

МЕТОДОЛОГІЧНИЙ ПІДХІД ДО ОЦІНКИ ВПЛИВУ ІМПУЛЬСНИХ НЕФЛУКТАЦІЙНИХ ЗАВАД НА ЦІЛІСНІСТЬ ДИСКРЕТНИХ СИГНАЛІВ З БАГАТОПОЗИЦІЙНОЮ ФАЗОВОЮ МАНІПУЛЯЦІЄЮ

В роботі розглянуті питання побудови методології оцінки впливу імпульсних нефлюктуційних завад на цілісність дискретних сигналів з багатопозиційною фазовою маніпуляцією. Визначено, що забезпечення кібербезпеки та захисту інформації в інформаційно-комунікаційних мережах в умовах впливу широкого спектру різних збурень та завад формують нове наукове завдання безпосередньої оцінки впливу прицільних імпульсних завад на цілісність сигналів з багатопозиційною фазовою маніпуляцією. Встановлено, що загальний механізм впливу нефлюктуційних завад на цілісність дискретних сигналів проявляється в зростанні бітових та символічних помилок сигналу та залежить від характеристик технології передачі даних та характеристик окремо діючої нефлюктуційної завади. З метою зменшення впливу прицільної імпульсної нефлюктуційної завади на цілісність сигналів з багатопозиційною фазовою маніпуляцією в роботі запропоновано відповідний методологічний підхід до оцінки впливу вказаної нефлюктуційної завади. В якості вищевказаного підходу в статті пропонується наступний порядок, який включає наступні етапи. Визначення вимог до параметрів інформаційно-комунікаційної мережі передачі даних на базі сигналів з багатопозиційною фазовою маніпуляцією відповідно призначення. Аналіз умов та факторів, що можуть вплинути на формування імпульсної нефлюктуційної завади. Моделювання процесів забезпечення цілісності сигналів в каналах передачі даних інформаційно-комунікаційної мережі на базі технології БФМ в умовах впливу імпульсної нефлюктуційної завади. Оцінка впливу прицільної імпульсної нефлюктуційних завади на цілісності сигналів БФМ та розробка рекомендацій по зменшенню вказаного впливу.

Ключові слова: багатопозиційна фазова маніпуляція, інформаційно-комунікаційні мережі, цілісність цифрового сигналу, імпульсна нефлюктуційна завада.

Вступ

Для забезпечення інфраструктури України сучасними швидкісними та потужними мережами зв'язку необхідно проводити постійні наукові дослідження в різних напрямках для підвищення їх ефективності. Один з таких напрямків - це розвиток та удосконалення технологій цифрової передачі корисних даних, які є ключовим елементом інформаційно-комунікаційних систем. Серед різноманіття технологій цифрової передачі даних, що використовуються в сучасних інформаційно-комунікаційних мережах, важливе місце займають технології передачі сигналів з багатопозиційною фазовою маніпуляцією (БФМ). Ці технології відповідають сучасним енергетичним та спектральним вимогам, забезпечуючи високу пропускну спроможність каналів та захищеність від завад. Сигнали з багатопозиційною фазовою маніпуляцією успішно використовуються у світі в різних цифрових системах передачі, таких як супутникові мережі зв'язку, системи передачі цифрових сигналів в телебаченні (DVB-S і DVB-S2/S2X), безпроводові мережі та мережі мобільного зв'язку [1–3].

Постановка проблеми

Цифрові сигнали, що передаються по технології БФМ можуть підпасти під весь спектр зовнішніх та внутрішніх шкідливих збурень, перешкод та негативних впливів, які можуть достатньо сильно чинити вплив на цілісність сигналів та процеси передачі і отримання корисної інформації. Необхідно відмітити, що в сучасних радіоканалах поряд із шумовими завадами (релеєвське завмирання, адитивний білий гаусівський шум) часто присутні й нефлюктуційні завади різного походження. Їх джерелами можуть бути як природні причини, так і похибки радіоапаратури та порушенням технології радіозв'язку. Необхідно прийняти до уваги, що поява нефлюктуційних завад в радіопросторі передачі дискретних сигналів може обумовлюватися не тільки природніми причинами але і через навмисні дії зловмисників, які прагнуть створити певні перешкоди для роботи каналу передачі цифрових даних [3, 4].

