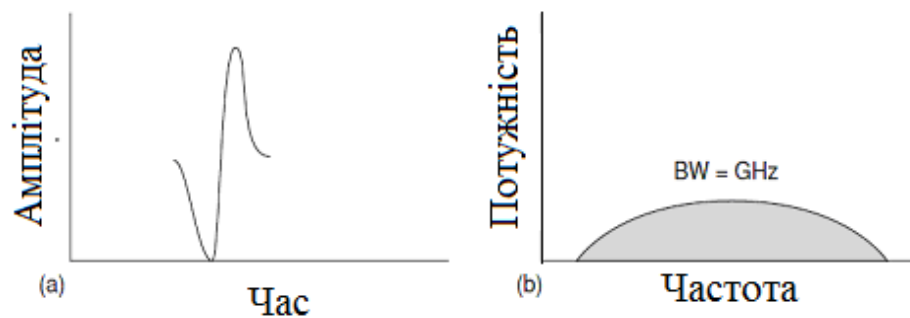


Рисунок 1.6. UWB імпульс у часовій (a) та частотній (b) областях

Порівняння потужності UWB приладів з іншими об'єктами надано у табл. 1.2.

Таблиця 1.2

Порівняння потужності UWB приладів з іншими об'єктами

Тип приладу	Потужність випромінювання (Вт)
Випромінювання мікрохвильової печі	1
Типова потужність передачі мобільного телефону	0,25–1
Клас 1 прилад Bluetooth (діапазон до 100 м)	0,1
Клас 2 прилад Bluetooth (діапазон до 10 м)	0,0025
UWB прилад	0,00005

На теперішній час запропоновано велике різноманіття імпульсів для використання в UWB системах цього типу [9, 36-38], основною особливістю яких є їх тривалість близько наносекунди, серед яких:

- імпульси і моноцикли, наприклад, імпульс Гауса і моноцикл, синусоїдальний цикл;

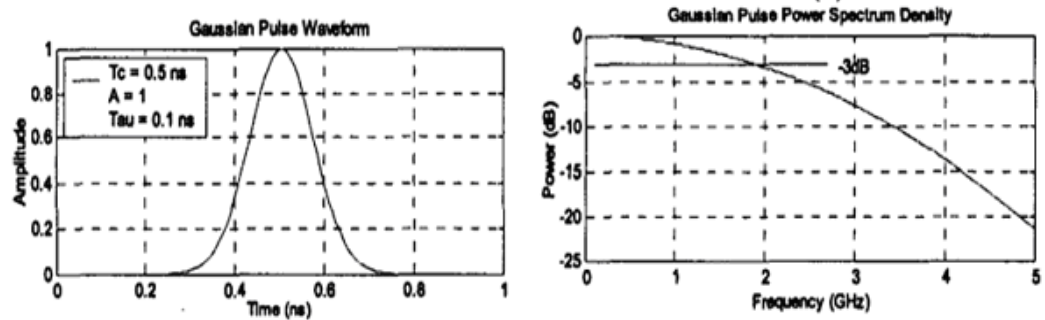


Рисунок 1.7 – Форма імпульсу Гауса та його спектральна потужність

- дуплети, наприклад, дуплет Гауса;

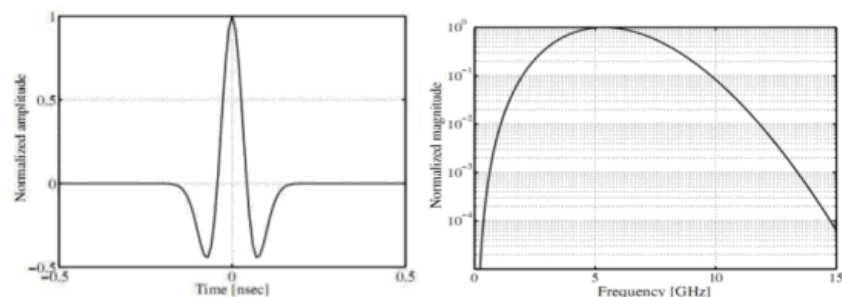


Рисунок 1.8 – Гаусів дуплет та його спектральна потужність

- вейвлети – математична функція, графік якої виглядає як хвилеподібні коливання з амплітудою, що зменшується до нуля на відстані від початку координат.

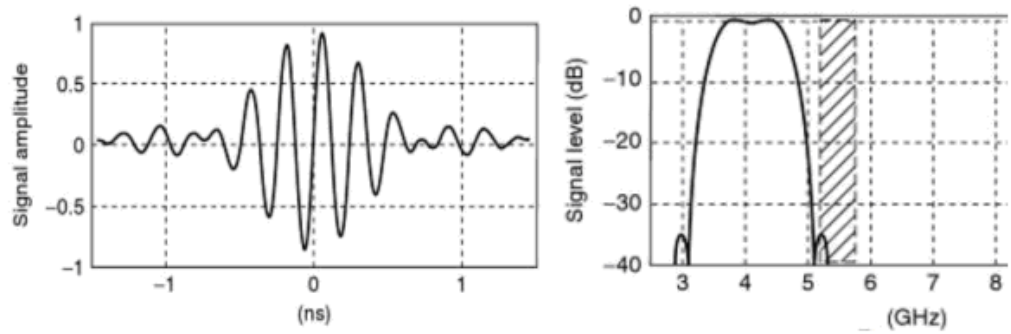


Рисунок 1.9 – Гаусів вейвлет та його спектральна потужність

Запропоновано велику кількість вейвлетів виду хвилеподібних коливань.

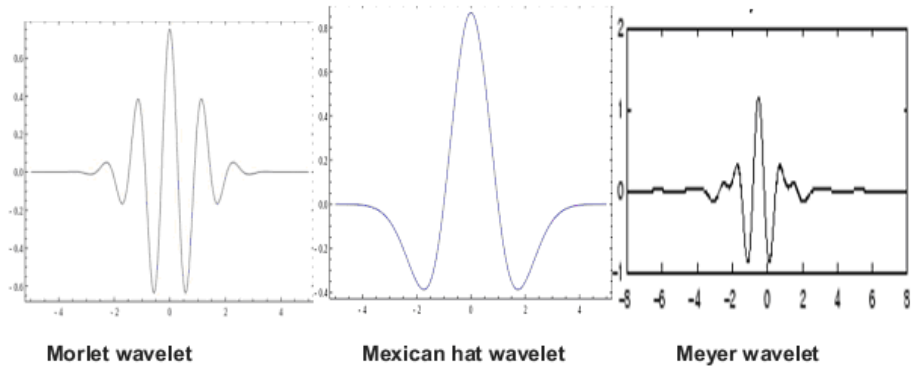


Рисунок 1.10 – Приклади хвилеподібних вейвлетів

Необхідну смугу пропускання UWB отримують, змінюючи частоту хвилеподібного вейвлета

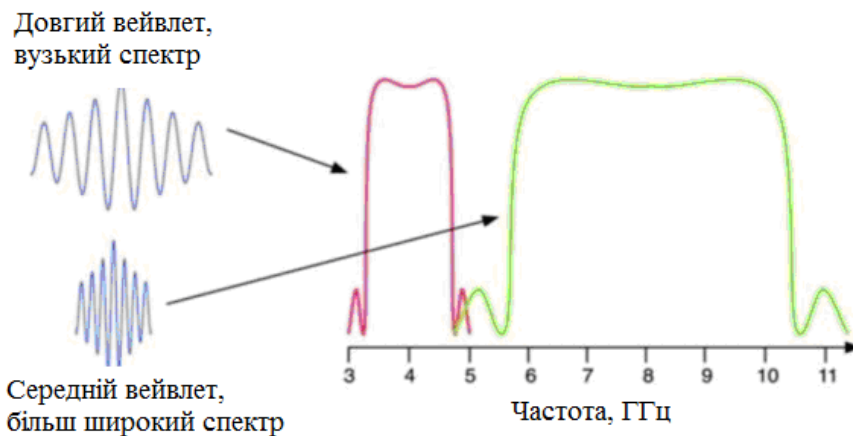


Рисунок 1.11 – Залежність спектральної потужності вейвлета від частоти його коливань

Будь-який вейвлет має бути згенеровано так, щоб його спектральна характеристика потужності потрапила в межі шаблону.

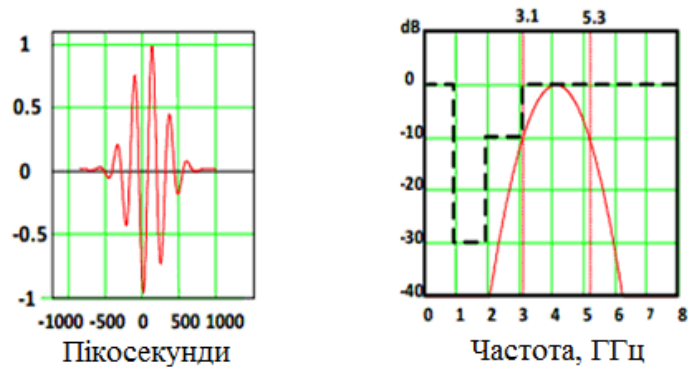


Рисунок 1.12 – Вейвлет та його спектральна характеристика

Таким чином, НШС системи з розширенням спектру характеризують висока швидкість передачі інформації, високий рівень електромагнітної сумісності та завадостійкості по відношенню до зовнішніх завад та шкідливої інтерференції за умов багатопроменевого розповсюдження сигналів.

Так, якщо в стандарті 802.11b одночасно підтримується три канали доступу, а в 802.11a - десять, то в UWB може підтримувати одночасно сотні каналів зв'язку. Технологія UWB може функціонувати в якості персональної, локальної і глобальної мережі одночасно, не створюючи завад. Вона використовує потужність інформаційного сигналу практично на рівні шуму, що забезпечує захист переданої інформації. Сигнали UWB практично неможливо приймати нецільовою системою, особливо на деякому видаленні від функціонуючого пристрою. Цей факт робить UWB найбільш безпечним із усіх безпроводових систем зв'язку з точки зору захисту від несанкціонованого доступу до інформації. Сигнали UWB не інтерферують як один з одним, так і з традиційними сигналами, що дозволяє їм безпечно функціонувати з іншими безпроводовими технологіями.

1.3.3. Генератори надширокосмугових сигналів в ТКС мобільного зв'язку

Попередній аналіз НШС сигналів, що мають бути використані при реалізації багатоканального зв'язку, довів необхідність створення генераторів імпульсів надкороткої тривалості з надшвидким зростанням та спадом. Відкриття ефекту відновлення напруги і надшвидкого зворотного пробією у високовольтних переходах сприяло створенню принципово нових напівпровідникових приладів, здатних комутувати великі потужності у малих часових проміжках, у тому числі приладів на затриманій ударно-іонізаційній хвилі і дрейфових приладів із різким відновленням. На основі цих приладів, розроблених групою вчених на чолі з А. Ф. Кардо-Сисоевим [85, 86], було створено сімейство генераторів різного призначення. Розроблені генератори дозволяють формувати надкороткі імпульси нано- і піко- секундної тривалості із потужністю до десятків МВт і частотою повторення до десятків МГц, контролюючи при цьому їх тимчасове положення із точністю вище 10 пс. Максимальна імпульсна напруга може сягати десятків кіловольт, а імпульсні струми - тисячі ампер [86]. Із зростанням частоти повторення пікова потужність падає, але залишається набагато вище, ніж отримана за допомогою будь-яких інших напівпровідникових пристроїв. Це дозволяє застосовувати розроблені генератори в UWB системах зв'язку та локації (табл. 1.3), причому ресурс цих приладів надзвичайно високий. Генератори потужних надкоротких імпульсів було створено з використанням діодних лавинних загострювачів як кінцевого каскаду схеми на основі дрейфових діодів і транзисторів з різким відновленням [98]. Послідовно з'єднуючи їх, досягають високих значень комутуючої напруги. Проте, такі діоди мали великий розкид моменту початку відновлення, внаслідок чого їх послідовне з'єднання було неможливо. Також основним недоліком схем на основі дрейфових діодів з різким відновленням є великий міжімпульсний інтервал, обумовлений швидкістю спрацьовування ключів і часом зарядки конденсаторів.

Таблиця 1.3

Технічні характеристики генераторів НШС сигналів

Модель	Час зростання, нс	Ширина імпульсу, нс	Амплітуда, В	Частота повтору, МГц
HFPG-1-0,5	< 0,7	< 2	500	2(3)
HFPG-1-2,5	< 0,7	< 2	2500	(2)
HFPG-1-5	< 0,7	< 2	5000	(0,5)
HFPG-5-0,05	< 0,14	< 0,3	50	10(20)
HFPG-7-0,15	< 0,3	< 0,7	150	10(20)
HFPG-7-0,5	< 0,3	< 0,7	500	2
HFPG-7-1	< 0,3	< 0,7	1000	1
HFPG-4-0,5	< 0,1	< 0,5	500	(0,2)
HFPG-4-1-10	< 0,1	< 0,25	1100	0,01
HFPG-4-1-50	< 0,1	< 0,25	1100	0,05

Цю проблему вирішено за допомогою дрейфових транзисторів з різким відновленням. Завдяки особливій n-p структурі вони формують різке падіння напруги на колекторному p-n переході, однак час наростання напруги у них нижчий, ніж у діодів, зате вони краще управляються. Ланцюжок послідовно включених дрейфових діодів з різким відновленням працює як один діод. Його час спаду напруги складає 50-200 пс, а максимально припустима напруга - до 15 кВ.

Отже використання діодних лавинних загострювачів як кінцевого каскаду схеми на основі дрейфових діодів і транзисторів з різким відновленням обумовило можливість створення генераторів потужних надкоротких імпульсів. Перевагами таких схем є висока швидкість наростання

напруги, яка поєднуються з високою частотою повторення імпульсів і точним їх позиціонуванням у часовій послідовності, що беззаперечно робить їх основою для реалізації технології НШС сигналів в ТКС мобільного зв'язку.

1.4 Постановка науково-технічної задачі

На основі проведеного аналізу визначено, що збільшення попиту на додаткову пропускну здатність з боку різних служб радіозв'язку в умовах обмеженості радіочастотного ресурсу призводить до ускладнення електромагнітної обстановки. Це викликає завади, які мають значний вплив на якість зв'язку та кількість абонентів, що обслуговуються одночасно. Визначено, що забезпечення високого рівня завадозахищеності з підтримкою якості обслуговування в безпроводовому мобільному зв'язку можливе на єдиній методологічній основі – технології надширокосмугових сигналів. При цьому, згідно теорії потенційної завадостійкості гранично досяжним рівнем завадозахищеності є відношення подвійної енергії інформаційного сигналу до спектральної потужності шуму. Однак, можливість подальшого підвищення рівня потенційної завадозахищеності мобільного зв'язку обґрунтував Д. Слеп'ян [118], який довів справедливості припущення у випадку, коли ширина спектру сигналу більша, ніж ширина спектру шуму. Таким чином, за основу прийнято *робочу гіпотезу*, що єдино можливим шляхом забезпечення завадозахищеності із підтримкою якості обслуговування у безпроводових телекомунікаційних мережах є застосування надширокосмугових сигналів із нелінійною обробкою їх спектрів.

Отже існує протиріччя, коли одночасно з істотним підвищенням вимог до завадозахищеності із забезпеченням заданого рівня якості обслуговування, існує фізична обмеженість радіочастотного спектру, яка не дозволяє забезпечити якість обміну інформацією у безпроводовій мережі, особливо в умовах складної електромагнітної обстановки, яку створено щільно розташованими мобільними безпроводовими пристроями.

Прийняту робочу гіпотезу реалізовано наступним чином. Спочатку інформаційний сигнал розширюють шляхом множення його на розширюючу кодову послідовність сигналів у вигляді потоку елементарних сигналів – чипів та випромінюють його до вільного простору, смуга частот якого дорівнює смузі частот кодового сигналу. У вільному просторі на розширений сигнал впливає зовнішня завада. Прийняту суміш переданого сигналу та завади в приймачі повторно множать на синхронізовану копію розширюючого сигналу. В результаті отримуємо звужений спектр інформаційного сигналу та сигнал завади, спектр якого буде розширено по всьому діапазону цього сигналу. Будь-який небажаний сигнал, отриманий у приймачі, буде розширено шляхом множення таким же чином, як передавач розширює інформаційний сигнал. Це обумовлено тим, що інформаційний сигнал множать двічі, тоді як сигнал завади множать тільки один раз. Подальше фільтрування відновлює переданий інформаційний сигнал.

Тому актуальною стає **науково-технічна задача** – розробка моделей і методів забезпечення завадозахищеності із підтримкою якості обслуговування в безпроводових телекомунікаційних мережах на основі застосування надширокосмугових технологій. Та особливо актуальною і нагальною ця задача стає для засобів мобільного зв'язку.

Висновки до розділу 1

1. Проведений аналіз сучасного стану та тенденцій розвитку телекомунікаційних систем мобільного зв'язку показав, що існуючі методи не здатні повною мірою забезпечити виникаючі практичні вимоги щодо забезпечення завадозахищеності і швидкості передачі в безпроводних ТКС. Виявлено, що сучасною тенденцією є зниження рівня завадової електромагнітної обстановки, яка викликана міжсимвольною інтерференцією та багатопроменевим розповсюдженням радіохвиль.

2. Показано, що критерієм завадостійкості є відношення середньої

потужності інформаційного сигналу до потужності шуму. Доведено, що для забезпечення завадозахищеності при заданому рівні якості обслуговування, доцільно здійснити розробку нових моделей і методів на ґрунті технології надширокосмугових сигналів.

3. Виходячи із існуючого протиріччя між істотним підвищенням вимог до завадозахищеності із забезпеченням заданого рівня якості обслуговування та фізичною обмеженістю радіочастотного спектру, яка не дозволяє забезпечити якість обміну інформацією в безпроводовій мережі, особливо в умовах складної електромагнітної обстановки, яку створено щільно розташованими мобільними безпроводовими пристроями, **науково-технічною задачею** є розробка методів забезпечення завадозахищеності із підтримкою якості обслуговування в безпроводових телекомунікаційних мережах на основі застосування надширокосмугових технологій.

4. В результаті вирішена перша наукова задача, яка полягає в аналізі сучасного стану та тенденцій подальшого розвитку засобів забезпечення завадозахищеності із підтримкою якості обслуговування в безпроводових телекомунікаційних системах мобільного зв'язку. З'ясовано, що на даний момент не існує підходів і технологій, які б дозволили забезпечити зростаючу потребу у збільшенні обсягів і швидкості передачі інформації та її захищеності.

Основні результати розділу опубліковані у патентах України на корисну модель [24, 52, 53] та статтях [18, 19, 21, 26-28, 30, 32-35, 89, 100, 101].

РОЗДІЛ 2.

РОЗРОБКА МЕТОДУ ФОРМУВАННЯ АНСАМБЛІВ СКЛАДНИХ СИГНАЛІВ В СИСТЕМАХ МОБІЛЬНОГО ЗВ'ЯЗКУ

2.1. Методи створення сигнально-кодової конструкції інформаційного сигналу

Технологія надширокосмугового зв'язку полягає у передачі малопотужних кодованих імпульсів у дуже широкій смузі частот без несучої частоти. В якості кодуючого сигналу (чипу) слід використовувати похідну від моноциклу Гауса (рис. 2.1) з надширокосмуговим спектром (рис. 2.2), який є основним чипом для подальшого кодування біту інформації [29, 47, 50, 87].

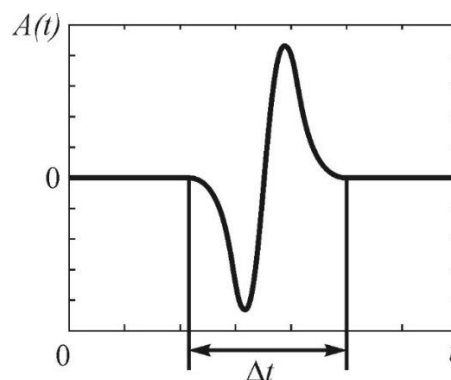


Рисунок 2.1 – Форма моноциклу Гауса

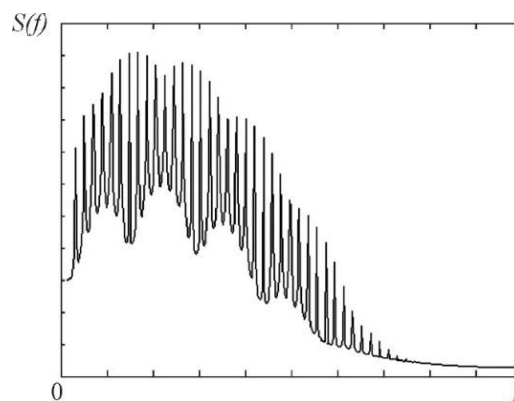


Рисунок 2.2 – Спектр моноциклу Гауса

Для математичного опису моноциклу Гауса використовують наступне співвідношення

$$A(t) = A_0 \sqrt{2e} \frac{t}{\Delta t} \exp\left(-\left(\frac{t}{\Delta t}\right)^2\right), \quad (2.1)$$

спектр якого матиме наступного вигляду:

$$S(\omega) = A_0 \sqrt{2\pi e} \cdot \omega \cdot \Delta t^2 \cdot t \cdot \exp\left(-\left(\frac{\omega^2 \cdot \Delta t^2}{2}\right)^2\right), \quad (2.2)$$

де Δt – тривалість імпульсу;

A_0 – амплітуда імпульсу.

Таким чином, змінюючи тривалість імпульсу Δt з 2,0 до 0,1 нс ширина його спектру змінюється з 500 МГц до 10 ГГц.

Одночасне застосування кодування та модуляції інформаційного сигналу забезпечує більш високу ефективність та більший енергетичний вигравш від кодування на відміну від послідовного використання кодування та модуляції [24, 120]. Тому запропоновано створення сигнально-кової конструкції інформаційного сигналу, суть якого полягає у наступному. Безпосередньо до вільного простору із регулярною послідовністю випромінюють гребінку однакових надкоротких імпульсних сигналів – чипів з рівною амплітудою. Однак регулярна послідовність таких імпульсів не несе ніякої інформації, а її спектр має «гребінчастий» характер (рис. 2.3) [99-102].

Тому кожен інформаційний біт кодується часовим зсувом гребінки імпульсів (чипів) відносно еталонної (рис. 2.4), в залежності від того, що кодується, нуль чи одиниця [87, 100]. Так, зміщення імпульсу при кодуванні, щодо його основного положення у послідовності *вперед* задає 0, *назад* – 1, причому величина зсуву не перевищує чверті тривалості імпульсу (рис. 2.4).

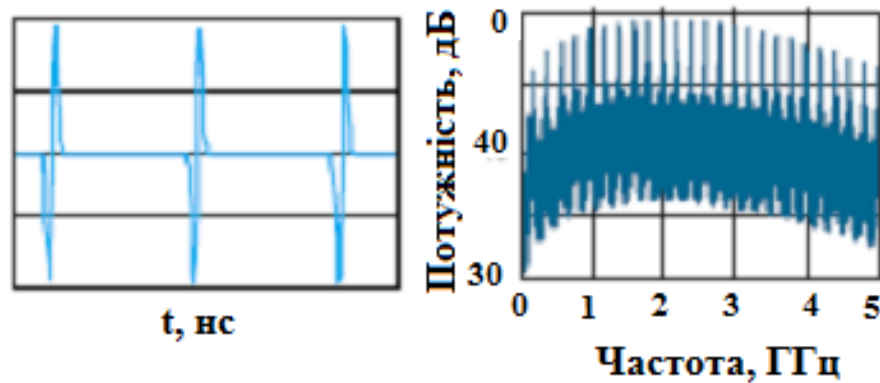


Рисунок 2.3 – Спектр сигналу послідовності надкоротких імпульсних сигналів

У той же час слід зазначити, що кожен інформаційний біт кодується кількома сотнями надкоротких імпульсів - чипів, що надходять з певною послідовністю та випромінюються безпосередньо до вільного простору.

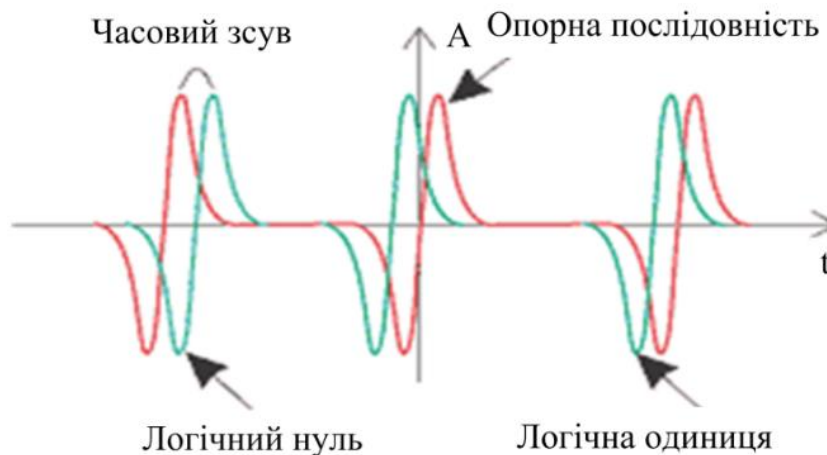


Рисунок 2.4 – Метод створення сигнально-кової конструкції інформаційного сигналу

Кодування інформаційного біту послідовністю чипів обмежене наступними вимогами. З одного боку, для уникнення ефекту міжсимвольної інтерференції, період надходження чипів T_b повинен бути досить великим, щоб енергія прийнятого чипу встигала повністю розсіятися до надходження наступного чипу. Так, наприклад, у послідовності 0,5 нс імпульсів із

між імпульсним інтервалом 100 нс, імпульс, який надійшов на 100 пс раніше, - це одиниця, а на 100 пс пізніше – нуль. Один інформаційний біт кодується послідовністю багатьох чипів, наприклад, 1000 чипів на біт інформації. Корелятор визначає ці відхилення та накопичує їх у інтеграторі. У результаті вузькосмугова завада від передавача із безперервною несучою або сигнал від іншого імпульсного передавача може завдати спотворення сигналу під час прийому тільки окремих імпульсів - чипів, але не самого інформаційного біту. У той же час величина накопичених у кореляторі імпульсів від випадкових завад буде дорівнювати нулю.

Період надходження чипів T_b прагне сягнути рівня тривалості інформаційного біту, який у сучасних завадостійких кодів (рис. 2.5.) знаходиться у межах 1 – 4 с. [103].

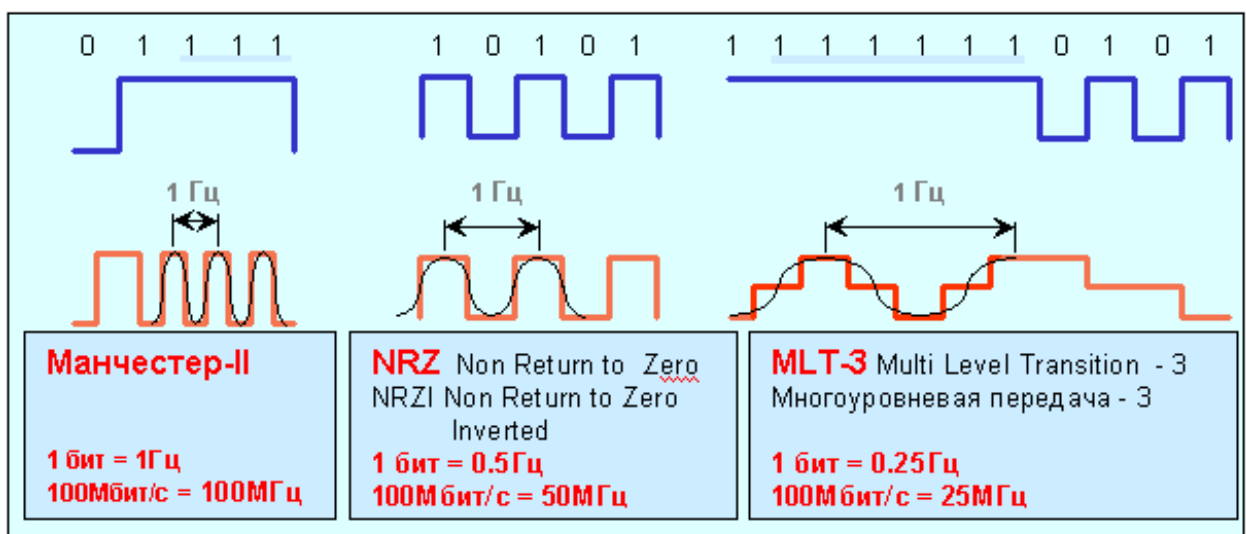


Рисунок 2.5 – Залежності періоду надходження інформаційних бітів від методу кодування.

При цьому зменшується кількість кодуючих чипів у біті інформації, і, відповідно, його енергія, що зменшує співвідношення сигнал/шум та негативно впливає на якість переданого інформаційного сигналу.

З іншого боку, для відновлення інформаційного біта, період надходження кодуючих чипів повинен бути значно меншим за період

надходження інформаційних бітів, що підвищує імовірність правильного відновлення прийнятого сигналу.

Згідно теореми Котельникова переданий з періодом T_a інформаційний сигнал $x_a(t)$ з обмеженою смугою частот можна відновити безпосередньо із прийнятого сигналу $x_b(t)$, який являє собою послідовність чипів, з періодом надходження T_b тоді, та тільки тоді, коли $T_a \geq 2T_b$. Таким чином, виконання умови $T_a \geq 2T_b$ для відновлення інформаційного сигналу обмежує мінімальну кількість кодуючих імпульсів трьома чипами. Максимальна кількість кодуючих імпульсів залежить від їх часових характеристик. Сучасний технічний стан елементної бази дає змогу кодувати один інформаційний біт декількома сотнями чипів, часова тривалість яких лежить у межах 0,2 – 2,0 нс з періодом надходження у 10 – 100 нс. Зазвичай такі кодуючі чипи мають форму ідеалізованих моноциклів Гаусу, основна частина спектра яких знаходиться у межах від 1 до 10 ГГц.

До істотних переваг надширокосмугового безпроводового мобільного зв'язку слід віднести відсутність інтерференції між прямо поширюваним інформаційним сигналом та його віддзеркаленням від різних об'єктів. Це обумовлено тим, що віддзеркалений сигнал потрапляє до корелятора приймача із затримкою та сприймається як випадкова завада, що не впливає на рівень прийнятого інформаційного сигналу. Крім того, завдяки широкосмужності, загасання короткоімпульсного сигналу у різних середовищах досить невелике. Короткі імпульси проходять крізь різні перешкоди, оскільки під час проходження сигналу його загасання відбувається не в усьому надширокому діапазоні частот, а тільки в окремих частках його спектру.

2.2. Метод формування незалежних завадозахищених каналів зв'язку

Для створення в одній смузі частот низки незалежних каналів зв'язку слід застосовувати систему ортогональних кодів. Використовуючи ортогональні псевдовипадкові послідовності – спеціальні коди для ідентифікації з'єднань, формують окремі канали зв'язку, захищені від перехресних завад. У зв'язку з тим, що всі канали розташовані у єдиному широкому частотному діапазоні, сигнал стає шумоподібним. Вилучення із загальної купи радіосигналів ту частину сигналу, яку призначено конкретному приймачу, здійснюють шляхом присвоєння кожному каналу окремого числового коду. Усі інші сигнали сприймаються як шум. Таким чином, в одній смузі частот мають змогу працювати декілька приймачів / передавачів, не заважаючи один одному. Завдяки широкосмужності сигналу знижується його потужність, причому на дуже довгій базі – нижче рівня білого шуму.

