kalibruval′nykh laboratoriy» URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=88724

2. Pavlenko V.YA. Otsinka tekhnichnoho ta orhanizatsiynoho rivnya vyrobnychykh prymishchen′ ta tekhnichnoho osnashchennya pry akredytatsiyi vy-probuval′nykh laboratoriy / Vcheni zapysky TNU imeni V.I. Vernads′koho. Seriya: Tekhnichni nauky / Tom 33 (72) № 6. 2022 URL: https://tech.vernadskyjournals.in.ua/journals/2022/6_2022/6.pdf

3. Turgunbaev, A; Usmanova, H; and Abdurakhmanov, O (2020) "Metrological certification and test conditions for verification equipment" Technical science and innovation: Vol. 2020: Iss. 4, Article 4. URL: https://btstu.researchcommons.org/cgi/viewcontent.cgi?article=1204&context=journal

4. A.M. Beldiman, T. Csaszar. Maintenance of on-premise test equipment for high quality tests / 10th edition of the International Multidisciplinary Symposium "UNIVERSITARIA SIMPRO 2022": Quality and Innovation in Education, Research and Industry – the Success Triangle for a Sustainable Economic, Social and Environmental Development MATEC Web Conf. Volume 373, 2022 URL: https://insemex.ro/wp-content/uploads/2024/03/RAPORT-ANUAL-DE-ACTIVITATE-2022INSEMEX.pdf

5. Velychko O.M., Kolomiyets′ L.V., Hordiyenko T.B. Metrolohiya, tekhnichne rehulyuvannya ta zabezpechennya yakosti Tom 1: Metrolohiya Pidruchnyk. Odesa, 2014 – 687 s.

6. Elektronnyy resurs: https://www.ipkm.org.ua/vyprobuvalne-obladnannya

7. Elektronnyy resurs: https://www.ipkm.org.ua/perevirka-kalibruvannya-obladnannya

8. DSTU 1.5:2015 Natsional′na standartyzatsiya. Pravyla rozroblennya, vykladannya ta oformlennya natsional′nykh normatyvnykh dokumentiv URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=63938

9. DSTU 327-95 Bezpechnist′ promyslovykh pidpryyemstv. Zahal′ni polozhennya ta vymohy. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=48089

10. DSTU 2681-94 Metrolohiya. Terminy ta vyznachennya URL: https://online.budstandart. com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=78591

11. Tekhnichnyy rehlament zakonodavcho rehu-l′ovanykh zasobiv vymiryuval′noyi tekhniky. Za-tverdzhenyy Postanovoyu KMU vid 13 sichnya 2016 r. № 94, potochna redaktsiya vid 27.09.2024 URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/94-2016-%D0%BF#Text

12. Tekhnichnyy rehlament zasobiv vymiryuval′noyi tekhniky (zatverdzhenyy postanovoyu Kabinetu Ministriv Ukrayiny vid 24.02.2016 № 163). URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/163-2016-%D0%BF#Text

13. Zakon Ukrayiny Pro metrolohiyu ta metrolohichnu diyal′nist′ (Vidomosti Verkhovnoyi Rady (VVR), 2014, № 30, st.1008), potochna redaktsiya vid 15.11.2024 URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1314-18#Text

14. Zakon Ukrayiny Pro tekhnichni rehlamenty ta otsinku vidpovidnosti (Vidomosti Verkhovnoyi Rady (VVR), 2015, № 14, st.96), potochna redaktsiya vid 19.04.2025 URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/124-19#Text

15. DSTU EN ISO 10012:2022 Systemy keruvannya vymiryuvannyam. Vymohy do protsesiv vymiryuvannya ta vymiryuval′noho obladnannya (EN ISO 10012:2003, IDT; ISO 10012:2003, IDT) URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=109991

16. DSTU 7237:2011. Systema standartiv bezpeky pratsi. Elektrobezpeka. Zahal′ni vymo-hy ta nomenklatura vydiv zakhystu URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id.doc=30045

Надійшла до редакції 10.04.2025

УДК 621.317

В.І. Солодка, к.т.н., **М.О. Патлаєнко,** к.т.н., **Л.Т. Зіангірова,** к.т.н., **І.І. Томашевський, О.І. Гогняк**

Державний університет інтелектуальних технологій і зв'язку, м. Одеса

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ СТОХАСТИЧНИХ ЗАВАД РІЗНОЇ ПРИРОДИ НА ПАРАМЕТРИЧНУ СТАБІЛЬНІСТЬ РАДІОСИГНАЛІВ

У статті досліджено вплив стохастичних завад різної природи на параметричну стабільність радіосигналів. Встановлено, що кожен тип шуму по-різному впливає на метрологічні характеристики сигналу – амплітуду, частоту, фазу та форму сигналу. Зокрема, найбільш суттєвий вплив на параметри сигналу мають коричневий шум та гаусівський шум, які характеризуються складною структурою спектральної щільності та високою інтенсивністю у певних частотних діапазонах. У той

час як рівномірний, синій та фіолетовий шуми мають мінімальний вплив на основні метрологічні параметри, що відкриває можливості для їх використання в якості фонових чи компенсуючих компонентів у системах передачі даних.

