

О. А. Серков<sup>1</sup>, К. А. Трубчанінова<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків, Україна

<sup>2</sup> Український державний університет залізничного транспорту, Харків, Україна

## ТЕХНОЛОГІЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВИМОГ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОЇ СУМІСНОСТІ МОБІЛЬНИХ СИСТЕМ БЕЗПРОВОДОВОГО ЗВ'ЯЗКУ

**Анотація.** Предметом вивчення є процеси забезпечення вимог електромагнітної сумісності мобільних систем безпроводового зв'язку. **Мета** – розробка технології надширокосмугового зв'язку, яка забезпечує зниження рівня завадової електромагнітної обстановки рухомих мобільних пристроїв, що займають один відносно іншого випадкову позицію. В основу **технології** покладено принцип безпосередньої передачі малопотужних кодованих імпульсів в дуже широкій смузі частот без несучої частоти. **Задача** – зниження рівня завадової електромагнітної обстановки та компенсація спотворень інформаційного сигналу, що викликані міжсимвольною інтерференцією та багатопроменевим розповсюдженням радіохвиль. Використані **методи**: методи аналітичного, імітаційного моделювання та часового позиційно-імпульсного кодування. Отримані наступні **результати**. Розроблена технологія забезпечення вимог електромагнітної сумісності мобільних систем безпроводового зв'язку, до складу якої включено метод часового позиційно-імпульсного кодування та метод мерехтливої поляризації інформаційних сигналів. Доведено мінімально необхідну кількість імпульсів, кодуючих інформаційний біт, що забезпечують його відновлення. Запропоновано технічне рішення щодо конструкції антенної системи для сигналів з мерехтливою поляризацією. Показана можливість сумісної завадової роботи в одному частотному діапазоні як традиційних систем зв'язку, так і систем, що використовують надширокосмугові сигнали. **Висновки.** Застосування в системах зв'язку рухомих мобільних пристроїв запропоновано 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 електромагнітної сумісності мобільних систем безпроводового зв'язку. Ефективність застосування розробленої технології обумовлена можливістю реалізації потенційно високої щільності каналів зв'язку на один квадратний метр робочої зони. Завдяки зменшенню рівня інформаційного сигналу відносно білого шуму в робочому діапазоні частот здійснюється одночасна незавадова робота як традиційних вузькосмугових систем зв'язку, так і систем зв'язку, які використовують надширокосмугові сигнали. Впровадження технології забезпечення вимог електромагнітної сумісності мобільних систем безпроводового зв'язку дозволяє гарантовано забезпечити їх виконання на усіх етапах розробки та реалізації мобільних систем безпроводового зв'язку.

**Keywords:** мобільна система; безпроводовий зв'язок; електромагнітна сумісність; мерехтлива поляризація; часова позиційно-імпульсна модуляція.

### Вступ

Основною тенденцією розвитку сучасних інформаційних технологій є уніфікація персональних засобів комунікації, що означає можливість використання одного терміналу для з'єднання з інформаційними службами в різноманітних середовищах. Це викликає потребу в отриманні високошвидкісних безпроводових систем зв'язку, що, у свою чергу, вимагає ефективного використання електромагнітного спектру. Таким чином актуальною стає задача забезпечення вимог електромагнітної сумісності (ЕМС) мобільних безпроводових пристроїв, що обумовлено вимогами до високої щільності каналів зв'язку на один квадратний метр робочої зони, їх пропускної здатності та завадостійкості в умовах дії ненавмисних та навмисних завад. Особливість забезпечення вимог ЕМС в системах безпроводового зв'язку обумовлена необхідністю організації радіодоступу багатьох користувачів до обмеженого ресурсу – середовища передачі. Існує низка методів, які базуються на розподілі між окремими засобами мобільного зв'язку таких параметрів, як частота, час, код і простір із мінімумом взаємних завад та максимальним використанням характеристик середовища передачі [1]. Однак основним методом забезпечення ЕМС в системах безпроводового зв'язку є зниження рівня електромагнітних полів [2, 3]. Таким чином **метою роботи** є розробка технології надширокосмугово-

го зв'язку для забезпечення вимог електромагнітної сумісності безпроводових мобільних систем.