Поява завад в каналах передачі інформації в загальному сенсі призводить до зниження якості зв'язку. При цьому кожна з найбільш шкідливих нефлюктуційних завад формує

негативний вплив як на завадозахищеність передачі інформації в інформаційно-комунікаційній мережі та на цілісність сигналів передачі інформації, яка безпосередньо передається такими мережами [3, 5]. Відомо, що основними та найбільш ефективними з точки зору порушення цілісності дискретних сигналів нефлюкційними завадами є гармонічна завада, фазоманіпульована завада, ретрансльована завада, скануюча завада, хаотична імпульсна завада, мультиплікативна завада. При цьому, з точки зору навмисно створеного прицільного впливу, саме імпульсна завада може нанести найбільшої шкоди цілісності дискретного сигналу [2, 4].

Дані обставини вимагають проведення наукових досліджень, спрямованих на оцінку впливу імпульсної нефлюкційної завади на цілісність сигналів БФМ. Що, в свою чергу, визначає необхідність та актуальність розв'язання часткового наукового завдання по розробці методологічного підходу до оцінки впливу імпульсної нефлюкційної завади на цілісність дискретних сигналів з багатопозиційною фазовою маніпуляцією

Аналіз літератури

Дослідження впливу нефлюкційних завад на функціонування інформаційно-комунікаційних мереж на базі технології БФМ та розробка методології оцінки вказаного впливу на цілісність цифрових сигналів з БФМ є предметом досліджень у ряді наукових робіт [2, 6–10].

В роботі [2] подано огляд властивостей визначеного спектру нефлюкційних завад та обґрунтовано напрямки наукових досліджень по підвищенню завадозахищеності телекомунікаційної мережі, яка може функціонувати в умовах їх впливу. Безпосереднє питання забезпечення цілісності цифрових сигналів в умовах впливу імпульсної завади в даній роботі не розглянуто. Наукова публікація [6] досліджує математичну модель формування каналу зв'язку інформаційно-комунікаційної системи на основі сигналу БФМ за умови впливу спеціально сформованих шкідливих радіовипромінювань. У цій роботі висвітлений механізм зменшення впливу шкідливих завад, спрямований на поліпшення процесу мінімізації втрат частини даних вхідного цифрового сигналу шляхом застосування часового захисного інтервалу та компенсації втрати в структурі прийнятого сигналу даними від сигналів з сусіднього каналу. Проте у цій роботі не розглядаються питання систематизації нефлюкційних завад, питання формування загальної методології оцінки таких негативних впливів та проблеми безпосередньої втрати цілісності сигналів під впливом нефлюкційної завади.

Публікація [7] присвячена розгляду проблем питання зменшення порушень цілісності сигналів в одиничному каналі передачі даних по технології OFDM. Розглянуто механізми, які, при умові оцінки рівня внутрішньої каналної перешкоди, формують спеціальне асиметричне вікно, завдання якого – мінімізація циклічного префіксу прийнятого системою сигналу без зменшення його потужності. Окреме питання оцінки впливу нефлюкційних внутрішніх перешкод на цілісність цифрових сигналів сусідніх каналів в даній публікації розглянуто в частині, яка обґрунтовує можливості обраного методу щодо забезпечення обмеження впливу по потужності внутрішньої нефлюкційної перешкоди на цифрові сигнали в сусідньому каналі. Окремі питання оцінки впливу саме зовнішньої імпульсної нефлюкційної завади та розбудова методології оцінки її впливу на цілісність цифрових сигналів в даній роботі не подані.