Загалом результати роботи сприяють розвитку наукових підходів до моделювання та аналізу сигналів у стохастичних умовах, що має значення для вдосконалення технологій в таких сферах, як цифрове телебачення, мобільний зв'язок, супутникові комунікації, системи навігації та радіолокація.

Ключові слова: *радіо сигнали, завади, кольоровий шум, вимірювання, похибки.*

V. I. Solodka, Ph.D., **M. O. Patlaienko,** Ph.D., **L. T. Zianhirova**, PhD., **I. I. Tomashevkyi, O. I. Hohniak**

RESEARCH OF THE INFLUENCE OF STOCHASTIC INTERFERENCE OF VARIOUS NATURES ON THE PARAMETRIC STABILITY OF RADIO SIGNALS

The article investigates the influence of stochastic interference of various natures on the parametric stability of radio signals. It is established that each type of noise has a different effect on the metrological characteristics of the signal - amplitude, frequency, phase and waveform. In particular, the most significant effect on the signal parameters is exerted by brown noise and Gaussian noise, which are characterized by a complex structure of spectral density and high intensity in certain frequency ranges. While uniform, blue and violet noise have a minimal effect on the main metrological parameters, which opens up opportunities for their use as background or compensating components in data transmission systems.

The practical value of the results obtained lies in the possibility of adapting digital signal processing algorithms to the conditions of the presence of various types of noise, which is especially important for telecommunication systems operating in difficult radio-electronic conditions. The application of approaches to the assessment and compensation of the impact of noise allows to increase the accuracy of measurements, reduce errors in the transmission of information, and also to improve the means of protecting signals from interference of natural and artificial origin.In the future, further research may be aimed at the development of adaptive filters and noise suppression algorithms taking into account the type of interference, as well as the use of machine learning methods for classifying signals by type of interference. In addition, it is advisable to study the combined effect of several types of noise simultaneously, as well as the influence of nonlinear properties of radio channels on the effectiveness of metrological control of signal parameters.

In general, the results of the work contribute to the development of scientific approaches to modeling and analyzing signals in stochastic conditions, which is important for improving technologies in such areas as digital television, mobile communications, satellite communications, navigation systems and radar.

Key words: *radio signals, interference, colored noise, measurements, errors.*

DOI 10.32684/2412-5288-2025-1-26-68-75

Вступ. Радіотехнічні системи – це інформаційні системи, що відповідають за передавання, збирання та обробку інформації. XXI століття ознаменувало собою зародження та стрімкий розвиток радіотехнічних систем, без яких сучасне життя та суспільний прогрес немислимі. Сьогодні радіотехнічні системи розвиваються на базі вбудованих обчислювальних систем та завдяки впровадженню передових інформаційних технологій. Основна та загальна вимога до будь-якої радіотехнічної системи полягає в забезпеченні надійного та своєчасного отримання інформації з обмеженого енергетичного випромінювання. Надійному прийому інформації в радіотехнічних системах перешкоджає низка факторів.

По-перше, що необхідно відмітити - сигнали, що слугують носіями інформації, заздалегідь невідомі приймальній стороні, тому мають випадковий характер. По-друге, невід'ємним елементом будь-якої радіотехнічної системи є радіоканал поширення сигналів. Розповсюджуючись в реальних радіоканалах з неповністю відомими та мінливими параметрами [1], сигнали також піддаються випадковим спотворенням. По-третє, радіотехнічні системи функціонують в умовах навмисних та ненавмисних завад і внутрішніх шумів. Похибки та завади – це сигнали, що надходять на вхід приймача, вид яких одержувачу інформації невідомий, і які заважають нормальному функціонуванню при вимірюванні [2]. Крім того, випадковий характер роботи радіотехнічних систем зумовлений можливими відмовами радіоелементів, роботою в нештатних режимах.

Дійсна величина сигналу може коливатися з часом. Найчастіше реальний сигнал неможливо спостерігати безпосередньо, а замість цього маємо справу з сигналом, спотвореним шумом [3], або його приблизним розрахунком. При цьому існує величезна кількість різних різновидів шуму.

Шуми становлять серйозну проблему в нау-

ці та інженерії, адже вони задають границі точності вимірювань і чутливості електронних систем до сигналів. Шум різниться за частотним спектром, який визначає його "колір" [4]. За великим рахунком [5], джерелом шуму може бути будь-що навколо: шепіт у кінозалі, звук автомобіля на вулиці тощо. У більшості випадків шум є випадковим явищем: знання однієї частини сигналу не дає майже ніякої інформації про його наступний стан.

Аналіз останніх досліджень і публікацій, де показані роботи теми дослідження радіосигнал з різними частотними діапазонами, які змінюють робочу частоту стрибкоподібно, набули широкого застосування в сучасних цивільних та військових засобах зв'язку. Ці теми призначені для передачі даних, використовують велику кількість частотних позицій, а завдяки розширенню смуги частот забезпечують високий рівень захищеності від радіоперешкод та шумів [6, 7].