Застосування методу одночасного кодування та модуляції інформаційного сигналу вимагає надійного їх вилучення із суміші опорних та інформаційних послідовностей сигналів, які визначають цифрову інформацію – нуль чи одиницю. Показником ступеня збіжності форм та властивостей сигналів є взаємно-кореляційна функція (ВКФ) (cross-correlation function – CCF). За максимумом ВКФ визначають зсув між сигналами, які навіть різні за формою. Скалярний добуток довільних сигналів $U(t)$ та $V(t)$ відображає ступінь їх зв'язку за формою та положенням у просторі сигналів та визначається як $\langle U(t), V(t) \rangle$:

$$\langle U(t), V(t) \rangle = \|U(t)\| \cdot \|V(t)\| \cdot \cos \varphi, \quad (2.3)$$

звідки $\cos \varphi = \langle U(t), V(t) \rangle / \|U(t)\| \cdot \|V(t)\|$.

Скалярний добуток є нормою (довжиною) одного вектора на проекцію іншого вектора за напрямом першого вектора. Значення косинуса змінюється від 1 до -1 та не залежить від норми сигналів – довжини векторів. Максимальне значення $\cos \varphi = 1$ відповідає повній тотожності сигналів, а при $\cos \varphi = -1$ спостерігають повну протилежність сигналів. Таким чином, коефіцієнт $r = \cos \varphi$ є інтегральним коефіцієнтом тотожності форми сигналів за їх простором задавання та являє собою коефіцієнт кореляції сигналів.

Таким чином, для уникнення взаємних завад між сусідніми каналами системи багатоканального мобільного зв'язку є використання у різних каналах ортогональних сигналів. Причому, умовами ортогональності сигналів в часовій області $x(t)$, де $i = 1, 2, \dots$, є виконання умов

$$\int_{-\infty}^{\infty} x_i(t) x_j(t) dt = \begin{cases} 1, \text{ коли } i = j \\ 0, \text{ коли } i \neq j \end{cases} \quad (2.4)$$

Аналогічно, у випадку виконання цих умов, сигнали ортогональні і в частотній області. При цьому зазначаємо, що два сигнали будуть ортогональними, коли мають нульовий скалярний добуток

$$\langle u(t), v(t) \rangle = \int_a^b u(t) \cdot v(t) dt = 0. \quad (2.5)$$

Відповідно два таких сигнали у своєму функціональному просторі є взаємно перпендикулярні (кут між сигналами дорівнює $\varphi = 90^\circ$). Вони повністю незалежні один від одного – некорельовані ($r = \cos \varphi = 0$) та мають нульову енергію взаємодії ($E_{uv} = 0$), наприклад, послідовності Уолша.

Формування логічних незалежних каналів здійснюють за рахунок відповідного кодування та розширення спектра сигналу послідовностями Уолша. Їх застосування, з одного боку, розширює спектр інформаційного

сигналу, а з іншого - робить канали завадостійкими в умовах реалізації багатоканального безпроводового мобільного зв'язку.

Кожна з цих послідовностей являє собою один із рядків матриці Адамара. Основна їх якість полягає у тому, що всі рядки матриці та їх інверсія взаємно ортогональні. Наприклад, матриця Адамара другого порядку має наступний вигляд

$$A_2 = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{bmatrix},$$

а четвертого порядку

$$A_4 = \begin{bmatrix} A_2 & A_2 \\ A_2 & -A_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & -1 & 1 & -1 \\ 1 & 1 & -1 & -1 \\ 1 & -1 & -1 & 1 \end{bmatrix}.$$

Наприклад, використовуючи для розширення інформаційного потоку 64 – розрядну послідовність Уолша, отримуємо відповідно інформаційний потік у 128 чипів вихідної послідовності. Виграш по відношенню сигнал / завада для розширеного та вхідного сигналів становить $10 \log 128 = 21$ дБ. З огляду на те, що на вході детектора приймача припустиме співвідношення сигнал / завада складає 3 дБ, то передачу інформаційних сигналів можливо вести на рівні сигналу, що на 18 дБ нижче рівня шуму.

2.3. Метод формування ансамблю складного надширокосмугового інформаційного сигналу

Формування ансамблю складного НШС інформаційного сигналу здійснюють наступним чином. НШС сигнал $n(t)$ поділяють на дві частини, з яких одну використовують у якості опорного сигналу. Іншу частину сигналу $n(t)$ затримують на час T_1 при надходженні символу «1» чи на час T_0 при

надходженні символу «0». Затриманий інформаційний та опорний сигнали призначені для взаємної інтерференції у передавачі.

В лінійному суматорі здійснюють складання опорного сигналу $n(t)$ з одним із чипів НШС сигналів, який затримано на час T_1 на T_0 в залежності від надходження символів «одиниця» чи «нуль».

$$Z_{1,0}(t) = n(t) + n(t - T_{1,0}), \quad (2.6)$$

де $Z_{1,0}(t)$ – сумарний сигнал;

$n(t)$ – опорний НШС сигнал;

$n(t - T_{1,0})$ – інформаційний чип, затриманий на час $T_{1,0}$.

Спектр потужності сумарного НШС сигналу $Z_{1,0}(t)$ обчислюють за час тривалості T_θ одного інформаційного символу, який модульовано періодичною функцією у вигляді

$$\hat{S}_z(f) = 2\hat{S}_n(f)(1 + \cos 2\pi f T_{1,0}), \quad (2.7)$$

де $\hat{S}_z(f)$ та $\hat{S}_n(f)$ – випадкові оцінки спектра потужності для сумарного $Z_{1,0}(t)$ та опорного $n(t)$ НШС сигналів за кінцевий час аналізу T_θ .

Складання повністю некогерентних сигналів мають місце, коли затримки T_1 на T_0 інформаційних сигналів $n(t - T_1)$ і $n(t - T_0)$ відносно опорного сигналу $n(t)$ значно перевищують час когерентності $\tau_c \approx 1/\Delta f$ НШС сигналу $n(t)$.

$$T_{1,0} \gg \tau_c \text{ чи } T_{1,0}(\Delta f) \gg 1. \quad (2.8)$$

При інтерференції повністю некогерентних НШС сигналів, коли виконують умови (2.8), спектральна щільність (2.7) модулюється гармонічною

функцією залежно від частоти f з масштабом періодичності, який дорівнює

$$\delta f_{1,0}(t) = 1/T_{1,0}.$$

Спектри потужності, які обчислені за кінцевий час T_b , що дорівнює тривалості біта інформації, є випадковими функціями. Смуга частот НШС сигналів складає Δf , а час когерентності – порядку $\tau_c \approx 1/\Delta f$. Потужність сумарного НШС сигналу $Z_{1,0}(t)$ визначає його дисперсія σ_z^2 і дорівнює подвоєній потужності $\sigma_z^2 = 2\sigma_n^2$ початкового сигналу $n(t)$ за умов повної некогерентності опорного і затриманих НШС сигналів.

Сумарний сигнал з виходу передавача поступає до каналу зв'язку з адитивним гаусовим білим шумом. При цьому припускаємо, що коефіцієнт передачі каналу зв'язку не залежить від частоти і дорівнює одиниці у смузі Δf НШС сигналу $n(t)$.

За рахунок різних шляхів розповсюдження радіохвиль, наприклад, багатопроменеве розповсюдження, виникає інтерференція сигналів і створюється складна електромагнітна обстановка в місці прийому сигналу. Цифровий кодований інформаційний сигнал надходить у вигляді зсунутих у часі декількох копій. Однак, коли різниця зсуву більше за тривалість одного надкороткого кодуєчого імпульсу, то приймач синхронізується з найбільш потужною складовою прийнятого сигналу, а інші відкидаються. Крім того, застосування надкоротких кодуєчих імпульсів попереджує виникнення міжсимвольних спотворень. Це обумовлено тим, що енергія прийнятого імпульсного сигналу практично завжди встигає розсіюватися до моменту прийому його наступної копії. Таким чином, можливість роботи з невеликою потужністю сигналу та висока його проникливість крізь перешкоди дозволяють ефективно передавати інформацію всередині приміщень та об'єктів, які мають складну архітектуру, і забезпечити вимоги електромагнітної сумісності в умовах багатопроменевого розповсюдження сигналів [20,26].

Оптимальний когерентний прийом НШС сигналів полягає у вимірюванні функції взаємної кореляції з опорним сигналом за час надходження одного інформаційного біту. Вимірювання функції взаємної кореляції для затриманих НШС сигналів здійснюється в частотній області шляхом подвійної спектральної обробки, здійснюючи їх спектральний стиск.

Визначення кореляційної функції з урахуванням співвідношення (2.14) для спектру прийнятих сигналів зазвичай покладено на швидкодіючий цифровий Фур'є-процесор. Застосування зворотного перетворення Фур'є від спектру потужності (2.7) дозволяє обчислити автокореляційну функцію прийнятого НШС сигналу

$$\widehat{R}_z(\tau) = 4\pi \int_0^\infty \widehat{S}_z(f) \cos(2\pi f\tau) df = 2[\widehat{R}_n(\tau) + \widehat{R}_n(\tau - T_{1,0}) + \widehat{R}_n(\tau + T_{1,0})],$$

де: $\widehat{R}_z(\tau)$ – функція автокореляції НШС сигналу $n(t)$.

Обчислена автокореляційна функція, має інформаційний пік на часі затримки в залежності від поточного символу «1» чи «0». Рішення про наявність одного з двійкових символів приймається за зсувом на час T_1 чи T_0 інформаційного піку для автокореляційної функції. Таким чином здійснюють достовірне відновлення переданої інформації.

Широка смуга частот та надкоротка тривалість імпульсів висувають підвищенні вимоги до точності синхронізації. В цих НШС системах у якості сигналу синхронізації використовують опорну послідовність сигналів. Інформаційні сигнали та сигнали синхронізації знаходяться на одному енергетичному рівні, а спектральна щільність усіх каналів знаходиться на рівні шумів. Тому система значною мірою зазнає погіршення значень імовірності бітової похибки. У той же час застосування в системах зв'язку мобільних пристроїв технології НШС сигналів дозволяє збільшити співвідношення сигнал/шум на вході приймача, що дає можливість зменшити рівень електромагнітного випромінювання та забезпечити вимоги щодо підвищення

рівня завадостійкості та прихованості каналу мобільних систем безпроводного зв'язку.

В імпульсних приймачах використовують корелятор, який здійснює згортку близьких за формою вхідного сигналу з еталонним. До корелятору надходять синхроімпульси та імпульси із різними часовими проміжками між ними, які відповідають окремим часовим проміжкам опорної кодової послідовності. У випадку співпадіння будь-якого проміжку, корелятор формує максимум, положенням якого у часі чи зміною його полярності надається інформація щодо виду переданого двійкового сигналу. Однак у цьому випадку система синхронізації працює тільки за великих значеннях відношення сигнал/завада на вході приймача.

2.3.1. Модель одночасного формування опорного та інформаційного сигналів

Формування ансамблю складного НШС інформаційного сигналу, який випромінюють до вільного простору, реалізують за допомогою моделі, схему якого наведено на рис. 2.6. Надширокосмуговий сигнал формують у вигляді нормального випадкового процесу $n(t)$ з нульовим середнім значенням, рівномірним спектром $S(f)$, смугою частот Δf та швидкопадаючою кореляцією $R_n(\tau) = \sigma_n^2 R_c(\tau)$ за малий час когерентності $\tau_c \approx 1/\Delta f$. Дисперсія σ_n^2 характеризує середню потужність випадкового сигналу $n(t)$.

Функціональна схема, що реалізує запропонований метод, наведено на рис. 2.6 [26].

На рис.2.6 зазначено: G – генератор, який в автоколивальному режимі формує послідовність надкоротких імпульсів – чипів; DF - цифровий смугово - пропускаючий фільтр, який формує сигнал $n(t)$; DL - лінії затримки, які зсувом на час T_1 чи T_0 формують інформаційні сигнали згідно з потоком двійкових бітів «одиниця» чи «нуль» від джерела інформації.

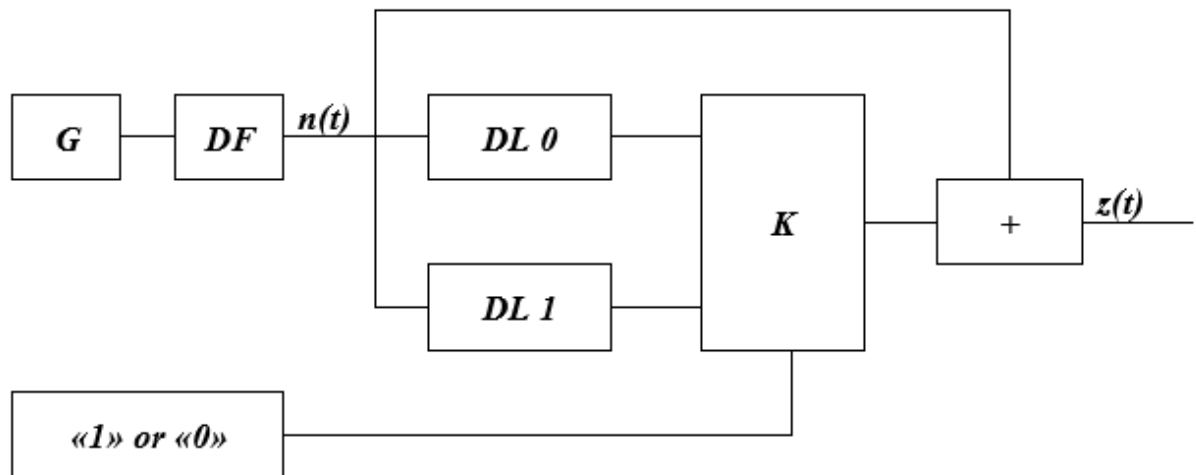


Рисунок 2.6 – Схема одночасного формування опорного та інформаційного сигналів

Опорний сигнал через суматор потужності передавач випромінює безперервно. Сигнал $z_{1,0}(t) = n(t) + n(t - T_{1,0})$, як сума опорного і інформаційного сигналів, має вторинний максимум автокореляційної функції, положення якого у часі є інформаційним параметром сигналу.

Генератор (G) в автоколивальному режимі формує послідовність надкоротких імпульсів – чипів з періодом надходження t_D , який подається до входу цифрового смугово - пропускаючого фільтру (DF), що формує сигнал $n(t)$. З виходу DF надширокосмуговий сигнал $n(t)$ надходить до входу модулятора, у якому здійснюють розподіл на інформаційний та опорний сигнали.

Швидкість передачі інформаційних двійкових бітів C_ϵ залежить від тривалості T_ϵ кожного інформаційного біта $C_\epsilon = 1/T_\epsilon$. Кількість чипів на тривалості кожного інформаційного біта визначає співвідношення $N_\epsilon = T_\epsilon / t_D$.

При цьому зазначено, що всі реалізації випадкового сигналу в потоці інформаційних бітів є взаємно ортогональними.

Модулятор має дві лінії затримки (DL). Опорну послідовність чипів інформаційного сигналу затримують в першій лінії на час T_1 при надходженні символу «одиниця», чи у іншій лінії затримки на час T_0 при надходженні символу «нуль». Переключення ліній затримки з T_1 на T_0 виконують згідно з потоком двійкових бітів «одиниця» чи «нуль» від джерела інформації. Процес переключення каналів наведено на рис. 2.6.

Зазвичай в існуючих безпроводових каналах систем НШС зв'язку одночасно передаються як опорний, так і інформаційний сигнали, які створюють один для одного внутрішньосистемні завади [26].

2.3.2. Модель кодування інформаційного сигналу протилежними чипами

Більш високу завадостійкість має система зв'язку з використанням протилежних НШС сигналів. Передавач має лише одну лінію затримки (рис. 2.7.). При цьому інформація кодується не зміною положення вторинного максимуму автокореляційної функції у часі, а зміною полярності цього максимуму.

На відміну від розглянутої (рис. 2.6), модель кодування інформаційного сигналу НШС протилежними чипами має у своєму складі тільки одну лінію затримки. При цьому інформація кодується не зміною положення вторинного максимуму автокореляційної функції у часі, а зміною полярності цього максимуму (рис. 2.7.) [26]. Генератор (G) в автоколивальному режимі формує послідовність надкоротких імпульсів – чипів з періодом надходження t_D , яка подається до входу модулятора, що має лінію затримки (DL), де опорну послідовність чипів інформаційного сигналу затримують в першій лінії на час T_1 при надходженні символу «одиниця».

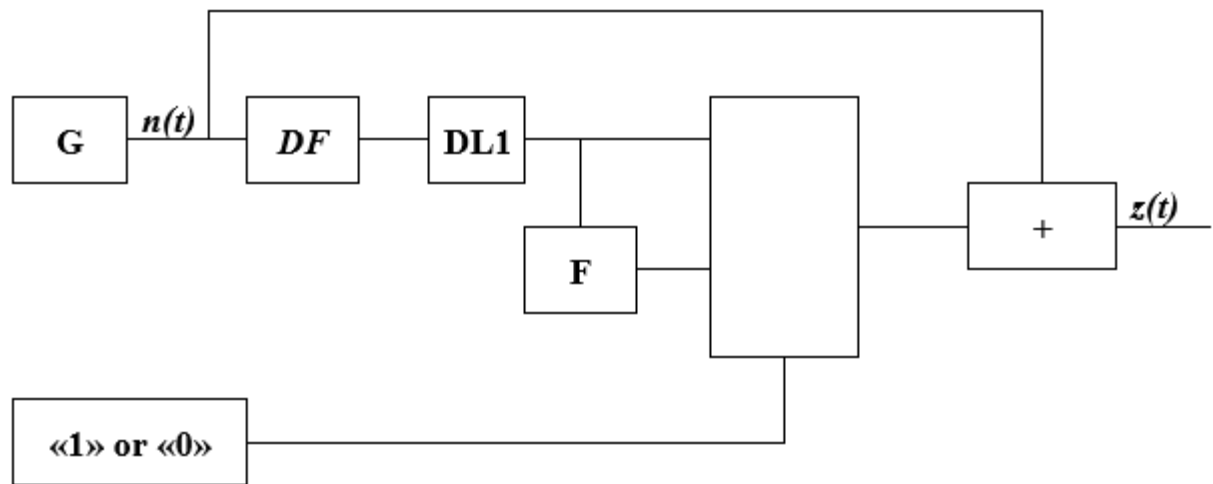


Рисунок 2.7 – Модель формування інформації протилежними НШС сигналами.

На відміну від попередньої моделі, інша лінія затримки (DL) замінено на широкосмужний фазообертач (F) із поворотом фази на 180^0 . Причому, фазообертач повинен забезпечувати фіксований фазовий зсув в робочій смузі частот. Переключення ліній із затриманого сигналу на інвертований виконують згідно з потоком двійкових бітів «одиниця» чи «нуль» від джерела інформації. Процес переключення каналів наведено на рис. 2.7.

Оскільки затримка між опорним та інформаційними сигналами постійна, а зміна знаку автокореляційної функції у точці виміру закладена в структурі самого сигналу, то модель приймача НШС сигналів суттєво спрощується. Вона має один автокореляційний фільтр, який налаштовано на затримку у часі T_1 . При цьому, за умов фіксованої бази сигналу, імовірність бітової похибки в моделі одночасного формування опорного та інформаційного сигналу суттєво менше, ніж при його кодуванні протилежними чипами. Тому використання протилежних сигналів дозволяє отримати додатковий вигравш у завадостійкості.

Однак наявність широкосмужного фазообертувача з фіксованим зсувом фази робить її реалізацію складною, що обумовлено необхідністю узгодження технічних характеристик фазообертувача F в широкій смузі частот. В обох

моделях в каналі доступу одночасно передають як опорний, так і інформаційний сигнали. Ці сигнали створюють завади один для одного, які є внутрішньосистемними завадами. В результаті збільшується імовірність похибки, яка є відмінною від нуля навіть за умов повної відсутності завад в безпроводному каналі зв'язку.

Причому, при підвищенні швидкості передачі інформації за умов зменшення часу передачі біту T_s [27] вплив внутрішньосистемних завади підсилюється та призводить до збільшення рівня бітової похибки. Проблему зменшення внутрішньосистемних завад вирішує модель розділеного формування опорного та інформаційного сигналів за рахунок їх розділення у часі. Функціональну схему цієї моделі наведено на рис. 2.8.

2.3.3. Модель розділеного формування опорного та інформаційного сигналів

На відміну від існуючих технічних рішень (рис. 2.6, 2.7), в схемі передавача запропоновано застосувати трипозиційного комутатора. Протягом першої половини бітового інтервалу комутатор замикає вихід передавача безпосередньо на генератор НШС сигналу (G). Таким чином протягом періоду часу $T_s/2$ формують опорний НШС сигнал. У середині бітового інтервалу здійснюють переключення комутатора до однієї з двох можливих позицій в залежності від потоку двійкових бітів «одиниця» чи «нуль» від джерела інформації. При цьому лінія затримки DL1 забезпечує затримку сигналу $x(t)$ на половину бітового інтервалу $T_s/2$, а лінії затримки DL2 та DL3 задіяні безпосередньо для формування потоку двійкових бітів «одиниця» чи «нуль». В результаті формується інформаційний сигнал, відокремлений у часі від опорного, який на одному інтервалі T_s має наступний вигляд

$$y(t) = \begin{cases} x(t), 0 \leq t \leq \frac{T}{2}; \\ x\left(t - \frac{T}{2} - T_0\right), \frac{T}{2} \leq t \leq T; \\ x\left(t - \frac{T}{2} - T_1\right), \frac{T}{2} \leq t \leq T; \end{cases} \quad (2.9)$$

При цьому слід зазначити, що системи з НШС сигналами, які використовують розділену передачу опорного і інформаційного сигналів та їх автокореляційний прийом, забезпечують високий рівень структурної прихованості сигналу.

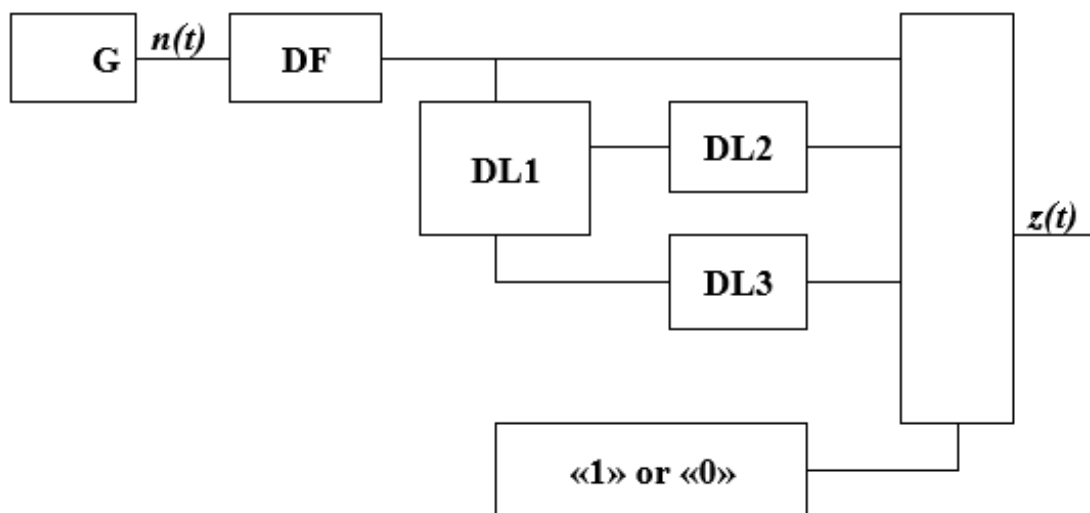


Рисунок 2.8 – Модель розділеного формування опорного та інформаційного сигналів [26]

Таким чином передавач формує та випромінює до вільного простору складний сигнал, до складу сигналу якого включено інформаційний імпульсний НШС сигнал у вигляді закодованої послідовності імпульсів та окремого імпульсного синхросигналу.

З огляду на те, що умови синхронізму підтримують безперервно під час сеансу зв'язку а не у дискретних точках, що характерно для відомих імпульсних систем, то висока якість синхронізації зберігають і під час взаємних переміщень мобільних об'єктів.

Зменшення часу синхронізації сигналів системи радіозв'язку з імпульсними НШС сигналами та підвищення її якості, суттєво підвищує ефективність використання високої пропускної здатності під час роботи з великою кількістю користувачів, особливо при роботі з мобільними об'єктами. При цьому підвищується усталеність каналів зв'язку до впливу завад від сусідніх каналів, забезпечуючи такі основні переваги НШС систем зв'язку, як:

- підвищена завадозахищеність;
- можливість забезпечення кодового розділення каналів;
- низький рівень спектральної щільності;
- енергетична та інформаційна захищеність зв'язку;
- підвищена пропускна здатність.

Застосування методу формування НШС сигналу з усталеною синхронізацією дозволяє ефективно реалізувати потенційно високу щільність каналів зв'язку на один квадратний метр робочої зони. Завдяки зменшенню рівня інформаційного сигналу відносно рівня білого шуму в робочому діапазоні частот здійснюється одночасна беззавадова робота як традиційних вузькосмугових систем зв'язку, так і систем зв'язку, які використовують НШС сигнали. Використання технології НШС зв'язку з розподілом у часі синхроімпульсу та інформаційного сигналу дозволяє гарантовано забезпечити вимоги щодо завадостійкості, прихованості і безпеки каналів безпроводового мобільного зв'язку на усіх етапах їх розробки, виготовлення та експлуатації.

2.4. Метод забезпечення завадостійкості із підтримкою якості обслуговування безпроводових ТКС мобільного зв'язку

В цифрових ТКС якість мобільного зв'язку та відповідний рівень забезпечення ЕМС зазвичай реалізують двома методами: стрибкоподібного переналаштування частоти (Frequency Hopping Spread Spectrum – FHSS) та методом прямої послідовності (Direct Sequence Spread Spectrum – DSSS).

Обидва ці методи передбачають розподіл всієї широкої смуги частот на n підканалов. Кожен з них має свої вади. Однак, устаткування FHSS значно простіше й дешевше, а також має більшу стійкість до широкосмугових завад.

Застосуванні методу FHSS передбачає передачу у кожний момент часу інформації тільки по одному з n підканалов, регулярно перемикаючись на інший підканал. Ці перемикання відбуваються синхронно на передавачі і приймачі, причому їх послідовність носить псевдовипадковий характер і заздалегідь відомий тільки даній парі «передавач-приймач». Для реалізації такого перемикання використовують властивості перетворення Фур'є, за яким здійснюючи згортку інформаційного сигналу із допоміжною функцією, наприклад, експоненціальною, отримуємо у часовій області перенесення спектру інформаційного сигналу до іншого діапазону у частотній області. Таким чином, маючи низку допоміжних імпульсних функцій з'являється можливість для реалізації стрибкоподібного переналаштування спектру частот інформаційного сигналу до іншого частотного діапазону. При цьому приймальне обладнання вимірює потужність радіосигналу і рівень завад, та на основі отриманих результатів формується список вільних та зайнятих каналів для подальшого обрання каналу. До списку включено інформацію про стан каналу зв'язку, де низьке значення потужності сигналу та відсутність завад в них свідчать про наявність вільних каналів.

Та навпаки, присутність великого рівня сигналу в каналі та/або сильних завад свідчать про його зайнятість. Ця інформація дозволяє при встановленні з'єднання обирати найбільш оптимальний канал зв'язку за найменшим рівнем завад. Сканування доступних каналів відбувається як мінімум один раз за 30 секунд [69, 70]. Запис даних про якість зв'язку кожним приймально-передавальним пристроєм здійснюють у вигляді таблиці якості зв'язку (The Link Quality Table), що являє собою двовимірний масив. На основі записаних поточних значень даних про якість зв'язку, передають інформацію за маршрутом, що забезпечує високу якість зв'язку, яка перевищує або дорівнює

заданому пороговому значенню. Фрагмент ТКС безпроводової мережі наведено на рис. 2.9 [27].

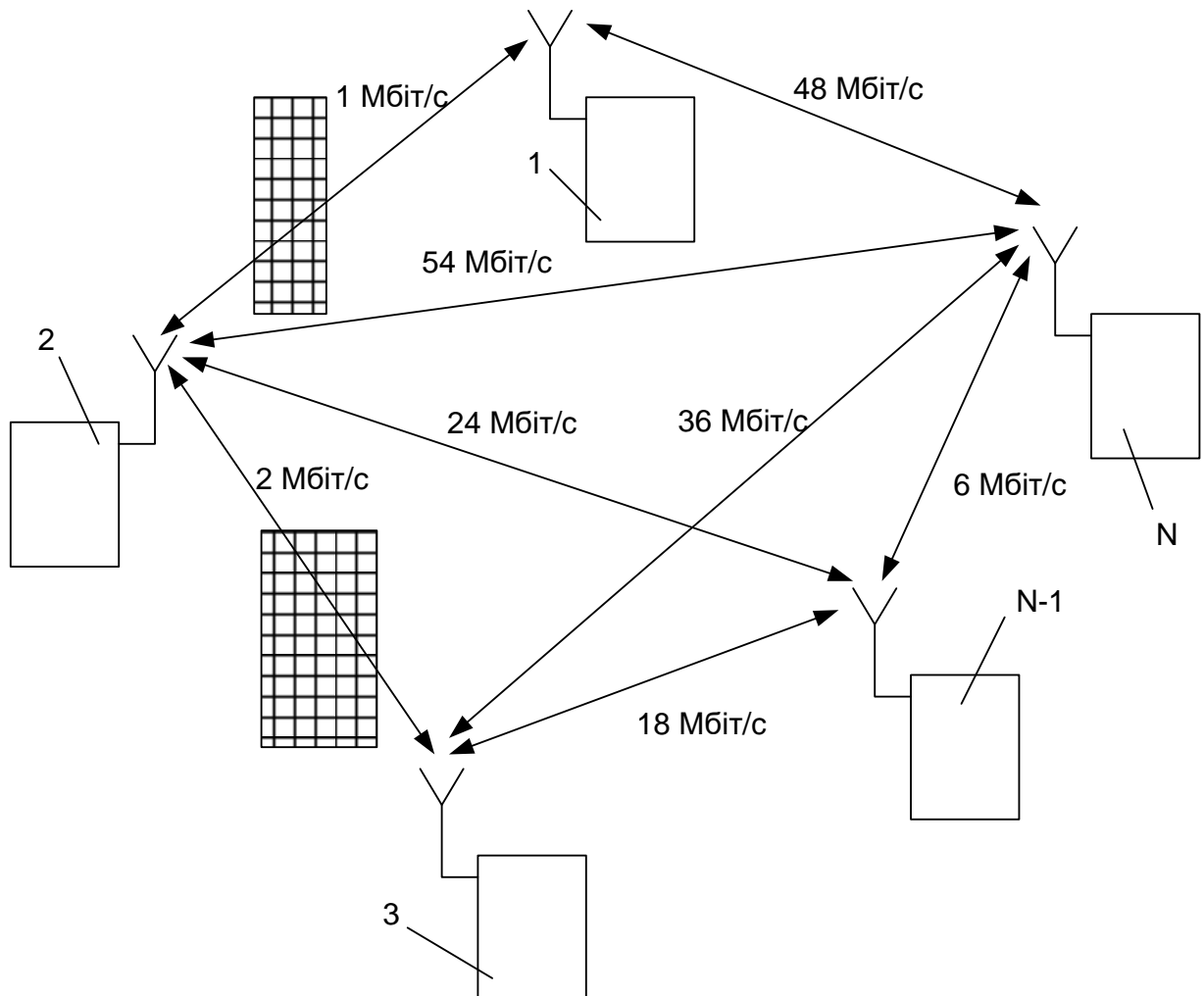


Рисунок 2.9 – Метод організація зв'язку у фрагменті безпроводової ТКС мережі

Реалізацію алгоритму маршрутизації у фрагменті безпроводовій ТКС мережі здійснюють наступним чином [24].

Крок 1: сканують лінії зв'язку із періодом часу від 30 до 100 с.

Крок 2: визначають якість зв'язку між усіма користувачами фрагменту мережі у найближчому оточенні.