### Аналіз проблеми та постановка задачі

*Особливості розповсюдження сигналів у мобільних системах.* Мобільний радіозв'язок між рухомими об'єктами здійснюється коли один чи обидва мобільні пристрої рухаються, та займають один відносно іншого випадкову позицію. При цьому параметри каналу зв'язку змінюються у часі, оскільки переміщення у просторі призводить до зміни умов розповсюдження сигналу. У більшості випадків мобільний канал зв'язку характеризується відсутністю прямої видимості між передавачем та приймачем, особливо в умовах щільної міської забудови. За результатами віддзеркалення, розсіювання та дифракції електромагнітних хвиль під час взаємодії з різними об'єктами у просторі виникає *багатопроменеве розповсюдження*. Суперпозиція цих хвиль призводить до зміни амплітуди і фази сигналу та створює складну електромагнітну обстановку у місці прийому.

Переміщення абонента у просторі також викликає *доплерівський зсув*, що призводить до зміни у часі амплітуди і фази прийнятого сигналу. Величина доплерівського зсуву пропорційна частоті передачі та швидкості руху. Навіть пересування на невеликі відстані, які співставні з довжиною хвилі сигналу випромінювання, можуть викликати суттєві зміни його параметрів.

Об’єкти, які виникають на шляху розповсюдження сигналу та обмежують пряму видимість між передавачем та приймачем, викликають *затемнення та втрати у тракті*, змінюючи параметри сигналу у часі.

Спотворення сигналу, які викликані затемненням та втратами у тракті, зазвичай компенсують системами управління потужністю сигналу, підвищуючи його. Однак це суттєво ускладнює електромагнітну обстановку у місці прийому, що не дозволяє забезпечити вимоги електромагнітної сумісності мобільних систем. Компенсація спотворень сигналу, що викликані доплерівським зсувом та багатопроблемним розповсюдженням радіохвиль є більш складною задачею, яка вимагає складної обробки сигналів як на приймальній такі на передавальній сторонах.

Наслідком багатопроблемного розповсюдження радіохвиль є спотворення форми прийнятого сигналу. Вона притаманна будь-якому типу сигналів, однак особливо небезпечною стає у випадку застосування широкосмугових сигналів. Це обумовлено тим, що завдяки інтерференції окремі частоти складаються синфазне, що призводить до збільшення рівня сигналу, і навпаки, протифазне складання призводить до його ослаблення. При цьому розрізняють два крайніх випадки. У першому – максимальна затримка між різними сигналами не перевищує часу тривалості одного символу. Таким чином інтерференція виникає у межах одного символу. В іншому випадку максимальна затримка між різними сигналами перевищує тривалість одного символу, і за результатами інтерференції складаються сигнали, які представляють різні символи, що викликає міжсимвольну інтерференцію. Вона найбільш суттєво впливає на спотворення сигналу, оскільки для різних символів змінюється амплітуда та фаза сигналу, що унеможливає відтворення його початкового стану.

Таким чином основною задачею при забезпеченні вимог електромагнітної сумісності безпроводових мобільних систем є зниження рівня завадової електромагнітної обстановки та компенсація спотворень сигналу, що викликані міжсимвольною інтерференцією та багатопроблемним розповсюдженням радіохвиль.

### Технологія надширокопasmугового зв’язку

Знизити рівень завадової електромагнітної обстановки дозволяє застосування технології надширокопasmугового зв’язку, у яких співвідношення між шириною смуги частот сигналу та його центральною частотою більше одиниці [4, 5]. При цьому інформаційний сигнал розподілене рівномірно у безперервному частотне-часовому просторі, а суть технології полягає у передачі малопотужних кодіваних імпульсів в дуже широкій смугі частот без несучої частоти. Найбільш привабливим для безпроводового зв’язку, завдяки мінімальним втратам у вільному просторі, є смуга частот 2-10 ГГц. У якості кодового сигналу пропонується використання гаусівського моноциклу з подальшим кодуванням інформації шляхом часової позиційно-імпульсної

модуляції (PPM – кодування). Таким чином кожен інформаційний біт кодується часовим зсувом гребінки імпульсів (чіпів) відносно еталонної (рис. 1) в залежності від того, що кодується – нуль чи одиниця [6]. Величина зсуву складає, зазвичай, чверть часової тривалості кодуемого чіпу. Причому кожний інформаційний біт кодується кількома сотнями надкоротких імпульсів - чіпів, що надходять з певною послідовністю та випромінюються безпосередньо у вільний простір.