Дослідження класифікація сигналів здійснюється для того, аби мати змогу застосовувати певні маніпуляції з сигналом. Найчастіше сигнали надходять у процесі вимірювання. Вимірювання необхідні для того [8], щоб обробляти, зберігати і перетворювати сигнал у найбільш прийнятну для сприйняття форму. Вимірюватися можуть різні величини, залежно від вхідних параметрів, такі як, час, частота, сила струму та інші. Майже завжди результати вимірювань, окрім корисної складової, містять також певний вимірювальний шум, який спотворює сприйняття реального фізичного процесу.

В роботі розглянуто та вирішено питання зі зменшенням похибок та завад при вимірювання та використання метрологічних характеристик сигналів з різними шумами. З одного боку щоб проаналізувати мінімізації похибки треба використовувати вісім видів шумів та отримати 24 похибок для якісного дослідження при передачі даних, з іншого - бачимо що на частоту не впливає зміна досліджуваних кольорових та некольорових шумів.

Формулювання цілей статті. Метою даної роботи це є дослідження впливу стохастичних завад різної природи на параметричну стабільність радіо сигналів при вимірювання метрологічних параметрів різних шумів.

Виклад основного матеріалу. Для дослідження впливу стохастичних завад різної природи на параметричну стабільність радіо сигналів будемо використовувати вісім різних завад [9]:

- білий шум (завади) це шум який є постійним і його спектральні складові рівномірно розподілені по всьому діапазону частот при використані у радіотехнічних системах;

- рожевий шум – це є біле світло, який охоплює весь спектр кольорів, а червоне світло має низькі частоти. Так само у техніці рожевий шум – це шум, що містить менше високих або верхніх частот. Останніми дослідженнями рожевий шум також здобув популярність у робочих умовах – шум може маскувати низькочастотні фонові звуки, потенційно сприяючи підвищенню продуктивності та зосередженості працівників;

- коричневий шум – один з багатьох кольорів шуму, до яких також відносяться білий, рожевий і синій. Однак коричневий колір отримав назву не від кольору – він фактично названий на честь ботаніка Роберта Брауна, який відкрив броунівський рух (випадковий рух часточок) у 1800-х роках. Коричневий шум має ще більш виражений зсув енергії у бік низького спектру;

- високочастотним білим шумом, ще його називають синім або блакитний шум, який часом іменують, є кольором шуму зі спектральною щільністю, що прямо пропорційна його частоті. Тобто потужність та енергія сигналу збільшуються зі зростанням частоти. Ще однією характерною рисою блакитного шуму є те, що кожна наступна октава зростає на 3 дБ – це зумовлює, що кожна октава містить стільки ж енергії, скільки дві октави під нею разом узяті. Оскільки блакитний шум зміщений в бік вищих частот, він звучить як пронизливе шипіння, позбавлене будь - яких басів. У звукових програмах блакитний шум використовують для дизерингу – процесу, при якому шум додається до доріжки з метою згладжування звуку та зменшення гучності спотворень;

- фіолетовий шум має зростання 6 дБ на октаву, що робить його своєрідним диференційованим сигналом шуму з характерною траєкторією. Завдяки цій властивості, він може бути корисним для фільтрації певних високочастотних звуків, що супроводжують, скажімо, тинітус або деякі форми втрати слуху. Для деяких людей фіолетовий шум може нагадувати інші типи спектрального шуму, зокрема, звук, що виникає, коли відкритий кран з водою. У сфері радіотехнічних систем фіолетовий шум знаходить застосування у дизерингу – процесі, аналогічному використанню синього шуму. Що стосується апаратного забезпечення, фіолетовий шум може бути інтегрований в аудіообладнання або пристрої для покращення сну, прикладом чого є високоякісні акустичні системи або медичне обладнання;

- імпульсний – це шум, який складається з одного або кількох звукових імпульсів, які різко зростають і видко спадають, причому тривалість кожного з них менше ніж 1 с. Шкідливість шуму залежить від декількох факторів: тривалості

впливу шуму, інтенсивності, частотного спектра і того, як він змінюється в часі;

- гаусів шум, або це називають випадковий гаусів процес, виникає при підсумовуванні статистично незалежних білих шумів;

- рівномірний шуми це модель описуюча адитивний шум, розподіл якого є рівномірним. Він часто зустрічається у дослідженнях на зображеннях після квантування або ж тих, що зазнали спотворень під час передавання;

- параметрами сигналу - частота дискетизації, тривалість, амплітуда, частота сигналу і фаза.

Для дослідження теми необхідно зробити генерацію шумів. Генерація шумів - це сукупність представлених більш чи менш одноманітних шумів, які змінюються наступним цікавими для дослідження поколіннями шумів, які при диференціації існуючих циклів може істотно відрізнятися від попереднього аналізу параметрів.

Фундаментальним завданням вимірювання шуму та дослідження даної теми є спостереження за параметрами сигналу, а саме амплітудою, частотою та фазою при генерації шумів.

Результат самого дослідження різновидів шумів показані та оцінені - їх вплив на амплітуду, частоту та фазу сигналів. Отримані результати демонструють особливості поведінки сигналів під впливом кольорових та імпульсних шумів, що дозволяє вдосконалити методи метрологічного забезпечення в телекомунікаціях та радіотехніці, що показані на рисунках 1 – 6.

