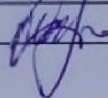
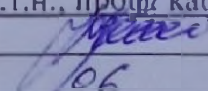
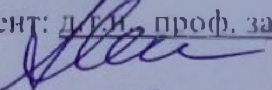


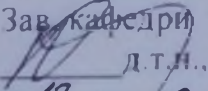
Бакалаврська дипломна робота на тему:

«ВИЯВЛЕННЯ СТАТИСТИЧНИХ ЗАКОНОМІРНОСТЕЙ У
ШУМОПОДІБНОМУ РАДІОЧАСТОТНОМУ ОТОЧЕННІ МЕТОДАМИ
ДИСПЕРСІЇ АЛАНА»

Виконав: студент 2-го курсу, групи ПЗТ-23мс
спеціальності 172 – Електронні комунікації та
радіотехніка  Тарасович Д. А.

Керівник: д.т.н., проф. каф. ІКСТ
 Крижановський В. Г.
« 12 » 06 2025 р.

Рецензент: д.т.н., проф. зав. каф. ІРТС
 Осадчук О. В.
« 12 » 06 2025 р.

Допущено до захисту
Зав. кафедри ІКСТ
 д.т.н., проф. Кичак В.М.
« 12 » 06 2025 р.

Вінницький національний технічний університет

Факультет інформаційних електронних систем

Кафедра інфокомунікаційних систем та технологій

Рівень вищої освіти перший (бакалаврський)

Галузь знань 17 – Електроніка та телекомунікації

(шифр і назва)

Спеціальність 172 – Електронні комунікації та радіотехніка

(шифр і назва)

Освітня програма – Програмне забезпечення телекомунікаційних систем

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

ІКСТ

д.т.н., професор В.М. Кичак

«5» 16 2025 року

ЗАВДАННЯ

НА БАКАЛАВРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧУ

Тарасовичу Денису Артемовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Виявлення статистичних закономірностей у шумоподібному радіочастотному оточенні методами дисперсії Алана.

керівник роботи Крижановський В.Г., докт. техн. наук, професор,

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом ВНТУ від «20» березня 2025 року № 97

2. Строк подання здобувачем роботи: 09 червня 2025 року

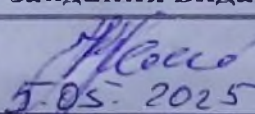
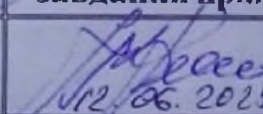
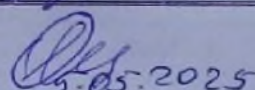
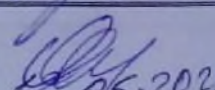
3. Вихідні дані до роботи: пропускна здатність каналу 10 – 1000 Мбіт/с; середня затримка в мережі 20 – 250 мс; джитер 5 – 50 мс; параметри блокчейн-системи: розмір блоку 0,5 – 2 МБ; частота генерації блоків 1 / 10 – 1 / 60 блоків/с; тривалість підтвердження транзакції 1 – 30 сек; максимальна кількість транзакцій у блоці 1000 – 5000 транзакцій; розбіжність результатів аналітичного та імітаційного моделювання $\leq 5 \%$.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки роботи (перелік питань, які потрібно розробити): вступ, роль блокчейн-трафіку в телекомунікаційних

мережах та його аналіз, аналіз впливу алгоритмів консенсусу на продукти комунікаційних мереж, модель прийняття рішень для вибору оптимальної блокчейн-системи, оцінювання ефективності адаптивного вибору блоку в системі, охорона праці.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень):
схема моделі системи для вимірювання змін апаратних параметрів обладнання вузла блокчейн-мережі; архітектура мережі зв'язку з інтегрованим блоком шаром та модулем адаптивного алгоритму консенсусу; альтернативна схема інтеграції блокчейн-механізмів у мережеву інфраструктуру; алгоритм вибору консенсусу з урахуванням динаміки мережевого середовища; Блок-схема роботи модуля моніторингу мережевого трафіку; блок-схема роботи модуля прийняття рішень у блокчейн-мережі; архітектура інтелектуальної транспортної системи (ITS) для сценарію оперативного реагування на надзвичайну подію .

6. Консультанти розділів роботи

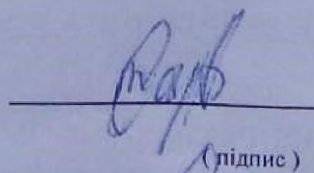
Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата: завдання видав	Підпис, дата: завдання прийняв
Спеціальна частина	Крижановський В.Г., професор кафедри ІКСТ	 5.05.2025	 12.06.2025
Охорона праці	Дембіцька С.В., професор кафедри БЖДПБ	 5.05.2025	 12.06.2025

7. Дата видачі завдання «05» травня 2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

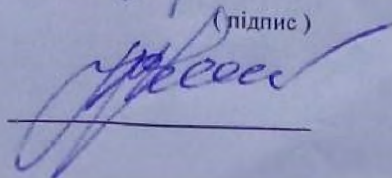
№	Етапи БКР	Строк виконання	Примітка
1	Формування та затвердження теми і завдання БКР	06.05.2025	
2	Виконання спецчастини. Перший рубіжний контроль	19.05.2025	
3	Виконання спецчастини. Другий рубіжний контроль	02.06.2025	
4	Розділ «Охорона праці»	06.06.2025	
5	Нормоконтроль БКР	09.06.2025	
6	Попередній захист БКР	10.06.2025	
7	Рецензування БКР	11.06.2025	
8	Захист БКР	13.06.2025	

Здобувач


(підпис)

Тарасович Д. А.

