

# КОРИГУВАННЯ ІНФОРМАЦІЙНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ РАДІОСИСТЕМ

<sup>1</sup> Вінницький національний технічний університет

## **Анотація**

Розроблено алгоритм детектування і компенсації спотворення сигнального сузір'я з модуляцією BPSK, що базується на результатах аналізу вектору помилок та статистичних показників системи передачі цифрової інформації. Запропонований алгоритм оцінки якості радіосигналу з модуляцією BPSK дозволяє розрізнити вплив на стійкість телекомунікаційної системи спотворення сигнального сузір'я від впливу АБГШ. Основною особливістю даного алгоритму є використання змішаної метрики оцінки якості радіосигналу, що включає в себе як елементи еталонної метрики (BER), так і нееталонної (EVM). Запропонований алгоритм працює з BPSK модуляцією, з якої не працюють найбільш поширені в даний момент алгоритми сліпої компенсації розбалансу квадратур.

**Ключові слова:** адитивний білий гаусовий шум, відношення сигнал / шум, телекомунікаційна система, коефіцієнт бітових помилок, квадратурна фазова маніпуляція, двійкова фазова маніпуляція, величина вектора помилки.

## **Abstract**

An algorithm for detecting and compensating for signal constellation distortion with BPSK modulation has been developed, based on the results of error vector analysis and statistical indicators of the digital information transmission system. The proposed algorithm for assessing the quality of a radio signal with BPSK modulation allows to distinguish the effect on the stability of the telecommunication system of signal constellation distortion from the influence of ABGS. The main feature of this algorithm is the use of a mixed metric for assessing the quality of the radio signal, which includes both elements of the reference metric (BER) and non-reference (EVM). The proposed algorithm works with BPSK modulation, which does not work with the most common currently algorithms for blind compensation of imbalance squares.

**Keywords:** additive white Gaussian noise, signal-to-noise ratio, telecommunication system, bit error rate, quadrature phase manipulation, binary phase manipulation, error vector value.

## **Вступ**

В даний час значна кількість сучасних мереж, систем і пристроїв телекомунікацій, включаючи професійні та спеціальні [1, 2], базові станції систем радіодоступу [3], аматорське радіо [4] виконуються з використанням технології програмно-обумовленого радіо (ПОР).

Дана технологія відкриває широкі можливості для внесення змін, поліпшення параметрів і впровадження додаткових функцій. До них відносяться алгоритми оцінки якості передачі інформації і алгоритми ідентифікації викривлень, які можуть вбудовуватися в розроблене обладнання і навіть устаткування, яке вже знаходиться в експлуатації [5].

Незважаючи на ускладнення систем передачі інформації і застосування все більш складних видів модуляції класичні квадратурні види цифрової модуляції, такі як BPSK, QPSK, QAM-4, QAM-16, не втрачають своєї актуальності і стійко зберігають певний спектр застосування. Зокрема, це має місце, коли немає необхідності використовувати високошвидкісну передачу інформації, а потрібно забезпечити максимально стійку її передачу з прийнятною швидкістю і мінімумом випромінюваної потужності, наприклад, при висхідній лінії системи радіодоступу.

В таких умовах метрики оцінки якості, випромінюваного в ефір і прийнятого радіосигналів, починають грати все більш важливу роль. Саме від їх якісної і стабільної роботи буде залежати вибір типу модуляції, частоти несучої, кількості ортогональних несучих або будь-якого іншого параметра для високоінтелектуальної телекомунікаційної системи (ТС).

Основним недоліком класичних метрик оцінки якості радіосигналу є те, що вони дають інформацію тільки про ступінь його спотворення, а не про його причини, що ускладнює усунення впливу даного спотворення в телекомунікаційній системі. У свою чергу алгоритми сліпої компенсації при-

значені для компенсації лише певного типу спотворень радіосигналу і не ефективні в інших випадках.

Метою роботи є виявлення і ідентифікація типів спотворень радіосигналів на тлі шумів для підвищення завадостійкості телекомунікаційних систем і збільшення ефективності та інформативності вимірювальних систем передачі цифрової інформації.