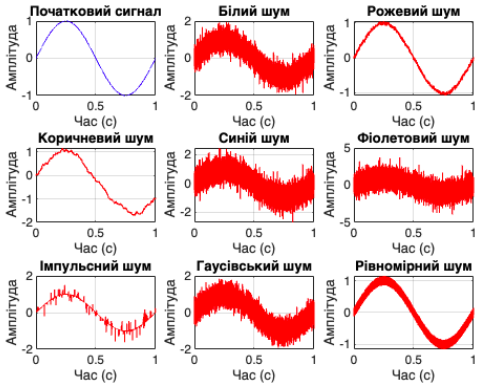

Рисунок 1 – Генерація шумів при Δ f = 1 Гц , Δ U = 1В , Δ φ,°= 1

Таблиця 1 – Оцінка похибок сигналу з різними шумами для параметрів з рисунку 1

Шум	ПОХИБКИ			
	Δ *f* ,Гц	Δ *U*, В	Δ φ,°	Δ *Form*
Білий	0.0000	0.0058	0.0013	0.0793
Рожевий	0.0000	0.0064	0.0006	0.0006
Коричневий	0.0000	0.3465	0.1250	0.0305
Синій	0.0000	0.0000	0.0000	0.1444
Фіолетовий	0.0000	0.0000	0.0000	0.3099
Імпульсний	0.0000	0.0003	0.0006	0.0010
Гаусів	0.0000	0.0010	0.0057	0.0801
Рівномірний	0.0000	0.0007	0.0000	0.0074

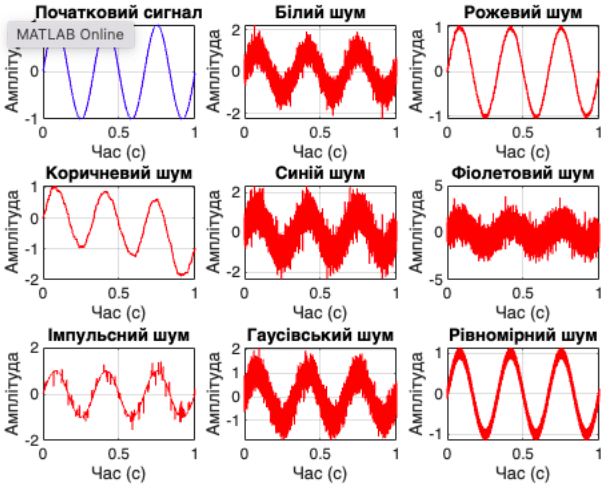

Рисунок 2 – Генерація шумів при Δ f = 3 Гц , Δ U = 1В, Δ φ,°= 1

Оцінка похибок сигналу з різними шумами для параметрів з рисунку 2 представлена в таблиці 2.

Таблиця 2 – Оцінка похибок сигналу з різними шумами для параметрів з рисунку 2

Шум	ПОХИБКИ			
	Δ *f* ,Гц	Δ *U*, В	Δ φ,°	Δ *Form*
Білий	0.0000	0.0033	0.0000	0.0805
Рожевий	0.0000	0.0033	0.0000	0.0006
Коричневий	0.0000	0.0972	0.0107	0.0799
Синій	0.0000	0.0000	0.0000	0.1444
Фіолетовий	0.0000	0.0000	0.0000	0.3099
Імпульсний	0.0000	0.0007	0.0000	0.0010
Гаусів	0.0000	0.0014	0.0006	0.0797
Рівномірний	0.0000	0.0007	0.0000	0.0074

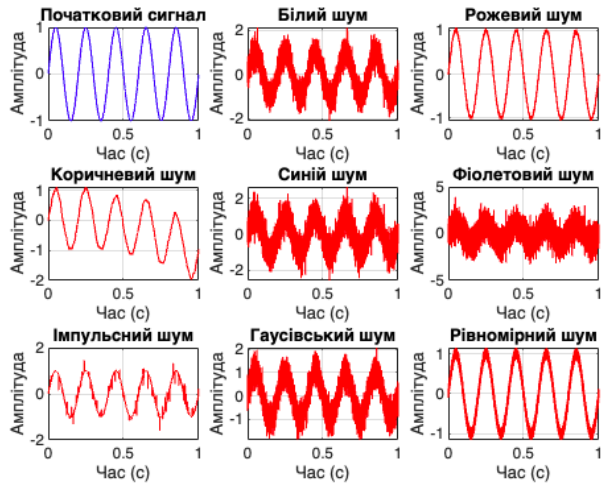

Рисунок 3 – Генерація шумів при Δ f = 5 Гц , Δ U = 1В , Δ φ,°= 1

Оцінка похибок сигналу з різними шумами для параметрів з рисунку 3 представлена в таблиці 3.