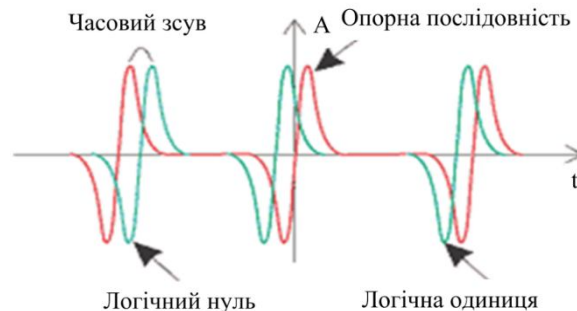


Рис. 1. Метод PPM кодування

Кодування інформаційного біту послідовністю чіпів обмежено такими вимогами. З одного боку, для уникнення ефекту міжсимвольної інтерференції період надходження чіпів  $T_b$  повинен бути досить великим, щоб енергія прийнятого чіпу встигала повністю розсіятися до надходження наступного чіпу. Період надходження чіпів  $T_b$  прагне сягнути рівня тривалості інформаційного біту, який у сучасних завадостійких кодів (рис. 2) знаходиться у межах 1 – 4 с. [6]. При цьому зменшується кількість кодуемых чіпів у біті інформації, зменшуючи відповідно, його енергію.

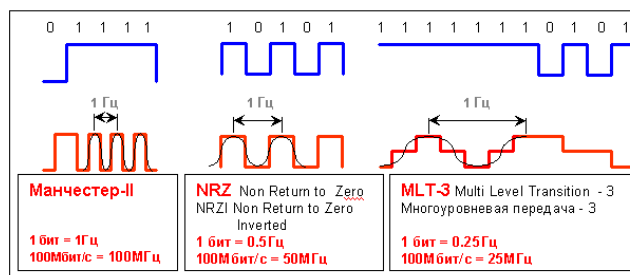


Рис. 2. Залежності періоду надходження інформаційних бітів від методу кодування

З іншого боку, для відновлення інформаційного біту, період надходження кодуемых чіпів повинен бути значно меншим за період надходження інформаційних бітів.

**Теорема.** 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 чіпів, з періодом надходження  $T_b$  тоді, та тільки тоді, коли  $T_a \geq 2 \cdot T_b$ .

**Доведення.** Інформаційний біт сигналу  $x_a(t)$  з обмеженою смугою частот від 0 до  $\omega_a$  та періодом їх надходження  $T_a$  кодується послідовністю чіпів з

періодом надходження  $T_b$ . В результаті отримуємо вибіркового сигнал  $k(t)$ , який являє собою послідовність певної кількості чіпів, з періодом надходження  $T_b$ . Таким чином отриманий дискретний сигнал  $x_b(t)$  матиме такий вигляд:  $x_b(t) = x_a(t) \cdot k(t)$ .

Оскільки сигнал  $k(t)$  складає рівномірну послідовність імпульсів, то він є періодичним сигналом і його може бути представлено у вигляді ряду Фур'є.

$$k(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} K_n e^{in\omega_b t}.$$

Отримуємо:

$$x_b(t) = x_a(t) \cdot k(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} K_n \cdot x_a(t) \cdot e^{in\omega_b t}.$$

Фур'є – образ функції  $x_b(t)$  буде:

$$X_b(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} x_b(t) \cdot e^{-i\omega t} dt.$$

Підставляючи значення  $x_b(t)$ , маємо:

$$X_b(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} \sum_{n=-\infty}^{\infty} K_n \cdot x_a(t) \cdot e^{in\omega_b t} \cdot e^{-i\omega t} dt.$$

Після спрощення отримуємо:

$$X_b(\omega) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} K_n \cdot \int_{-\infty}^{\infty} x_a(t) \cdot e^{-i[(\omega - n\omega_b)]_b t} dt.$$

Виходячи із визначення перетворення Фур'є отримуємо наступне:

$$X_b\left(\left[(\omega - n\omega_b)\right]_b\right) = \int_{-\infty}^{\infty} x_a(t) \cdot e^{-i[(\omega - n\omega_b)]_b t} dt,$$

де  $X_a(\omega)$  – Фур'є – образ функції  $x_a(t)$ .