Крок 3: записують данні про якість зв'язку між усіма парами користувачів даної мережі у вигляді таблиці.

Крок 4: визначають коефіцієнт незайнятості кожного каналу мережі.

Крок 5: записують у кожного з користувачів мережі отримані данні про коефіцієнт незайнятості кожного каналу мережі у вигляді таблиці.

Крок 6: на основі записаних поточних значень даних про якість зв'язку та незайнятості каналів створюють узагальнену таблицю.

Крок 7: за максимальними значеннями обчислених коефіцієнтів здійснюють пошук оптимального маршруту, що забезпечує максимально можливу швидкість передачі інформації.

Крок 8: здійснюють передачу інформації за оптимальним маршрутом, після чого переходять до кроку 1.

Запропонований алгоритм динамічного визначення оптимального маршруту наочно наведено на рис. 2.10.

Завдяки такому безперервному динамічному вибору каналів зв'язку здійснюється ефективно використання радіочастотного ресурсу та забезпечуються вимоги ЕМС в ТКС системах безпроводного мобільного зв'язку [24, 27].

При реалізації методу DSSS кожен біт інформації кодується у вигляді послідовності з n біт, які передаються паралельно по всім n підканалам, причому алгоритм кодування індивідуальний для кожної пари «передавач-приймач», забезпечуючи, таким чином, конфіденційність передачі. Цей метод дозволяє досягати більшої пропускної здатності і, завдяки n -кратній надмірності, забезпечує більшу стійкість до вузькосмугових завад та дозволяє використовувати інформаційні сигнали дуже низької потужності, не створюючи завад звичайним радіопристроєм.

Подальше удосконалення методу DSSS з метою підвищення рівня завадостійкості телекомунікаційних систем зв'язку здійснюють шляхом застосування НШС сигналів з нелінійною обробкою їх спектрів [118].

Реалізацію такого підходу здійснюють наступним чином.

Інформаційний двійковий сигнал спочатку розширюють шляхом множення його на розширюючу кодову послідовність сигналів у вигляді потоку елементарних сигналів – чипів та випромінюють його до вільного

простору. Таким чином здійснюють одночасне завадостійке кодування та модуляцію інформаційного біту, створюючи складну сигнально-кодову конструкцію [46, 50].

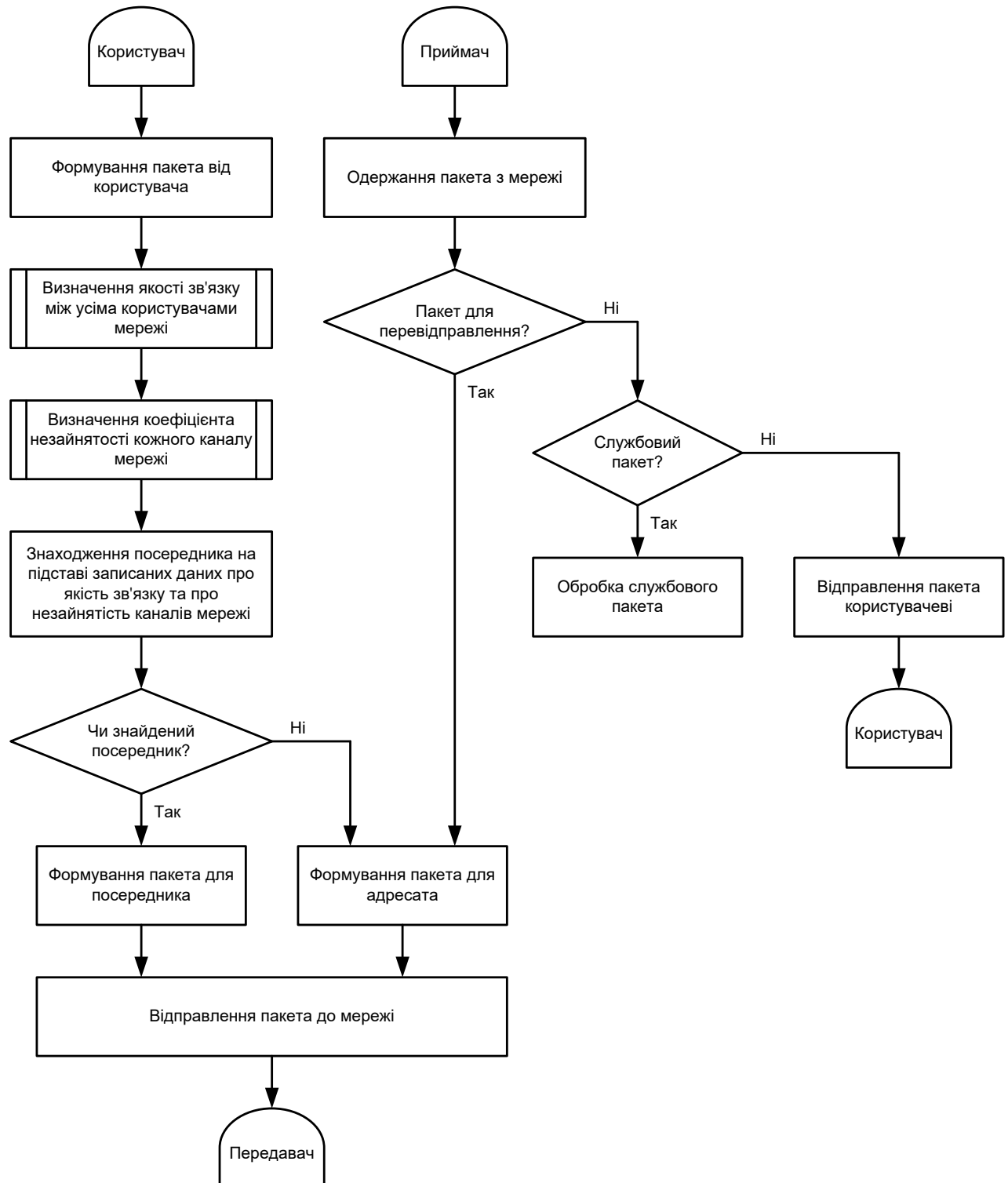


Рисунок 2.10 – Алгоритм визначення оптимального маршруту

Висновки до розділу 2

1. На ґрунті проведеного аналізу запропоновано метод формування ансамблю складного надширокосмугового інформаційного сигналу в системах мобільного зв'язку, який реалізовано за допомогою розробленої моделі, що дозволяє передавати інформацію безпосередньо до вільного простору гребінкою малопотужних імпульсних сигналів – чипів у дуже широкій смузі частот без несучої частоти, причому рівень сигналу випромінювання дорівнює чи нижче рівня шуму. Запропоновано у якості кодуючого сигналу використовувати похідну від моноциклу Гауса, який має надширокий спектр та є основою для кодування інформаційного біту.

2. Удосконалено метод створення сигнально-кової конструкції інформаційного сигналу, за яким кожен біт інформації кодується часовим зсувом гребінки чипів на чверть тривалості імпульсу відносно еталонної, в залежності від того, що кодується нуль чи одиниця. Показано, що за умов постійної амплітуди та тривалості кодуючих імпульсів, їх мінімальна кількість обмежується трьома чипами.

3. Удосконалено метод створення незалежних завадозахищених каналів мобільного зв'язку шляхом здійснення додаткового зсуву у часі положення гребінки чипів пропорційне значенню деякої псевдовипадкової послідовності – системі ортогональних кодів, причому величина зсуву на два-три порядки вище, ніж при часовому позиційно-імпульсному кодуванні. Використання ортогональних послідовностей Уолша для формування логічних незалежних каналів розширює спектр інформаційного сигналу та робить канали завадостійкими в умовах реалізації багатоканального безпроводового зв'язку.

4. В результаті вирішена друга і третя наукова задача, які полягають в розробці методу формування ансамблю складного надширокосмугового інформаційного сигналу в системах мобільного зв'язку, удосконаленні методу сигнально-кової конструкції інформаційного сигналу та методу створення

незалежних завадостійких каналів зв'язку. Розроблена модель формування складних інформаційних надширокосмугових імпульсних сигналів випромінювання дозволила збільшити щільність каналів доступу, обсяги інформації, що циркулює у безпроводових мережах та підвищити її захищеність в умовах дії природних та штучних завад.

Основні результати розділу опубліковані у патенті України на винахід [50], патентах України на корисну модель [46, 47, 25] та статтях [19, 21, 24, 26, 28, 29, 31, 87, 88, 90-98, 100 – 103].

.

РОЗДІЛ 3.

МОДЕЛІ І МЕТОДИ ПОБУДОВИ АНТЕННИХ СИСТЕМ ДЛЯ РЕАЛІЗАЦІЇ ТЕХНОЛОГІЇ НАДШИРОКОСМУГОВОГО ЗВ'ЯЗКУ

На якість даних, що циркулює в рухомих ТКС мобільного зв'язку, суттєво впливають технічні характеристики блоку прийому / передачі, зокрема такого основного компоненту, як антенні системи. Модель фізичного рівня системи багатоканального зв'язку не відрізняється від традиційно використаних в теорії електрозв'язку та включає приймач, передавач та канал зв'язку (рис. 3.1). Для захисту сигналів від завад в каналі доступу застосовують методи завадостійкого кодування і сигнали із розширеним спектром. Найбільш перспективним є адаптивний підхід, який забезпечує максимальну пропускну здатність каналу зв'язку за рахунок оптимального співвідношення методів кодування, модуляції, розширення спектру та обробки сигналів [118 - 120].

Тенденції розвитку ТКС систем демонструють як постійне зростання мобільного трафіку, так і інформаційну ємність системи. Забезпечити якісну сумісну роботу великої кількості мобільних пристроїв є складною задачею, так як постійне зростання кількості мобільних пристроїв суттєво підвищує вимоги до середовища передачі інформації. При цьому одним з основних шляхів вирішення проблеми забезпечення якості мобільного зв'язку визначають антенні системи.

3.1. Класифікація антенних систем

В системах безпроводового зв'язку антени перетворюють радіосигнали на електричні сигнали та навпаки. Вони забезпечують вирішення задач підвищення пропускну здатності системи, придушення завад, боротьби із багатопроменевим розповсюдженням сигналів [1-4, 111 - 116].

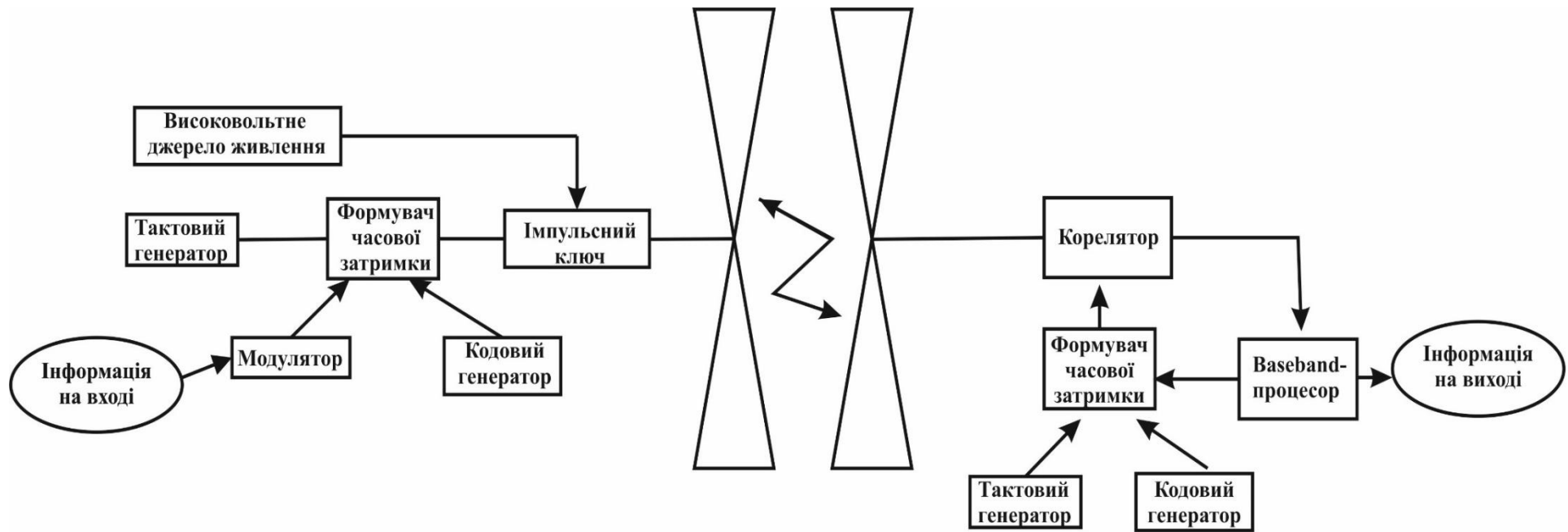


Рисунок 3.1 – Модель фізичного рівня системи НШС мобільного зв'язку

Класифікація антен, які застосовують в системах безпроводового зв'язку, наведено на рис. 3.2. Аналіз інформації, наведеної в таблиці 1.2 показав, що для ефективного прийому широкосмугових сигналів слід створювати антени, які здатні працювати в широкій смузі частот. Зокрема, до таких антен слід віднести клас фрактальних антен, які здатні використовувати для організації широкосмугового зв'язку в діапазоні 1 – 10,6 ГГц.

3.2. Аналіз широкосмугових антен

3.2.1. Фрактальні антени

Однією з вимог розвитку сучасного мобільного зв'язку є підвищення пропускної здатності безпроводових каналів доступу комп'ютерних систем. Досягненню цієї мети сприяє застосування надширокосмугових сигналів. При цьому формування випромінювання електромагнітного надшiroкосмугового сигналу у вільний простір накладає обмеження на конструкції застосованих антенних пристроїв. Аналіз конструкцій антен для випромінювання надкоротких імпульсних сигналів показав, що за допомогою фракталів можливо створити широкосмугову антену, значно зменшуючи при цьому розміри її конструкції. Отримують фрактал шляхом розділення фігури на ще більш невеликі об'єкти. Причому, будь-яка з отриманих фігур розділяється на подібні, які у свою чергу є частинами такої ж фігури. Відповідний клас антен називають *space-filling antenna (SFA)*. Їх конструкції виконують на ґрунті фракталів Коха, Мінковського, Серпінського [101].

Так випромінювач на ґрунті фрактала Коха (Рис. 3.3.) будується наступним чином. Частина відрізка довжиною z поділяється на три рівні частини. Замість центральної частини підставляють злом у вигляді рівнобічного трикутника зі стороною $z/3$. Отримуємо трисегментну структуру, що створює шаблон, центральна частина якого – трикутник без основи.

У подальшому процес повторюється окремо над кожним сегментом. Кожен крок синтезу збільшує довжину лінії у $4/3$ рази за наступним принципом

$$L = z \left(\frac{4}{3} \right)^n, \quad (3.1)$$

де n - число ітерацій, z - довжина вихідної лінії.

При цьому за меншими габаритами отримуємо той же коефіцієнт підсилення, а просторово-частотна вибірковість не поступається звичайним антенам. Також слід зазначити, що ефективними є перші 5-6 кроків. Рамкові антени на ґрунті фрактальних петель Коха наведено на рис. 3.3. При цьому слід зазначити, що всі ітерації розташовано в колі кінцевого радіусу.

$$r = \frac{\sqrt{3}}{3} \cdot a, \quad (3.2)$$

де a – сторона початкового трикутника.

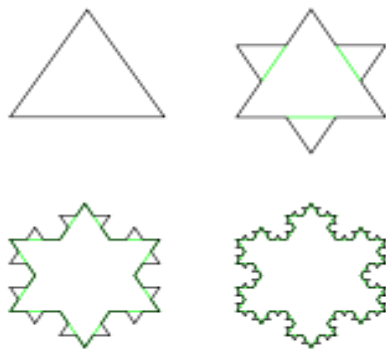


Рисунок 3.3 – Сніжинка Коха

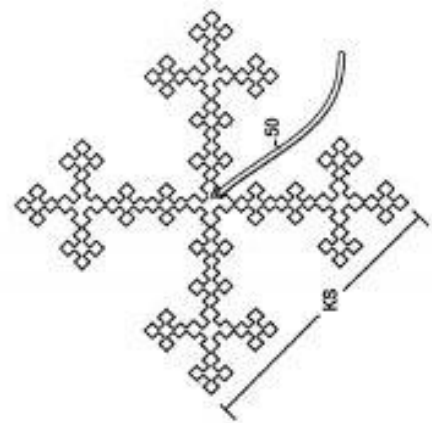


Рисунок 3.4 – Хрест Мінковського

Випромінювач на ґрунті фрактала Мінковського (Рис. 3.4.) будується наступним чином. Замість трикутників на прямій формується меандри зменшуючих розмірів. При першому заломі диполя його посилення зростає,

діапазон частот розширюється, а антена більш компактною. Також є ефективними перші 5-6 кроків.

Формування фрактала Серпінського (Рис. 3.5.) складається з видалення центрального трикутника сегмента з двічі меншою висотою. У сформованих нових трикутниках знову видаляють центральні частини. Найбільше розповсюдження має фрактальна антена на ґрунті прямокутного килима Серпінського, який формується вилученням з початкового квадрату спадаючих за розміром квадратних сегментів.

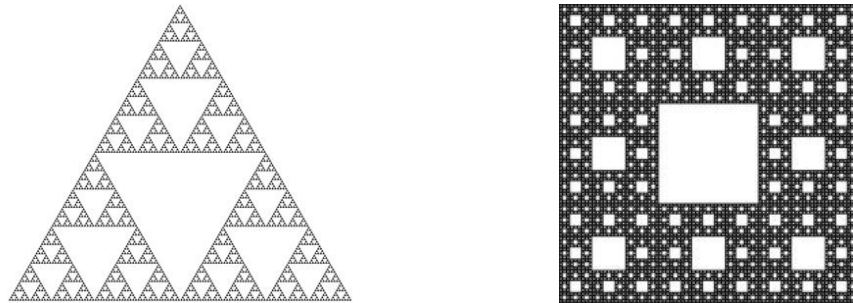


Рис. 3.5 – Монополь та килим Серпінського

У мобільних телефонах поширена багатодіапазонна фрактальна антена на основі прямокутного килима і куба Серпінського (Рис. 3.6, 3.7).

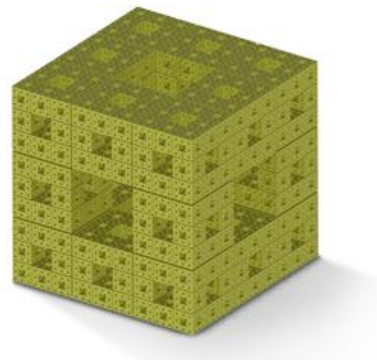
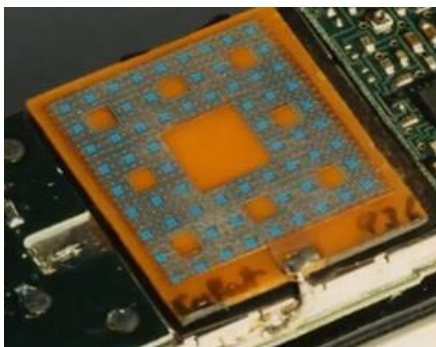


Рисунок 3.6 – Килим Серпінського

Рисунок 3.7 – Куб Серпинского

Усі елементи фрактальних антен мають невеликі розміри та достатньо широку смугу частот. Однак найбільш придатним для випромінювання

широкосмугових сигналів є деревоподібні антени (Рис.3.8.). Такий фрактал генерують шляхом послідовного розподілення його верхівки на дві гілки під заданим кутом (до 60°). Тривимірні дерева отримують шляхом розподілення монополя на четвірки гілок у двох ортогональних площинах.

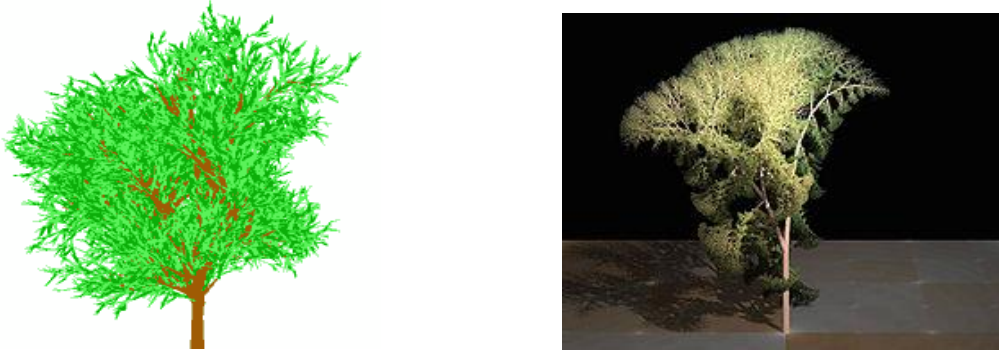


Рисунок 3.8 – Деревоподібні антени

Порівняльний аналіз широкосмугових антен показав, що ширина смуги на рівні 3 дБ для звичайного диполя складає 2,4% від несучої частоти, а для фрактала Коха в 5 –й ітерації складає 3,1%. У той же час двовимірний деревоподібний фрактал має більш широку смугу 4,2 %, а тривимірне дерево – 12,7 %. від несучої [101]. Таким чином клас фрактальних антен дозволяє суттєво підвищити пропускну здатність радіоелектронних систем для здійснення широкосмугового мобільного зв'язку. Однак ширина смуги недостатня для реалізації потреб користувачів щодо збільшенню обсягу та швидкодії передачі інформації. Більш широку смугу частот мають антени зі щільною, яка розширюється. Тому для використання у системах прийому/передачі надширокосмугових сигналів слід провести їх аналіз.

3.2.2. Антени TSA

Розширення смуги каналу доступу та перехід до каналів з надширокою смугою дає можливість практично безмежного збільшення кількості каналів

доступу. Однак, застосування шумоподібних сигналів вимагає розробки відповідних випромінювачів, здатних забезпечити електромагнітне випромінювання у надширокій смузі частот. У зв'язку з тим, що випромінюванню підлягають кодовані сигнали в дуже широкій смузі частот, вимоги до широкосмужності приймально-передавальної системи є основними. Найбільш оптимальним варіантом для вирішення цієї задачі є антена зі щілиною, яка розширюється – *TSA (Tapered Slot Antenna)* [45, 67, 71, 114].

Антенa TSA (Вівальді), також відома як антена з конічною щілиною, відрізняється нескладною конструкцією, простими вимогами до виготовлення і високим коефіцієнтом посилення та призначена для роботи в різних умовах. Конструктивно її виготовляють на тонкій гнучкій підкладці, завдяки чому легко розміщується на різних поверхнях, легко набуває обтічної форми. Принципова схема антени показана на рис. 3.9, точками вказано місця підключення джерел [67, 71, 114].

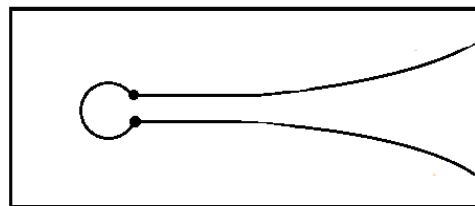


Рисунок 3.9 – Принципова схема антени TSA

Антенa Вівальді містить діелектричну підкладку, металевий шар, щілину, виконану в металевому шарі з розширюючими стінками уздовж поздовжнього напрямку, що утворить розкриття антени. Додаткові конструктивні елементи антени дозволяють зменшити поздовжні і поперечні габарити антени та мають просту конструкцію. Різноманітність форм і пропорцій антени залежить від конкретної задачі, для якої її планують використовувати. Геометрично щілина антени TSA може змінюватися як за експоненціальним законом, так і лінійно. Наведені приклади конструкцій антен TSA, у якій ширина щілини збільшується зі збільшенням відстані від

точки живлення антени, наближує антену TSA до стандартної рупорної антени. Антена TSA працює на "поверхневих хвилях". Поверхневі хвилі поширює зігнута дуга щілини антени.

Випромінююча частина змінює ширину щілини, тому на різних частотах випромінюють різні частини антени. Таким чином, антена теоретично має нескінченну смугу пропускання і її можна, таким чином, вважати незалежною від частоти. Коли довжина хвилі змінюється, випромінювання походить від різних частин антени, яка має при розкриванні розмір, пропорційно довжині хвилі. Це дає велику смугу пропускання.

Антена Вівальді складається із двох областей:

- області поширення,
- області випромінювання.

Теоретично, TSA може мати смугу пропускання, наприклад, від 2 ГГц до 90 ГГц, тоді як фактично робоча смуга пропускання обмежена переходом від лінії живлення до щілинної лінії антени і кінцевими розмірами антени.

При розробці антенних систем широко використовуються спеціалізовані програми електромагнітного моделювання, які дозволяють оцінити параметри роботи антен ще на етапі проектування. Так при проектуванні сучасних систем радіозв'язку необхідно вирішувати задачі із використанням методів аналізу і синтезу як окремих вузлів системи, так і всієї системи у цілому. Для цього використовують спеціальні програмні комплекси, які призначені для проектування радіоелектронних систем. Причому, процес проектування окремих вузлів або класів апаратури різних за функціями і методами аналізу об'єднуються разом на базі єдиної платформи, що дозволяє інтегрувати результати роботи різних програм для створення проекту усієї радіоелектронної системи в цілому.

Для реалізації поставленої задачі найбільш придатною є High Frequency System Simulator (HFSS) компанії ANSYS, яка призначена для аналізу тривимірних НВЧ структур, у тому числі, антен і пристроїв, що містять

ферити. HFSS дозволяє використовувати широкі можливості строгого електродинамічного моделювання [43, 44].

Пакет програм ANSYS HFSS - галузевий стандарт для тривимірного електромагнітного моделювання і розробки високочастотних радіoeлектронних і антенних пристроїв. HFSS автоматично формує відповідну сітку розбиття об'єкту для виконання швидкого і точного розрахунку. Програма має можливості візуалізації результатів аналізу, зокрема, анімації картини поля, побудови тривимірних діаграм спрямованості. структури, великі бази даних по НВЧ матеріалам і НВЧ компонентам. Наявність такого числа вирішувачів дозволяє йому бути гнучким і в той же час універсальним програмним продуктом.

Процес проектування за допомогою HFSS включає ряд кроків.

1. Створення моделі аналізованої структури;
2. Визначення їх електродинамічних параметрів;
3. Електродинамічний аналіз досліджуваного об'єкту;
4. Візуалізація результатів електродинамічного аналізу.

Модель антени TSA, складається із форми у вигляді щілини, що розходиться (рис. 3.10).

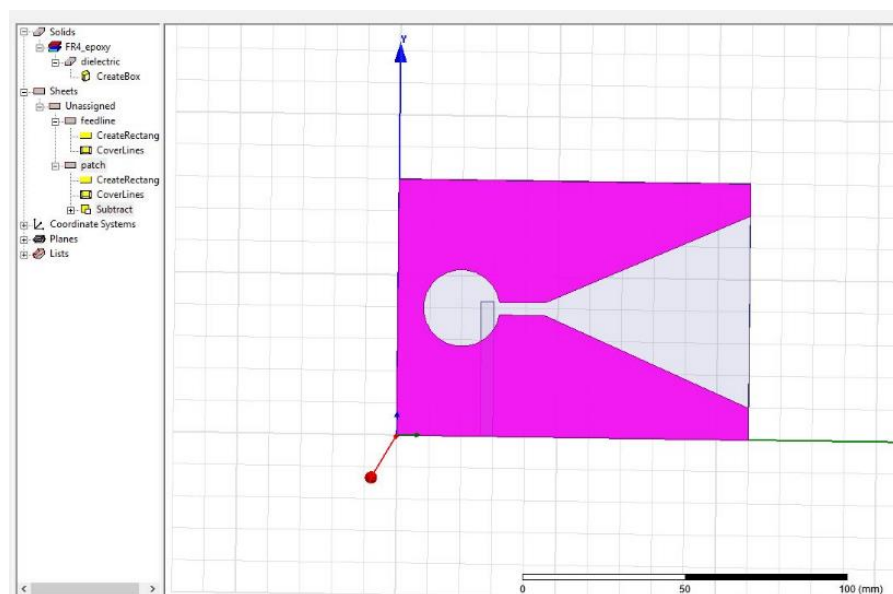
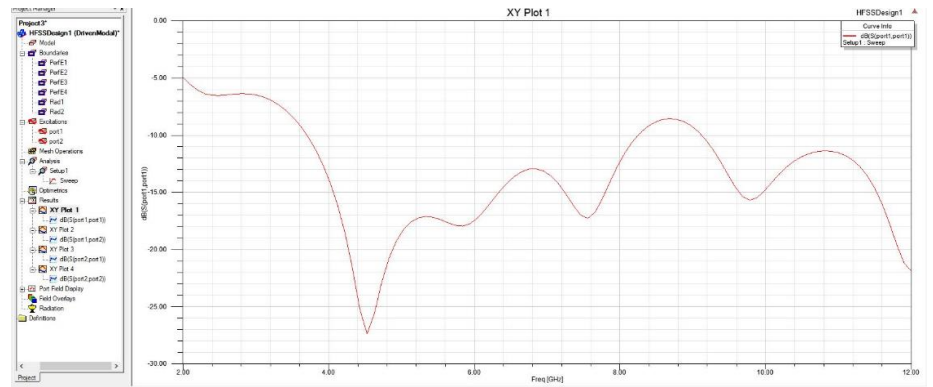


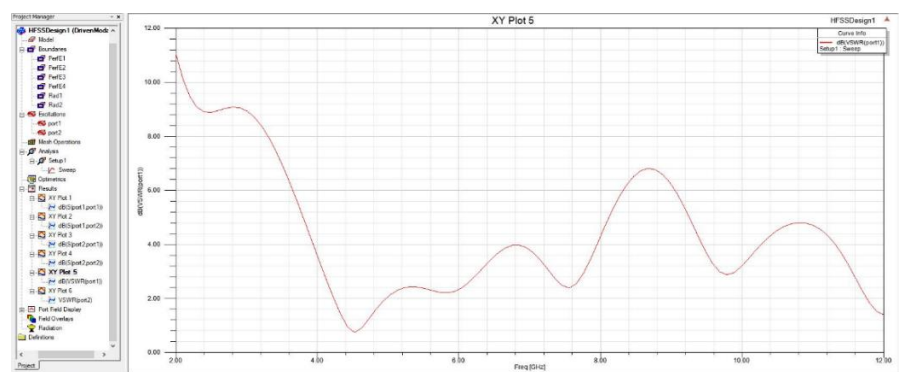
Рисунок 3.10 – Форми TSA антени

За результатами розрахунку для моделі TSA антени отримуємо наступні дані (рис. 3.11).