Роботи [8, 9] висвітлюють питання обмеження впливу поза смугових випромінювань на корисні дискретні сигнали в інформаційно-комунікаційних системах з ортогональним частотним поділом сигналів. По характеру формування такі поза смугові випромінювання відносяться до нефлюкційних завад, які не несуть елементів корисних сигналів і, по суті являються зовнішніми перешкодами. Для зменшення їх впливу на цілісність корисного сигналу в даних роботах запропоновано частотне спектральне попереднє кодування та нова структура прекодера, який забезпечує застосування в таких умовах класичного оцінювач

цілісності сигналів в каналах їх передачі по технології БФМ. Методологія зменшення впливу такого роду перешкод та інших завад і збурень та методики оцінки їх впливу на цілісність цифрових сигналів в даних роботах не розглядалися.

Певні елементи методології оцінки впливу нефлюктуційних завад відносно цифрових сигналів БФМ подано в роботі [10]. Розглянутий в даній публікації механізм зменшення блокової діагоналізації перешкод низхідної лінії зв'язку та механізм розподіл потужності завади з урахуванням інформації про можливість каналів по передачі корисних сигналів в багатокористувацьких телекомунікаційних мережах на основі сигналів MIMO-OFDM має відношення до оцінки впливу одного з проявів внутрішньої нефлюктуційної завади, яка відноситься до процесів обмеження просторових збурень. Безпосередня оцінка впливу відхилення параметрів одного з каналів та прояви шкідливого впливу на цілісність цифрових сигналів в сусідніх каналах а також загальна методологія оцінки шкідливого впливу розглянутої нефлюктуційної завади на цілісність цифрових сигналів в даній роботі не подана.

Метою роботи є розробка методологічного підходу до оцінки впливу імпульсної нефлюктуційної завади на цілісність дискретних сигналів з багатопозиційною фазовою маніпуляцією

Основна частина

Цифрові сигнали з БФМ мають достатньо ефективні енергетичні і спектральні характеристики, що забезпечило їх успішне використання в різноманітних інформаційно-телекомунікаційних системах. Зокрема, в нових поколіннях цифрових радіорелейних станцій, у мобільних мережах стандарту CDMA, EV-DO, та в системах цифрового управління об'єктами, в яких застосовано модуляцію 2-ФМ (BPSK), 4-ФМ (QPSK), 8-ФМ (8-PSK), 16-КАМ (16-QAM) [2, 4, 11].

Таблиця 1

Характеристики видів модуляції стандарту EV-DO

Тип модуляції	BPSK	QPSK	16-QAM	8-PSK	16-QAM
Швидкість передачі цифрових даних, кбіт/с	24,2 38,4	38,5 149,6 624,4	1 238,8	1 853,2	2 467,6

Як правило, у технологіях передачі цифрових сигналів DVB-S чи DVB-S2 застосовано модуляцію QPSK, в деяких системах в може бути застосована 8-PSK, 16-APSK і 32-APSK [2, 11]. Необхідно відмітити що в достатньо простих системах передачі даних може бути використана також модуляція 2-BPSK. Цифровий сигнал з БФМ на тактовому інтервалі T може визначатися одним з M можливих станів [11,12]:

$$S_i(t) = A_0 \cos(\omega_0 t + \phi_i + \phi_c), \quad (1)$$

де $\phi_i = \frac{i2\pi}{M}$, $t \in [0, T_s]$, $i = 0, 1, \dots, M-1$; ω_0 – несуча частота; ϕ_i – інформаційна фаза; $A_0 = \sqrt{2E_s/T_s}$ – амплітуда сигналу. $E_s = kE_b$ – енергія канального символу, що несе інформацію про $k = \log_2 M$ інформаційних біт; E_b – енергія, яку має один біт інформації; ϕ_c – початкове фазове зміщення сигнального сузір'я.

Відповідно результатам проведених досліджень, мінімальна ймовірність помилки на символ, що може бути забезпечена, при оптимальній когерентній обробці такого сигналу з типом модуляції M визначається залежністю [12, 13]:

$$P_s(M) \approx 2\Phi\left(\sqrt{2\pi\gamma_b} \sin \frac{\pi}{M}\right), \quad \Phi(x) = \frac{1}{2\pi} \int_x^{\infty} e^{-\frac{t^2}{2}} dt, \quad (2)$$

де $\gamma_b = \frac{E_b}{N_0}$ – відношення сигнал/шум, що перераховане на один біт інформації.