Підставляючи це у попереднє співвідношення отримуємо:

$$X_b(\omega) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} K_n \cdot X_a(\omega - n\omega_b).$$

Таким чином спектр сигналу  $x_b(t)$  складають спектр сигналу  $x_a(t)$  та спектру, який виникає із спектру сигналу  $x_a(t)$  при переносі кожної гармоніки на несучу частоту. Кожний з перенесених спектрів помножують на відповідний коефіцієнт ряду Фур'є для  $k(t)$ . Та коли  $T_a \geq 2 \cdot T_b$ , то ці перенесені спектри не перекриваються, а спектр сигналу  $x_a(t)$  помножують на коефіцієнт  $K_0$ , який входить до  $X_b(\omega)$ :

$$X_b(\omega) = K_0 \cdot X_a(\omega); \quad \frac{-\omega_b}{2} \leq \omega_a \leq \frac{\omega_b}{2}.$$

Відновлення спектру сигналу  $x_a(t)$  відбудеться при передачі сигналу  $X_b(\omega)$  через смуговий фільтр. Таким чином, виконання умови  $T_a \geq 2 \cdot T_b$  для відновлення інформаційного сигналу обмежує мінімальну кількість кодуєчих імпульсів трьома чіпами. Максимальна кількість кодуєчих імпульсів залежить від їх часових характеристик. Сучасний технічний стан елементної бази дозволяє кодувати один інформаційний біт декількома сотнями чіпів, часова тривалість яких знаходиться у межах 0,2 – 2,0 нС з періодом надходження у 10 – 100 нС. Зазвичай такі кодуєчі чіпи мають форму ідеалізованих гаусівських моноциклів, основна частина спектру яких знаходиться у межах від 1 до 10 ГГц [6].

Для організації незалежних каналів в одній смузі частот доцільно додатково застосовувати систему ортогональних кодів. Це набори послідовностей, для яких усі попарні значення функції взаємної кореляції дорівнюють нулю. У той же час одну й ту саму частоту використовують усі канали одночасно. В такій системі кожному мобільному користувачу привласнюють свою унікальну кодову послідовність, яка дозволяє виділити з ефіру тільки йому належний сигнал, при цьому взаємна кореляція між усіма користувачами дорівнює нулю. Розділення інформаційних каналів здійснюють за рахунок зсуву кожного закодованого чіпами біту інформації на час, пропорційний поточному значенню деякої псевдовипадкової послідовності. Причому часовий діапазон зсуву на один-два порядки вище ніж величина зсуву при РРМ-модуляції. А завадостійкий прийом інформаційного повідомлення відбувається тільки у тому випадку, коли приймач та передавач використовують один код каналу. Це суттєво підвищує завадостійкість сигналів рівень ЕМС у рухомих мобільних системах безпроводового зв'язку.

Найбільш повно умовам ортогональності відповідають сигнали, що є строками матриці Адамара, які частіше називають функціями Уолша. Так набір кодів Уолша довжиною  $n$  включає до свого складу  $n$  строк матриці Уолша  $n \times n$ . Таким чином, розширення спектру цифрового інформаційного сигналу здійснюють за допомогою спеціальної кодової послідовності. В результаті спектр цифрового інформаційного сигналу розширюється шляхом прямого множення на псевдовипадкову послідовність, в результаті чого стає шумоподібним, а потужність сигналу розподіляється в широкій смузі частот. Ширину спектру інформаційного сигналу визначає спектр псевдовипадкової послідовності та розширюється в  $10^1 \div 10^4$  разів. Настільки ж зменшується амплітуда імпульсного електромагнітного поля, що дозволяє забезпечити вимоги ЕМС.

Вилучення корисного сигналу на фоні шуму здійснюють шляхом кореляції прийнятого та опорного сигналів. Корелятор виконує згортку прийнятого сигналу з еталонним. Він є ідеальним детектором для визначення часових зсувів прийнятих імпульсів відносно опорних. Так при прийомі одиниці кореляційна функція дорівнює +1, а при прийомі 0 – приймає значення -1. В будь-яких інших випадках кореляційна

функція дорівнює 0. Та у випадку представлення інформаційного біту, наприклад, 200 надкороткими імпульсами – чіпами, під час співпадіння коду вони накопичуються в інтеграторі приймача. Інформаційний біт буде виявлено навіть у випадку, коли, наприклад, 99 чіпів з 200 буде спотворено. Накопичені в кореляторі приймача кілька сотень 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, забезпечуючи при цьому вимоги ЕМС для рухомих мобільних пристроїв.