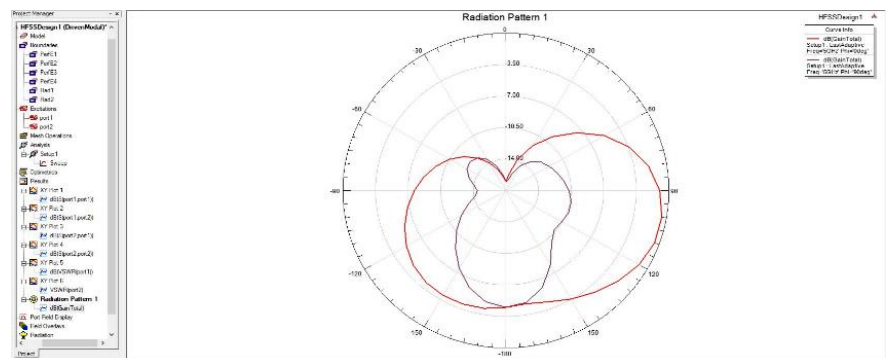
S - параметри
(зворотні
втрати)



VSWR
коефіцієнт
стоячої хвилі



діаграма
спрямованості



тривимірна
діаграма
спрямованості

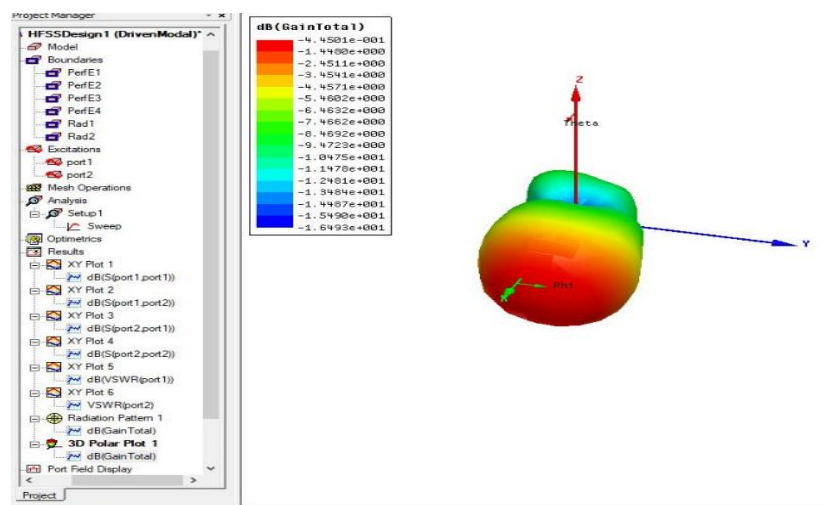


Рисунок 3.11– Результати розрахунку моделі TSA антени.

Результати моделювання TSA антени довели її спроможність випромінювати надкороткі імпульсні сигнали у вигляді моноциклу Гаусу в діапазоні частот 2 – 10 ГГц [100].

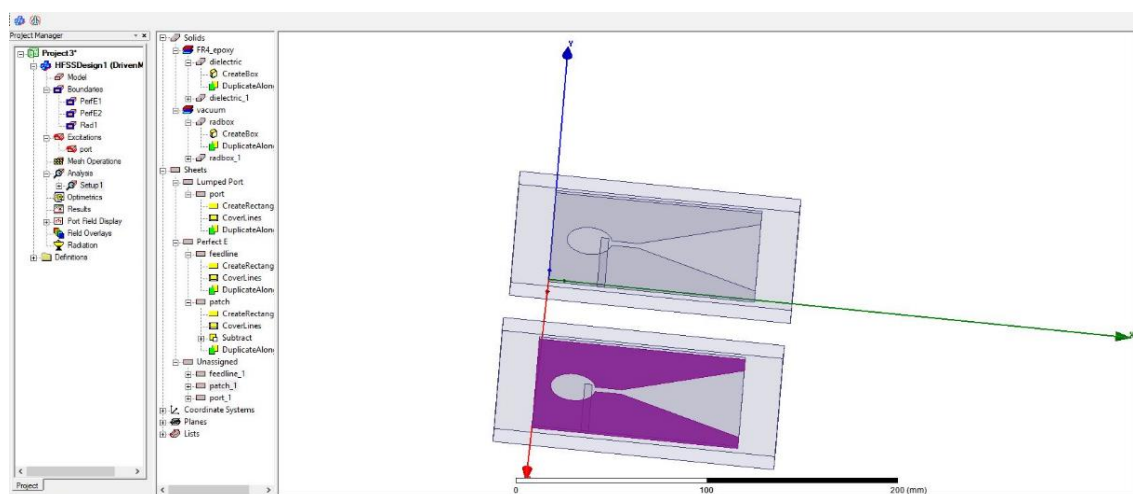
Однак, попереднє формування похідної моноциклу Гаусу в системі унеможливорює виникнення енергетичних втрат, що виникають за рахунок неузгодженості сигналу в широкій смузі частот та обмежує радіус розповсюдження НШС інформаційного сигналу.

Таким чином, актуальною задачею є поліпшення технічних характеристик антенних систем, що випромінюють надкороткі імпульси та не викривлюють форму сигналу.

3.3 Розробка моделі антени для випромінювання ансамблю складних НШС сигналів.

3.3.1 Метод випромінювання ансамблю складних НШС сигналів та модель, що його реалізує

Імітаційну модель запропонованого блоку антен TSA створено на ґрунті попередньої імітаційної моделі [100]. Зовнішній вигляд імітаційної моделі блоку антен TSA має наступний вигляд (рис. 3.12).



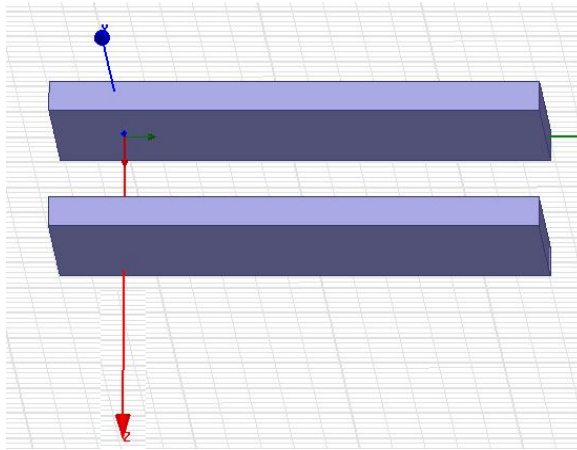
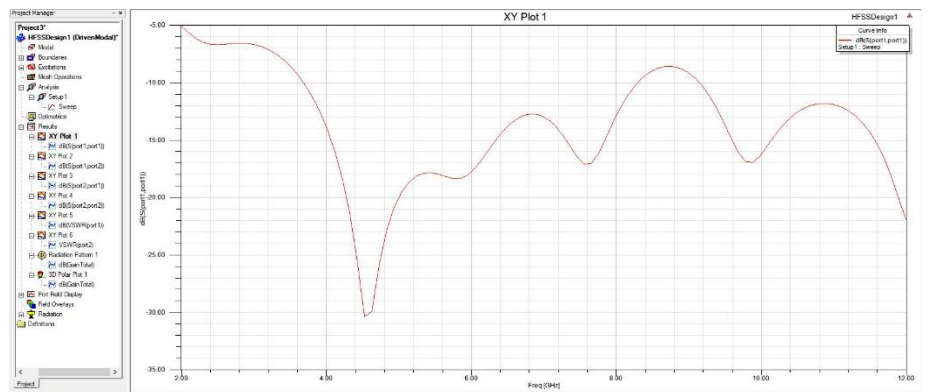


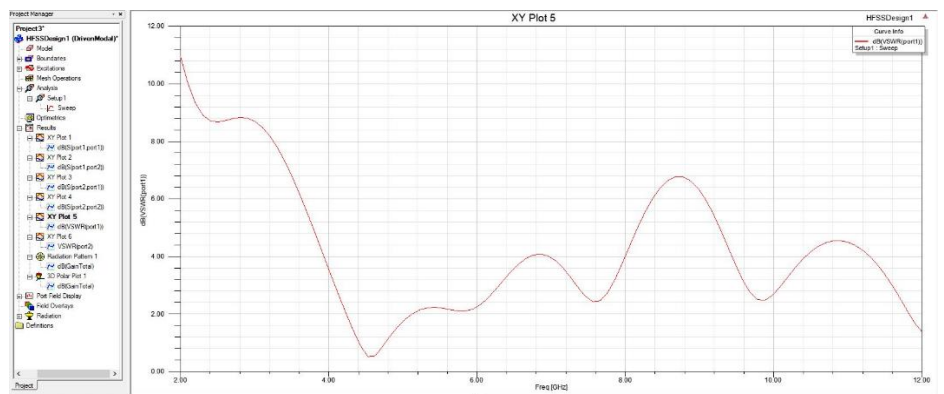
Рисунок 3.12 – Загальний вигляд запропонованої моделі блоку TSA антен

Результати моделювання та отримані технічні результати наведено на рис. 3.13.

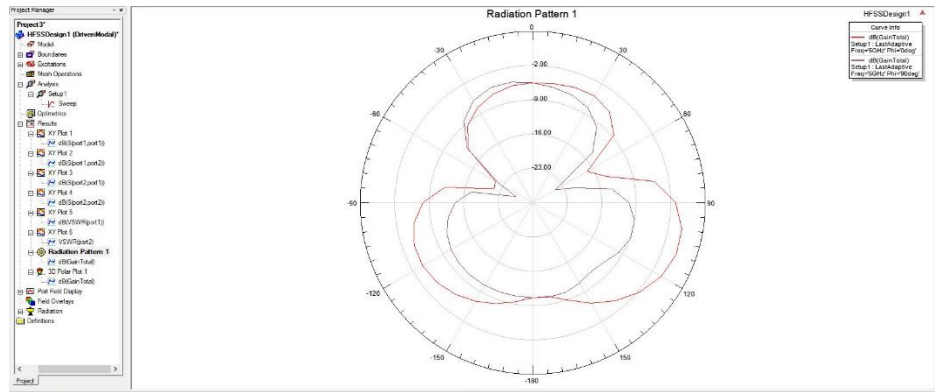
S - параметри
(зворотні
втрати)



VSWR –
коефіцієнт
стоячої хвилі



діаграма
спрямованості



тривимірна
діаграма
спрямованості

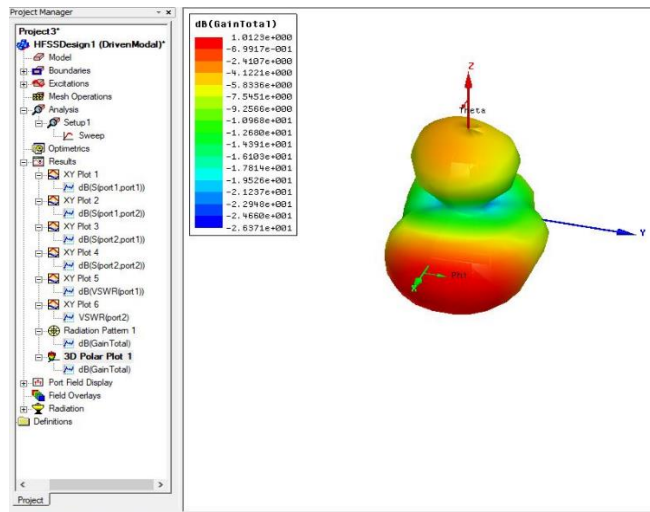


Рисунок 3.13 – Результати моделювання блоку TSA антен

3.3.2. Модель антенної системи для застосування в мобільному зв'язку

Для випромінювання біполярного імпульсного сигналу розроблено метод та модель блоку антен, яку схематично представлено на рис. 3.14 [87].

Запропонований метод випромінювання ансамблю складних НШС сигналів включає до свого складу наступну послідовність дій.

Моноімпульсний сигнал поділяють навпіл, одну частину якого послідовно інвертують, затримують на час, який дорівнює половині тривалості моноімпульсу та обом моноімпульсними сигналами збуджують відповідно обидві поряд розташовані на єдиній діелектричній основі антени. Електромагнітні поля двох уніполярних імпульсів інтерферують у

еквівалентному загальному розкритті обох антен, збуджуючи у ньому електромагнітне поле біполярного імпульсу, яке є еквівалентом похідної моноциклу Гауса.

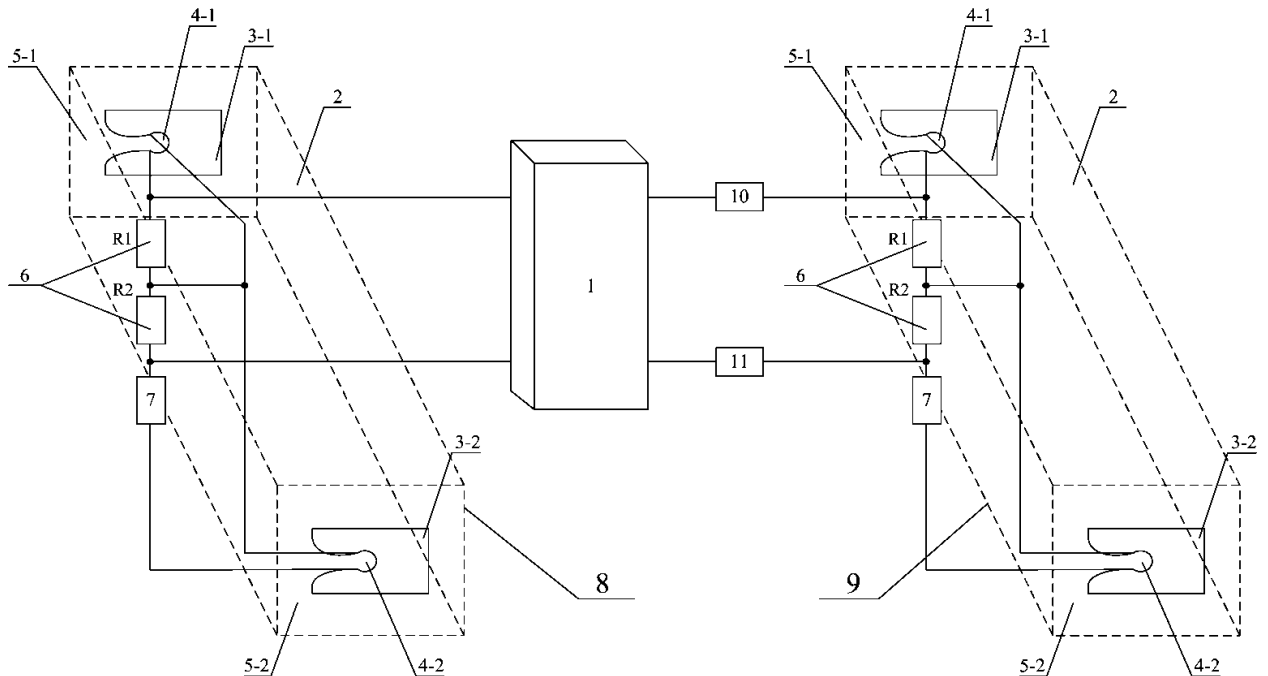


Рисунок 3.14 – Модель антени для випромінювання НШС сигналів [47, 48, 88]

Інформаційний уніполярний імпульсний сигнал з генератора 1 надходить до першого блоку антен 8 розподільвача сигналу 6, який поділяє його навпіл, одна частина якого подається до системи збудження 4-1, створюючи у випромінюючому розкритті 5-1 моноімпульсне електромагнітне поле. Одночасно з іншого виходу подільовача сигналу інвертований моноімпульсний сигнал подається через лінію затримки 7 на систему збудження 4-2, створюючи у випромінюючому розкритті 5-2 інвертоване моноімпульсне електромагнітне поле, затримане на половину тривалості моноімпульсного сигналу. Електромагнітні поля двох уніполярних імпульсів – основного та інвертованого – інтерферують у еквівалентному загальному розкритті антени, збуджуючи в ньому електромагнітне поле біполярного

імпульсу НШС інформаційного сигналу. Одночасно інформаційний уніполярний імпульсний сигнал з генератора 1 надходить через лінії затримки 10, 11 до іншого блоку антен 9, який має аналогічну структуру та конструктивно розташовано ортогонально відносно першого блоку.

Широкопasmова імпульсна антена здатна випромінювати як надкороткий уніполярний моноімпульс, так і біполярний імпульсний інформаційний сигнал.

Коефіцієнт корисної дії (ККД) антени, яка збуджується надкоротким моноімпульсом, складає 25% порівняно із ККД антени, що збуджується монохроматичними сигналами із відповідною довжиною хвилі [47, 48]. Це знижує дальність випромінювання антени в 4 рази у порівнянні із випромінюванням монохроматичних сигналів.

Таким чином, збудження у розкриті антени електромагнітного поля у вигляді біполярного імпульсу збільшує ККД антени у 9,5 разів порівняно із ККД антени, випромінюючої уніполярний імпульс і у 2,37 рази порівняно із ККД антени, випромінюючої монохроматичні сигнали. Отже запропонована антена система дозволяє істотно підвищити дальність електромагнітного випромінювання НШС імпульсних сигналів.

3.4 Метод мерехтливої поляризації для завадозахищених систем безпроводового мобільного зв'язку

Організація багатоканального зв'язку в безпроводних мобільних ТКС системах накладає додаткові обмеження, що обумовлені невизначеністю у часі та просторі розташування вектора поляризації інформаційного сигналу відносно осі блоку приймальних антен. Так, у випадку їх ортогонального розташування рівень прийнятого сигналу буде дорівнювати нулю. Тому пропонується запровадити мерехтливу поляризацію, за якою кожний з надкоротких імпульсів, що кодують інформаційний біт, по черзі подаються на

один чи інший антенний блок, що у сукупності створюють антенну систему, в якій антенні блоки розташовані ортогональне.

Схематично конструкцію антенного блоку наведено на рисунку (рис. 3.15). До її складу входять чотири ортогональне розташовані надширокосмугові антени TSA [21], створюючи уніфікований антенний блок, здатний до застосування у багатoelementних фазованих антенних решітках. Елементи антенного блоку розташовують щільно один до одного ортогональне, розкриви яких створюють квадрат. Таке розташування забезпечує прийом електромагнітного випромінювання довільної поляризації.



Рисунок 3.15 – Уніфікований антенний блок

Однак при створенні багатoelementних фазованих антенних решіток найбільш вдалим є інше розташування антен TSA (рис. 3.16). В цій системі вісі симетрії антенних блоків розташовано ортогонально, що дозволяє реалізувати довільну мерехтливу поляризацію [47, 48]. Надходження надкоротких імпульсів, кодуючих інформаційний біт, до іншого антенного блока здійснюють аналогічно першому. Таке розташування обох антенних блоків забезпечує приймання електромагнітного випромінювання довільної поляризації, яке характерне для рухомих мобільних пристроїв.

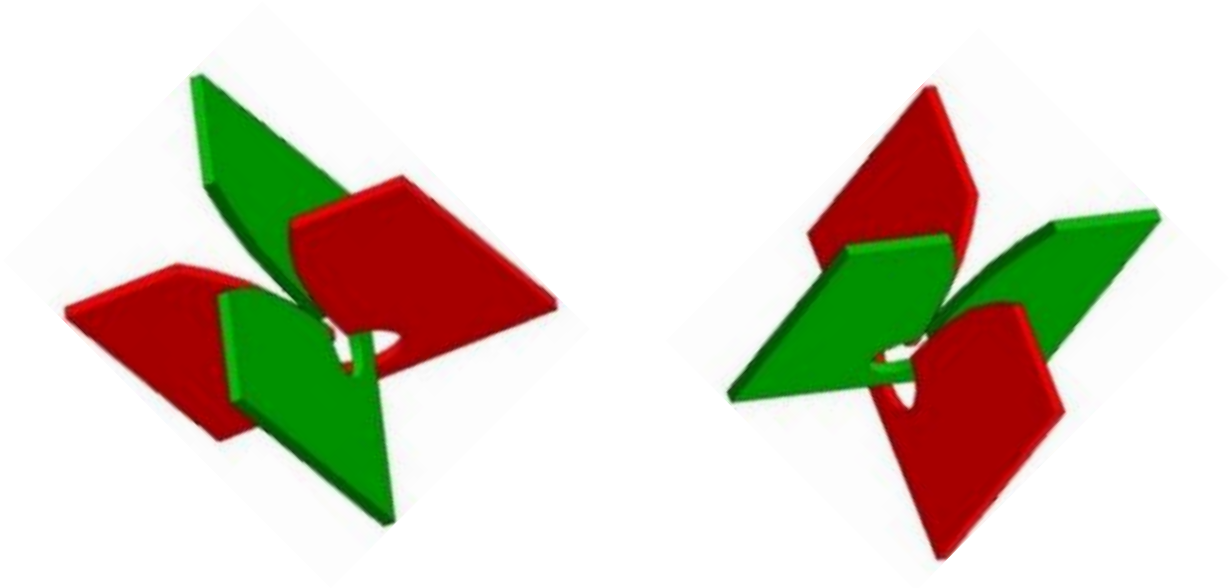


Рисунок 3.16 – Антена система з мерехтливою поляризацією

Таким чином, розроблений метод мерехтливої поляризації дозволяє знизити рівень завадової електромагнітної обстановки та забезпечити захист інформації у безпроводових мобільних ТКС. Так, в залежності від взаємного розташування вектору поляризації електромагнітного сигналу та приймальної антени рухомого комп'ютерного засобу рівень наведеного сигналу змінюється пропорційне функції спрямованості:

- для вертикальної поляризації інформаційного сигналу

$$D_v(\psi, \varphi) = \frac{\sin \psi \cdot \cos \varphi}{1 - \cos \psi \cdot \cos \varphi};$$

- для горизонтальної поляризації інформаційного сигналу

$$D_h(\psi, \varphi) = \frac{\sin \varphi}{1 - \cos \psi \cdot \cos \varphi},$$

де ψ – кут підйому;

φ – кут азимуту.

Аналіз наведених співвідношень показує, що в залежності від типу лінійної поляризації інформаційного сигналу функція $D_v(\psi, \varphi)$ змінюється від 0 до 2,4, що виключає приймання сигналу при деяких комбінаціях взаємної орієнтації векторів. У той самий час застосування мерехтливої поляризації дозволяє використовувати обидва типи поляризації, виключаючи їх комбінації, за яких сигнал буде відсутнім. При цьому функція спрямованості $D_v(\psi, \varphi)$ буде знаходитися в межах від 1 до 2,4, що дозволяє більш ніж удвічі підвищити радіус дії електромагнітного випромінювання та більш ніж у 1,4 рази підвищити рівень прийнятого інформаційного сигналу, що відповідно, підвищує якість зв'язку в безпроводових мобільних мережах [48].

Застосування в рухомих мобільних пристроях запропонованої технології надширокосмугових сигналів, мерехтливої поляризації та антенної системи дозволяє збільшити співвідношення сигнал/шум на вході приймача, що дає можливість зменшити рівень електромагнітного випромінювання, забезпечуючи таким чином вимоги щодо захисту інформації в безпроводових мобільних ТКС системах. Ефективність застосування технології НШС сигналів обумовлена можливістю реалізації потенційно високої щільності каналів доступу на один квадратний метр робочої зони. Завдяки зменшенню рівня інформаційного сигналу відносно білого шуму в робочому діапазоні частот здійснюється одночасна беззавадова робота як традиційних вузькосмугових систем зв'язку, так і систем зв'язку, які використовують надширокосмугові сигнали. Це дозволяє гарантовано забезпечити їх беззавадову роботу та захист інформації на усіх етапах розробки та реалізації ТКС систем мобільного зв'язку.

Висновки до розділу 3

1. Результати проведеного аналізу сучасного стану антенних систем показали стрімку динаміку їх розвитку у напрямі створення широкосмужних приймально / передавальних антенних систем, що пов'язано з необхідністю

пошуку нових підходів до визначення їх фізичної та функціональної архітектури. Показано, що використання класу широкосмужних фрактальних антен та антен TSA не забезпечують потрібної якості мобільного зв'язку.

2. Зазначено, що незважаючи на випереджаючий розвиток технологій фізичного і каналного рівнів, у повному обсязі реалізувати потенціал багатоканального мобільного зв'язку можливо лише за рахунок формування НШС сигналу випромінювання шляхом інтерференції у еквівалентному загальному розкритті антени електромагнітного поля біполярного імпульсного інформаційного сигналу, який є еквівалентом похідної моноциклу.

3. Створено та досліджено модель турнікетної антенної системи, в якій вісі симетрії розташовано ортогональне, що забезпечує прийом і передачу електромагнітного випромінювання довільної поляризації, яке характерне для безпроводових ТКС систем мобільного зв'язку.

4. Виходячи із існуючого протиріччя між істотним підвищенням вимог до швидкості, обсягів передачі інформації та її захисту, що обумовлено складною електромагнітною обстановкою в умовах щільного розташування у просторі рухомих систем мобільного зв'язку, розроблено метод мерехтливої поляризації, згідно якого кожен із серії чипів, що кодують інформаційний біт, по черзі подають на одну чи іншу антену, які в антенному блоці розташовані ортогональне.

5. В результаті вирішена четверта наукова задача, яка полягає в розробці моделі і методів побудови антенних систем для реалізації технології надширокосмужового мобільного зв'язку, які враховують особливості створення, розповсюдження у просторі та прийому надширокосмужових інформаційних сигналів, що дозволяє виконати вимоги щодо збільшення обсягу та швидкості передачі інформації у безпроводових ТКС системах мобільного зв'язку.

Основні результати розділу опубліковані у патенті України на винахід [50, 51], патентах України на корисну модель [46-48] та статтях [21, 87, 100, 101].

РОЗДІЛ 4.

РОЗРОБКА МОДЕЛЕЙ І МЕТОДІВ КОРЕЛЯЦІЙНОГО ПРИЙОМУ АНСАМБЛІВ СКЛАДНИХ СИГНАЛІВ В СИСТЕМАХ МОБІЛЬНОГО ЗВ'ЯЗКУ

4.1. Метод кореляційного прийому ансамблю складного НШС сигналу

Безпроводова система мобільного зв'язку рухомих об'єктів передбачає використання ансамблю складних сигналів. Їх смуга частот значно ширша, за мінімально необхідну для передачі інформації. У передавачі розширення спектру інформаційного сигналу здійснюють за допомогою розширюючого кодового сигналу, який не залежить від виду переданої інформації. Для відтворення переданої інформації у приймачі здійснюють співставлення отриманого сигналу із синхронною копією розширюючого кодового сигналу. Розширення спектру сигналу призводить до того, що сигнал більш рівномірно та менш щільно розподіляється у певних частинах радіочастотного спектру. Це обумовлює йому такі вади, як висока завадозахищеність, уникнення завмирань сигналу в каналах з багатопроменевістю, можливість одночасної роботи багатьох радіотехнічних систем в одному й тому ж самому діапазоні частот та забезпечення вимог електромагнітної сумісності під час роботи вузькосмугових радіотехнічних систем. Таким чином підвищується не тільки завадостійкість каналу зв'язку, але й зменшується імовірність його перехоплення за рахунок відсутності синхронізованої копії розширюючого сигналу.

Вилучення корисного сигналу на фоні шуму здійснюють шляхом кореляції прийнятого та опорного сигналів. Структурну схему корелятора наведено на рис. 4.1.

Корелятор включає до свого складу пристрій множення, до іншого входу якого подається спеціально сформований опорний сигнал. Цей сигнал за

формою повністю повторює корисний сигнал, однак відстає від нього на час τ . У подальшому сигнал, який виникає на виході пристрою множення, інтегрують, причому інтервал інтегрування дорівнює тривалості сигналу $s(t)$.

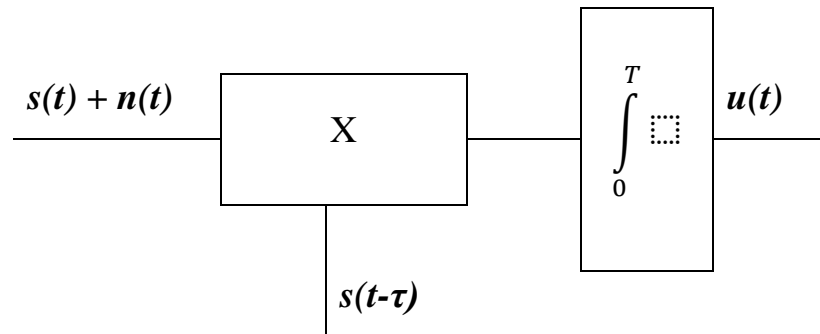


Рисунок 4.1 – Структурна схема корелятора

Корелятор виконує згортку прийнятого сигналу з опорним. Він є детектором, що визначає часові зсуви прийнятих імпульсних сигналів відносно опорних. Так, при прийомі двійкової одиниці кореляційна функція дорівнює $+1$, а при прийомі двійкового нуля – приймає значення -1 . У будь-яких інших випадках кореляційна функція дорівнює нулю. Накопичення в кореляторі приймача певної кількості надкоротких імпульсів, що кодують кожен з інформаційних бітів, дають можливість суттєво підвищити співвідношення сигнал / шум, забезпечуючи можливість передачі інформації в широкому частотному діапазоні значно нижче рівня білого шуму. Це дозволяє забезпечити вимоги щодо рівня електромагнітної сумісності систем безпроводового мобільного зв'язку.

Модель приймача ансамблю складних НШС сигналів. Прийнятий сигнал у вигляді адитивної суміші сумарного сигналу та гаусової завади (рис. 4.2) поступає до входу цифрового фільтру (ЦФ) з такою ж смугою пропускання Δf як і в передавачі [20, 49]. На виході цифрового фільтру формують сигнал у вигляді суми переданого НШС сигналу $Z_{1,0}(t)$ та узгодженої за спектром

гаусової завади $S(t)$.

$$r(t) = Z_{I,0}(t) + S(t) = [n(t) + n(t - T_{I,0})] + S(t). \quad (4.1)$$

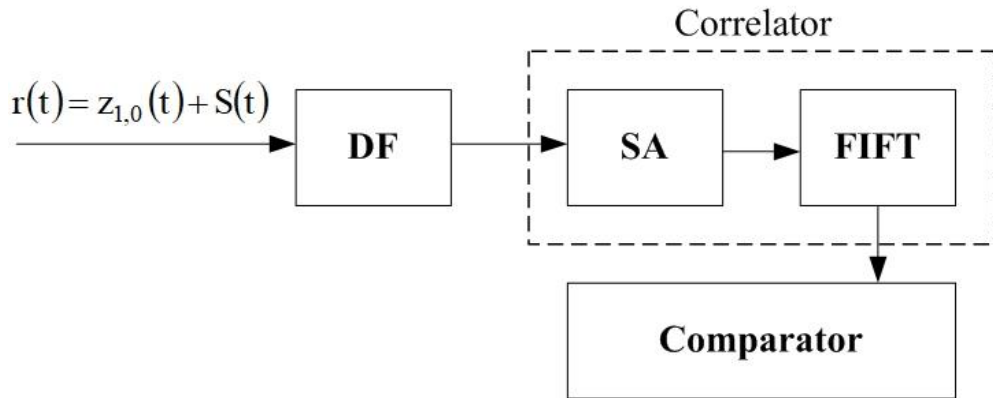


Рисунок 4.2 – Схема приймача з обробкою НШС сигналів

Завада $S(t)$ має дисперсію σ_s^2 із швидкопадаючою кореляцією $R_s(\tau) = \sigma_s^2 R_s(\tau)$ та рівномірним спектром $S_s(t)$ у тій самій смузі частот Δf , як і в інформаційного сигналу $Z_{I,0}(t)$.

Відношення сигнал/завада (SNR) на вході приймача визначає відношення потужності прийнятого сигналу та гаусової завади у вигляді $q = \sigma_z^2 / \sigma_s^2 = 2\sigma_n^2 / \sigma_s^2$. Припускаємо, що корисний сигнал $Z_{I,0}(t)$ та випадкова завада $S(t)$ повністю некогерентні між собою. Тоді спектр потужності для прийнятого сигналу $r(t)$ визначається у вигляді

$$\hat{S}_r(f) = 2\hat{S}_n(f)(1 + \cos 2\pi f T_{I,0}) + \hat{S}_s(f). \quad (4.2)$$

Спектр (4.2) має функцію періодично модульованого за частотою згідно з потоком бітів і складову $\hat{S}_s(f)$ у вигляді спектра завади. У формулі (4.2) спектри $\hat{S}_r(f)$, $\hat{S}_n(f)$ і $\hat{S}_s(f)$ для прийнятого сигналу $r(t)$, опорного

сигналу $n(t)$ і завади $S(t)$ є випадковими оцінками за кінцевий час тривалості T_e , біту переданої інформації.

Вирішення задачі про вилучення НШС інформаційних сигналів в каналі зв'язку з завадами здійснюють методом зворотного перетворення Фур'є від виміряного спектру потужності (4.2) для прийнятого сигналу (4.1).