На Рис 1. показані залежності ймовірності бітової помилки P_{eb} від відношення $\frac{E_b}{N_0}$ у каналі з адитивним білим гауссовським шумом для $M = 2, 4, 8, 16$ і 32 . Подані залежності відображають порушення цілісності сигналів по критерію ймовірності символної помилки у залежності до значень відношення сигнал/шум для різних значень $M > 4$ [13, 14].

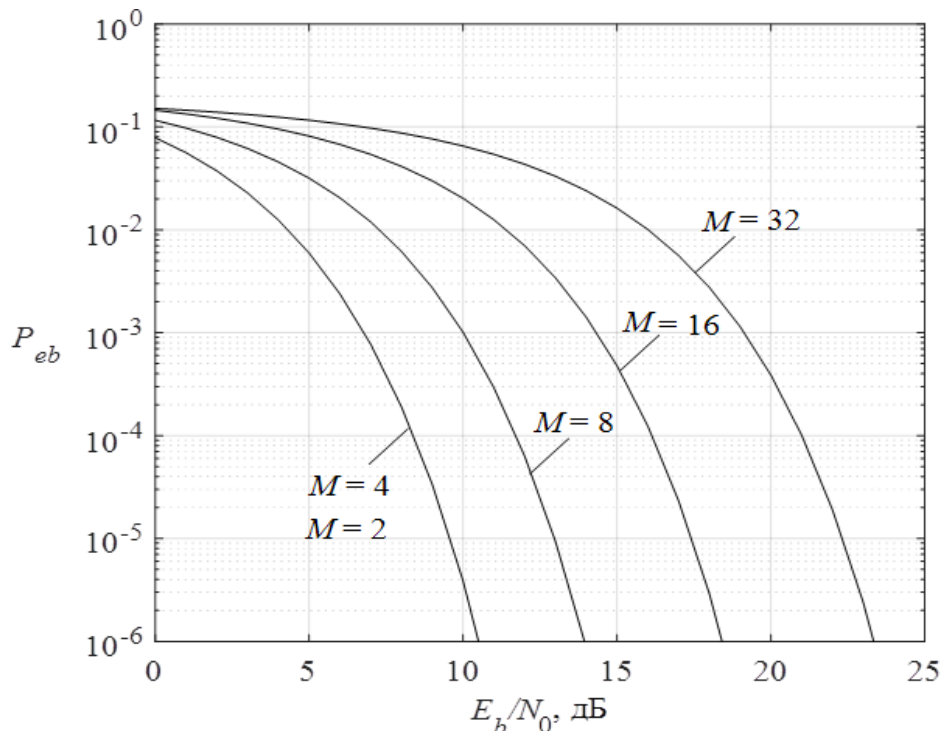


Рис. 1. Залежності ймовірності символної помилки від відношення сигнал/шум при умові когерентного прийому цифрових сигналів з БФМ в умовах впливу флуктаційних завад для різних значень $M = 2^k$

Є очевидним, що прицільні нефлуктаційні імпульсні завади по рівню впливу на символні помилки, виходячи з їх навмисної прицільності та характеристик, близьких до корисних цифрових сигналів, можуть сформувати аналогічний вплив зі притаманним їм значеннями росту символної помилки. При цьому, ріст ймовірності символної помилки буде мати значення, що буде залежати від характеристик як корисних цифрових сигналів так і імпульсної завади.

У цифрових радіосистемах для прийому корисних сигналів з БФМ використовуються два методи – когерентний (багатоканальний або квадратурний) та некогерентний автокореляційний прийом сигналу [2, 3]. Технологія багатоканального формування сигналів БФМ зазвичай реалізується на основі застосування універсального квадратурного модулятора [2, 15].