За рахунок різних шляхів розповсюдження радіохвиль (багатопронемне розповсюдження) виникає інтерференція сигналів та створюється складна електромагнітна обстановка в місці прийому сигналу. Цифровий кодований сигнал надходить у вигляді зсунутих у часі декількох копій. Однак, коли різниця зсуву більше за тривалість одного надкороткого кодуємого імпульсу, то приймач синхронізується із найбільш потужною складовою прийнятого сигналу, а інші відкидаються. Крім того, застосування надкоротких кодуємих імпульсів попереджує виникнення міжсимвольних спотворень. Це виникає завдяки тому, що енергія прийнятого імпульсного сигналу практично завжди встигає розсіюватися до моменту прийому його наступної копії. Таким чином, можливість роботи із невеликою потужністю сигналу та висока його проникливість крізь перешкоди дозволяють ефективно передавати інформацію всередині приміщень та об'єктів, які мають складну архітектуру та забезпечити вимоги ЕМС в умовах багатопронемного розповсюдження сигналів.

Організація зв'язку в системі рухомих мобільних пристроїв накладає додаткові обмеження, що обумовлені невизначеністю у часі та просторі розташування вектору поляризації інформаційного сигналу відносно висі приймальної антени. Так, у випадку їх ортогонального розташування рівень прийнятого сигналу буде дорівнювати нулю. Тому пропонується запровадити мерехтливу поляризацію, за якою кожний із надкоротких імпульсів, кодуємих інформаційний біт, по черзі подається на одну чи іншу антену, які в антенному блоці розташовані ортогонально.

У зв'язку з тим, що випромінюванню підлягають кодовані імпульсні сигнали в дуже широкій смузі частот, вимоги по широкосмужності приймально-передавальної антени є основними. За технічними характеристиками найбільш придатним є антенний елемент (рис. 3), який являє собою антену з розширюючою щілиною TSA (Tapered Slot Antenna) [7-9]. Форма розімкнутої щілини визначає смугу частот, причому її енергетичну спрямованість характеризує вузький головний промінь та практична відсутність бокових пелюсток у діапазоні частот 2-6,5 ГГц.

Завдяки таким технічним характеристикам її застосовано у якості основного складового елементу кожного з двох антенних блоків, які у свою чергу створюють антенну систему (рис. 4). В цій системі вісі симетрії блоків розташовано ортогонально, що дозволяє реалізувати довільну мерехтливу поляриза-

цію. Надходження надкоротких імпульсів, кодуємих інформаційний біт, до іншого антенного блоку здійснюють аналогічно першому. Таке розташування обох антенних блоків забезпечує прийом електромагнітного випромінювання довільної поляризації, яке характерне для рухомих мобільних пристроїв.

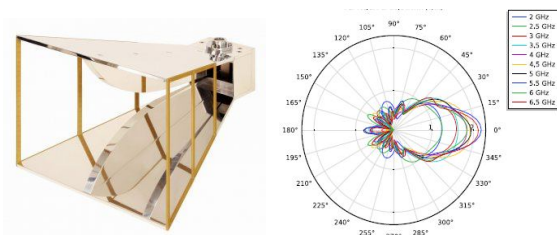


Рис. 3. Антена TSA та її діаграма спрямованості

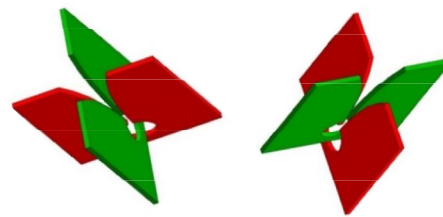


Рис. 4. Антенна система з мерехтливою поляризацією

Таким чином, розроблена технологія дозволяє знизити рівень заводової електромагнітної обстановки та забезпечити вимоги ЕМС для мобільних систем безпроводового зв'язку.