### Результати дослідження

У даній роботі запропоновано алгоритм, що базується на вже сталих класичних метриках оцінки якості радіосигналів з цифровою модуляцією, векторі помилок і модуляційної помилки, а також статистичному аналізі. Запропонований алгоритм дозволяє в широкому діапазоні значень відношення сигнал-шум і величин спотворення радіосигналу визначати тип цього спотворення з високою ймовірністю. Дане рішення дозволяє отримати важливі для практичного застосування відомості, наприклад, точно визначити вузол системи передачі інформації, який вносить спотворення, а в окремих випадках, і компенсувати внесені спотворення, що недоступно в поточний момент часу для інших широко поширених алгоритмів. Крім того, інформація про тип впливу спотворення на радіосигнал може бути використана в системах автоматичного регулювання обладнання на виробництві, наприклад, з метою підвищити автономність даних комплексів.

Також впровадження деяких елементів даної роботи в навчальний процес показало позитивний результат в області поліпшення розуміння основ цифрових систем передачі інформації, метрик оцінки якості та статистичних методів дослідження, застосовуваних при проектуванні ТС.

Дана технологія проектування телекомунікаційних пристроїв набула широкого поширення і на поточний момент є однією з найбільш перспективних [5, 6]. В рамках даної концепції можна виділити кілька основних напрямків, які будуть розглянуті нижче [5].

Розглянемо алгоритм виявлення та усунення впливу повороту сигнального сузір'я, що заснований на застосуванні двох метрик: еталонної метрики оцінки шумового впливу по пілот-сигналу і нееталонної метрики аналізу вектора помилок. Блок-схему запропонованого алгоритму зображено на рисунку 1.

Після прийому кадру проводиться оцінка пілот-сигналу. Якщо він прийнятий задовільно, то алгоритм передає інформацію для подальшої обробки [2], при цьому здійснюється визначення вектора помилки, а показники зберігаються в буфері. В іншому випадку, у разі успішного прийому кадру, проводиться визначення вектора помилок і збереження показників в буфері. Основною відмінністю при цьому є запуск алгоритму аналізу поведінки величини вектора помилок як на інтервалі прийнятого кадру, так і на більш тривалому інтервалі за рахунок накопиченої в буфері статистики. Даний підхід пояснюється специфікою впливу різних спотворень на завадостійкість прийому, а також різною методикою їх виявлення і компенсації.

У разі багаторазового послідовного отримання пакету з показниками EVM, що свідчить про вплив АБГШ, приймається рішення про використання петлі контролю потужності, в разі її наявності в ТС, з метою підвищення ВСШ в каналі передачі інформації. В іншому випадку, якщо приймаються пакети з відсутністю ознак в поведінці вектора помилок, що сигналізують про необхідність збільшення ВСШ в каналі, але BER продовжує перевищувати допустимий поріг, проводиться аналіз інформації, накопиченої в буфері. На наступному етапі робиться висновок про наявність чи відсутність розбаланса квадратур або спотворення сузір'я в системі передачі інформації.

На рисунку 2. представлена діаграма роботи алгоритму аналізу стану каналу і компенсації спотворення сигнального сузір'я для наступних вихідних даних: поріг BER дорівнює  $10^{-5}$  [6], довжина кадру, на якому обчислюється вектор помилки, дорівнює 1024 біта, кількість кадрів, за якими ведеться агрегація статистичних даних, дорівнює 1000.

Розглянемо діаграму роботи запропонованого алгоритму коригування більш детально, відповідно із блок-схемою роботи, зображену на рисунку 1. Якщо при аналізі пілот-сигналу досягається заданий рівень BER, тоді проводиться прийом і обробка повідомлення без будь-яких додаткових маніпуляцій. Крива граничного значення BER в залежності від ступеня спотворення сузір'я і відношення  $E_b/N_0$  представлена верхньою пунктирною лінією. Суцільною лінією розділені область ефективної роботи системи компенсації (праворуч) і область внесення незначних спотворень (зліва). Нижньої пунктирною лінією представлено виконання умови активації системи компенсації.

В результаті можна виділити три основні області роботи алгоритму: область поліпшення показни-

ків роботи ТС, область внесення спотворень і область потенційного поліпшення, в якій можливе поліпшення показників роботи системи передачі інформації без активації алгоритму компенсації.