У приймачі здійснюють когерентний стиск прийнятих НШС сигналів до смуги частот переданих повідомлень шляхом подвійного спектрального перетворення. Очікувана кореляція $R_r(\tau)$ обчислюється за результатами зворотного перетворення Фур'є від виміряного спектра потужності $S_r(\omega)$, $\omega = 2\pi f$, прийнятого сигналу $r(t)$.

$$R_r(\tau) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} S_r(\omega) e^{j\omega\tau} d\omega. \quad (4.3)$$

Комплексна автокореляційна функція, що обчислена для спектру потужності прийнятого сигналу (4.2), має наступний вигляд

$$\hat{R}_r(\tau) = \sigma_n^2 [2\hat{R}_n(\tau) + \hat{R}_n(\tau - T_{l,0})] + \sigma_s^2 \hat{R}_s(\tau). \quad (4.4)$$

Зазначена функція має інформаційний кореляційний пік $\sigma_n^2 \hat{R}_n(\tau - T_{l,0})$ із зсувом T_l чи T_0 згідно з потоком двійкових бітів (1; 0). Ця функція має також автокореляційні функції $2\sigma_n^2 \hat{R}_n(\tau)$ та $\sigma_s^2 \hat{R}_s(\tau)$ для опорного НШС сигналу $n(t)$ з подвійною потужністю $2\sigma_n^2$ і зовнішньої завади $S(t)$ з потужністю σ_s^2 . Корелятор у приймачі (рис. 4.2) має цифровий аналізатор спектра (SA) і цифровий Фур'є-процесор (FIFT). На виході цифрового аналізатора спектру протягом T_e кожного переданого біта визначається спектр потужності прийнятого НШС сигналу (4.2). Цифровий Фур'є-процесор здійснює швидке зворотнє перетворення Фур'є для масиву цифрових відліків,

які формуються на виході аналізатора спектра АС. За результатами подвійної спектральної обробки за час появи кожного біту інформації визначаються квадратурні компоненти для комплексної автокореляційної функції (4.5) у вигляді

$$\hat{R}_{r,cos}(\tau) = 2 \int_0^{\infty} S_r(f) \cos(2\pi f \tau) df; \quad (4.5)$$

$$\hat{R}_{r,sin}(\tau) = 2 \int_0^{\infty} S_r(f) \sin(2\pi f \tau) df. \quad (4.6)$$

Модуль для комплексної автокореляційної функції обчислюють як середнє квадратичне значення від дійсної та уявної частин у вигляді

$$\hat{R}_r(\tau) = \left[\hat{R}_{r,cos}^2(\tau) + \hat{R}_{r,sin}^2(\tau) \right]^{1/2}. \quad (4.7)$$

Квадратурні компоненти $\hat{R}_{r,cos}(\tau)$ і $\hat{R}_{r,sin}(\tau)$ комплексної автокореляційної функції $\hat{R}_r(\tau)$ визначають методом швидкого зворотного перетворення Фур'є, використовуючи базисні функції $\cos(\omega\tau)$ і $\sin(\omega\tau)$, від спектра потужності (4.2) для прийнятого сигналу [20]. Компаратор на виході цифрового Фур'є-процесора (рис. 4.2) здійснює порівняння інформаційних кореляційних піків із зсувом T_1 чи T_0 для модуля (4.7) та визначає з них найбільший за величиною кореляційних піків, який відповідає переданому біту 1 чи 0. Таким чином, у приймачі здійснюють однозначне відновлення переданої бінарної інформації.

4.2 Метод розпізнавання і вилучення інформаційного сигналу із суміші гаусового білого шуму та корисного сигналу

Формування НШС інформаційного сигналу у передавачі $s(t)$ передбачає розширення спектру сигналу шляхом множення його на розширюючий кодовий сигнал $g(t)$, швидкість передачі якого дорівнює R елементарних сигналів. Множення даних двох функцій у часовій області відповідає їх згортці у частотній області

$$x(t)g(t) \leftrightarrow X(\omega)G(\omega).$$

У випадку, коли інформаційний сигнал є вузько смуговим у порівнянні з розширюючим сигналом, добуток $x(t)g(t)$ буде приблизно дорівнювати ширині смузі розширюючого сигналу. Основу методу розпізнавання і вилучення інформаційного сигналу із суміші гаусового білого шуму та корисного сигналу складає наступне. [20, 23]. В приймачі прийнятий сигнал множать на синхронізовану копію розширюючого сигналу $g(t)$, за результатами якого отримують звужений переданий сигнал. При цьому будь-який небажаний сигнал, отриманий приймачем, також буде розширено шляхом множення на $g(t)$ таким же чином, як і у передавачі розширено корисний інформаційний сигнал. Таким чином, однократне множення у передавачі інформаційного сигналу на $g(t)$ призводить до розширення часового діапазону сигналу, а повторне множення його у приймачі з подальшою фільтрацією однозначно відновлює переданий сигнал. Таким чином, корисний сигнал множать на розширюючу функцію двічі – у передавачі та приймачі. У той же час із сигналами завад цю операцію здійснюють тільки один раз – у приймачі.

На вході приймача отримуємо

$$u(t) = \lambda s(t) + n(t), \quad (4.8)$$

де $u(t)$ – прийнятий сигнал;

$s(t)$ – корисний сигнал;

$n(t)$ – гаусівський шум;

λ – випадкова величина, що приймає значення 1 чи 0 із імовірностями p чи $1-p$ відповідно.

Для виявлення корисного сигналу $s(t)$, за прийнятим сигналом $u(t)$ на фоні адитивного гаусівського шуму $n(t)$ обчислюємо відношення функцій

правдоподібності $l(u) = \frac{W(u/H_1)}{W(u/H_0)}$ та порівнюємо її із деяким порогом l_0 , що

є критерієм ідеального спостерігача: $l_0 = 1 - p/p$ [24].

Критерій ідеального спостерігача обрано тому, що будь-які помилки під час прийому символів небажані, та втрати, пов'язані з цими помилками, однакові. Функції $W(u/H_1)$ та $W(u/H_0)$ є функціями правдоподібності. У випадку наявності корисного сигналу справедливою є гіпотеза H_1 , а у випадку його відсутності – справедлива гіпотеза H_0 . Логарифм відношення функцій правдоподібності має такий вигляд

$$\ln l(u) = \frac{E}{N_0} + \frac{2}{N_0} \int_0^T u(t)s(t)dt, \quad (4.9)$$

де E – енергія сигналу;

T – тривалість сигналу;

N_0 спектральна щільність потужності адитивного гаусівського шуму

З урахуванням цього співвідношення слід обчислити інтеграл

$$q = \frac{2}{N_0} \int_0^T u(t) s(t) dt \quad (4.10)$$

та порівнюємо його значення з порогом

$$z_0 = \ln l_0 + \frac{E}{N_0}. \quad (4.11)$$

При перевищенні порогу, рішення приймається на користь гіпотези H_1 , у іншому випадку – на користь гіпотези H_0 . Таким чином, співвідношення (4.12) є мірою взаємної кореляції між прийнятим сигналом $u(t)$ та очікуваним корисним сигналом $s(t)$.

Умовні ймовірності хибного визначення α і пропуску β сигналу визначають такі співвідношення:

$$\alpha = p \left\{ q \geq \ln l_0 + \frac{E}{N_0} / H_0 \right\} = \int_{-\infty}^{\infty} W \left(q / H_0 \right) dq, \quad (4.12)$$

$$\beta = p \left\{ q < \ln l_0 + \frac{E}{N_0} / H_1 \right\} = \int_{-\infty}^{z_0} W \left(q / H_1 \right) dq, \quad (4.13)$$

де $W \left(q / H_1 \right)$ та $W \left(q / H_0 \right)$ – розподілення напруги на вході кореляційного приймача за умов справедливості гіпотез H_1 та H_0 відповідно [23].

Із урахуванням співвідношення (4.9) отримуємо

$$W\left(\frac{q}{H_0}\right) = \frac{1}{\sqrt{2\pi \frac{2E}{N_0}}} \exp\left(-\frac{q^2}{2 \frac{2E}{N_0}}\right), \quad (4.14)$$

$$W\left(\frac{q}{H_1}\right) = \frac{1}{\sqrt{2\pi \frac{2E}{N_0}}} \exp\left(-\frac{\left(q - \frac{2E}{N_0}\right)^2}{2 \frac{2E}{N_0}}\right). \quad (4.15)$$

Таким чином, умовні імовірності хибного визначення сигналу α та пропуску сигналу β матимуть наступний вигляд

$$\alpha = \int_{z_0}^{\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi \frac{2E}{N_0}}} \exp\left(-\frac{q^2}{2 \frac{2E}{N_0}}\right) dq = 1 - \Phi\left(\frac{\ln l_0 + \frac{E}{N_0}}{\sqrt{\frac{2E}{N_0}}}\right); \quad (4.16)$$

$$\beta = \int_{-\infty}^{z_0} \frac{1}{\sqrt{2\pi \frac{2E}{N_0}}} \exp\left(-\frac{\left(q - \frac{2E}{N_0}\right)^2}{2 \frac{2E}{N_0}}\right) dq = \Phi\left(\frac{\ln l_0 + \frac{E}{N_0}}{\sqrt{\frac{2E}{N_0}}}\right), \quad (4.17)$$

де $\Phi(x) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^x \exp\left(-\frac{z^2}{2}\right) dz$ – функція Лапласа.

4.3. Метод розпізнавання та виявлення двох відомих сигналів на фоні шуму

Найбільш важливим моментом для ТКС цифрового зв'язку є виявлення та розпізнавання двійкових сигналів на фоні гаусівського шуму. З огляду на

те, що прийнятий сигнал на вході приймача є сумою завади та одного з двох відомих сигналів, задача полягає у визначенні, який із сигналів передано у прийнятій суміші сигналів [20, 22, 23]. Цифровий двійковий код передбачає визначення двох повністю відомих сигналів $s_0(t)$ та $s_1(t)$ на фоні білого гаусівського шуму. У цьому випадку сигнал на вході приймача матиме такий вигляд

$$u(t) = \lambda s_1(t) + (1 - \lambda) s_0(t) + n(t), \quad (4.18)$$

де $u(t)$ – прийнятий сигнал;

$s(t)$ – корисний сигнал;

$n(t)$ – гаусівський шум із спектральною щільністю N_0 ;

λ – випадкова величина, що приймає значення 1 чи 0 із імовірностями p чи $1 - p$ відповідно.

Необхідно за прийнятим сигналом $u(t)$ визначити, який з корисних сигналів $s_0(t)$ чи $s_1(t)$ передавався. Таким чином, слід здійснити вибір між гіпотезою H_0 , коли в наявності сигнал $s_0(t)$, чи альтернативною гіпотезою H_1 , коли в наявності сигнал $s_1(t)$. За критерій оптимальності також обрано критерій ідеального спостерігача. При цьому рішення приймається на користь гіпотези H_1 , коли $l(u) \geq l_0$, чи на користь гіпотези H_0 , коли $l(u) < l_0$. У цьому випадку логарифм відношення правдоподібності визначається як

$$\ln l(u) = \frac{E_1 - E_0}{N_0} + \frac{2}{N_0} \int_0^T u(t) [s_1(t) - s_0(t)] dt, \quad (4.19)$$

де E_1 та E_0 – енергія сигналів $s_1(t)$ та $s_0(t)$ відповідно.

Зазвичай $E_1 = E_0$, а $p = 1/2$. При цьому рішення приймається на користь сигналу $s_1(t)$, коли

$$q = \frac{2}{N_0} \int_0^T u(t) [s_I(t) - s_0(t)] dt \geq 0. \quad (4.20)$$

Середня ймовірність похибки для випадку рівноімовірних сигналів матиме такий вигляд

$$P_p = \frac{1}{2}(\alpha + \beta), \quad (4.21)$$

де $\alpha = \int_{\ln l_0}^{\infty} W\left(\frac{q}{H_0}\right) dq$ – умовна ймовірність щодо прийняття рішення про наявність сигналу $s_I(t)$, у той час, коли насправді передавався сигнал $s_0(t)$;

$\beta = \int_{-\infty}^{\ln l_0} W\left(\frac{q}{H_1}\right) dq$ – умовна ймовірність щодо прийняття рішення про наявність сигналу $s_0(t)$, у той час, коли насправді передавався сигнал $s_I(t)$.

Значення імовірностей α та β знаходять наступним чином. Спочатку визначають щільності імовірностей $W\left(\frac{q}{H_1}\right)$ і $W\left(\frac{q}{H_0}\right)$. Випадкова величина q за наявності сигналу $s_I(t)$

$$q = q_I = \frac{2}{N_0} \int_0^T [s(t) + n(t)] [s_I(t) - s_0(t)] dt. \quad (4.22)$$

З урахуванням того, що $n(t)$ – гаусівський шум, сигнали $s_0(t)$ та $s_I(t)$ – детерміновані функції, а всі операції, які здійснюються у цьому співвідношенні, лінійні, то випадкову величину q_I буде розподілено за нормальним законом, а її математичне очікування буде

$$M\{q_1\} = \frac{2E(1-R_s)}{N_0}. \quad (4.23)$$

Дисперсію визначає таке співвідношення

$$\sigma_{q_1}^2 = \frac{4E(1-R_s)}{N_0}, \quad (4.24)$$

де E – енергія сигналу;

R_s – кореляція.

При використанні технології розширення спектру оптимальну обробку прийнятих сигналів здійснюють із використанням когерентного опорного сигналу, який передається по каналу доступу одночасно з модульованим інформаційним сигналом. В системах НШС мобільного зв'язку із розподіленням та затримкою інформаційних сигналів (time delay diversity) за малий час визначають автокореляційну функцію прийнятих сигналів у вигляді суми опорного та інформаційного сигналів. Енергія НШС сигналів, прийнятих протягом тривалості кожного біту інформації змінюється випадковим чином та не зберігається постійною в потоці бітів.

Так до безпроводового каналу доступу одночасно поступають як опорний сигнал $n(t)$, так і інформативні сигнали $n(t-T_1)$ чи $n(t-T_0)$ із затримкою на малі часові інтервали T_1 чи T_0 згідно потоку інформаційних бітів – одиниці чи нуля. Спочатку визначають автокореляційний відгук прийнятих сигналів з кодовою спектральною модуляцією. За часовими зсувами кореляційних піків здійснюють однозначне відтворення переданих бітів інформації та виконують когерентний стиск НШС сигналів до полоси частот переданої інформації. За результатами подвійної спектральної обробки, обчислюється комплексна кореляційна функція прийнятого сигналу, яка має інформаційний пік із зсувом на час T_1 чи T_0 згідно потоку бітів одиниця і нуль, а також кореляційну функцію адитивних гаусових завад $R_s(\tau)$ в каналі доступу. У подальшому

обчислюють модулі кореляційних піків $R_s(\tau; T_{1,0})$ при $\tau = T_1$ та $\tau = T_0$, різницю яких порівнюють із нульовим порогом $U_{II} = 0$ для прийняття рішення про визначення переданого біту.

Позначимо модулі кореляційних піків через r_0 і r_1 та запишемо їх для гіпотез H_0 і H_1 .

Так при гіпотезі H_0

$$r_0(T_0) = |R_z(T_0; T_0)|, r_1(T_0) = |R_z(T_1; T_0)|. \quad (4.25)$$

При гіпотезі H_1

$$r_0(T_1) = |R_z(T_0; T_1)|, r_1(T_1) = |R_z(T_1; T_1)|. \quad (4.26)$$

У подальшому здійснюють порівняння цих модулів один з одним. При цьому визначають $r_0 > r_1$ чи $r_0 < r_1$ та їх різницю $r_0 - r_1$ і порівнюють її з нульовим порогом. Для визначення імовірності похибки при передачі двійкового символу отримують значення сумісних двовірних щільностей імовірності випадкових амплітуд r_0 і r_1 комплексних кореляційних функцій для двох гіпотез H_0 і H_1 . Позначаємо їх через $W(r_0, r_1/H_0)$ та $W(r_0, r_1/H_1)$. Тоді умовні імовірності похибки при передачі бітів нуль і одиниця та застосування вирішуючого правила на ґрунті порівняння модулів матимуть наступний вигляд

$$P(r_0 < r_1/H_0) = \int_0^\infty \left(\int_0^\infty W(r_0; r_1/H_0) dr_1 \right) dr_0; \quad (4.27 \text{ а})$$

$$P(r_0 > r_1/H_1) = \int_0^\infty \left(\int_0^\eta W(r_0; r_1/H_1) dr_1 \right) dr_0. \quad (4.27 \text{ б})$$

Зважаючи на те, що НШС інформаційний сигнал $n(t)$ і адитивні завади $s(t)$ є стаціонарними гаусовими випадковими процесами, отримуємо остаточні співвідношення для умовних імовірностей похибки (4.27) у вигляді

$$P(r_0 < r_1/H_0) = \int_0^\infty y \exp\left\{-\frac{1}{2}(y^2 + \alpha_{00}^2)\right\} I_0(\alpha_{00}, y) Q(\alpha_{10}, y\gamma_0) dy, \quad (4.28 \text{ а})$$

$$P(r_0 > r_1/H_1) = 1 - \int_0^\infty y \exp\left\{-\frac{1}{2}(y^2 + \alpha_{01}^2)\right\} I_0(\alpha_{01}, y) Q(\alpha_{11}, y\gamma_1) dy, \quad (4.28 \text{ б})$$

де $I_0(x)$ – функція Бесселя нульового порядку від уявного аргументу;

$$\alpha_{kv} = \frac{m_k(T_v)}{\sqrt{N_{kk}(T_v)}}; \quad y_v = \sqrt{\frac{N_{00}(T_v)}{N_{11}(T_v)}}; \quad k=0,1; \quad v=0,1. \quad (4.29)$$

При отриманні співвідношення (4.28) використана формула Q - функції Маркума

$$Q(\alpha, \beta) = \int_\beta^\infty x \exp\left\{-\frac{1}{2}(x^2 + \alpha^2)\right\} I_0(\alpha x) dx. \quad (4.30)$$

До складу співвідношення (4.28) входять складові $m_k(T_v)$ та $N_{kk}(T_v)$, які є середніми значеннями і дисперсіями для оцінки кореляційної функції $R_z(\tau; T_{l,0})$ при $k=0,1; v=0,1$. За умови рівності апіорних імовірностей гіпотез $P(H_0) = P(H_1) = 0,5$, повна імовірність похибки визначається у вигляді

$$P_0 = 0,5[P(r_0 < r_1/H_0) + P(r_0 > r_1/H_1)] \quad (4.31)$$

Співвідношення (4.27 – 4.29) дозволяють розрахувати повну імовірність похибки (4.30) при передачі бітів у мобільному каналі зв'язку з адитивними гаусовими завадами для безпроводної ТКС з кодовою спектральною модуляцією в передавачі. Розраховані залежності імовірностей похибок від співвідношення потужностей корисного сигналу та завади в каналі зв'язку наведені на рис. 4.3. Причому, співвідношення потужностей корисного сигналу та завади в каналі зв'язку за різною базою НШС сигналу $B = \Delta f T_b = \Delta f / C_b$, визначалось за допомогою наступного співвідношенням

$$q = 2\sigma_n^2 / \sigma_s^2. \quad (4.32)$$

У цьому співвідношенні σ_n^2 та σ_s^2 є дисперсіями інформаційних сигналів $n(t)$ та адитивних гаусових завад $s(t)$, T_b – тривалість біту, $C_b = 1/T_b$ – швидкість передачі бітів.

Таким чином завадостійкість, електромагнітну сумісність та прихованість безпроводової системи передачі цифрової інформації визначають залежності імовірності бітової похибки від співвідношення сигнал/шум в каналі доступу (рис. 4.3). За умов фіксованої смуги частот, наприклад, $\Delta f = 1,0 \text{ ГГц}$, наведені залежності являють собою вірогідність передачі інформації в системі НШС доступу із швидкістю передачі бітів $C_b = 20 \text{ Mb/s}$, 10 Mb/s , 5 Mb/s , 2 Mb/s та 1 Mb/s , у відповідності з базою сигналу $B = 50, 100, 200, 500, 1000$.

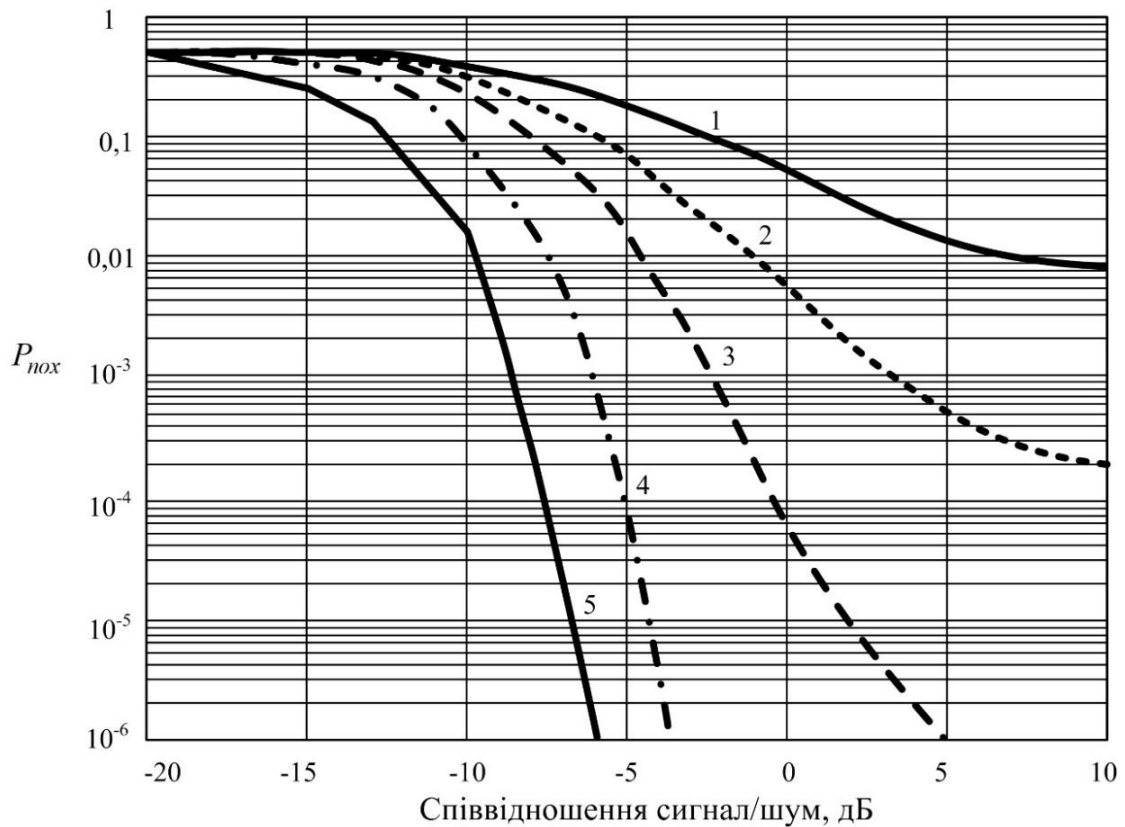


Рисунок 4.3 – Залежності імовірності похибки P від співвідношення сигнал/шум за різною базою сигналу:
(1 – $V=50$; 2 – $V=100$; 3 – $V=200$; 4 – $V=500$; 5 – $V=1000$).

Із збільшенням швидкості передачі бітів C_b , за умов фіксованої смуги частот Δf , спостерігається зсув праворуч залежностей так, що імовірність похибки (BER-характеристики) зростає при зменшенні значень співвідношення сигнал/шум (q) в каналі доступу. Так, при великій швидкості передачі бітів C_b залежності 1 і 2 зазнають обмеження знизу так, що імовірність бітової похибки є не меншою, ніж 10^{-2} при швидкості передачі $C_b = 20 \text{ Mb/s}$ та не нижче величини 10^{-4} при швидкості передачі $C_b = 10 \text{ Mb/s}$. У той же час залежності 3, 4, 5 на рисунку 5.10 зазнають обмеження на більш низькому рівні для імовірності похибки під час передачі бітів з меншою швидкістю $C_b = 5 \text{ Mb/s}$, 2 Mb/s та 1 Mb/s .

Аналіз BER-характеристик доводить, що імовірність бітової похибки не прагне наблизитися до нуля навіть за відсутності завад в каналі доступу.

Оцінка параметра прихованості для цифрової системи доступу здійснюється за параметром q , який визначає відношення потужності інформаційного сигналу до потужності завад в каналі при заданій імовірності бітової похибки. Імовірність бітової похибки залежить від бази сигналу. Так для сигналів з великою базою, наприклад, 500, 1000, імовірність бітової похибки стає нижчою за $10^{-5} - 10^{-6}$ навіть при негативному значенні параметра q в інтервалі значень $-3 \dots -6$ дБ.

Таким чином, при великій базі сигналу $B > 300$, коли інтенсивність прийнятих сигналів знаходиться нижче рівня завад, включаючи власні шуми приймача, надійна передача інформації здійснюється з імовірністю похибки менш ніж 10^{-6} . Це доводить, що використання технології НШС сигналів дозволяє здійснити безпроводну приховану передачу інформації з малою потужністю випромінювання на швидкості 1–2 Мб/с та імовірністю похибки менш, ніж 10^{-6} , за умов застосування великої бази сигналу $B = 500 - 1000$.

4.4. Метод оцінки впливу завад на якість відновлення інформації

Згідно теорії потенціальної завадостійкості характеристики інформаційного сигналу залежать від відношення подвійної енергії сигналу E до спектральної щільності потужності шуму N_0 та складає величину

$$Q = 2E/N_0 = 2q_0B, \quad (4.33)$$

де: $q_0 = \frac{E/T}{N_0W}$ – відношення середньої потужності сигналу $P_{c0} = E/T$ до потужності шуму $P_{N0} = N_0W$ на вході приймача, а $B = WT$ є базою сигналу. Розподіл інформаційного біту тривалістю T на елементи, тривалістю τ , які мають таку ж амплітуду, що і інформаційний біт, дозволяють отримати сигнал тривалістю T із смугою $W \sim 1/\tau$ при значенні бази $B \gg 1$. Число елементарних імпульсів (чипів) в інформаційному біті визначається як $N = T/\tau$. При цьому можливість розділення перекритих у часі сигналів пов'язана з наявністю у

кореляційній функції прийнятих сигналів єдино можливого максимуму значної амплітуди і ширини порядку $\tau_{\text{ефф}} \cong 1/W \cong \tau$, що є піком спектральної щільності потужності. Такий вигляд кореляційної функції мають відрізки шуму із смугою W і детерміновані сигнали, які після обробки в кореляційному приймачі приймають вигляд імпульсу тривалістю τ з амплітудою NS , де S – амплітуда елементарного імпульсу послідовності. Максимальні бокові пелюстки кореляційної функції, які визначають небажаний вплив на прийом сигналу, мають амплітуди порядку $\sqrt{N}S$. За умов достатньо великого значення N , наприклад, понад 100, ці пелюстки значно менші за головний максимум. За рахунок інтерференції повністю некогерентних НШС сигналів спектральна щільність модулюється гармонічною функцією в залежності від частоти f з масштабом періодичності, який дорівнює $\delta f_{10}(t) = 1/T_{10}$.

Потужність сумарного НШС сигналу $z_{1,0}(t)$ визначає його дисперсія σ_z^2 що дорівнює подвійної потужності $\sigma_z^2 = 2\sigma_n^2$ опорного сигналу $n(t)$ за умов повної некогерентності опорного та затриманих інформаційних сигналів. Компаратор здійснює порівняння інформаційних кореляційних піків із зсувом T_1 чи T_0 , та вилучає з них найбільший за величиною кореляційний пік, що відповідає переданому біту «1» чи «0».

Вплив зовнішньої завади [10 – 15, 25] в каналі доступу супроводжується зростанням випадкових викидів для автокореляційної функції в області інформаційних піків $2\sigma_n^2 R_n(\tau - T_{10})$ із зсувом $\tau = T_{10}$, що призведе до збільшення похибки при відновленні переданої бінарної інформації [5, 17, 22, 23]. За результатами спектральної обробки під час надходження кожного біту інформації визначають квадратурні компоненти для комплексної автокореляційної функції, модуль якої обчислюється як середнє квадратичне значення від дійсної та уявної частин. Випадкову оцінку для модуля автокореляції $|\hat{R}_r(\tau)|$ визначаємо у вигляді суми середнього значення $\bar{m}_r(\tau)$ та флуктуаційної компоненти $\tilde{\mu}_r(\tau)$

$$|\hat{R}_r(\tau)| = \bar{m}_r(\tau) + \tilde{\mu}_r(\tau) \quad . \quad (4.34)$$

За результатами усереднення за великим ансамблем незалежних реалізацій $r(t)$ прийнятого сигналу визначаємо

- середнє значення

$$\bar{m}_r(\tau) = \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K |\hat{R}_r^{(k)}(\tau)|, \quad (4.35)$$

- дисперсію флуктуацій

$$\sigma_\mu^2(\tau) = \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K [\tilde{\mu}_r^{(k)}(\tau)]^2, \quad (4.36)$$

- коефіцієнт взаємної коваріації для флуктуаційної компоненти $\tilde{\mu}_r^{(k)}(T_{10})$ в місці розташування інформаційного піку із затримкою T_{10} та бокових викидів $\tilde{\mu}_r^{(k)}(T_{10} + \tau)$, зсунутих на час $(T_{10} + \tau)$

$$G_\mu(T_{10}, T_{10} + \tau) = \frac{1}{G_\mu(T_{10})G_\mu(T_{10} + \tau)} \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K [\tilde{\mu}_r^{(k)}(T_{10})\tilde{\mu}_r^{(k)}(T_{10} + \tau)]. \quad (4.37)$$

Коефіцієнт взаємної коваріації показує ступень статистичної залежності для флуктуацій модулю автокореляції в місці розташування T_{10} інформаційного піку та на місці $(T_{10} + \tau)$ зсунутих бокових викидів [5]. Аналіз НШС сигналів в каналі з аддитивною гаусовою завадою здійснювалася для визначення імовірності похибки на біт (BER) в залежності від співвідношення (SNR) потужності прийнятого сигналу до потужності зовнішньої завади в каналі при різних затримках T_1 , T_0 інформаційних сигналів. Наприклад, спектри потужності, сумарних НШС сигналів, які надходять під час передачі

двійкових символів, обчислені за кінцевий час $T = 1 \text{ мкс}$, дорівнюють тривалості біту інформації, та є випадковими функціями. Наприклад, смуга частот складає $\Delta F = 1,0 \text{ ГГц}$, та час когерентності $\tau \approx 1/\Delta F = 1 \text{ нс}$. Під час передачі двійкового символу «1» затримка сигналу складає $T_1 = 9 \text{ нс}$. Тоді період спектральної модуляції буде дорівнювати $\delta f_1 = 1/T_1 = 111 \text{ МГц}$. При передачі «0» затримка сигналу складає $T_0 = 6 \text{ нс}$, а період спектральної модуляції буде складати $\delta f_0 = 1/T_0 = 167 \text{ МГц}$. Імовірність похибки визначалася статистикою хибних рішень при багаторазовому виконанні незалежних експериментів по передачі двійкових бітів в каналі з аддитивною гаусовою завадою. При зсуві на кратний час $\tau = jT_0 = 12; 18; 24 \text{ нс}$ ($j=2,3,4$) спостерігаються статистично значимі піки для середнього значення $\bar{m}_r(\tau)$ (рис.4.4) та середньо квадратичного відхилення $\sigma_\mu(\tau)$ (рис. 4.5). Вони перевищують у декілька разів сусідні бокові викиди цих функцій при некрatних зсувах $\tau = jT_0$.

Затримка сигналу складає $T_0 = 6 \text{ нс}$. При цьому слід зазначити аномально великі піки для стандартного відхилення $\sigma_\mu(\tau)$ при кратних зсувах $\tau = jT_0 = 12, 18, 24 \text{ нс}$. Коефіцієнт взаємної коваріації при зсуві на час інформаційної затримки $\tau = T_0 = 6 \text{ нс}$ за рахунок резонансу зростає по амплітуді у десятки разів, стає негативним та дорівнює $G_\mu(T_0, 2T_0) = -0,49$.