### Аналіз

В залежності від взаємного розташування вектору поляризації електромагнітного сигналу та приймальної антени мобільного засобу рівень наведеного сигналу змінюється пропорційно функції спрямованості:

- для вертикальної поляризації інформаційного сигналу

$$D_v(\psi, \varphi) = \sin\psi \cos\varphi / (1 - \cos\psi \cos\varphi);$$

- для горизонтальної поляризації інформаційного сигналу

$$D_h(\psi, \varphi) = \sin\varphi / (1 - \cos\psi \cos\varphi),$$

де  $\psi$  – кут підйому;  $\varphi$  – 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 же час застосування мерехтливої поляризації дозволяє використовувати обидва типи поляризації, виключаючи 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.

### Висновки

Застосування в системах зв'язку рухомих мобільних пристроїв запропоновано технології надширокосмугових сигналів, мерехтливої поляризації та антенної системи дозволяє збільшити співвідношення сигнал/шум на вході приймача, що дає можливість зменшити рівень електромагнітного випроміню-

нювання, забезпечуючи таким чином вимоги електромагнітної сумісності мобільних систем безпроводового зв'язку. Ефективність застосування розробленої технології обумовлена можливістю реалізації потенційно високої щільності каналів зв'язку на один квадратний метр робочої зони. Завдяки зменшенню рівня інформаційного сигналу відносно білого шуму в робочому діапазоні частот здійснюється одночасна незавадова робота як традиційних вузькосмугових систем зв'язку, так і систем зв'язку, які використовують надширококутові сигнали. Впровадження технології забезпечення вимог електромагнітної сумісності мобільних систем безпроводового зв'язку дозволяє гарантовано забезпечити

їх виконання на усіх етапах розробки та реалізації мобільних систем безпроводового зв'язку.

### Вдячність

Ця робота була частково профінансована Європейським Союзом у контексті проекту «dComFra – Digital competence framework for Ukrainian teachers and other citizens» (Project Number: 598236-EPP-1-2018-1-LT-EPPKA2-CBHE-SP) за програмою ERASMUS+. Підтримка Європейською Комісією створення цієї роботи не означає повного схвалення її змісту, який віддзеркалює лише погляди авторів. Комісія не може нести відповідальності за будь-яке використання інформації, яку розміщено в цій роботі.

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Климаш М. М. Технології мобільного зв'язку / М. М. Климаш, В. О. Пелішок, П. М. Михайленіч. – Львів: НВБД УАД, 2007. – 615 с.
2. Serkov, A. Noise-like signal sin wireless in formation transmission systems / A. Serkov, V. Breslavets, M. Tolkachov, G. Churyumov, Issam Saad // *Advanced Information Systems*. – 2017. – Vol. 1, №2 – P. 33 – 39. – DOI: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2017.2.06>.
3. Серков, А. А. Перспективи розвитку систем беспроводной связи / А. А. Серков, Б. А. Лазуренко // *Проблеми інформатизації. Тез. доп. VI МНТК*, 14 -16 листопада 2018 р. – Х.: НТУ «ХПІ», 2018. – С. 22.
4. Serkov, O. A. On the issue of solving the problem of electromagnetic compatibility of the wireless telecommunication Systems / O. A. Serkov, G. I. Churyumov // *Applied Radio Electronics*. – Kharkiv: KHNURE, 2017. – Vol. 16, № 3, 4. – P. 117-121.
5. Harmuth H. F. *Non-sinusoidal Waves for Radar and Radio Communication*. – New York, London, Toronto, Sydney, San Francisco : Academic Press, 1981. – 376 p.
6. Serkov A. Method of coding information distributed by wireless communication lines under conditions of interference / A. Serkov, V. Breslavets, M. Tolkachov, V. Kravets // *Advanced Information Systems*. – 2018. – Vol. 2, No. 2. pp. 145-148. – DOI: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2018.2.25>
7. Serkov, O. The Wideband Pulsed Antenna and its Application / O. Serkov, V. Breslavets, M. Tolkachov, G. Churyumov // *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.
8. Serkov, A. The concept of information security in the IoT system / A. Serkov, V. Kravets, O. Kasilov, B. Lazurenko, A. Mickus // *Advanced Information Systems*. – 2019. – Vol. 3, No. 1. – P. 136 – 139, DOI: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2019.1.23>
9. Serkov A. Ultra Wideband Technologies in Mobile Object Management Systems / A. Serkov, P. Pustovoitov, I. Yakovenko, B. Lazurenko, G. Churyumov, V. Tokariiev, W. Nannan // *Advanced Information Systems*. – 2019. – Vol. 3, № 1. – P. 109 – 115, DOI: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2019.2.04>