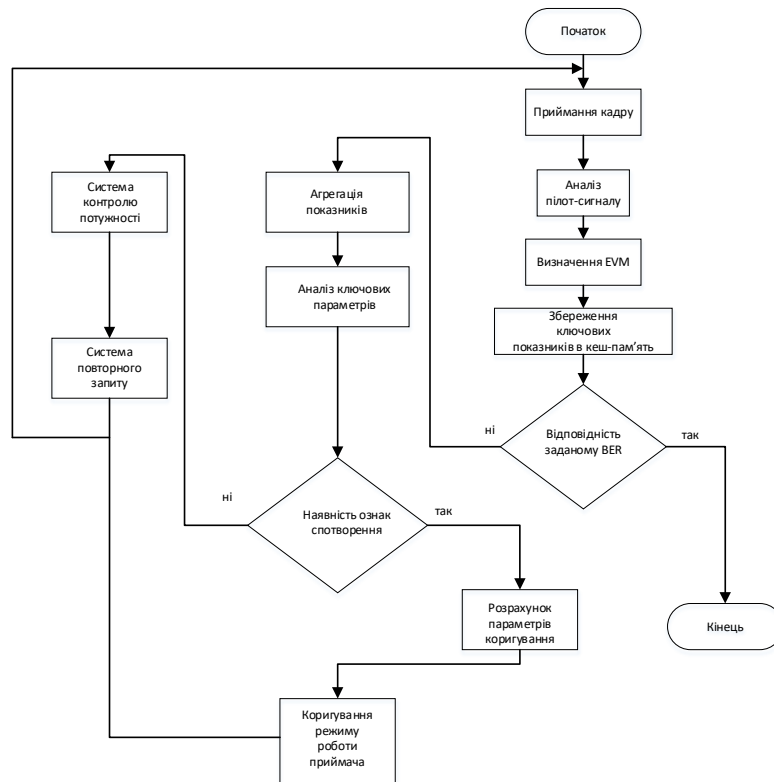


Рис. 1. Блок-схема алгоритму визначення впливу спотворень і активації системи компенсації

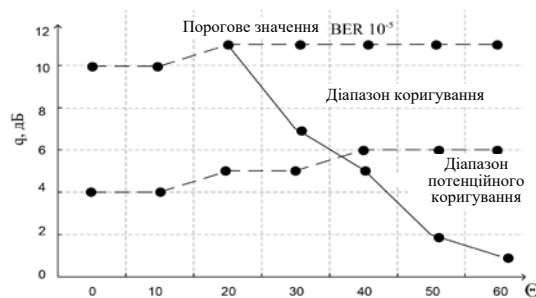


Рис. 2. Діаграма роботи алгоритму детектування спотворення і його компенсації

Основним напрямком розвитку і вдосконалення запропонованого алгоритму є розробка більш досконалого критерію активації алгоритму компенсації і методики агрегації статистичних даних з метою охоплення області потенційного поліпшення характеристик системи і мінімізації області внесення спотворень. Слід також виділити шляхи розвитку робіт в даній області в цілому - розробка алгоритмів для більш складних видів маніпуляцій (QPSK, QAM-16 та ін.), які можуть бути схильні до впливу більш складних, комплексних видів спотворень на відміну від BPSK сигналів. В даному випадку основним завданням буде визначення типу спотворення, що впливає на ТС, наприклад розбаланса квадратур від компресійного спотворення в умовах впливу на систему АБГШ.

### Висновки

Розглянуто популярні метрики оцінки якості радіосигналів з цифровою модуляцією. Зокрема, метрики, засновані на оцінці ступеня відхилення символних векторів в прийнятому сигнальному сузір'ї від заданих методом модуляції позицій: величина вектора помилок і коефіцієнт помилок модуляції. Дані метрики є природними для сигналів з цифровою модуляцією і якнайкраще характеризують ступінь спотворення прийнятого сигнального сузір'я. Проаналізовано основні причини спотворень сиг-

нального сузір'я в телекомунікаційних системах.