Таблиця 3 – Оцінка похибок сигналу з різними шумами для параметрів з рисунку 3

Шум	ПОХИБКИ			
	Δ *f* ,Гц	Δ *U*, В	Δ φ,°	Δ *Form*
Білий	0.0000	0.0024	0.0013	0.0797
Рожевий	0.0000	0.0004	0.0013	0.0006
Коричневий	0.0000	0.0252	0.0025	0.0930
Синій	0.0000	0.0000	0.0000	0.1444
Фіолетовий	0.0000	0.0000	0.0000	0.3099
Імпульсний	0.0000	0.0011	0.0000	0.0010
Гаусів	0.0000	0.0009	0.0000	0.0798
Рівномірний	0.0000	0.00014	0.0000	0.0074

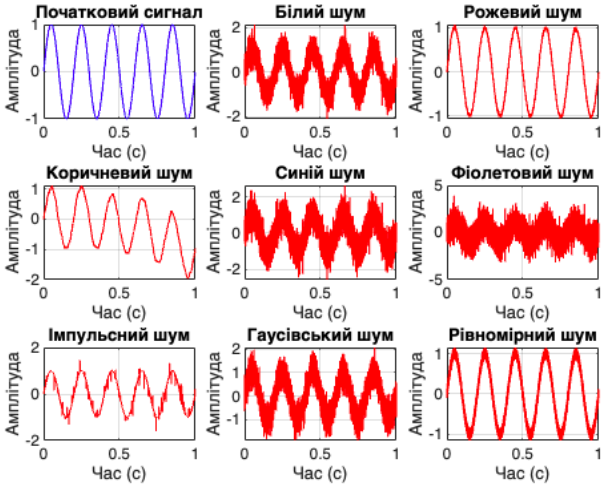

Рисунок 4 – Генерація шумів при Δ f = 10 Гц, Δ U = 1В, Δ φ,°= 1

Оцінка похибок сигналу з різними шумами для параметрів з рисунку 4 показана в таблиці 4.

Таблиця 4 – Оцінка похибок сигналу з різними шумами для параметрів з рисунку 4

Шум	ПОХИБКИ			
	Δ *f* ,Гц	Δ *U*, В	Δ φ,°	Δ *Form*
Білий	0.0000	0.0043	0.0000	0.0795
Рожевий	0.0000	0.0025	0.0000	0.0006
Коричневий	0.0000	0.0302	0.0013	0.0921
Синій	0.0000	0.0000	0.0000	0.1444
Фіолетовий	0.0000	0.0000	0.0000	0.3099
Імпульсний	0.0000	0.0007	0.0000	0.0010
Гаусів	0.0000	0.0056	0.0013	0.0807
Рівномірний	0.0000	0.0006	0.0000	0.0075

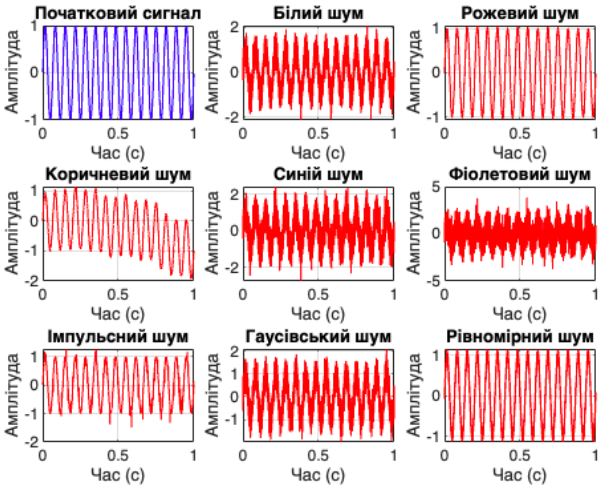

Рисунок 5 – Генерація шумів при Δ f = 1 5Гц , Δ U = 1В, Δ φ,°= 1

Оцінка похибок сигналу з різними шумами для параметрів з рисунку 5 наведено в таблиці 5.

Таблиця 5 – Оцінка похибок сигналу з різними шумами для параметрів з рисунку5.

Шум	ПОХИБКИ			
	Δ *f* ,Гц	Δ *U*, В	Δ φ,°	Δ *Form*
Білий	0.0000	0.0002	0.0000	0.0801
Рожевий	0.0000	0.0012	0.0000	0.0006
Коричневий	0.0000	0.0133	0.0000	0.0951
Синій	0.0000	0.0000	0.0000	0.1444
Фіолетовий	0.0000	0.0000	0.0000	0.3099
Імпульсний	0.0000	0.0005	0.0000	0.0010
Гаусів	0.0000	0.0055	0.0006	0.0901
Рівномірний	0.0000	0.0016	0.0000	0.0075

Оцінка похибок сигналу з різними шумами для параметрів з рисунку 6 показана в таблиці 6.