### REFERENCES

1. Klimash, M.M., Pelishok, V.O. and Mikhailenich P.M. (2007), *Mobile Communications Technologies*, NVED UAD, 615 p.
2. Serkov, A., Breslavets, V., Tolkachov, M., Churyumov, G. and Issam Saad (2017), “Noise-like signal sin wireless in formation transmission systems”, *Advanced Information Systems*, Vol. 1, No. 2, pp. 33 – 39, DOI: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2017.2.06>.
3. Serkov, A.A. and Lazurenko B.A. (2018), “Prospects for the development of wireless communication systems”, *Problems of informatization*, NTU “KhPI”, Kharkiv, p. 22.
4. Serkov, O.A. and Churyumov G.I. (2019), “On the issue of solving the problem of electromagnetic compatibility of the wireless telecommunication Systems”, *Applied Radio Electronics*, KhNURE, Kharkiv, Vol. 16, No. 3, 4, pp. 117-121.
5. Harmuth, H.F. (1981), *Non-sinusoidal Waves for Radar and Radio Communication*, Academic Press, New York, London, Toronto, Sydney, San Francisco, 376 p.
6. Serkov, A., Breslavets, V., Tolkachov, M. and Kravets V. (2018), “Method of coding information distributed by wireless communication lines under conditions of interference”, *Advanced Information Systems*, Vol. 2, No. 2. pp. 145-148, DOI: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2018.2.25>
7. Serkov, O., Breslavets, V., Tolkachov, M. and Churyumov, G. (2018), “The Wideband Pulsed Antenna and its Application”, *9th Inter. Conf. on Ultra wideband and Ultra short Impulse Signals (UWBUSIS-2018)*, September 4 – 7, Odessa, Ukraine, ISBN: 978-1-5386-2467-8, IEEE Catalog Number: CFP18587, pp. 340-343.
8. Serkov, A., Kravets, V., Kasilov, O., Lazurenko, B. and Mickus A. (2019), “The concept of information security in the IoT system”, *Advanced Information Systems*, Vol. 3, No.1, pp. 136-139, DOI: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2019.1.23>
9. Serkov, A., Pustovoitov, P., Yakovenko, I., Lazurenko, B., Churyumov, G., Tokariiev, V. and Nannan, W. (2019), “Ultra Wideband Technologies in Mobile Object Management Systems”, *Advanced Information Systems*, Vol. 3, No. 1, pp. 109 – 115, DOI: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2019.2.04>

Received (Надійшла) 10.07.2019

Accepted for publication (Прийнята до друку) 11.09.2019



**Серков Олександр Анатолійович** – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри систем інформації, Національний технічний університет “Харківський політехнічний інститут”, Харків, Україна;

**Aleksandr Serkov** – Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of Information Systems Department, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv, Ukraine;

e-mail: [saa@kpi.kharkov.ua](mailto:saa@kpi.kharkov.ua); ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-6446-5523>

**Трубчанинова Каріна Артурівна** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри транспортного зв'язку, Український державний університет залізничного транспорту, Харків, Україна,

**Karina Trubchaninova** – PhD (Technical Sciences), Associate Professor, Associate Professor of Transport Communication Department, Ukrainian State University of Railway Transport, Kharkiv, Ukraine;

e mail: [tka2@ukr.net](mailto:tka2@ukr.net); ORCID: [0000-0003-2078-2647](http://orcid.org/0000-0003-2078-2647)