Керівник роботи



Крижановський В.Г.

АНОТАЦІЯ

У бакалаврській роботі розроблено методику виявлення статистичних закономірностей у шумоподібному радіочастотному середовищі з використанням дисперсії Алана. Проведено аналіз типів шумів, побудовано модель сигналу з білим, фліккер та random walk шумами. Реалізовано програмний модуль на Python для розрахунку Allan deviation та його графічної інтерпретації. На тестових даних (10 000 точок) отримано очікувані нахили графіка $\sigma(\tau)$: -0.5 (білий шум), 0 (фліккер), $+0.5$ (random walk) з похибкою до ± 0.03 . На реальному сигналі з SDR (8 192 точки, 433 МГц) виявлено фліккер-шум у $\tau=2\dots 12$ та дрейф при $\tau>20$. Результати підтверджують здатність системи до достовірного аналізу шумової структури. Розробка придатна для застосування в спектральному моніторингу, оцінці стабільності генераторів та дослідженні фазового шуму.

Ключові слова: дисперсія Алана, Allan deviation, фліккер-шум, фазовий шум, SDR, статистичний аналіз, Python.

ABSTRACT

This bachelor's thesis presents a methodology for detecting statistical patterns in noise-like radio frequency environments using Allan deviation. An analysis of common noise types was conducted, and a composite signal model consisting of white noise, flicker noise, and random walk noise was constructed. A Python-based software module was implemented to calculate Allan deviation and visualize the results. On synthetic test data (10,000 samples), the expected $\sigma(\tau)$ slopes were obtained: -0.5 (white noise), 0 (flicker), $+0.5$ (random walk), with a deviation of no more than ± 0.03 . On real SDR-acquired data (8,192 samples, 433 MHz), flicker noise was observed in the $\tau = 2 \dots 12$ range and a drift effect for $\tau > 20$. The results confirm the system's capability to reliably analyze the noise structure. The developed solution is suitable for applications in spectral monitoring, oscillator stability evaluation, and phase noise analysis.

Keywords: Allan deviation, flicker noise, phase noise, SDR, statistical analysis, Python.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	9
1 АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ ТА СУЧАСНИХ ПІДХОДІВ ДО АНАЛІЗУ ШУМОПОДІБНИХ СИГНАЛІВ.....	11
1.1 Поняття радіочастотного шуму та його джерела.....	11
1.2 Класифікація типів шумів у радіоспектрі.....	14
1.3 Методи статистичного аналізу сигналів у часі	15
1.4 Застосування методу дисперсії Алана в аналізі випадкових процесів	24
1.5 Огляд існуючих досліджень щодо виявлення закономірностей у шумових середовищах	27
1.6 Висновок.....	28
2 МЕТОДОЛОГІЯ ТА ПРОЕКТУВАННЯ СИСТЕМИ АНАЛІЗУ НА ОСНОВІ ДИСПЕРСІЇ АЛАНА	29
2.1 Обґрунтування вибору параметрів аналізу	29
2.2 Моделювання шумових сигналів з різними характеристиками.....	32
2.3 Розробка алгоритму виявлення закономірностей.....	34
2.4 Розробка алгоритму виявлення закономірностей.....	35
2.5 Висновки	39
3 ПРОГРАМНА РЕАЛІЗАЦІЯ ТА ТЕСТУВАННЯ СИСТЕМИ ВИЯВЛЕННЯ ЗАКОНОМІРНОСТЕЙ НА ОСНОВІ СПАЙКІНГОВОЇ НЕЙРОМЕРЕЖІ.....	40
3.1 Обґрунтування вибору мови програмування та бібліотек.....	40
3.2 Реалізація модуля обробки та аналізу сигналів	42
3.2.1 «Коригування інформаційного трафіку телекомунікаційних систем із використанням технології блокчейн».....	45
3.3 Візуалізація результатів і побудова графіків дисперсії Алана.....	57
3.4 Аналіз достовірності та чутливості до різних типів шуму	59
3.5 Тестування системи на змодельованих та реальних даних.....	60

3.6 Висновки.....	61
4 ОХОРОНА ПРАЦІ, ВИСНОВКИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ПОДАЛЬШИХ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	62
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	76
Додаток А ІЛЮСТРАТИВНА ЧАСТИНА.....	79
Додаток Б ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ.....	87