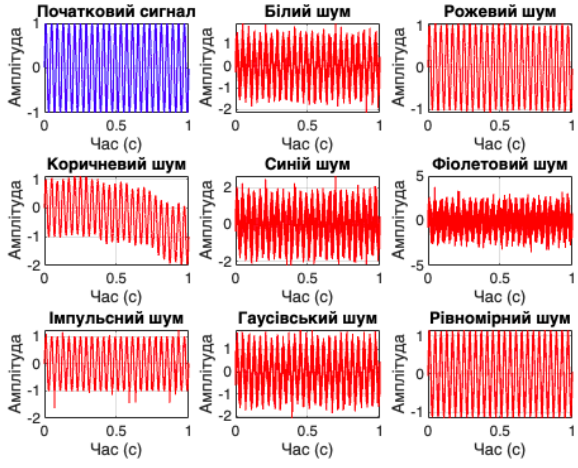

Рисунок 6 – Генерація шумів при Δ f = 25 Гц , Δ U = 1В , Δ φ,°= 1

Таблиця 6 – Оцінка похибок сигналу з різними шумами для параметрів з рисунку 6

Шум	ПОХИБКИ			
	Δ *f* ,Гц	Δ *U*, В	Δ φ,°	Δ *Form*
Білий	0.0000	0.0016	0.0000	0.0799
Рожевий	0.0000	0.0005	0.0000	0.0006
Коричневий	0.0000	0.0081	0.0000	0.0959
Синій	0.0000	0.0001	0.0000	0.1444
Фіолетовий	0.0000	0.0000	0.0000	0.3099
Імпульсний	0.0000	0.0006	0.0000	0.0010
Гаусів	0.0000	0.0020	0.0000	0.0802
Рівномірний	0.0000	0.0017	0.0000	0.0075

Нижче подано частину коду, написаного мовою програмування Matlab, де показано суть розробленого методу.

```
%% Параметри сигналу
Fs = 10000;  % Частота дискретизації (Гц)
T = 1;       % Тривалість сигналу (сек)
t = 0:1/Fs:T-1/Fs;  % Часова вісь
A = 1;   % Амплітуда сигналу
f = 1;  % Частота сигналу (Гц)
phi = 0; % Фаза (рад)
%% Сигнали з шумами
signals_with_noise = {white_noise, pink_noise, brown_noise, blue_noise, violet_noise, impulse_noise, gaussian_noise, uniform_noise};
noise_names = {'Білий', 'Рожевий', 'Коричневий', 'Синій', 'Фіолетовий', 'Імпульсний', 'Гаусівський', 'Рівномірний'}
figure;
subplot(3,3,1);
plot(t, signal, 'b'); title('Початковий сигнал');
xlabel('Час (с)'); ylabel('Амплітуда'); grid on;
for i = 1:length(signals_with_noise)
noisy_signal = signal + signals_with_noise{i};
subplot(3,3,i+1);
plot(t, noisy_signal, 'r'); title([noise_names{i}, ' шум']);
xlabel('Час (с)'); ylabel('Амплітуда'); grid on;
end
%% Оцінка похибок
fprintf('Оцінка похибок сигналу з різними шумами:\n');
fprintf('%-12s | %12s | %15s | %15s | %12s\n', 'Шум', 'Δ Частота (Гц)', 'Δ Амплітуда', 'Δ Фаза (рад)', 'Δ Форма');
fprintf('----------------------------------------------------------------------\n');
for i = 1:length(signals_with_noise)
noisy_signal = signal + signals_with_noise{i}
Y = fft(noisy_signal);
P2 = abs(Y/length(t));
P1 = P2(1:floor(length(t)/2)+1);
P1(2:end-1) = 2*P1(2:end-1);
f_axis = Fs*(0:(length(t)/2))/length(t);
[~, max_idx] = max(P1);
estimated_freq = f_axis(max_idx);
estimated_amplitude = max(P1);
[xcorr_val, lag] = xcorr(noisy_signal, signal);
[~, max_corr_idx] = max(xcorr_val);
estimated_phase_shift = lag(max_corr_idx) / Fs * 2 * pi;
shape_error = 1 - corr(signal(:), noisy_signal(:));
end
```

Висновки. Проведене дослідження впливу стохастичних завад різної природи на параметричну стабільність радіосигналів дозволило зробити низку важливих висновків, що мають практичне та теоретичне значення.

Встановлено, що кожен тип шуму порізному впливає на метрологічні характеристики сигналу – амплітуду, частоту, фазу та форму сигналу. Зокрема, найбільш суттєвий вплив на параметри сигналу мають коричневий шум та гаусівський шум, які характеризуються складною структурою спектральної щільності та високою інтенсивністю у певних частотних діапазонах. У той час як рівномірний, синій та фіолетовий шуми мають мінімальний вплив на основні метрологічні параметри, що відкриває можливості для їх використання в якості фонових чи компенсуючих компонентів у системах передачі даних.

Практична цінність отриманих результатів полягає у можливості адаптації алгоритмів цифрової обробки сигналів до умов наявності різного типу шумів, що особливо важливо для телекомунікаційних систем, працюючих у складних радіоелектронних умовах.

Застосування підходів до оцінки та компенсації впливу шумів дозволяє підвищити точність вимірювань, зменшити похибки при передаванні інформації, а також вдосконалити засоби захисту сигналів від завад природного та штучного походження.

У перспективі подальші дослідження можуть бути спрямовані на розробку адаптивних фільтрів та алгоритмів шумозаглушення з урахуванням типу завад, а також на використання методів машинного навчання для класифікації сигналів за типом завади.