Встановлення фази вхідного сигналу в квадратурному модуляторі прийнятого цифрового сигналу здійснюється методом обчислення арктангенсу співвідношення напруг Q -

та I -каналів. Наступним кроком демодуляції є порівняння значень оцінки фази вхідного сигналу з фазами опорних прототипів. Обчислювач надає значення фази, найближчої до одної з фаз прототипів, і визначає наявність каналного сигналу та, відповідно, про комбінацію інформаційних бітів. При застосування когерентних демодуляторів сигналів БФМ реалізовується доволі складна схема подачі опорних коливань.

Достатньо простим у реалізації демодуляції сигналу БФМ є альтернативне застосування неоптимального автокореляційного алгоритму. При такій схемі в якості опорного коливання використовується затриманий вхідний сигнал. Але простота схеми реалізації демодуляції обертається збільшенням ймовірності помилки сигналу БФМ [13, 14].

Як було зазначено раніше, в залежності від умов розповсюдження радіохвиль, місця, часу організації, технічних характеристик каналів радіозв'язку, в них присутня велика кількість різних завад. До числа найбільш шкідливих та широко розповсюджених нефлюктуційних завад відносяться сигналподібні, у тому числі вузькосмугові, наприклад, гармонійні, а також імпульсні завади. Вказані завади можуть мати різний частотний розлад, а рівні таких завад звичайно незначно менші або співмірні з рівнем корисного сигналу [2, 14, 15].

Для ефективного синтезу алгоритмів демодуляції вхідних сигналів на фоні дії імпульсної завади і оцінки впливу такої завади на цілісність сигналу БФМ, яку будемо визначати по значенням ймовірності символічних помилок, необхідно сформулювати та розробити математичну модель імпульсної нефлюктуційної завади.

В якості вихідного виразу, що описує імпульсну заваду, доцільно використати математичну модель хаотичну послідовність радіоімпульсів виду:

$$S_i(t) = A(t) \cos(\omega_0 t + \phi_p), \quad 0 < t < t_s. \quad (3)$$

Вказаний імпульс визначається випадковою тривалістю $\tau_s \leq T_s$. Вказана тривалість визначається експоненційним законом розподілу, а огинаюча сигналу $A(t)$ можна подати дискретним марковським процесом з двома станами: $A_1 = 0$ і $A_2 = \mu A_0$.

Моменти переходу між цими станами утворюють пуассоновський потік.

Врахуємо, що класичний кореляційний когерентний приймач вхідного сигналу (1) на фоні впливу білого гауссовського проводить обчислення інтегралів згортки I , коливання вхідного сигналу $x(t)$, та M опорних сигналів [14, 15]:

$$I_i = \frac{2A_0}{N_0} \int_0^{T_s} x(t) \cos\left(\omega_0 t + \frac{i2\pi}{M}\right) dt. \quad (4)$$

Є очевидним, що на вході приймача вхідного пристрою інформаційно-комунікаційної мережі поряд з корисним сигналом присутня шкідлива складова, яка включає білий гауссовський шум $n(t)$ і низку вище поданих нефлюктуційна завада, суму яких позначимо як $s_n(t)$.

Визначимо, що прийнятий цифровий сигнал $x(t)$, визначається залежністю [14, 15]:

$$x(t) = S_i(t) + S_n(t) + n(t). \quad (5)$$

Питання забезпечення цілісності цифрового сигналу в умовах впливу флюктуційних завад (білий гаусівський шум та гармонійні шкідливі сигнали) достатньо добре вивчені. Їх результатом є мінімізація впливу вказаних завад на цілісність цифрових сигналів [2, 14].

Одночасно з цим, є актуальним вирішення наукового завдання щодо забезпечення цілісності цифрових сигналів з БФМ в умовах безпосереднього впливу прицільної імпульсної нефлюктуаційних завад в каналах передачі даних на основі технології БФМ. Особливо це актуально з врахуванням позиційності сигналів БФМ. Наприклад, при позиційності $M \geq 4$, саме ці сигнали перспективні з точки зору підвищення пропускної спроможності каналів передачі даних [2, 14, 16, 17].

При вирішенні поданого наукового завдання одним із його аспектів є формування загальної методології оцінки впливу імпульсної нефлюктуаційної завади на цілісність дискретних сигналів з багатопозиційною фазовою маніпуляцією.