За результатами чисельного моделювання (рис. 4.6) визначено ефект потужної антикореляції для флуктуаційної компоненти $\tilde{\mu}_r^{(k)}(T_{1,0})$ модуля автокореляції в місці розташування інформаційного піку із зсувом $T_0 = 6 \text{ нс}$ та бокових викидів із подвоєним зсувом $2T_0 = 12 \text{ нс}$. Аномально великі флуктуації для модуля автокореляції $|\hat{R}_r(\tau)|$ при кратних зсувах $\tau = jT_{1,0}$ ($j=2,3,4$) та сильна антикореляція $G_\mu(T_0, 2T_0) = -0,49$ між флуктуаціями із кратними зсувами призводять до появи додаткових внутрішньосистемних

завад, що суттєво впливає на достовірність бінарної інформації в мобільних ТКС.

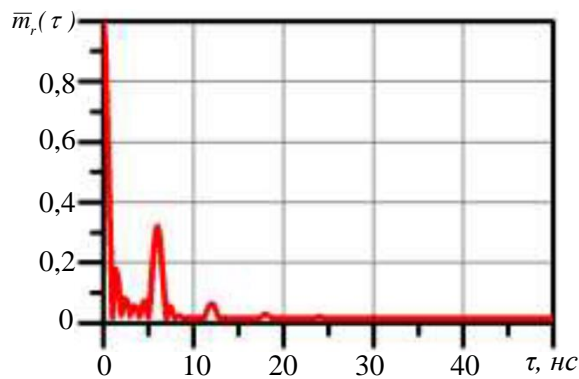


Рисунок 4.4 – Залежність $\bar{m}_r(\tau)$ від
величини зсуву τ

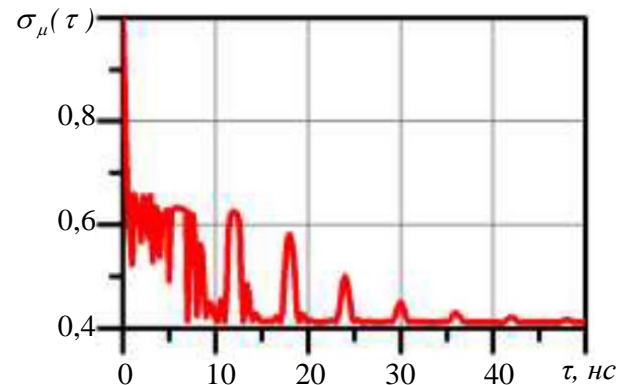


Рисунок 4.5 – Залежність $\sigma_\mu(\tau)$ від
величини зсуву τ

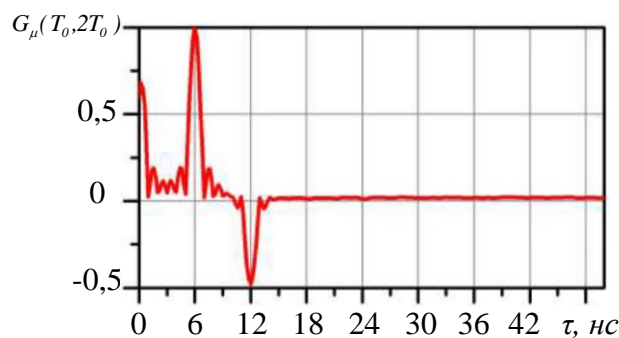


Рисунок 4.6 – Залежність $G_\mu(T_0, 2T_0)$ від величини зсуву τ

Рівень випадкових бокових викидів для модуля $|\hat{R}_r(\tau)|$ залежить від зсуву τ , що ускладнює процедуру подальшого вилучення інформації. При дії зовнішніх завад зменшується відносна величина інформаційних піків із зсувом $\tau = T_{l,0}$. Аномально великі бокові викиди для модуля $|\hat{R}_r(\tau)|$ спостерігають при кратних зсувах $\tau = jT_{l,0}$ ($j=2,3,4$). Насамперед, це стосується подвійної кратності затримок $\tau = 2T_{l,0}$ як за відсутності завад, так і під час впливу завади в каналі зв'язку. Бокові викиди при потрійній затримці $\tau = 3T_{l,0}$

характеризується меншою амплітудою так, що їх складно ідентифікувати за час надходження одного інформаційного біта.

Таким чином, визначено виникнення внутрішньосистемних завад внаслідок кратності інформаційних затримок T_1 чи T_0 . Випадкові викиди кореляційних піків з кратними зсувами $jT_{1,0}$ ($j=2,3,4$) призводять до підвищення бітової похибки для ТКС системи мобільного зв'язку у випадку кратності затримок T_1 і T_0 при застосуванні кодової модуляції, наприклад, $T_1 = 2T_0, T_1 = 3T_0$. Так, за умов подвійної кратності $T_1 = 2T_0$ положення інформаційного піку із зсувом T_1 суміщається з положенням бокового кореляційного піку з кратною затримкою $2T_0$. При передачі 0 біта з затримкою T_0 виникають аномально високі флуктуації з кратним зсувом $2T_0$ для модуля автокореляційної функції $|\hat{R}_r(\tau)|$ в місці розташування інформаційного піка T_1 . В результаті підвищується ймовірність хибного рішення про реєстрацію біта «1», коли в дійсності передається біт «0». Усунення додаткових внутрішньосистемних завад внаслідок кратності інформаційних затримок в НШС системах зв'язку полягає у встановленні некрatних між собою затримок T_1 і T_0 в процесі кодової спектральної модуляції НШС сигналів у передавачі. Дійсно, при некрatних затримках T_1 і T_0 для інформаційних НШС сигналів виконується важлива умова $T_1 \neq jT_0$ ($j=2,3,4$).

У цьому випадку не виникає суміщення у вторинному спектрі позиції для інформаційного піка T_1 , який відповідає біту «1», і позиції для бокових піків з кратними зсувами $jT_{1,0}$, які виникають при передачі біта «0». При цьому випадкові викиди на бокових кореляційних піках із кратними зсувами $jT_{1,0}$ ($j=2,3,4$) не впливають на достовірність передачі двійкових символів за умов $T_1 \neq jT_0$, коли затримки не є кратними.

4.5. Оцінка ефективності розроблених науково-технічних рекомендацій щодо їх практичного використання

Забезпечення завадозахищеності безпроводових ТКС мобільного зв'язку із підтримкою якості обслуговування вимагає впровадження комплексного підходу до вирішення цієї задачі на всіх етапах розробки та практичного використання, зокрема - формування, випромінювання та прийому інформації в умовах дії завад.

Так, на етапі формування ансамблю складного інформаційного сигналу рекомендовано:

- здійснювати одночасну модуляцію та кодування цифрового двійкового біту послідовністю чипів, чисельністю більше трьох, які зсунуті у часі відносно опорної послідовності на чверть чипу вперед чи назад в залежності від того, який двійковий сигнал кодується – нуль чи одиниця. При цьому використання великої бази кодуючого сигналу – чипу ($B > 300$) дає змогу отримати імовірність бітової похибки на рівні $BER = 10^{-4} - 10^{-6}$ за умов суттєво менших одиниці відношення сигнал/шум ($c/m = -6 \dots -3$ дБ). З метою уникнення можливих внутрішньо-системних завад, затримки двійкових кодованих сигналів - чипів повинні бути некрatними. Встановлення некрatних затримок інформаційних сигналів дозволяє отримати рівень похибки на рівні $BER = 10^{-6}$;

- для забезпечення завадозахищеності та розділення каналів мобільного радіозв'язку слід застосовувати додаткове ортогональне кодування інформації шляхом додаткового зсуву у часі на 2-3 порядки відносно зсуву у часі при кодування цифрового двійкового біту;

- передачу синхронізуючої опорної послідовності чипів слід здійснювати одночасно з передачею кодованої модульованої інформації шляхом створення складної сигнально-кової конструкції інформаційного сигналу, в рамках якої у першій половині інформаційного біту передається синхронізуюча опорна послідовність чипів, а у другій – закодована

інформаційна послідовність. Це дозволяє здійснити безпроводову приховану передачу інформації в мобільних системах зв'язку з малою потужністю випромінювання на швидкості $C = 1 - 2 \text{ Mb/s}$ з імовірністю похибки менш, ніж 10^{-6} .

На етапі випромінювання ансамблю складного інформаційного сигналу рекомендовано:

- здійснювати формування ансамблю складного інформаційного сигналу випромінювання шляхом інтерференції у еквівалентному загальному розкритті антени електромагнітного поля біполярного імпульсного інформаційного сигналу, який на відміну від існуючих, дозволяє у 2,37 разів підвищити радіус дії випромінювання у порівнянні із випромінюванням гармонічних коливань;
- для прийому і передачі електромагнітного випромінювання довільної поляризації, що характерне для рухомих пристроїв, застосовувати метод мерехтливої поляризації, згідно якого кожен із серії чипів, кодуючи інформаційний біт, по черзі поступає на одну чи іншу компоненти антени, які розташовані ортогональне, що дозволяє більш ніж удвічі підвищити радіус дії електромагнітного випромінювання.

На етапі прийому інформації в умовах дії завад рекомендовано:

- обчислювати модуль комплексної автокореляційної функції прийнятого сигналу, що має кореляційний пік із часовим зсувом згідно потоку двійкових бітів за час появи кожного біту інформації, з подальшим визначенням найбільшого з них та накопичуючи їх певну кількість за час дії інформаційного біту, збільшуючи таким чином на вході приймача співвідношення сигнал/шум;
- обчислювати відношення функції правдоподібності прийнятих сигналів та порівнюючи його значення з деяким порогом, підвищити достовірність прийому в умовах завад.

Таким чином, в мобільних рухомих ТКС з кодовою модуляцією в передавачі та спектральною обробкою в приймачі має високу завадостійкість,

що дозволяє здійснювати надійну передачу двійкової цифрової інформації в умовах виникнення зовнішніх та внутрішньосистемних завад.

Висновки до розділу 4

1. Отримав подальший розвиток метод кореляційного прийому ансамблю складного НШС сигналу, який здійснюють шляхом кореляції прийнятого і опорного сигналів, визначаючи часові зсуви прийнятих інформаційних сигналів відносно опорного, та накопичують їх певну кількість за час дії інформаційного біту, що дозволяє суттєво підвищити співвідношення сигнал / шум на вході детектора приймача.

2. Удосконалено метод виявлення сигналу на фоні шуму, за яким обчислюють модуль комплексної автокореляційної функції прийнятого сигналу, що має кореляційний пік із часовим зсувом згідно потоку двійкових бітів, з подальшим визначенням найбільшого з них за величиною. При цьому доведено можливість вилучення та розрізнення як корисного двійкового сигналу на фоні шуму, так і двох повністю відомих двійкових сигналів $s_0(t)$ та $s_1(t)$ на фоні білого гаусівського шуму. Достовірне відновлення переданої бінарної інформації дозволяє за умови великої бази сигналу ($B > 300$) здійснювати приховану передачу сигналу ($c/m = -6 \dots -3$ дБ) із імовірністю похибки на біт менше, ніж 10^{-6} .

3. Розроблено модель приймача ансамблю надширокосмугових сигналів, яка реалізує метод кореляційного прийому та виявлення і розпізнавання сигналів на фоні шуму шляхом послідовного обчислення модулів комплексних автокореляційних функцій та відношення функцій правдоподібності, за яким приймають рішення щодо достовірності прийнятого інформаційного сигналу.

4. В результаті вирішена п'ята наукова задача, яка полягає в удосконаленні методу кореляційного прийому ансамблю надширокосмугових сигналів та метод розпізнавання і вилучення інформаційного сигналу із суміші

гаусового білого шуму та корисного сигналу. Розроблена модель, що реалізує зазначені методи кореляційного прийому дозволила збільшити щільність у просторі каналів мобільного зв'язку, швидкість та обсяги циркулюючої інформації та підвищити її захищеність в умовах дії природних та штучних завад.

Основні результати розділу опубліковані у патенті України на винахід [50], корисну модель [49] та статтях [17, 18, 20, 22, 23, 28].

ВИСНОВКИ

В дисертаційній роботі вирішена актуальна науково-технічна задача, яка полягає в розробці моделей і методів забезпечення завадозахищеності при заданому рівні якості обслуговування у безпроводових телекомунікаційних мережах в широкій смузі частот, коли рівень інформаційного сигналу дорівнює чи нижче рівня шуму. Наведені в дисертаційній роботі результати досліджень дали змогу отримати такі нові наукові і практичні результати.

1. Проведений аналіз сучасного стану та тенденцій розвитку телекомунікаційних систем мобільного зв'язку показав, що існуючі методи не здатні повною мірою забезпечити виникаючі практичні вимоги щодо забезпечення завадозахищеності і швидкості передачі в безпроводових телекомунікаційних мережах. Виявлено, що сучасною тенденцією є зниження рівня завадової електромагнітної обстановки, яка викликана міжсимвольною інтерференцією та багатопроменевим розповсюдженням радіохвиль. Показано, що критерієм завадостійкості є відношення середньої потужності інформаційного сигналу до потужності шуму. Доведено, що для забезпечення завадозахищеності при заданому рівні якості обслуговування, доцільно здійснити розробку нових моделей і методів на ґрунті технології надширокосмугових сигналів;

2. На ґрунті проведеного аналізу вперше запропоновано метод формування ансамблю складного надширокосмугового інформаційного сигналу в системах мобільного зв'язку, який дає можливість здійснювати безпроводовий зв'язок шляхом передачі інформації безпосередньо до вільного простору гребінкою малопотужних чипів у дуже широкій смузі частот без несучої частоти, коли рівень сигналу випромінювання дорівнює чи нижче рівня шуму;

3. Удосконалено метод одночасного кодування та модуляції інформації шляхом створення сигнально-кової конструкції, за яким кожен біт інформації кодується часовим зсувом гребінки чипів на чверть тривалості

кодуємого сигналу за умов його постійної амплітуди та тривалості відносно еталонної в залежності від того, що кодується нуль чи одиниця;

4. Удосконалено метод формування незалежних завадозахищених каналів із застосуванням ортогонального кодування, який базується на додатковому зсуві у часі кодуємого сигналу відносно опорної їх послідовності та відрізняється тим, що величина часового зсуву відносно опорної послідовності складає два-три порядки тривалості кодуємого сигналу, що дозволяє ущільнити канали зв'язку без порушення якості їх роботи;

5. Удосконалено метод формування надширокосмугового сигналу випромінювання шляхом інтерференції у еквівалентному загальному розкритті антени електромагнітного поля біполярного імпульсного інформаційного сигналу, який на відміну від існуючих, дозволяє у 2,37 разів підвищити радіус дії випромінювання у порівнянні із випромінюванням гармонічних коливань;

6. Вперше розроблено моделі і методи побудови антенних систем для реалізації технології надширокосмугового зв'язку, в якій висі симетрії розташовано ортогональне, що забезпечує прийом і передачу електромагнітного випромінювання довільної поляризації, що характерне для рухомих пристроїв та метод мерехтливої поляризації, згідно якого кожен із серії чипів, кодуючи інформаційний біт, по черзі поступає на одну чи іншу компоненти антени, які розташовані ортогональне, що дозволяє більш ніж удвічі підвищити радіус дії електромагнітного випромінювання довільної поляризації;

7 Отримав подальший розвиток метод кореляційного прийому, згідно якого за час появи кожного біту інформації обчислюють модуль комплексної автокореляційної функції прийнятого сигналу, що має кореляційний пік із часовим зсувом згідно потоку двійкових бітів, з подальшим визначенням найбільшого з них та накопичуючи їх певну кількість за час дії інформаційного біту, здійснюючи таким чином однозначне відновлення переданої бінарної інформації, що дозволяє за умов великої бази сигналу ($B > 300$) виконати

приховану передачу сигналу ($c/m = -6 \dots -3 \text{ дБ}$) з імовірністю похибки на біт менш, ніж 10^{-6} ;

8 Отримав подальший розвиток метод розпізнавання і вилучення інформаційного сигналу із суміші гаусового білого шуму та корисного сигналу шляхом кореляції прийнятого і опорного сигналів, та відрізняється тим, що для прийняття рішення про достовірність прийнятого сигналу обчислюють відношення функції правдоподібності та порівнюють його значення з деяким порогом, що дозволяє підвищити достовірність прийому;

9. Практичні результати, що отримано, підтверджені актами впровадження та доводять коректність теоретичних положень дисертаційної роботи, високу ефективність розроблених моделей і методів забезпечення завадозахищеності при заданому рівні якості обслуговування в безпроводових телекомунікаційних мережах;

10. Достовірність результатів дисертаційного дослідження підтверджується збіжністю результатів експериментальних досліджень із теоретичними та практичними результатами, які відображені в публікаціях, та обумовлена їх відповідністю положенням теорії передачі сигналів та електрозв'язку.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Астанин Л.Ю. Некоторые вопросы распространения UWB – сигналов. *UMBUSIS. 2006. Севастополь*. С. 20-25.
2. Беспроводная технология Ultra – Wideband. Компьютер Пресс: <http://compress.ru/article.aspx?id=10841> (дата звернення: 20.01.2020).
3. Беспроводная технология Ultra – Wideband. Компьютер Пресс: <http://compress.ru/article.aspx?id=10841> (дата звернення: 20.01.2020).
4. Емельянов В.В. Системы сотовой подвижной радиосвязи. Х.: Торсин 2005. 278 с.
5. Калинин В.И., Радченко Д.Е., Черепенин В.А. Внутрисистемные помехи при передаче информации на основе СШП шумовых сигналов. *24-я Межд. Крымская конф. (CriMiCo '2014). Материалы конф.* Севастополь: Вебер, 2014, Т.1, с.221-222.
6. Климаш М.М., Пелішок В.О., Михайлович П.М. Технології мобільного зв'язку. Львів, 2007. 615 с.
7. Концепція розвитку цифрової економіки та суспільства України на 2018-2020 рока (2018). Розпорядження Кабінету Міністрів України від 17 січня 2018 р. № 67-р: <https://www.kmu.gov.ua/ua/npas/>.
8. Коляденко А. В. Метод обеспечения электромагнитной совместимости при когнитивном распределении пространственно-временного ресурса в сетях мобильных связи. *Радиотехника. Всеукр. межвед. научн.-техн. сб. 2017. №188*. С. 136-140.
9. Коляденко Ю. Ю. Оценка пространственного спектра сигналов с адаптивной пространственно-временной обработкой. *Вісник Українського будинку економічних та науко-технічних знань. 2003. № 2*. С.128-132.
10. Кравченко В.И. Электромагнитный терроризм. Х.: НТМТ. 2011. 392с.
11. Кравченко В.И. Молния. Электромагнитные факторы и их поражающее воздействие на технические средства. Х.: НТМТ. 2010. 292с.

12. Кравченко В.И. Оружие на нетрадиционных физических принципах: Электромагнитное оружие. Харьков: НТМТ. 2009. 266с.
13. Кравченко В.И. Электромагнитное оружие. Х.: НТУ «ХПИ». 2008. 185с.
14. Кравченко В.И., Серков А.А. Анализ влияния электромагнитных помех на качество каналов связи информационных систем. Х: НТУ «ХПИ». 2004. № 4, С.13-22.
15. Кравченко В.И., Серков А.А. Шаповалова Н.Ю. Система экспертной оценки качества телекоммуникационных каналов информационных систем. Х: НТУ «ХПИ». 2004. № 35. С.97-101.
16. Кравченко В.І., Серков О.А. Радіоелектронні засоби боротьби, придушення та силового ураження – Харків: НТУ «ХПІ» 17,6 д.а., 2022 – 422 с.
17. Б.О. Лазуренко, К.А. Трубочанінова, О.А. Серков. Метод оцінки імовірності бітової похибки в системах надширокосмугового зв'язку. *Системи управління, навігації та зв'язку. 2019. Випуск 6(58).* С.111 -114.
18. Б.А. Лазуренко, А.А. Серков, Д.И. Марченко. Повышение качества беспроводных каналов связи. *Сучасні напрями розвитку інформаційно-комунікаційних технологій та засобів управління: Тез. доп. ІХ-ї МНТК, 11-12 квітня 2019р. / Баку–Харків–Жиліна / Військова академія збройних сил Азербайджанської Республіки [та ін.]. – Х: Петров В. В., 2019. – 108 с. С 75.*
19. Б.О. Лазуренко, О.А. Серков, В.В. Князєв, І.В. Яковенко, Г.І. Чурюмов, В.В. Токареєв. Надширокосмугові технології в задачах забезпечення електромагнітної сумісності рухомих об'єктів. *Зб. наук. пр. V-ї МНТК «Проблеми електромагнітної сумісності перспективних безпроводових мереж зв'язку» (ЕМС-2019), Харків 21-22 травня 2019. МОН України, ХНУРЕ. - Х: ХНУРЕ, 2019. - 110 с. С. 55-57.*
20. Б.О. Лазуренко, К.А. Трубочанінова, О.А. Серков. Метод виявлення сигналів на фоні гаусівського шуму. *Тез. доп. ІІІ ВНТК «Проблеми*

інфокомунікацій», (Полтава-Київ-Харків-Мінск, 19 листопада 2019 р.): Полтава: НУ «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», 2019.

21. Б.О. Лазуренко, К.А. Трубочанінова, О.А. Серков. Технологія надширокосмугових сигналів в системах зв'язку рухомих пристроїв. *Тез. доп. XIX МНТК «Проблеми інформатики та моделювання (ПІМ-19) »*: Х: НТУ «ХПІ», 2019. С. 74-75.

22. Б.О. Лазуренко, К.А. Трубочанінова, О.А. Серков. Метод забезпечення завадостійкості рухомого зв'язку при виникненні внутрішньо системних завад. *Системи управління, навігації та зв'язку*, Полтава, 2020. Випуск 1(59). С.155-159. (Б).

23. Б.О. Лазуренко, К.А. Трубочанінова, О.А. Серков. Завадостійкість мобільних телекомунікаційних систем. *Системи управління, навігації та зв'язку*, Полтава, 2020. Випуск 2 (60). С.169-172. (Б).

24. Б.О. Лазуренко, О.А. Серков, В.В. Князєв, В.І. Кравченко. Комп'ютерна програма для забезпечення електромагнітної сумісності в самоорганізованій безпроводній радіомережі «Compatibility». *Свідоцтво № 106702 від 27.07.2021*, (заявка № с202104661), про реєстрацію авторського права на твір.

25. Б.О. Лазуренко, О.А. Серков, В.В. Князєв, В.І. Кравченко. Комп'ютерна програма для експертної оцінки рівня блискавкозахисту будівель та споруд «Експертиза». *Свідоцтво № 108356 від 30.09.2021*, (заявка № с202106154), про реєстрацію авторського права на твір.

26. Б.О. Лазуренко, О.А. Серков, Н.Г. Кучук, А.Е. Горюшкіна. Метод формування інформаційних сигналів в системі Industrial Internet of Things. . *Системи управління, навігації та зв'язку*, Полтава, 2021. Випуск 2 (64). С.166-170. (Б).

27. Б.О. Лазуренко, В.В. Князєв, В.І. Кравченко, О.А. Серков, К.А. Трубочанінова. Метод забезпечення електромагнітної сумісності мобільних телекомунікаційних систем зв'язку. *Системи управління, навігації та зв'язку*, Полтава, 2021. Випуск 3 (65). С.134-138. (Б).

28. Лазуренко Б.О., Корольов А.О. Метод підвищення якості передачі інформації в безпроводній мережі. *Сучасні напрями розвитку інформаційно-комунікаційних технологій та засобів управління: тези доповідей XI-ї МНТК*, (Харків, 8-9 квітня 2021р.) Харків: Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», 2021. С. 37.

29. Б.О. Лазуренко, О.А. Серков Метод завадостійкого кодування двійкових сигналів в каналах зв'язку з шумами. *Проблеми інформатики та моделювання (ПІМ-21): тези доповідей XXI МНТК* (Харків, Україна, 09 – 14 вересня 2021р.). Харків, 2021. С. 63-64.

30. Б.О. Лазуренко. Ефективність цифрових систем зв'язку. *Сучасні напрями розвитку інформаційно-комунікаційних технологій та засобів управління: тези доповідей XII МНТК* (Харків, Україна, 17-18 квітня 2022р.). Харків, 2022, Т1. С. 15.

31. Б. Лазуренко, О. Серков, Технологія забезпечення завадозахищеності безпроводних каналів зв'язку. *Проблеми інформатики та моделювання (ПІМ-22): тези доповідей XXII МНТК* (Харків, Україна, 09 – 14 листопада 2022р.). Харків, 2022. С. 12.

32. Б. Лазуренко, М. Охрименко. Метод побудови топології мобільних безпроводних мереж. *Сучасні напрями розвитку інформаційно-комунікаційних технологій та засобів управління: тези доповідей XIII МНТК* (Харків, Україна, 26-27 квітня 2023р.). Харків, 2023. С. 50.

33. Б.О. Лазуренко, О.А. Серков, Н.В. Дженюк,. Методологія підвищення ефективності систем електронної комунікації. *Проблеми інформатики та моделювання (ПІМ-23): тези доповідей XXIII МНТК* (Харків, Україна, 20 – 22 вересня 2023р.). Харків, 2023. С. 17-19.

34. Б.О. Лазуренко. О.А. Серков. Методи штучного інтелекту у системах електронної комунікації рухомих об'єктів. *Проблеми інформатизації: тези доповідей XI МНТК* (Харків, Україна, 16–17 листопада 2023р.). Харків, 2023, Т 1. С. 42.

35. Б.О. Лазуренко, О.А. Серков, К.А. Трубочанінова, О.В. Касілов, Н.В. Дженюк. Метод підвищення ємності інформаційного сигналу. *Інформаційні проблеми теорії акустичних, радіоелектронних і телекомунікаційних систем (IPST-2023): тези доповідей XII МНТК (Харків, 11-1350 листопада 2023 р.)* Харків, 2023. С. 150-151.
36. Лазоренко О.В., Черногор Л.Ф. Сверхширокополосные сигналы и физические процессы. *Радиофизика и радиоастрономия, 2008. Т. 13, № 4. С. 270-322.*
37. Лазоренко О.В., Черногор Л.Ф. Сверхширокополосные сигналы и физические процессы (Основные понятия, модели и методы описания). *Радиофизика и радиоастрономия. 2008. Т.13, № 2. С. 166-194.*
38. Лях М.Ю., Семенов О.Б. Использование СШП сигналов для персональных беспроводных компьютерных сетей. *Technology @ Intel, 2005: <https://www.intel.com/technology/magazine/>* (дата звернення: 20.02.2020).
39. Москалец М.В., Коляденко Ю.Ю., Коляденко О.В. Методи доступу у перспективних системах мобільного зв'язку. *Харків: СМІТ. 2020. 504с.*
40. Москалец Н.В., Тарасов К.А. Методы организации пространственно-временного доступа в системах мобильной связи. *III ВНТК «Информатика, управление и искусственный интеллект» (ИУИИ-2016).* Харків, 2016. С. 58.
41. Москалец Н.В. Анализ методов повышения производительности современных сетей мобильной связи на основе организации пространственно-временного доступа. *Зб. матер. XX-го ММФ «Радіоелектроніка і молодь у XXI ст.»*. Х., ХНУРЕ, 19-21 квітня, 2016. Х., 2016. С. 53-54.
42. Москалец Н.В., Наорс И. Анад. Повышение эффективности использования радиочастотного ресурса при внедрении систем широкополосного беспроводного доступа WiMAX. *Радиотехника. Всеукр. межвед. науч.-техн. сб. 2008. Вып.155. С. 186-190.*

43. Моделирование антенн в ANSYS HFSS САПР и графика, 2015, №8
<https://sapr.ru/article/24969>
44. Обзор возможностей ANSYS HFSS для трехмерного моделирования СВЧ-устройств произвольной геометрии. <https://cae-expert.ru/articles/obzor-vozmozhnostey-ansys-hfss-dlya-trehmernogo-modelirovaniya-svch-ustroystv-proizvolnoy>
45. Парнес М. Адаптивные антенны для системы связи WiMax. *Беспроводные технологии. 2007. № 2. С. 156-158.*
46. Пат. України на корисну модель UA 140210 U МПК H04B 1/12 (2006.01). Спосіб передачі інформації надширокосмуговими імпульсними сигналами в транспортних засобах / С.В. Панченко, О.А. Серков, К.А. Трубчанінова, М.С. Курцев, Б.О. Лазуренко. – и 2019 07640; заявл. 08.07.2019; опубл. 10.02.2020, Бюл. № 3.
47. Пат. України на корисну модель UA 141131 U МПК H01Q 21/06 (2006.01). Спосіб збудження надширокосмугової антени з мерехтливою поляризацією / С.В. Панченко, О.А. Серков, К.А. Трубчанінова, М.С. Курцев, Б.О. Лазуренко. – и 2019 08723; заявл. 19.07.2019; опубл. 25.03.2020, Бюл. № 6.
48. Пат. України на корисну модель UA 141130 U МПК H01Q 21/06 (2006.01). Надширокосмугова антена з мерехтливою поляризацією / С.В. Панченко, О.А. Серков, К.А. Трубчанінова, М.С. Курцев, Б.О. Лазуренко. – и 2019 08722; заявл. 30.07.2019; опубл. 25.03.2020, Бюл. № 6.
49. Пат. України на корисну модель UA 145319 U МПК H04B 1/02 (2006.01). Спосіб прийому цифрових двійкових сигналів в умовах шуму: патент на корисну модель Україна / С. В. Панченко, О.А. Серков, К.А. Трубчанінова, М.С., А.Є. Горюшкіна, Б.О. Лазуренко. - и 2020 04847; заявл. 29.07.2020; опубл. 25.11.2020, Бюл. № 22.
50. Пат. України на винахід UA 123519 МПК H04B 1/02 (2006.01), МПК H04B 1/69 (2011.01) МПК H04B 7/00. Спосіб передачі інформації надширокосмуговими імпульсними сигналами / Б.О. Лазуренко, В.Я. Пєвнєв,

О.А. Серков, В.А. Ткаченко, В.С. Харченко. - а 2019 05980; заявл. 30.05.2019; опубл. 14.04.2021, Бюл. № 15.

51. Пат. України на винахід № 126475 U МПК H01Q 21/06, H01Q 13/08, Надширокосмугова антена з мерехтливою поляризацією та спосіб її збудження / С.В. Панченко, О.А. Серков, К.А. Трубчанінова, М.С. Курцев, Б.О. Лазуренко; а 201908720 заявл. 19.07.2019, опубл. 13.10.22, Бюл. № 41.

52. Пат. України на корисну модель № 156075 U МПК H04B 1/12, Спосіб передачі інформації в безпроводних телекомунікаційних мережах / Пєвнєв В.Я., Серков О.А., Лазуренко, Б.О., Цуранов М.В., Землянко Г.А; и 202302882 заявл. 14.06.2023, опубл. 09.05.24, Бюл. № 19.

53. Пат. України на корисну модель № 156381 U МПК H04B 1/12, Спосіб формування топології мобільної безпроводної повітряної мережі: / Дженюк Н.В.. Євсєєв С.П., Лазуренко Б.О., Серков О.А., Хвостенко В.С., Корчагін М.В., Орєхов С.В., Лєзік О.В., Корсунов С.І., Воропай Н.І.; и 202301793 заявл. 18.04.2023, опубл. 20.06.24, Бюл. № 25.

54. Пат. 3728632 США. Transmission and Reception System for Generation and Receiving Base Band Duration Pulse Signals without Distortion for Short Base-Band Pulse Communication System / Gerald F. Ross. Приоритет 12.03.71.

55. Пат. 3662316 США. Short Base-Band Pulse Receiver / Kenneth W. Robbins. Приоритет 12.03.71.

56. Пат. 4641317 США. Spread Spectrum Radio Transmission System/Larry W. Fullerton. Приоритет 3.12.84.