Крім того, доцільно вивчити комбіновану дію декількох типів шумів одночасно, а також вплив нелінійних властивостей радіоканалів на результативність метрологічного контролю параметрів сигналу.

Загалом результати роботи сприяють розвитку наукових підходів до моделювання та аналізу сигналів у стохастичних умовах, що має значення для вдосконалення технологій в таких сферах, як цифрове телебачення, мобільний зв'язок, су-

путникові комунікації, системи навігації та радіолокація.

Список використаних джерел

1. International Telecommunication Union. Methods for determining the effects of interference on the performance and the availability of terrestrial radio-relay systems and systems in the fixed-satellite service. Recommendation ITU-R SF.766. Geneva: ITU, 1992. URL: https://standards.globalspec.com/std/169371/sf-766

2. Kostenko P., Slobodyanuk V. Nonparametric Method of Doppler Frequency Estimation Taking into Account Deformation of Envelope and Center Frequency Shift of Signal Distorted by Multiplicative Interference. Radioelectronics and Communications Systems. 2023;66(7):356–371. URL: https://www.researchgate.net/publication/382955408_Nonparametric_Method_of_Doppler_Frequency_Estimation_Taking_into_Account_Deformation_of_Envelope_and_Center_Frequency_Shift_of_Signal_Distorted_by_Multiplicative_Interference

3. Бобало Ю. Я., Бондарєв А. П., Недоступ Л. А., Кіселичник М. Д., Заярнюк П. М. Прогнозування параметричної надійності радіоелектронної апаратури з урахуванням двостороннього обмеження детермінованого дрейфу параметрів. Технологічний аудит та резерви виробництва. 2015;(3/2(23)):79–83.

4. Kulikov G., Tambovskii S., Savvateev Y., Starikovskii A. On the Interference Immunity of Minimum-Shift Keying Signal Reception in the Presence of Nonfluctuating Interference. Journal of Communications Technology and Electronics. 2019;64(2):147–152. URL: https://www.researchgate.net/publication/333288140_On_the_Interference_Immunity_of_Minimum-ift_Keying_Signal_Reception_in_the_Presence_of_Nonfluctuating_Interference

5. Sidorkina Y., Sizykh V., Shakhtarin B., Shevtsev V. Costas Circuit under the Action of Additive Harmonic Interferences and Wideband Noise. Journal of Communications Technology and Electronics. 2016;61(7):807–816. URL: https://www.researchgate.net/publication/305486915_Costas_circuit_under_the_action_of_additive_harmonic_interferences_and_wideband_noise

6. Shakhtarin B.I. Statistical Dynamics of the Phase-Locked Loop under the Action of Harmonic Interference and Noise. Journal of Communications Technology and Electronics. 2012;57(8):783–790. URL: https://www.researchgate.net/publication/257857619_Statistical_dynamics_of_the_phase-locked_loop_under_the_action_of_harmonic_interference_and_noise

7. Deshmukh M., Zafaruddin S.M., Mihovska A., Prasad R. Stochastic-Geometry Based Characterization of Aggregate Interference in TVWS Cognitive Radio Networks. arXiv preprint arXiv: 1806.10450. 2018. URL: https://arxiv.org/pdf/1806.10450

8. Kostenko P.Y., Falkovich S.Y. Foundations of Statistical Theory of Information-Measuring Radio-Engineering Systems. Kharkiv: KhNUPS; 2021. URL: https://radioelektronika.org/article/view/S0735272724050029

9. Slobodyanuk V. Nonparametric Method for Estimating the Doppler Frequency of a Wideband Signal Distorted by Additive Noise with Unknown Probability Distribution Density. Information Processing Systems. 2022;(4(171)):62–75. URL: https://www.researchgate.net/publication/382955408_Nonparametric_Method_of_Doppler_Frequency_Estimation_Taking_into_Account_Deformation_of_Envelope_and_Center_Frequency_Shift_of_Signal_Distorted_by_Multiplicative_Interference

10. Upreti, A. Verma A Comparative Analysis of LSB & DCT BasedSteganographicTechniques: Confidentiality,ContemporaryState, and Future Challenges, 2023. 111- 121. URL: https://www.researchgate.net/publication/377731669_A_Comparative_Analysis_of_LSB_DCT_Based_Steganographic_Techniques_Confidentiality_Contemporary_State_and_Future_Challenges

11. Torrieri D. Principles of spread-spectrum communication systems. Springer Science, 2016. 457 p. URL https://uodiyala.edu.iq/uploads/ PDF%20ELIBRARY%20UODIYALA/EL37/Principles%20of%20Spread-Spectrum%20Communication%20Systems.pdf

12. ДСТУ 9005:2020 Метрологія. Системи вимірювання тривалості телефонних розмов центрів комутації мобільного зв'язку. Початок дії 01.07.2021. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=90156

References

1. International Telecommunication Union. Methods for determining the effects of interference on the performance and the availability of terrestrial radio-relay systems and systems in the fixed-satellite service. Recommendation ITU-R SF.766. Geneva: ITU, 1992. URL: https://standards.globalspec. com/std/169371/sf-766

2. Kostenko P., Slobodyanuk V. Nonparametric Method of Doppler Frequency Estimation Taking into Account Deformation of Envelope and Center Frequency Shift of Signal Distorted by Multiplicative Interference. Radioelectronics and Communications Systems. 2023;66(7):356–371.