В якості вищевказаної методології пропонується наступний порядок:

1. Формування вимог до параметрів інформаційно-комунікаційної мережі передачі даних на базі сигналів БФМ відповідно функціонального завдання.
2. Аналіз умов та факторів, що можуть вплинути на формування імпульсної нефлюктуаційної завади.
3. Моделювання завадозахищеності каналів інформаційно-комунікаційної мережі передачі даних на базі сигналів БФМ в умовах впливу імпульсної завади.
4. Оцінка впливу імпульсної нефлюктуаційних завади на цілісності сигналів БФМ.
5. Розробка рекомендацій та технічних рішень по зменшенню впливу імпульсної нефлюктуаційних завади на цілісності сигналів БФМ.

Реалізація вище запропонованої методології передбачає розробку окремої моделі, призначеної для оцінки цілісності сигналів з багатопозиційною фазовою маніпуляцією в умовах впливу імпульсної нефлюктуаційних завад. Розробка такої моделі та оцінка її реалізованості є окремою науковою задачею та буде вирішуватись в наступних наукових працях.

Формування моделі для оцінки цілісності сигналів з багатопозиційною фазовою маніпуляцією (БФМ) має включати як математичний опис процесів, так і алгоритмічні засоби для оцінки впливу завад. Основою для створення такої моделі є врахування специфіки передачі сигналів БФМ, їх позиційності, а також характеристик імпульсних завад. Зокрема, слід враховувати амплітудно-частотні та часові характеристики завад, які можуть змінюватись в залежності від параметрів каналу передачі даних і особливостей обладнання.

Ключовим завданням у межах розробки моделі є визначення критичних значень параметрів завад, за яких забезпечується необхідний рівень цілісності сигналу. Це дозволяє визначити порогові значення, що відокремлюють зони стійкого прийому сигналу від зон, де вплив завад призводить до втрати інформації. На основі цього підходу можуть бути сформовані рекомендації щодо адаптації параметрів системи зв'язку для забезпечення надійності передачі.

Подальша реалізація запропонованої методології може включати інтеграцію розроблених моделей у системи моніторингу стану каналів передачі даних. Це дозволить в режимі реального часу оцінювати рівень завадозахищеності та автоматично адаптувати характеристики передавачів та приймачів. Таким чином, використання моделі стане основою для створення самоналаштовуваних систем зв'язку, які враховують динамічний характер впливу імпульсних завад.

Висновки

1. В роботі розглянуті питання оцінки впливу імпульсних нефлюктуаційних завад на цілісність дискретних сигналів з багатопозиційною фазовою маніпуляцією. Визначено, що забезпечення кібербезпеки та захисту інформації в інформаційно-комунікаційних мережах в умовах впливу широкого спектру нефлюктуаційних завад формують нове наукове завдання безпосередньої оцінки впливу прицільних імпульсних нефлюктуаційних завад на цілісність сигналів з багатопозиційною фазовою маніпуляцією.

2. Встановлено, що загальний механізм впливу нефлуктаційних завад на цілісність дискретних сигналів проявляється в зростанні бітових та символічних помилок сигналу та залежить від характеристик технології передачі даних та характеристик окремо діючої нефлуктаційної завади.

3. З метою зменшення впливу прицільної імпульсної нефлуктаційної завади на цілісність сигналів з багатопозиційною фазовою маніпуляцією в роботі запропонована відповідний методичний підхід до оцінки впливу вказаної нефлуктаційної завади. Етапом її реалізації в статті визначено розробку окремої моделі, призначеної для оцінки впливу прицільної імпульсної нефлуктаційної завади на цілісність сигналів з БФМ.