Основними передумовами до проведення досліджень, представлених в роботі, з'явилися нездатність в чистому вигляді наведених вище метрик ідентифікувати причину погіршення завадостійкості телекомунікаційних систем і нездатність сліпих алгоритмів компенсації ефективно боротися з усіма типами спотворень.

У першому випадку, на виході блоку аналізу MER / BER / EVM виходять тільки цифри, що демонструють рівень завадостійкості ТС. У разі його погіршення дані метрики не дозволяють провести аналіз причин і усунути порушення в роботі ТС. Дослідження, наведені в роботі, спрямовані не стільки на оцінку якості роботи телекомунікаційної системи, скільки на ідентифікацію причин порушення її роботи, що дозволяє більш ефективно боротися з факторами, що знижують цю ефективність.

Розроблено алгоритм, який діє на основі комплексної оцінки якості радіоканалу передачі інформації і дозволяє детектувати наявність спотворень в сигнальному сузір'ї, вплив яких не виявляється як зниження потужності радіосигналу, але серйозно погіршує характеристики ТС. В якості метрики оцінки якості сигналу в запропонованому алгоритмі використовується несталонний обчислений вектор помилок.

Даний алгоритм дозволяє не тільки розрізнати вплив АБГШ і спотворення сузір'я, а й компенсувати їх за допомогою аналізу вектора помилок за рахунок відмінностей в поведінці даної метрики при впливі на сигнал спотворюють впливів різної природи.

Область роботи алгоритму, в якій вносяться поліпшення, обмежена зверху значенням ВСШ, рівним 11 дБ (пороговим значенням вимоги до помилки в каналі передачі), знизу - ВСШ, рівним 6 дБ (границя роботи критерію ідентифікації сузір'я), а зліва - граничною кривою для обраної величини кадру.

Також важливою особливістю даного алгоритму є його здатність компенсувати спотворення, що вносяться аналоговим радіочастотним трактом, що в даний час є актуальним завданням з огляду на зниження якості електронних компонентів на вітчизняному ринку.

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Аджемов А.С., Санников В.Г., Общая теория связи. – М.: Горячая линия – Телеком, 2018. – 624 с.
2. Kiselnikov A., Dubov M., Priorov A. Non-reference metrics and its application for distortion compensation // Proceedings of the 21th Conference of Open Innovations Association FRUCT'21 – Helsinki, Finland, 6–10 November, 2017. pp. 172-181.
3. Галкин В.А. Основы программно-конфигурируемого радио. Учебное пособие для вузов. – М.: Горячая линия – Телеком, 2013. – 372 с.
4. Мартюшев Ю.Ю. Практика функционального цифрового моделирования в радиотехнике. Учебное пособие для вузов. – М.: Горячая линия – Телеком, 2012. 188 с.
5. Оптимальный прием сигналов на фоне помех и шумов / Под ред. докт. техн. наук, проф. Ю.И. Савватеева. – М.: Радиотехника, 2011. 424 с.
6. Grayver E. Implementing Software Defined Radio Springer 2013. 270 p.

**Варгатюк Ганна Леонідівна** — аспірант групи АС-20, кафедра ТКСТБ, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: annaantonuik@gmail.com

**Нікітович Діана Вікторівна** — аспірант, спеціальності 172-Телекомунікації та радіотехніка, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: diananikitovych@gmail.com

**Мельничук Олег Михайлович** — студент групи ТКС – 20 м, Вінницький національний технічний університет

Науковий керівник: **Васильківський Микола Володимирович** — канд. техн. наук, доцент кафедри ТКСТБ, заступник декана факультету ІРЕН, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: mvasylkivskyi@gmail.com

**Vargatyuk Hanna L.** — Department of Telecommunication system and television, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, email : annaantonuik@gmail.com

**Nikitovich Diana V.** - graduate student, majoring in 172-telecommunications and radio engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, diananikitovych@gmail.com

**Melnichuk Oleg M.** — student of TKS group - 20 m, Vinnytsia National Technical University

Supervisor: **Vasykivskyi Mykola V.** — Cand. Sc. (Eng), Assistant Professor of Telecommunication system and television, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: mvasylkivskyi@gmail.com