57. Пат. 5687169 США. Full Duplex Ultrawide Band Communication System and Method / Larry W. Fullerton. Приоритет 27.04.95.

58. Пат. 5677927 США. Ultrawide-Band Communication System and Method / Larry W. Fullerton, Ivan A. Cowie. Приоритет 20.09.94.

59. Поповский В. В., Василенко Ю. А. Эффективное использование всего физического пространства сигналов в мобильных телекоммуникационных системах. *Межрегиональный форум МСЭ.*

Национальная комиссия, осуществляющая государственное регулирование в сфере связи и информатизации (НКРСИ). Киев, 2012. С.42-45.

60. Поповский В. В., Коляденко А. В. Метод обеспечения электромагнитной совместимости при когнитивном распределении частотного ресурса в мобильных системах связи. *Вісник НУ «Львівська політехніка» Серія «Радіoeлектроніка та телекомунікації»*. 2017. №874. С. 25-30.

61. Про радіочастотний ресурс України: Закон України зі змінами і доповненнями згідно із Законом [№ 440-IX від 14.01.2020](#). Київ, 2020. 35 с.

62. Про схвалення Концепції єдиної інформаційно-комунікаційної платформи: *Рішення НКРЗІ № 34 від 24.01.2013*. Київ, 2013. 6 с.

63. Про Основні засади розвитку інформаційного суспільства в Україні на 2007-2015 роки: Закон України. Верховна Рада України. *Відомості Верховної Ради України*. 2007. № 12. С. 102.

64. Про затвердження Плану використання радіочастотного ресурсу України : Постанова КМ України від 9 червня 2006 р. № 815 [із змінами і доп., внесеними постановами від 5 вересня 2012 року № 838](#). 8 с.

65. Про телекомунікації: Закон України. зі змінами і доповненнями згідно із Законом [№ 440-IX від 14.01.2020](#). Київ, 2020. 37 с.

66. Развитие стандарта Ultra-Wideband беспроводные технологии комп. пресс 5'2003. htm
www.lib.csu.ru/dl/bases/prg/kompress/articles/2003_05_uwb/index.htm

67. Серков О. А., Чурюмов Г. І., Бреславец В. С., Толкачев М. Ю. Модель TSA. *Труды XVIII МНХ «ПИИМ-2017»*. Х.: НТУ «ХПИ», 2017. С. 76.

68. Соколова М. В. Сверхширокополосная беспроводная связь: история и перспективы развития. *T-Comm: Телекоммуникации и транспорт*. 2008. С. 50–55.

69. Стандарт DIN EN 300444-2018 Digital Enhanced Cordless Telecommunications (DECT) - Generic Access Profile (GAP) (Endorsement of the English version EN 300 444 V2.5.1 (2017-10) as German standard). 2018.

70. Стандарт [ETSI EN 300 765-1 V1.2.1 \(2000-09\) - Digital Enhanced Cordless Telecommunications \(DECT\); Radio in the Local Loop \(RLL\) Access Profile \(RAP\); Part 1: Basic telephony services.](#)

71. Серков О.А., Лисиця А.О., Нестеров М.С. Антени для систем широкополосного бездротового зв'язку. *Труди XXV МНПК «Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я» (Micro CAD – 2018).* Х.: НТУ «ХПІ». Ч. III. 2018. С. 45.

72. Серков О.А., Марченко Д.І. Метод підвищення якості обслуговування абонентів шляхом ущільнення каналів зв'язку. *Труди XII МНПК Магістрів «Інформаційні технології та інтелектуальна власність».* Х.: НТУ «ХПІ». 2018. С. 37.

73. Серков А.А. Технологии сверхширокополосной связи в инфокоммуникационных системах. *Труды IV МНПК «Інформаційні технології в освіті, науці й техніці» (ІТОНТ-2018).* Черкаси: ЧДТУ. 2018. С. 106-108.

74. Terence W. Barrett. History of Ultrawideband (UWB) Radar & Communications: Pioneers and Innovators. *Progress in Electromagnetics Symposium 2000*, July 2000. 42 p.

75. Bennet C.L. Ross G.F. Time domain electromagnetics and its applications. *Proceedings of the IEEE. 1978. Vol. 66, №3.* P. 299-318.

76. Chen Y. Improved Energy Detector for Random Signals in Gaussian Noise. *IEEE Transactions on Wireless Communications. Feb., 2010. V. 9.* P. 558–563.

77. David S. Anderson, Edward F. Drocella, Steven K. Jones, Mark A. Settle. Assessment of Combability between Ultrawideband (UWB) Systems and Global Position System (GPS) Receivers. *NTIA Special Publication. 01-45. U.S. Department of Commerce, February 2001.* 149 p.

78. ETS 300 826: Electromagnetic compatibility and Radio spectrum Matters (ERM); Electromagnetic compatibility (EMC) standard for 2,4 GHz wideband transmission systems and High-Performance Radio Local Area Network

(HIPERLAN) equipment. *European Telecommunications Standards Institute* 1997. 28 p.

79. Electromagnetic Compatibility & Functional Safety. *A Fact file provided by The Institution of Engineering and Technology. EMS Standarts*. 2008. 176 p.

80. FCC News & Events: <https://www.fcc.gov/news-events> (дата звернення: 20.01.2020).

81. IEC 61000-2-9:1996. Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 2: Environment - Section 9: Description of HEMP environment - Radiated disturbance. Basic EMC publication: <https://webstore.iec.ch/publication/4141> .49 p.

82. IEEE 802.16a/D3-2001: Draft Amendment to IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks – Part 16: Air Interface for Fixed Wireless Access Systems – Medium Access Control Modifications and Additional Physical Layers Specification for 2 – 11 MHz. 2004: <https://ieeexplore.ieee.org/document/4039727>.

83. IEEE 802.16e-2005 - IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks - Part 16: Air Interface for Fixed and Mobile Broadband Wireless Access Systems - Amendment for Physical and Medium Access Control Layers for Combined Fixed and Mobile Operation in Licensed Bands: <https://ieeexplore.ieee.org/document/1603394>.

84. IEEE 802.16e. Air Interface for Fixed and Mobile Broadband Wireless Access Systems. February 2006. *Бизнес №1, 2005*. С. 8-14.

85. Kardo-Sysoev A.F., Brylevsky V.I. et al. Powerful Sources of Ultrawide Band Pulsed Coherent Signals. «*EUROEM 2000*» *Euro Electromagnetics*, Edinburgh, 30 May.-2 June 2000.

86. Kardo-Sysoev A.F. et al. Ultra-Wide Band Solid State Pulsed Antenna Array. «*EUROEM 2000*» *Euro Electromagnetics*, Edinburgh, 30 May.-2 June 2000.

87. B.A. Lazurenko, A.A. Serkov, K.A. Trubchaninova, A.E. Horiushkina. Security Improvement Techniques for mobile applications of Industrial Internet of Things, *IJCSNS International Journal of Computer Science and Network Security*. WoS, Korea, 2020, Vol. 20, No. 5, P. 145-149.

88. B. Lazurenko, V. Knyazev, V. Kravchenko, O. Serkov, K. Trubchaninova, N. Panchenko. Development of Methods and Models to improve the Noise Immunity of Wireless Communication Channels, *Eastern – European Journal of Enterprise Technologies*, Kharkiv, 2022. Vol. 1. № 5(115). pp. 35–42.
89. Bogdan. Lazurenko Aleksandr Serkov, Oleg. Kasilov,. Volodimir Pevnev, Karyna Trubchaninova. Strategy of Building a Wireless Mobile Communication System in the Conditions of Electronic Counteraction, *Radioelectronic and Computer Systems*, Kharkiv, 2023, № 2(106). pp. 160-170. (A).
90. Bogdan Lazurenko, Alla Jammime, Serkov Alexandr, Nait-Abdesselam Farid. The Order of Formation of Information Signals in IIoT, *IJCSNS International Journal of Computer Science and Network Security*, WoS, Korea, 2023. Vol. 23, No. 3, pp. 139-143.
91. B. Lazurenko, N Dzheniuk, S. Yevseiev, O. Serkov, O. Kasilov. A Method of Protecting Information in Cyberphysical Space. *Advanced Information Systems*, Kharkiv, 2023. Vol. 7. No. 4. pp. 80-85. (A)
92. Bogdan Lazurenko, Aleksandr Serkov, Alla Jammime, Dmytro Kudii, Nataliia Dzheniuk, Nait-Abdesselam Farid, Security Models and Methods of Socio-Cyberphysical Systems. *Confreres materials. Proceeding of IEEE 2023, 7th International Symposium on Multidisciplinary Studies and Innovative Technologies (ISMSIT 2023)*, (October 26-28, 2023, Ankara), Scopus, Turkey, 2023.
93. Bogdan Lazurenko, Nataliia Dzheniuk, Stanislav Milevskyi, Aleksandr Serkov, Andrii Zakharzhevskyi. Sociocyberphysical Security Systems Synthesis Models. *Confreres materials. Proceeding of IEEE 2023, 7th International Symposium on Multidisciplinary Studies and Innovative Technologies (ISMSIT 2023)*, (October 26-28, 2023, Ankara), Scopus, Turkey, 2023.
94. B. Lazurenko, V. Knyazev, A. Serkov. Methods and tools for assessing the level of noise immunity of wireless communication channels. *Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries*, Kharkiv, 2022. No. 1 (19), pp. 92–98. (B).

95. N. Dzheniuk, B. Lazurenko, O. Serkov, I. Yatsenko. Electromagnetic compatibility of telecommunication systems: Laboratory works, NTU “KhPI”, Kharkiv, 2021. - 60 p.

96. Lazurenko B.A. Quality criteria for wireless communication channel. *Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я (MicroCAD – 2021): тез. доп. XXIX МНПК (Харків, Україна, 18 - 20 травня 2021р).* Харків, 2021. Р. 110.

97. B. Lazurenko, A. Serkov, K. Trubchaninova. Method of Assessing the Level of Disability of Wireless Communication Channels. *Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті: тези доповідей XXXV МНПК (Харків, Україна, 11 листопада 2022р.).* Харків, 2022. С. 16.

98. B. Lazurenko, N Dzheniuk, S. Yevseiev, O. Serkov, O. Kasilov. A Method of Protecting Information in Cyberphysical Space. *Комп'ютерні та інформаційні системи і технології (CEIT'2023): тези доповідей VI МНТК (Харків, Україна, 21–22 червня 2023р.).* Харків, 2023.

99. B. Lazurenko, A. Serkov, V. Kravets, O. Kasilov, A. Mickus. The Concept of Information Security in the IoT System, *Advanced Information Systems. - 2019. - Volume 3, Number 1. - P. 136-139.*

100. A. Serkov, P. Pustovoitov, I. Yakovenko, G. Churyumov, V. Tokariev, W. Nannan. Ultra-Wideband Technologies in Mobile Object Management Systems. *Advanced Information Systems. - 2019. - Volume 3, Number 2. - P. 22-27.*

101. B.A. Lazurenko, A.A. Serkov. Broadband signal emitters in wireless communication systems, *Матеріали XXXI МНПК «Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті», № 4 (24-26 жовтня 2018 року) – Х., - 2018 УкрДУЗТ.* С.13-14.

102. B.A. Lazurenko, A.A. Serkov. Method of enhancement of service quality of mobile communications through the communication channel development, *Матеріали II ВНТК «Проблеми інфокомунікацій», (4 грудня 2018 р.) – Полтава-Київ-Харків.* С.29-30.

103. Lazurenko B., Serkov A., et al.. Report on the provision of engineering services. Under the contract of 12.22.2017 № 65708 “Computer simulation of the process of current and voltage incurrence in cable communication lines under the influence of the electromagnetic field, that was caused by lightning discharge”. *This manuscript was complete on 12.12. 2018.*, 57 pp., 32 fig., 3 tab., 15 inf. sources.

104. Moskalets M.V. Effective use of multibeam antenna and space-time multiple access technology in modern mobile communication systems. *X International Conference on Antenna Theory and Techniques Proceedings (IEEE), Ukraine, Kharkiv, NURE, 21-24 april, 2015.* Харків, 2015. С.1-2.

105. Moskalets M.V. Method of detection and evaluation of activated subscriber stations in a mobile system communication 4G. *ISPC «Problems of Infocommunications. Science and Technology» (IEEE PIC S&T` 2014), Ukraine, Kharkiv, NURE, 2014, October 14-17.* Харків, 2014. С.122-124.

106. Moskalets, N.V. Kolyadenko Yu. Yu. Analysis of electromagnetic compatibility of wireless local area networks. *Telecommunications and Radio Engineering. V. 66, N. 8. 2007. P. 741-751.*

107. Ross G.F. Transmission and reception system for generating and receiving and receiving base-band pulse communication system, U.S. Patent 3728632, 1973. 15 p.

108. Ross G.F. A Time Domain Criterion for the Design of Wideband Radiating Elements. *IEEE Trans. Antennas Propagate. Vol. 16, №3. 1968. P. 299 – 318.*

109. Shannon C.E. Mathematical Theory of Communication. *BSTJ, Vol. 27. 1948. PP. 379–423, 623–656.*

110. Shannon C.E. Communication in the Presence of Noise. *Proc. IRE. Vol. 37, N. 1, January, 1949. P. 10-21.*

111. Serkov A.A. Effect of ultra – short pulse signals on information system survivability. *Thesis the first international workshop «Ultra-Wideband and Ultra Short Impulse Signals».* Kharkov. 2002. P. 13-14.

112. Serkov A.A., Churyumov G.I. On the issue of Solving the Problem of Electromagnetic Compatibility to the Wireless Telecommunication Systems. *Applied Radio Electronics. Vol. 16. 2017. No. 3, 4.* P. 117-121.
113. Serkov A., Breslavets V., Tolkachov M., Churyumov G., Issam Saad. Noise-like signals in wireless information transmission systems. *Advanced Information Systems. 2017. Vol. 1. №2.* P. 33-39.
114. Serkov O. Breslavets V., Tolkachov M., Churyumov G. The Wideband Pulsed Antenna and its Application. *9th Inter. Conf. on Ultrawideband and Ultrashort Impulse Signals (UWBUSIS-2018)* (September 4 – 7 Odessa, Ukraine). ISBN: 978-1-5386-2467-8. IEEE Catalog Number: CFP18587. P. 340–343.
115. Serkov O., Breslavets V., Tolkachov M., Kravets V. Method of coding information distributed by wireless communication lines under conditions of interference. *Advanced Information Systems. 2018. Volume 2, Number 2.* P. 145-148.
116. Serkov A., Kravets V., Yakovenko I., Churyumov G., Tokariyev V., Nannan W. Ultra-Wideband Signals in Control Systems of Unmanned Aerial Vehicles *10th International Conference on Dependable Systems, Services and Technologies (DESSERT)*. Leeds, United Kingdom. 2019. P. 25–28.
117. Serkov O., Churyumov G. Ultra-Wideband Signals in Wireless Control Systems and Communication. *2018. 4th China-Ukraine Science and Technology Forum, September 14 – 19, Harbin Institute of Technology, Harbin, China.* P. 51.
118. Slepian D. Some comment on the Detection of Gaussian Signals in Gaussian Noise. *JRE Transactions on Information Theory*, 1952. - № 2.
119. Van Trees H.L. Detection, Estimation and Modulation Theory. *Part 1, John Wiley & Sons, Inc., New York*, 2004. 716 p.
120. Massey J.L. Coding and Modulation in Digital Communications. *Proc. Int. Zurich Seminar on Dig. Comm., pp. E2(1)-E2(4), Zurich, Switzerland*, 1974.

ДОДАТОК А

СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Наукові праці, в яких опубліковано основні наукові результати:

1. Б.О. Лазуренко, К.А. Трубчанінова, О.А. Серков. Метод забезпечення завадостійкості рухомого зв'язку при виникненні внутрішньо системних завад. *Системи управління, навігації та зв'язку*, Полтава, 2020. Випуск 1(59). С.155-159. (Б).
2. Б.О. Лазуренко, К.А. Трубчанінова, О.А. Серков. Завадостійкість мобільних телекомунікаційних систем. *Системи управління, навігації та зв'язку*, Полтава, 2020. Випуск 2 (60). С.169-172. (Б).
3. Б.О. Лазуренко, О.А. Серков, Н.Г. Кучук, А.Е. Горюшкіна. Метод формування інформаційних сигналів в системі Industrial Internet of Things. . *Системи управління, навігації та зв'язку*, Полтава, 2021. Випуск 2 (64). С.166-170. (Б).
4. В.В. Князєв, В.І. Кравченко, Б.О. Лазуренко, О.А. Серков, К.А. Трубчанінова. Метод забезпечення електромагнітної сумісності мобільних телекомунікаційних систем зв'язку. *Системи управління, навігації та зв'язку*, Полтава, 2021. Випуск 3 (65). С.134-138. (Б).
5. V. Knyazev, B. Lazurenko, A. Serkov. Methods and tools for assessing the level of noise immunity of wireless communication channels. *Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries*, Kharkiv, 2022. No. 1 (19), pp. 92–98. (Б).
6. B.A. Lazurenko, A.A. Serkov, K.A. Trubchaninova, A.E. Horiushkina. Security Improvement Techniques for mobile applications of Industrial Internet of Things, *IJCSNS International Journal of Computer Science and Network Security*, WoS, Korea, 2020. Vol. 20, No. 5, pp. 145-149.
7. V. Knyazev, V. Kravchenko, B. Lazurenko, O. Serkov, K. Trubchaninova, N. Panchenko. Development of Methods and Models to improve the Noise Immunity of Wireless Communication Channels, *Eastern – European Journal of Enterprise Technologies*, Kharkiv, 2022. Vol. 1. № 5(115). pp. 35–42. (А)

8. Aleksandr Serkov, Oleg Kasilov, Bogdan Lazurenko, Volodimir Pevnev, Karyna Trubchaninova. Strategy of Building a Wireless Mobile Communication System in the Conditions of Electronic Counteraction, *Radioelectronic and Computer Systems*, Kharkiv, 2023, № 2(106). pp. 160-170. (A).

9. Alla Jammine, Serkov Alexandr, Bogdan Lazurenko, Nait-Abdesselam Farid. The Order of Formation of Information Signals in IIoT, *IJCSNS International Journal of Computer Science and Network Security*, WoS, Korea, 2023. Vol. 23, No. 3, pp. 139-143.

10. N. Dzheniuk, S. Yevseiev, B. Lazurenko, O. Serkov, O. Kasilov. A Method of Protecting Information in Cyberphysical Space. *Advanced Information Systems*, Kharkiv, 2023. Vol. 7. No. 4. pp. 80-85. (A)

11. Aleksandr Serkov, Alla Jammine, Dmytro Kudii, Nataliia Dzheniuk, Nait-Abdesselam Farid, Bogdan Lazurenko. Security Models and Methods of Socio-Cyberphysical Systems. *Confreres materials. Proceeding of IEEE 2023, 7th International Symposium on Multidisciplinary Studies and Innovative Technologies (ISMSIT 2023), (October 26-28, 2023, Ankara), Scopus, Turkey, 2023.*

12. Nataliia Dzheniuk, Stanislav Milevskyi, Bogdan Lazurenko, Aleksandr Serkov, Andrii Zakharzhevskyi. Sociocyberphysical Security Systems Synthesis Models. *Confreres materials. Proceeding of IEEE 2023, 7th International Symposium on Multidisciplinary Studies and Innovative Technologies (ISMSIT 2023), (October 26-28, 2023, Ankara), Scopus, Turkey, 2023.*

Патенти та свідоцтва про винаходи:

13. Спосіб передачі інформації надширокосмуговими імпульсними сигналами в транспортних засобах: патент на корисну модель UA 140210 U Україна: МПК Н04В 1/12 (2006.01) / С.В. Панченко, О.А. Серков, К.А. Трубчанінова, М.С. Курцев, Б.О. Лазуренко; и 2019 07640; заявл. 08.07.2019; опубл. 10.02.2020, Бюл. № 3.

14. Спосіб збудження надширокосмугової антени з мерехтливою поляризацією: патент на корисну модель UA 141131 U Україна: МПК H01Q 21/06 (2006.01) / С.В. Панченко, О.А. Серков, К.А. Трубчанінова, М.С. Курцев, Б.О. Лазуренко; у 2019 08723; заявл. 19.07.2019; опубл. 25.03.2020, Бюл. № 6.

15. Надширокосмугова антена з мерехтливою поляризацією: патент України на корисну модель UA 141130 U МПК H01Q 21/02 / О.А. Серков, С.В. Панченко, К.А. Трубчанінова Б.О. Лазуренко, М.С. Курцев; у 2019 08722 заявл. 30.07.2019; опубл. 25.03.20, Бюл. № 6.

16. Спосіб прийому цифрових двійкових сигналів в умовах шуму: патент України на корисну модель UA 145319 U, МПК H04B 1/06, / О.А. Серков, С.В. Панченко, К.А. Трубчанінова Б.О. Лазуренко, А.Є. Горюшкіна; у 2020 04847 заявл. 29.07.2020, опубл. 25.11.20, Бюл. № 22.

17. Спосіб передачі інформації надширокосмуговими імпульсними сигналами: патент України на винахід № 123519 U, МПК H04B 1/02 (2006.01), H04B 1/69 (2011.01), H04B 7/00, / Б.О. Лазуренко, О.А. Серков, В.Я. Пєвнєв, В.А. Ткаченко, В.С. Харченко; а 201905980 заявл. 30.05.2019, опубл. 14.04.2021, Бюл. № 15.

18. Надширокосмугова антена з мерехтливою поляризацією та спосіб її збудження: патент України на винахід № 126475 U МПК H01Q 21/06, H01Q 13/08, / С.В. Панченко, О.А. Серков, К.А. Трубчанінова, М.С. Курцев, Б.О. Лазуренко; а 201908720 заявл. 19.07.2019, опубл. 13.10.22, Бюл. № 41.

19. Спосіб передачі інформації в безпроводних телекомунікаційних мережах: патент України на корисну модель № 156075 U МПК H04B 1/12, / Пєвнєв В.Я., Серков О.А., Лазуренко, Б.О., Цуранов М.В., Землянко Г.А; у 202302882 заявл. 14.06.2023, опубл. 09.05.24, Бюл. № 19.

20. Спосіб формування топології мобільної безпроводної повітряної мережі: патент України на корисну модель № 156381 U МПК H04B 1/12, / Дженюк Н.В., Євсєєв С.П., Лазуренко Б.О., Серков О.А., Хвостенко В.С., Корчагін М.В., Орехов С.В., Лезік О.В., Корсунов С.І., Воропай Н.І.; у 202301793 заявл. 18.04.2023, опубл. 20.06.24, Бюл. № 25.

21. Комп'ютерна програма для забезпечення електромагнітної сумісності в самоорганізованій безпроводній радіомережі «Compatibility» / О.А. Серков, В.В. Князєв, В.І. Кравченко, Б.О. Лазуренко // Свідоцтво № 106702 від 27.07.2021, (заявка № с202104661), про реєстрацію авторського права на твір.

22. Комп'ютерна програма для експертної оцінки рівня блискавкозахисту будівель та споруд «Експертиза» / О.А. Серков, В.В. Князєв, В.І. Кравченко, Б.О. Лазуренко // Свідоцтво № 108356 від 30.09.2021, (заявка № с202106154), про реєстрацію авторського права на твір.

Інші публікації:

23. N. Dzheniuk, B. Lazurenko, O. Serkov, I. Yatsenko. Electromagnetic compatibility of telecommunication systems: Laboratory works, NTU “KhPI”, Kharkiv, 2021. - 60 p.

Опубліковані праці апробаційного характеру:

24. Lazurenko B.A. Quality criteria for wireless communication channel. *Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я (MicroCAD – 2021): тез. доп. XXIX МНПК* (Харків, Україна, 18 - 20 травня 2021р). Харків, 2021. Р. 110.

25. Лазуренко Б.О., Корольов А.О. Метод підвищення якості передачі інформації в безпроводній мережі. *Сучасні напрями розвитку інформаційно-комунікаційних технологій та засобів управління: тези доповідей XI-ї МНТК*, (Харків, 8-9 квітня 2021р.) Харків: Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», 2021. С. 37.

26. Б.О. Лазуренко, О.А. Серков Метод завадостійкого кодування двійкових сигналів в каналах зв'язку з шумами. *Проблеми інформатики та моделювання (ПІМ-21): тези доповідей XXI МНТК* (Харків, Україна, 09 – 14 вересня 2021р.). Харків, 2021. С. 63-64.

27. B. Lazurenko, A. Serkov, K. Trubchaninova. Method of Assessing the Level of Disability of Wireless Communication Channels. *Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті: тези доповідей XXXV МНПК* (Харків, Україна, 11 листопада 2022р.). Харків, 2022. С. 16.

28. Б.О. Лазуренко. Ефективність цифрових систем зв'язку. *Сучасні напрями розвитку інформаційно-комунікаційних технологій та засобів управління: тези доповідей XII МНТК* (Харків, Україна, 17-18 квітня 2022р.). Харків, 2022, Т1. С. 15.

29. О. Серков, Б. Лазуренко. Технологія забезпечення завадозахищеності безпроводних каналів зв'язку. *Проблеми інформатики та моделювання (ПІМ-22): тези доповідей XXII МНТК* (Харків, Україна, 09 – 14 листопада 2022р.). Харків, 2022. С. 12.

30. Б. Лазуренко, М. Охрименко. Метод побудови топології мобільних безпроводних мереж. *Сучасні напрями розвитку інформаційно-комунікаційних технологій та засобів управління: тези доповідей XIII МНТК* (Харків, Україна, 26-27 квітня 2023р.). Харків, 2023. С. 50.

31. О.А. Серков, Н.В. Дженюк, Б.О. Лазуренко. Методологія підвищення ефективності систем електронної комунікації. *Проблеми інформатики та моделювання (ПІМ-23): тези доповідей XXIII МНТК* (Харків, Україна, 20 – 22 вересня 2023р.). Харків, 2023. С. 17-19.

32. N Dzheniuk, S. Yevseiev, B. Lazurenko, O. Serkov, O. Kasilov. A Method of Protecting Information in Cyberphysical Space. *Комп'ютерні та інформаційні системи і технології (CEIT'2023): тези доповідей VI МНТК* (Харків, Україна, 21–22 червня 2023р.). Харків, 2023.

33. О.А. Серков, Б.О. Лазуренко. Методи штучного інтелекту у системах електронної комунікації рухомих об'єктів. *Проблеми інформатизації: тези доповідей XI МНТК* (Харків, Україна, 16–17 листопада 2023р.). Харків, 2023, Т 1. С. 42.

34. О.А. Серков, К.А. Трубочанінова, О.В. Касілов, Н.В. Дженюк, Б.О. Лазуренко. Метод підвищення ємності інформаційного сигналу. *Інформаційні*

проблеми теорії акустичних, радіоелектронних і телекомунікаційних систем (IPST-2023): тези доповідей XII МНТК (Харків, 11-13 листопада 2023 р.)
Харків, 2023. С. 150-151.

ДОДАТОК Б
ПАТЕНТИ ТА СВІДОЦТВА ПРО ВІНАХОДИ



Рис. Б.1 – Патент на корисну модель UA 140210 U



МІНІСТЕРСТВО РОЗВИТКУ
ЕКОНОМІКИ, ТОРГІВЛІ ТА
СІЛЬСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА
УКРАЇНИ

УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **140210** (13) **U**
(51) МПК
H04B 1/12 (2006.01)

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

<p>(21) Номер заявки: u 2019 07640</p> <p>(22) Дата подання заявки: 08.07.2019</p> <p>(24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель: 10.02.2020</p> <p>(46) Публікація відомостей про видачу патенту: 10.02.2020, Бюл. № 3</p>	<p>(72) Винахідник(и): Панченко Сергій Володимирович (UA), Серков Олександр Анатолійович (UA), Трубчанінова Карина Артурівна (UA), Курцев Максим Сергійович (UA), Лазуренко Богдан Олександрович (UA)</p> <p>(73) Власник(и): УКРАЇНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ УКР ДУЗТ, пл. Фейєрбаха, 7, м. Харків, 61050 (UA)</p>
--	---

(54) СПОСІБ ПЕРЕДАЧІ ІНФОРМАЦІЇ НАДШИРОКОСМУГОВИМИ ІМПУЛЬСНИМИ СИГНАЛАМИ В ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБАХ

(57) Реферат:

Спосіб передачі інформації надширокосмуговими імпульсними сигналами (НШС), за яким спочатку формують надкороткий моноімпульсний сигнал, створюють їх послідовність з періодом надходження 4-5 тривалостей моноімпульсу, здійснюють модуляцію сигналу цифровим інформаційним кодом шляхом часового зсуву відносно опорної послідовності на чверть тривалості моноімпульсного сигналу з подальшою подачею модульованої послідовності сигналів для випромінювання на широкосмугову антену. Здійснюють додаткове канальне кодування інформаційного сигналу цифровим кодом псевдовипадкової ортогональної послідовності, який присвоєно цьому каналу, шляхом часового зсуву відносно опорної послідовності на 2-3 порядки тривалості моноімпульсу, із подальшим розподілом навіл закодованого сигналу, одну частину якого послідовно інвертують, затримують на час, який дорівнює половині тривалості моноімпульсу, збуджують обома сформованими сигналами перший з двох антенних блоків, кожен з яких являє собою два поряд розташовані широкосмугові антени, випромінюючи електромагнітні поля, які інтерферують у загальному антенному розкритті, створюючи інформаційний НШС сигнал визначеної поляризації у вигляді сформованого моноциклу Гауса. Інший блок антен збуджують обома сформованими сигналами відповідно через дві лінії затримки на час, який дорівнює 2-3 тривалості моноімпульсу, створюючи у загальному антенному розкритті інформаційний НШС сигнал у вигляді сформованого моноциклу Гауса, поляризацію якого повернуто відносно поляризації сигналу, сформованого першим блоком антен.

Рис. Б.1.1 – Опис до патенту на корисну модель UA 140210 U

UA 140210 U



Рис. Б.2 – Патент на корисну модель UA 141130 U



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **141130** (13) **U**
 (51) МПК
H01Q 21/06 (2006.01)

МІНІСТЕРСТВО РОЗВИТКУ
 ЕКОНОМІКИ, ТОРГІВЛІ ТА
 СІЛЬСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА
 УКРАЇНИ

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

(21) Номер заявки:	u 2019 08722	(72) Винахідник(и):	Панченко Сергій Володимирович (UA), Серков Олександр Анатолійович (UA), Трубчанінова Карина Артурівна (UA), Курцев Максим Сергійович (UA), Лазуренко Богдан Олександрович (UA)
(22) Дата подання заявки:	30.07.2019	(73) Власник(и):	УКРАЇНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ, пл. Фейєрбаха, 7, м. Харків-50, 61050 (UA)
(24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель:	25.03.2020		
(46) Публікація відомостей про видачу патенту:	25.03.2020, Бюл.№ 6		

(54) НАДШИРОКОСМУГОВА АНТЕНА З МЕРЕХТЛИВОЮ ПОЛЯРИЗАЦІЄЮ

(57) Реферат:

Надширокосмугова антена містить два антенних блоки, кожен з яких має полозкову діелектричну основу з металізованими шарами, в яких виконана система збудження і пов'язані з ними випромінюючі розкрити. До складу кожного блока антен включено два випромінювачі, кожен з яких являє собою розширюючу щілину, ширина якої змінюється за експоненціальним законом, розділювач сигналу, інвертор та лінію затримки. При цьому перший з випромінюючих розкриттів під'єднано безпосередньо до першого виходу розділювача сигналу, а другий - до іншого виходу через інвертор та лінію затримки, величина затримки якої дорівнює половині тривалості моноімпульсу. Перший та другий блоки антен розташовані ортогонально один до одного. Перший блок антен підключено безпосередньо до генератора, а інший - через лінію затримки, величина якої складає половину періоду надходження імпульсів з генератора надширокосмугового уніполярного імпульсного сигналу.