URL: https://www.researchgate.net/publication/382955408_Nonparametric_Method_of_Doppler_Frequency_Estimation_Taking_into_Account_Deformation_of_Envelope_and_Center_Frequency_Shift_of_Signal_Distorted_by_Multiplicative_Interference

3. Bobalo YU. YA., Bondaryev A. P., Nedostup L. A., Kiselychnyk M. D., Zayarnyuk P. M. Prohnozuvannya parametrychnoyi nadiynosti radioelektronnoyi aparatury z urakhuvannyam dvostoronn′oho obmezhennya determinovanoho dreyfu parametriv. Tekhnolohichnyy audyt ta rezervy vyrobnytstva. 2015;(3/2(23)):79–83.

4. Kulikov G., Tambovskii S., Savvateev Y., Starikovskii A. On the Interference Immunity of Minimum-Shift Keying Signal Reception in the Presence of Nonfluctuating Interference. Journal of Communications Technology and Electronics. 2019;64(2):147–152. URL: https://www.researchgate.net/publication/333288140_On_the_Interference__Immunity_of_Minimum-Shift_Keying_Signal_Reception_in_the_Presence_of_Nonfluctuating_Interference

5. Sidorkina Y., Sizykh V., Shakhtarin B., Shevtsev V. Costas Circuit under the Action of Additive Harmonic Interferences and Wideband Noise. Journal of Communications Technology and Electronics. 2016;61(7):807–816. URL: https://www.researchgate.net/publication/305486915_Costas_circuit_under_the_action_of_additive_harmonic_interferences_and_wideband_noise

6. Shakhtarin B.I. Statistical Dynamics of the Phase-Locked Loop under the Action of Harmonic Interference and Noise. Journal of Communications Technology and Electronics. 2012;57(8):783–790. URL: https://www.researchgate.net/publication/257857619_Statistical_dynamics_of_the_phase-locked_loop_under_the_action_of_harmonic_interference_and_noise

7. Deshmukh M., Zafaruddin S.M., Mihovska A., Prasad R. Stochastic-Geometry Based Characterization of Aggregate Interference in TVWS Cognitive Radio Networks. arXiv preprint arXiv:1806.10450. 2018. URL: https://arxiv.org/pdf/1806.10450

8. Kostenko P.Y., Falkovich S.Y. Foundations of Statistical Theory of Information-Measuring Radio-Engineering Systems. Kharkiv: KhNUPS; 2021. URL: https://radioelektronika.org/article/view/S0735272724050029

9. Slobodyanuk V. Nonparametric Method for Estimating the Doppler Frequency of a Wideband Signal Distorted by Additive Noise with Unknown Probability Distribution Density. Information Processing Systems. 2022;(4(171)):62–75. URL: https://www.researchgate.net/publication/382955408_Nonparametric_Method_of_Doppler_Frequency_Estimation_Taking_into_Account_Deformation_of_Envelope_and_Center_Frequency_Shift_of_Signal_Distorted_by_Multiplicative_Interference

10. Upreti, A. Verma A Comparative Analysis of LSB & DCT BasedSteganographicTechniques: Confidentiality,ContemporaryState, and Future Challenges, 2023. 111- 121. URL: https://www.researchgate.net/publication/377731669_A_Comparative_Analysis_of_LSB_DCT_Based_Steganographic_Techniques_Confidentiality_Contemporary_State_and_Future_Challenges

11. Torrieri D. Principles of spread-spectrum communication systems. Springer Science, 2016. 457 p. URL https://uodiyala.edu.iq/uploads/PDF%20ELIBRARY%20UODIYALA/EL37/Principles_%20of%20Spread-Spectrum%20Communication%20Systems.pdf

12. DSTU 9005:2020 Metrolohiya. Systemy vymiryuvannya tryvalosti telefonnykh rozmov tsentriv komutatsiyi mobil′noho zv″yazku. Pochatok diyi 01.07.2021. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/docpage.html?id_doc=90156

Надійшла до редакції 12.03.2025

УДК 006.92

В. В. Козловський, д.т.н., **С. Ф. Філоненко,** д.т.н., **О. В. Червотока**

ДНП Державний університет «Київський авіаційний інститут», м. Київ

КАЛІБРУВАННЯ ПРИЛАДУ ТА ВИЗНАЧЕННЯ ДІЙСНОГО ЗНАЧЕННЯ ЧАСТОТИ (СТАНДАРТУ ЧАСТОТИ)

Ця стаття розглядає методи, інструменти та стандарти для точного вимірювання частоти, в метрологічних дослідженнях та стандартизації, що є актуальними для національних та міжнародних стандартів. Огляд включає загальні підходи до вимірювань, базові принципи метрологічної перевірки, стандарти точності та специфічні техніки обробки результатів. Кожне вимірювання супроводжується похибкою, що має, як систематичну, так і випадкову складові.

У статті розглянуто методи забезпечення точності при вимірюванні частоти, основи метро-