Перелік посилань

1. Балашов В. О., Воробієнко П. П., Ляховецький Л. М., Педяш В. В. Системи передавання широкопозитивними сигналами. Одеса: Вид. центр ОНАЗ ім. О.С. Попова, 2012. 336 с. <https://duikt.edu.ua/ua/lib/1/category/2122/view/412>
2. Туровський О. Л., Мелешко Т. В., Дробик О. В. Методологія оцінки впливу нефлуктаційних завад на завадостійкість прийому дискретних сигналів з багатопозиційною фазовою маніпуляцією. Зв'язок. №5 (159), С. 29-34, 2022. <https://doi.org/10.31673/2412-9070.2022.053439>.
3. Стеглов В. К., Костік Б. Я., Беркман Л. Н. Сучасні системи управління в телекомунікаціях. Київ: Техніка, 2005. 400 с.
4. Стеглов В. К., Беркман Л. Н., Кільчицький С. В. Оптимізація та моделювання пристроїв і систем зв'язку. Київ: Техніка, 2004. 576 с.
5. Сайко В. Г., Амірханов Е. Д. Основи мереж цифрового радіозв'язку і радіодоступу нового покоління. К.: ДУТ, 2015. 77 с.
6. Зайцев С. В. (2011) Математична модель каналу зв'язку з сигналами OFDM та навмисними завадами. Математичні машини і системи, 4, 166–175. URL: <http://dSPACE.nbuv.gov.ua/handle/123456789/83639>.
7. Taheri T., Nilsson Van de Bee J (2016) Asymmetric Transmit-Windowing for Low-Latency and Robust OFDM. 2016 IEEE Globecom Workshops (GC Wkshps). -Washington, DC USA, years 1-6. <https://scite.ai/reports/asymmetric-transmit-windowing-for-low-latency-and-QL4kkx>
8. Mohamad, Medhat & Nilsson, Rickard & Beek, Jaap. (2018). A Novel Transmitter Architecture for Spectrally-Precoded OFDM. IEEE Transactions on Circuits and Systems I: Regular Papers. PP. 1-14. 10.1109/TCSI.2018.2797527.
9. Beek J. (2013) OFDM Spectral Precoding with Protected Subcarriers. IEEE Communications Letters, 17(12), pp. 2209–2212. <https://www.semanticscholar.org/paper/OFDM-Spectral-Precoding-with-Protected-Subcarriers-Beek/f4bacc60b19139ec2cfbdab35172344900a86497>.
10. Agrahari, Abhishek & Varshney, Pulkrit & ПТК, MWN. (2017). Precoding and Downlink Beamforming in Multiuser MIMO-OFDM Cognitive Radio Systems With Spatial Interference Constraints. IEEE Transactions on Vehicular Technology. PP. 1-1. 10.1109/TVT.2017.2768823.
11. Шахтарін Б. І., Казаков Л. Н., Калашніков К. С. Системи зв'язку з ортогональним частотним розподілом каналів. Гаряча лінія–Телеком, 2014. 172 с.
12. Приходько С. І., Трубочанінова К. А., Батаєв О. П. Основи теорії інформації та кодування. Харків: УкрДУЗТ, 2017. 109 с.
13. Остапов С. Е., Євсєєв С. П., Король О. Г. Технології захисту інформації. Харків: Вид. ХНЕУ, 2013. 476 с.
14. Скляр Б. Цифровий зв'язок. Теоретичні основи і практичне застосування. Вид-во "Вільямс", 2003. 1099 с.
15. Прокоф'єв М., Куліш В., Ващенко М., Дворський В. та ін. Оцінювання коефіцієнта якості шумової завади в системах активного захисту інформації. Правове, нормативне та метрологічне забезпечення системи захисту інформації в Україні, вип. 1 (29), 2015 р. С. 11–20
16. Палагін В. В., Палагіна О. А., Зорін О. С. Комп'ютерне моделювання системи обробки шумових сигналів на фоні негаусових завад. Математичне та комп'ютерне моделювання. Серія: Технічні науки: зб. наук. пр. Кам'янець-Подільськ. нац. ун-т, Вип. 16, 2017. С. 104–113.
17. Палагін В. В. Моделі і методи обробки сигналів при взаємодії з корельованими негаусівськими завадами. Електронне моделювання. 37(6), 2015. С. 19–34.

Надійшла 01.12.2024