### Технология обеспечения требований электромагнитной совместимости мобильных систем беспроводной связи

А. А. Серков, К. А. Трубчанинова

**Аннотация.** Предметом изучения являются процессы обеспечения требований электромагнитной совместимости мобильных систем беспроводной связи. **Цель** – разработка технологии сверхширокополосной связи, которая обеспечивает снижение уровня помеховой электромагнитной обстановки подвижных мобильных устройств, занимающих относительно друг друга случайную позицию. В основу **технологии** положен принцип непосредственной передачи маломощных кодированных импульсов в очень широкой полосе частот без несущей частоты. **Задача** – снижение уровня помеховой электромагнитной обстановки и компенсация искажений информационного сигнала, вызванных межсимвольной интерференцией и многолучевым распространением радиоволн. Используются **методы**: методы аналитического, имитационного моделирования и временного позиционно-импульсного кодирования. Получены следующие **результаты**. Разработана технология обеспечения требований электромагнитной совместимости мобильных систем беспроводной связи, которая включает метод временного позиционно-импульсного кодирования и метод мерцающей поляризации информационных сигналов. Доказано минимально необходимое количество импульсов, кодирующих информационный бит, которые обеспечивают его восстановление. Предложено техническое решение по конструкции антенной системы для сигналов с мерцающей поляризацией. Показана возможность совместной беспомеховой работы в одном частотном диапазоне частот как традиционных систем связи, так и систем, использующих сверхширокополосные сигналы. **Выводы.** Применение в системах связи подвижных мобильных устройств предложенной технологии сверхширокополосных сигналов, мерцающей поляризации сигналов и антенной системы позволяет увеличить соотношение сигнал/шум на входе приемника, что позволяет снизить уровень электромагнитного излучения, обеспечивая таким образом требования электромагнитной совместимости мобильных систем беспроводной связи. Эффективность применения разработанной технологии обусловлена возможностью реализации высокой плотности каналов связи на один квадратный метр рабочей зоны. Благодаря снижению уровня информационного сигнала относительно белого шума в рабочем диапазоне частот осуществляется одновременная беспомеховая работа как узкополосных традиционных систем связи, так и систем связи, использующих сверхширокополосные сигналы. Внедрение технологии обеспечения требований электромагнитной совместимости мобильных систем беспроводной связи позволяет гарантированно обеспечить их выполнение на всех этапах разработки и реализации мобильных систем беспроводной связи.

**Ключевые слова:** мобильная система; беспроводная связь; электромагнитная совместимость; мерцающая поляризация; временная позиционно-импульсная модуляция.

### Technology for providing electromagnetic compatibility requirements for mobile wireless systems

A. Serkov, K. Trubchaninova

**Abstract.** The subject of study is the process of ensuring electromagnetic compatibility requirements of mobile wireless communication systems. **The goal** is the development of ultra-wideband communication technology, which provides a reduction in the level of interference electromagnetic environment of mobile devices, occupying a random position relative to each other. **The technology** is based on the principle of direct transmission of low-power encoded pulses in a very wide frequency band without a carrier frequency. **The task** is to reduce the level of interference electromagnetic environment and compensate for distortions of the information signal caused by intersymbol interference and multipath radio wave propagation. Methods used: methods of analytical, simulation and temporary positional-pulse coding. The following results are obtained. A technology has been developed to ensure the electromagnetic compatibility requirements of mobile wireless communication systems, which includes the method of temporary position-pulse coding and the method of shimmering polarization of information signals. The minimum required number of pulses encoding an information bit is proved, which ensure its recovery. A technical solution is proposed for the design of the antenna system for signals with shimmering polarization. The possibility of joint noiseless operation in the same frequency range of both traditional communication systems and systems using ultra-wideband signals is shown. **Conclusions.** The use of the proposed technology of ultra-wideband signals, shimmering polarization of signals and the antenna system with the communication systems of mobile devices allows increasing the signal-to-noise ratio at the receiver input, which reduces the level of electromagnetic radiation, thus providing the electromagnetic compatibility requirements of mobile wireless communication systems. Efficiency of the developed technology application is conditioned by the possibility of realizing a high density of communication channels per square meter of the working area. By reducing the level of the information signal relative to white noise in the operating frequency range, simultaneous noise-free operation of both narrow-band traditional communication systems and communication systems using ultra-wideband signals is carried out. Implementation of the technology for ensuring the electromagnetic compatibility requirements of mobile wireless communication systems makes it possible to ensure their implementation at all stages of the development and implementation of mobile wireless communication systems.

**Keywords:** mobile system; wireless connection; electromagnetic compatibility; shimmering polarization; temporary positional-pulse modulation.