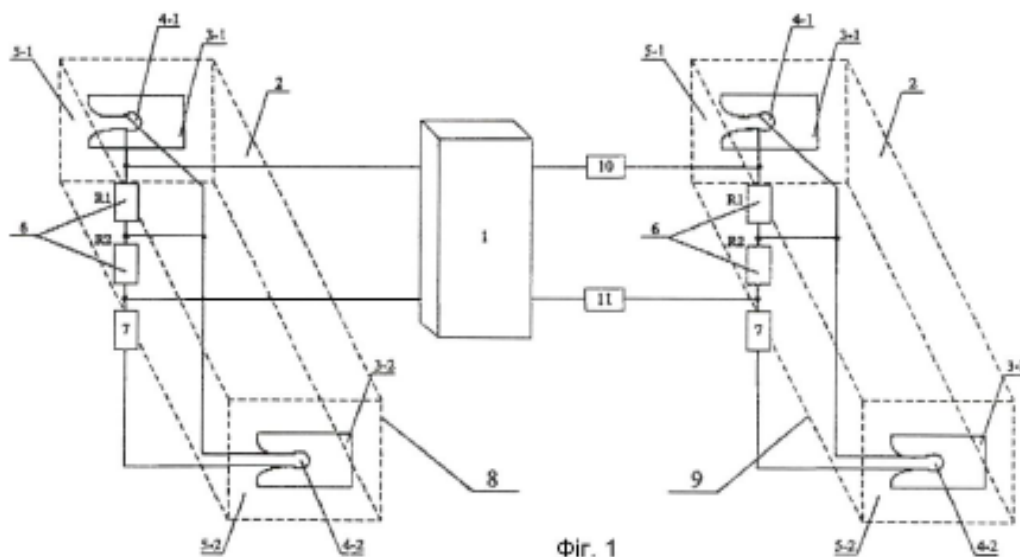


Fig. 1

Рис. Б.2.1 – Опис до патенту на корисну модель UA 141130 U



Рис. Б.3 – Патент на корисну модель UA 141131 U



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **141131** (13) **U**
 (51) МПК
H01Q 21/06 (2006.01)

МІНІСТЕРСТВО РОЗВИТКУ
 ЕКОНОМІКИ, ТОРГІВЛІ ТА
 СІЛЬСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА
 УКРАЇНИ

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

(21) Номер заявки:	u 2019 08723	(72) Винахідник(и):	Панченко Сергій Володимирович (UA), Серков Олександр Анатолійович (UA), Трубчанінова Карина Артурівна (UA), Курцев Максим Сергійович (UA), Лазуренко Богдан Олександрович (UA)
(22) Дата подання заявки:	19.07.2019	(73) Власник(и):	УКРАЇНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ, пл. Фейєрбаха, 7, УкрДУЗТ, НДЧ, м. Харків- 50, 61050 (UA)
(24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель:	25.03.2020		
(46) Публікація відомостей про видачу патенту:	25.03.2020, Бюл.№ 6		

(54) СПОСІБ ЗБУДЖЕННЯ НАДШИРОКОСМУГОВОЇ АНТЕНИ З МЕРЕХТЛИВОЮ ПОЛЯРИЗАЦІЄЮ

(57) Реферат:

Спосіб збудження надширокосмугової антени з мерехтливою поляризацією полягає у тому, що інформаційний уніполярний імпульсний сигнал поділяють навпіл, одну частину якого послідовно інвертують, затримують на час, який дорівнює половині тривалості моноімпульсу. Обидва моноімпульсними сигналами збуджують відповідно обидві поряд розташовані антени, електромагнітні поля яких інтерферують, випромінюючи у загальному антенному розкритті біполярний електромагнітний імпульс. Обидва створені інформаційні сигнали подають безпосередньо на обидві поряд розташовані антени першого блока антен, а на інший блок антен, ідентичний першому, але конструктивно повернутий відносно першого на 90° та підключений до генератора широкосмугового уніполярного імпульсного сигналу, подається через лінії затримки. При цьому величина затримки складає половину періоду надходження імпульсів з генератора широкосмугового уніполярного імпульсного сигналу.

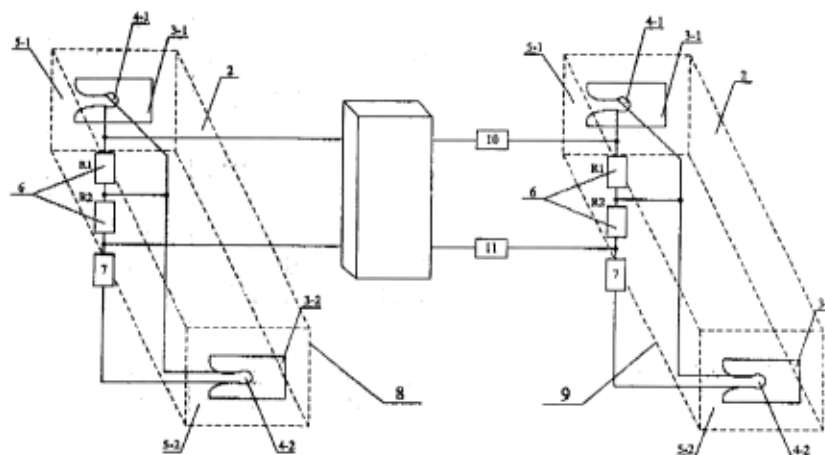


Fig. 1

Рис. Б.3.1 – Опис до патенту на корисну модель UA 141131 U



Рис. Б.4 – Патент на корисну модель UA 145319 U



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **145319** (13) **U**
 (51) МПК
H04B 1/02 (2006.01)

НАЦІОНАЛЬНИЙ ОРГАН
 ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
 ВЛАСНОСТІ
 ДЕРЖАВНЕ ПІДПРИЄМСТВО
 "УКРАЇНСЬКИЙ ІНСТИТУТ
 ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
 ВЛАСНОСТІ"

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

(21) Номер заявки:	u 2020 04847	(72) Винахідник(и):	Панченко Сергій Володимирович (UA), Серков Олександр Анатолійович (UA), Трубчанінова Карина Артурівна (UA), Горюшкіна Алла Ернестівна (UA), Лазуренко Богдан Олександрович (UA)
(22) Дата подання заявки:	29.07.2020	(73) Володілець (володільці):	УКРАЇНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ, майдан Фейєрбаха, 7, м. Харків-50, 61050 (UA)
(24) Дата, з якої є чинними права інтелектуальної власності:	26.11.2020		
(46) Публікація відомостей про державну реєстрацію:	25.11.2020, Бюл.№ 22		

(54) СПОСІБ ПРИЙОМУ ЦИФРОВИХ ДВІЙКОВИХ СИГНАЛІВ В УМОВАХ ШУМУ

(57) Реферат.

Спосіб прийому цифрових двійкових сигналів в умовах шуму, за яким суміш сигналів і шуму послідовно подають на цифровий фільтр, з виходу якого подають через пороговий пристрій на вирішувальний пристрій, де здійснюють їх розпізнавання шляхом когерентного виділення сигналу. З порогового пристрою суміш сигналів та шуму послідовно подають спочатку до аналізатора спектра, де обчислюють спектри їх потужностей, обчислюють модулі комплексних автокореляційних функцій, потім обчислюють відношення функцій правдоподібності та їх відношення, за яким приймають рішення щодо достовірного розпізнавання прийнятого інформаційного сигналу.

UA 145319 U

Рис. Б.4.1 – Опис до патенту на корисну модель UA 145319 U



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **123519** (13) **C2**
 (51) МПК (2021.01)
 H04B 1/02 (2006.01)
 H04B 1/69 (2011.01)
 H04B 7/00

НАЦІОНАЛЬНИЙ ОРГАН
 ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
 ВЛАСНОСТІ
 ДЕРЖАВНЕ ПІДПРИЄМСТВО
 "УКРАЇНСЬКИЙ ІНСТИТУТ
 ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
 ВЛАСНОСТІ"

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВИНАХІД

(21) Номер заявки: а 2019 05980
 (22) Дата подання заявки: 30.05.2019
 (24) Дата, з якої є чинними права інтелектуальної власності: 15.04.2021
 (41) Публікація відомостей про заявку: 25.10.2019, Бюл.№ 20
 (46) Публікація відомостей про державну реєстрацію: 14.04.2021, Бюл.№ 15

(72) Винахідник(и):
 Лазуренко Богдан Олександрович (UA),
 Певнев Володимир Яковлевич (UA),
 Серков Олександр Анатолійович (UA),
 Ткаченко Володимир Антонович (UA),
 Харченко Вячеслав Сергійович (UA)
 (73) Виподілець (виподільці):
 НАЦІОНАЛЬНИЙ АЕРОКОСМІЧНИЙ
 УНІВЕРСИТЕТ ІМ. М.Є. ЖУКОВСЬКОГО
 "ХАРКІВСЬКИЙ АВІАЦІЙНИЙ ІНСТИТУТ",
 вул. Чкалова, 17, м. Харків, 61070 (UA)
 (56) Перелік документів, взятих до уваги експертизою:
 RU 2555864 C2, 10.07.2015
 RU 2544837 C1, 20.03.2015
 US 2008049652 A1, 28.02.2008
 RU 2422991 C1, 27.06.2011
 US 2005047387 A1, 03.03.2005
 US 2006098713 A1, 11.05.2008

UA 123519 C2

(54) СПОСІБ ПЕРЕДАЧІ ІНФОРМАЦІЇ НАДШИРОКОСМУГОВИМИ ІМПУЛЬСНИМИ СИГНАЛАМИ**(57) Реферат:**

Спосіб передачі інформації надширокосмуговими імпульсними сигналами належить до радіотехніки, зокрема, до цифрових швидкісних систем радіозв'язку, які використовують імпульсні надширокосмугові (НШС) сигнали без несучої частоти. НШС є сигналами, у яких робоча смуга частот та середня частота сигналу мають один порядок. Спосіб передачі інформації надширокосмуговими імпульсними сигналами, за яким спочатку формують надкороткі моноімпульсні сигнали, створюють їх послідовність з періодом надходження 4-5 тривалостей моноімпульсу, здійснюють модуляцію сигналу цифровим інформаційним кодом шляхом часового зсуву відносно опорної послідовності на чверть тривалості моноімпульсного сигналу з подальшою подачею модульованої послідовності сигналів для випромінювання на широкосмугову антену. Здійснюють додаткове каналне кодування інформаційного сигналу цифровим кодом псевдовипадкової ортогональної послідовності, який присвоєно цьому каналу, шляхом часового зсуву відносно опорної послідовності на 2-3 порядки тривалості моноімпульсу, із подальшим розподілом навіл закодованого сигналу, одну частину якого послідовно інвертують та затримують на час, який дорівнює половині тривалості моноімпульсу. Потім збуджують обома сигналами відповідно обидві поряд розташовані широкосмугові антени, що випромінюють електромагнітні поля, які інтерферують у загальному антенному розкритті, та випромінюють інформаційний надширокосмуговий сигнал у вигляді моноциклу Гаусса. Технічним результатом є підвищення радіуса дії НШС електромагнітного випромінювання за

UA 123519 C2

рахунок створення у розкритті антени надкороткого біполярного імпульсного сигналу, що суттєво підвищує інформаційні можливості систем безпроводового зв'язку

Рис. Б.5.1 – Опис до патенту на винахід UA 123519 C2

Розділ Н:

Електрика

Н 01

(11) 126475

(51) МПК

H01Q 21/06 (2006.01)

H01Q 13/08 (2006.01)

(21) а 2019 08720

(22) 19.07.2019

(24) 13.10.2022

(72) Панченко Сергій Володимирович (UA), Серков Олександр Анатолійович (UA), Трубочанінова Карина Артурівна (UA), Курцев Максим Сергійович (UA), Лазуренко Богдан Олександрович (UA)

(73) УКРАЇНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ
пл. Фейербаха, 7, м. Харків-50, 61050 (UA)

(54) НАДШИРОКОСМУГОВА АНТЕНА З МЕРЕЖЛИВОЮ ПОЛЯРИЗАЦІЄЮ ТА СПОСІБ ЇЇ ЗБУДЖЕННЯ

(57) 1. Надширокосмугова антена, до складу якої включено полужовку діелектричну основу з металізованими шарами, в яких виконана система збудження і пов'язані з ними випромінюючі розкрити, яка відрізняється тим, що до складу першого блока антен включено два випромінювачі, кожний з яких являє собою розширюючу щільну, ширина якої змінюється за експоненціальним законом, розділювач сигналу, інвертор та лінію затримки, причому перший з випромінюючих розкриттів під'єднано безпосередньо до першого виходу розділювача сигналу, а другий - до іншого виходу через інвертор та лінію затримки, величина затримки якої дорівнює половині тривалості моноімпульсу; до складу іншого блока антен включено два випромінювачі, кожний з яких являє собою розширюючу щільну, ширина якої змінюється за експоненціальним законом, розділювач сигналу, інвертор та лінію затримки, причому перший з випромінюючих розкриттів під'єднано безпосередньо до першого виходу розділювача сигналу, а другий - до іншого виходу через інвертор та лінію затримки, величина затримки якої дорівнює половині тривалості моноімпульсу, причому перший та другий блоки антен розташовані ортогонально один до одного, перший блок антен підключено безпосередньо до генератора надширокосмугового уніполярного імпульсного сигналу, а інший - через лінію затримки, величина якої складає половину періоду надходження імпульсів з генератора надширокосмугового уніполярного імпульсного сигналу.

2. Спосіб збудження надширокосмугової антени, який відрізняється тим, що інформаційний уніполярний імпульсний сигнал поділяють навпіл, одну частину якого послідовно інвертують на час, який дорівнює половині тривалості моноімпульсу, та обидва сигнали збуджують відповідно обидві поряд розташовані антени, електромагнітні поля яких інтерферують, випромінюючи у загальному антенному розкритті біполярний електромагнітний імпульс, причому обидва створені інформаційні сигнали подають безпосередньо на обидві поряд розташовані антени

ни першого блока антен, а на інший блок антен, ідентичний першому, але конструктивно повернутий відносно першого на 90° та підключений до генератора надширокосмугового уніполярного імпульсного сигналу, інформаційний сигнал подається через лінії затримки, причому величина затримки складає половину періоду надходження імпульсів з генератора надширокосмугового уніполярного імпульсного сигналу.

Н 03

(11) 126488

(51) МПК

H03K 17/66 (2006.01)

H03K 17/62 (2006.01)

H02M 1/088 (2006.01)

(21) а 2020 07209

(22) 11.11.2020

(24) 13.10.2022

(72) Бутенко Володимир Михайлович (UA), Бутенко Софія Володимирівна (UA), Волохитін Віталій Олександрович (UA), Голово Олександра Володимирівна (UA), Кузьміна Лоліта Миколаївна (UA), Мойсєєнко Валентин Іванович (UA), Сіроклін Іван Миколайович (UA), Ушаков Михайло Віталійович (UA), Чуб Андрій Вячеславович (UA), Чуб Ірина Миколаївна (UA), Чуб Сергій Григорович (UA)

(73) УКРАЇНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ
майдан Фейербаха, 7, м. Харків-50, 61050 (UA)

(54) ДВОПОЛЯРНИЙ КЛЮЧ ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНОЇ ТЕХНІКИ КОМП'ЮТЕРНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ СИСТЕМ ЗАЛІЗНИЧНОЇ АВТОМАТИКИ

(57) Двополярний ключ інформаційно-вимірювальної техніки комп'ютерної інженерії систем залізничної автоматики, який містить шину керування, вхідну, вихідну та спільну шини, шину керування і додаткову шину керування, перший та другий ключові нормально відкриті метал-діелектрик-напівпровідник (МДН)-транзистори із вбудованими вихідними захисними діодами та затворами з'єднаного типу і оптрон, який містить пару світлодіод-фотовольтаїчний елемент, який відрізняється тим, що додатково містить третій, четвертий, п'ятий, шостий, сьомий та восьмий ключові нормально відкриті МДН-транзистори із вбудованими вихідними захисними діодами та затворами з'єднаного типу і другий, третій та четвертий оптрони, кожен з яких містить пару світлодіод-фотовольтаїчний елемент, при цьому витоки третього та четвертого, п'ятого та шостого, сьомого та восьмого ключових нормально відкритих МДН-транзисторів з'єднані попарно та під'єднані до других виводів фотовольтаїчних елементів другого, третього та четвертого оптронів відповідно, затвори третього та четвертого, п'ятого та шостого, сьомого та восьмого ключових нормально відкритих МДН-транзисторів з'єднані попарно та під'єднані до перших виводів фотовольтаїчних елементів другого, третього та четвертого оптронів відповідно, стоки першого та третього, другого та четвертого, п'ятого та сьомого, шостого та восьмого ключових нормально відкритих МДН-транзисторів з'єднані попарно, сток третього ключового

3.31

Рис. Б.6.1 – Опис до патенту на винахід UA 126475 С2



Рис. Б.7 – Патент на корисну модель UA 156075 U

(19) UA		(11) 156075	(51) МПК H04B 1/02 (2006.01)
----------------	--	--------------------	--

(21) Номер заявки:	u 2023 02882	(72) Винахідники:	Серков Олександр Анатолійович, UA, Лазуренко Богдан Олександрович, UA, Пєвєєв Володимир Яковлевич, UA, Цуранов Михайло Віталійович, UA, Землянко Григорій Андрійович, UA
(22) Дата подання заявки:	14.06.2023		
(24) Дата, з якої є чинними права інтелектуальної власності:	09.05.2024		
(46) Дата публікації відомостей про державну реєстрацію та номер Бюлетеня:	08.05.2024, Бюл. № 19	(73) Володілець:	НАЦІОНАЛЬНИЙ АЕРОКОСМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМ. М.Є. ЖУКОВСЬКОГО "ХАРКІВСЬКИЙ АВІАЦІЙНИЙ ІНСТИТУТ", вул. Чкалова, 17, м. Харків, 61070, UA

(54) Назва корисної моделі:

СПОСІБ ПЕРЕДАЧІ ІНФОРМАЦІЇ В БЕЗПРОВІДНИХ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ МЕРЕЖАХ

(57) Формула корисної моделі:

Спосіб передачі інформації надширокопasmовими імпульсними сигналами, за яким спочатку формують надкороткі моноімпульсні сигнали, створюють їх послідовність з періодом надходження 4-5 тривалостей імпульсу, здійснюють модуляцію сигналу цифровим інформаційним кодом шляхом часового зсуву відносно опорної послідовності, далі здійснюють додаткове канальне кодування інформаційного сигналу цифровим кодом псевдовипадкової ортогональної послідовності, який присвоєно цьому каналу, шляхом часового зсуву відносно опорної послідовності на 2-3 порядки тривалості моноімпульсу із подальшим розподілом навіл закодованого сигналу, одну частину якого послідовно інвертують та затримують на час, який дорівнює половині тривалості моноімпульсу, з подальшою подачею модульованої послідовності сигналів для випромінювання на широкопasmову антену, який відрізняється тим, що модуляцію сигналу цифровим інформаційним кодом здійснюють на першу половину тривалості імпульсного сигналу, а кодування другої частини інформаційного біта моноімпульсу здійснюють завдяки модуляції кодової послідовності надкоротких імпульсних сигналів відповідно до потоку бітів цифрового коду "одиниць" чи "нулів", що забезпечує одночасне кодування, модуляцію та синхронізацію у межах тривалості інформаційного біта.

Рис. Б.7.1 – Опис до патенту на корисну модель UA 156075 U

H 04

(11) 156381 (51) МПК (2024.01)
H04B 1/00
(21) u 2023 01793 (22) 18.04.2023
(24) 20.06.2024
(72)*

(73)*

H 10

(11) 156435 (51) МПК (2024.01)
H10N 10/00
H10N 15/00
F25B 21/02 (2006.01)
(21) u 2024 00534 (22) 31.01.2024
(24) 20.06.2024
(72) Кшевецький Олег Станіславович (UA)
(73) КШЕВЕЦЬКИЙ ОЛЕГ СТАНІСЛАВОВИЧ
вул. Сергія Скальда, буд. 9, кв. 23, м. Чернівці,
58006 (UA)
(54) СПОСІБ ТЕРМОЕЛЕКТРИЧНОГО ПЕРЕТВОРЕННЯ
ЕНЕРГІЇ
(57) 1. Спосіб термоелектричного перетворення енергії,
при якому змінюють властивості принаймні одного
термоелектричного перетворювача енергії, який відрізняється тим, що властивості принаймні одного
термоелектричного перетворювача енергії змінюють циклічно.
2. Спосіб за п. 1, який відрізняється тим, що з вико-
ристанням механічної дії циклічно змінюють термічний
опір термоелектричного перетворювача енергії.
3. Спосіб за п. 1, який відрізняється тим, що з вико-
ристанням дії електричного поля циклічно змінюють
електричний опір термоелектричного перетворюва-
ча енергії.
4. Спосіб за п. 1, який відрізняється тим, що з вико-
ристанням дії електромагнітного випромінювання цик-
лічно змінюють коефіцієнт Пельтьє термоелектрич-
ного перетворювача енергії.

(54) СПОСІБ ФОРМУВАННЯ ТОПОЛОГІЇ МОБІЛЬНОЇ
БЕЗПРОВІДНОЇ ПОВІТРЯНОЇ МЕРЕЖІ
(57)*

Рис. Б.8.1 – Опис до патенту на корисну модель UA 156381 U



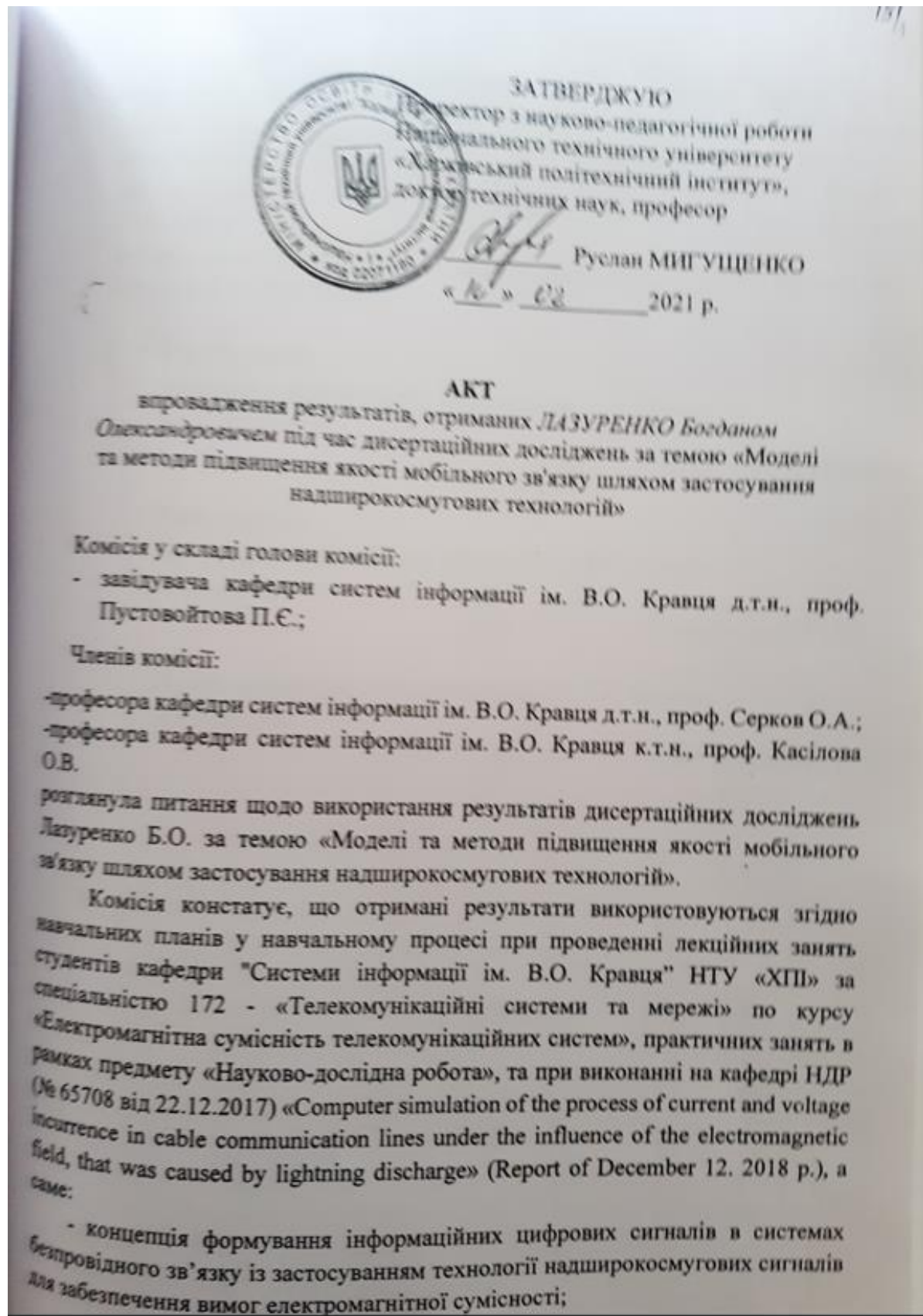
Рис. Б.9 – Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 106702
«Compatibility»



Рис. Б.10 – Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 108356
«Експертиза»

ДОДАТОК С

АКТИ ВПРОВАДЖЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ДИСЕРТАЦІЙНОЇ РОБОТИ



- методика побудови надширококутних антенних систем, здатні випромінювати та приймати інформаційні сигнали з мерехтливою поляризацією (Патент України на корисну модель «Надширококутна антена з мерехтливою поляризацією» UA 141130 U від 25.03.2020 та «Спосіб збудження надширококутної антени з мерехтливою поляризацією» UA 141131 U в 25.03.2020);

використані згідно навчальних планів та планів виконання НДР кафедри систем інформації ім. В.О. Кравця.

Голова комісії:

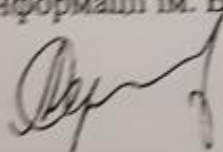
Завідувач кафедри систем інформації ім. В.О. Кравця,
д.т.н., професор



Павло ПУСТОВОЙТОВ

Члени комісії:

Професор кафедри систем інформації ім. В.О. Кравця,
д.т.н., професор



Олександр СЕРКОВ

Професор кафедри систем інформації ім. В.О. Кравця,
к.т.н., доцент



Олег КАСЛОВ

ЗАТВЕРДЖУЮ
 Проректор з науково-педагогічної роботи
 Національного технічного університету
 «Харківський політехнічний інститут»
 доктор технічних наук, професор
 Геннадій ХРИСТУНОВ
 02 2021 р.



АКТ

впровадження результатів, отриманих під час дисертаційних досліджень за темою «Моделі та методи підвищення якості мобільного зв'язку шляхом застосування надширокосмужкових технологій»

ЛАЗУРЕНКО Богданом Олександровичем

Комісія у складі: голови комісії – професора кафедри систем інформації ім. В.О. Кравця доктора технічних наук, професора Серкова О.А., членів комісії – професора кафедри систем інформації ім. В.О. Кравця доктора фізико-математичних наук, професора Яковенко І.В., професора кафедри систем інформації ім. В.О. Кравця кандидата технічних наук, доцента Бреславця В.С. констатує, що основні результати, які отримані в дисертаційній роботі Лазуренко Б.О., а саме:

- метод формування інформаційних сигналів з кодовою спектральною модуляцією;
 - метод вилучення інформаційних сигналів в каналі зв'язку з завадами;
 - спосіб передачі інформації надширокосмужковими імпульсними сигналами в транспортних засобах (Патент України на корисну модель UA 140210 U від 10.02.2020)
- використані згідно навчальних планів НТУ «ХПІ» в лекційному курсі «Електромагнітна сумісність телекомунікаційних систем» та практичних завдань в рамках курсу «Науково-дослідна робота» кафедри систем інформації ім. В.О. Кравця НТУ «ХПІ».

впроваджені методи та інженерні рішення використання атласу компетенцій розвитку цифрової економіки та суспільства України на 2018-2020 р. для реалізації безперервної передачі цифрової інформації на ґрунті широкосмутових сигналів у рамках виконання проекту НТУ «ХП» «EdComFit» - Digital competence framework for Ukrainian teachers and other citizens» (Project Number: 598236-ERP-1-2018-1-LE-ERFKA2-SBHE-8P) за програмою ERASMUS+.

Впроваджені результати дисертаційних досліджень ЛАЗУРЕНКО В.О. дозволяють в рамках еталонної моделі (EdComFit 2.0) виконати основну вимогу концепції розвитку цифрової економіки та суспільства – забезпечення громадянам рівного доступу до послуг, інформації та знань шляхом реалізації широкосмутової мобільної телекомунікаційної інфраструктури та широкосмутового доступу до Інтернету.

Голова комісії:

Професор кафедри систем інформації ім. В.О. Кравця,
доктор технічних наук, професор



Олександр СЕРКОВ

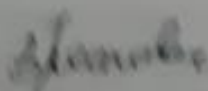
Члени комісії:

Професор кафедри систем інформації ім. В.О. Кравця,
доктор фізико-математичних наук, професор



Ігор ЯКОВЕНКО

Професор кафедри систем інформації ім. В.О. Кравця,
кандидат технічних наук, доцент



Віталій БРЕСЛАВЕЦЬ

ЗАТВЕРДЖУЮ
 Директор науково-дослідного та проектно-
 конструкторського інституту «МОЛНІЯ»
 Національного технічного університету
 «Харківський політехнічний інститут»
 доктор технічних наук, професор



АКТ

впровадження результатів, отриманих під час
 дисертаційних досліджень

ЛАЗУРЕНКОМ Богданом Олександровичем

за темою «Моделі та методи підвищення якості мобільного зв'язку
 шляхом застосування надширокосмужових технологій»

Комісія у складі: голови комісії – керівника науково-дослідного відділу №2
 «Електромагнітна сумісність та безпека» к.т.н., с.н.с. Князєва В.В.; членів комісії
 – головного наукового співробітника д.т.н., професора Кравченка В.І.
 завідуючого лабораторією №2.1, с.н.с. Лісного І.П. констатує, що основні
 результати, які отримані в дисертаційній роботі Лазуренка Б.О., а саме:

- спосіб передачі інформації надширокосмужовими імпульсними сигналами
 в транспортних засобах (Патент України на корисну модель UA 140210 U від
 10.02.2020);

- надширокосмужова антена з мерехтливою поляризацією (Патент України
 на корисну модель UA 141130 U від 25.03.2020);

- спосіб збудження надширокосмужової антени з мерехтливою
 поляризацією (Патент України на корисну модель UA 141131 U від 25.03.2020);

- спосіб прийому цифрових двійкових сигналів в умовах шуму (Патент
 України на корисну модель UA 145319 U від 25.11.2020);

використанні при виконанні НДР №20440 (№ ДР 0119U002571) «Розробка системи
 випробувань типових видів озброєння та військової техніки України з

стандартами НАТО з електромагнітної сумісності», яка проводилась НДІВ «Молнія» НТУ «ХП» протягом 2019-2020 років на замовлення МЗС України.

Впровадження результатів дисертаційних досліджень ПАТРУРЕНКА І.О. на практиці забезпечать підвищення рівня електромагнітної сумісності систем мобільного зв'язку, у тому числі в умовах дії зовнішнього дестабілізуючого електромагнітного випромінювання.

Голова комісії:

Керівник НДВ 2

канд. техн. наук, ст.н.співр.,
лауреат Державної премії України
в галузі науки і техніки



Володимир КНЯЗЕВ

Члени комісії:

Головний науковий співробітник
доктор техн. наук, професор,
заслужений діяч науки і техніки України,
лауреат Державної премії України
в галузі науки і техніки



Володимир КРАВЧЕНКО

Завідувач НДІ № 2.1, ст.н.співр.



Іван ЛІСНОЙ