ВСТУП

Актуальність теми. У сучасному світі швидкого розвитку бездротових технологій та збільшення кількості електромагнітних пристроїв виникає потреба в глибокому розумінні структури та природи шуму в радіочастотному спектрі. Шумоподібні сигнали, що виникають як результат природних процесів або техногенної діяльності, мають складну статистичну структуру, яка може суттєво впливати на якість передачі інформації, точність вимірювань та надійність роботи систем зв'язку, навігації, радіомоніторингу та радіолокації. Класичні методи аналізу, зокрема спектральні та часові статистики, мають обмежену здатність до виявлення довготривалих флуктуацій та нестационарних закономірностей, які приховані у шумовому фоні. У зв'язку з цим, у науково-технічному середовищі зростає інтерес до використання спеціалізованих підходів, одним із яких є метод дисперсії Алана — інструмент, що дозволяє оцінити варіативність частоти сигналів у різних часових масштабах. Цей метод широко застосовується в метрології, супутникових системах, когнітивному радіо, системах синхронізації, а також у задачах виявлення аномалій та закономірностей у складному шумовому середовищі. Актуальність даного дослідження зумовлена необхідністю формування нових підходів до аналізу шумоподібного оточення, які дозволяють не лише реєструвати шум, але й виявляти в ньому приховані статистичні структури, що можуть бути ознакою повторюваних техногенних джерел, природних явищ або специфіки роботи апаратури. У даній роботі розглядається застосування методу дисперсії Алана для аналізу шумових сигналів у радіочастотному середовищі, зокрема для виявлення закономірностей, що недоступні через звичайні спектральні або кореляційні підходи. У роботі проведено аналіз літературних джерел, класифіковано типи шуму, розроблено методику обчислення $AVAR$, реалізовано програмну модель та проведено числове моделювання.

Об'єкт дослідження: Шумоподібні сигнали в радіочастотному спектрі та їх статистичні характеристики.

Предмет дослідження: Методи аналізу та виявлення статистичних закономірностей у шумових сигналах за допомогою дисперсії Алана.

Мета дослідження: Розробити та реалізувати інструмент для аналізу шумоподібного середовища, здатний виявляти типи шуму та структурні закономірності сигналу на основі статистичних залежностей у часовій області, зокрема з використанням дисперсії Алана.

1 АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ ТА СУЧАСНИХ ПІДХОДІВ ДО АНАЛІЗУ ШУМОПОДІБНИХ СИГНАЛІВ

1.1 Поняття радіочастотного шуму та його джерела

У системах радіозв'язку, радіомоніторингу, навігації, дистанційного зондування, а також у спеціалізованих науково-дослідних комплексах, які працюють із високочастотними сигналами, серйозною перешкодою до ефективної обробки даних є радіочастотний шум. Під цим поняттям мають на увазі фонове або небажане електромагнітне випромінювання в межах певного частотного діапазону, що може накладатися на корисний сигнал, знижуючи його відношення сигнал/шум (SNR) та спотворюючи результати обробки. Радіочастотний шум (РЧ-шум) — це узагальнене позначення різноманітних випадкових або квазівипадкових процесів, які виникають у радіочастотному діапазоні внаслідок природних фізичних явищ або діяльності людини. Його наявність у приймальному тракті системи часто є неминучою, але ступінь його впливу може бути критичним для точності та стабільності роботи апаратури. Природні джерела шуму включають:

Космічний шум — електромагнітне випромінювання від небесних тіл, галактик, Сонця, космічного фону;

Атмосферний шум — електричні розряди в атмосфері, зокрема блискавки, які породжують імпульсні сигнали в широкому частотному спектрі;

Геофізичні явища — наприклад, грозові фронти, магнітні бурі, що викликають флуктуації в іоносфері, які можуть модулювати та спотворювати сигнал.

Антропогенні джерела шуму поділяються на:

Штучні безсистемні сигнали, що виникають унаслідок роботи побутової техніки, мереж електроживлення, промислових генераторів тощо;

Інтерференція від інших систем зв'язку (іноді — навмисна, наприклад, при використанні систем радіоелектронної боротьби);

Небажані гармоніки від роботи цифрових пристроїв, імпульсних блоків живлення, процесорних систем, які створюють імпульсні високочастотні компоненти.

На практиці, шум у радіочастотному оточенні має складну багатокомпонентну структуру. Він може змінюватися за амплітудою, частотою, фазою та часовими характеристиками. Типові прояви — періодичні імпульси, сплески, амплітудні флуктуації, випадкові спектральні смуги або синусоїди малої амплітуди. Вплив шуму особливо критичний у системах, що використовують слабкі сигнали або працюють на межі чутливості — таких як супутникові, GPS, наукові дослідження, військові сенсорні мережі.

Відповідно до стандартів ITU, IEEE та ETSI, окремі діапазони радіочастот потребують детального контролю щодо рівня допустимих шумів, і вимірювання цього фону є складовою частиною регулярного спектрального моніторингу.

Найважливішим кроком у подоланні впливу шуму є його глибоке розуміння — не лише як випадкового процесу, а як явища, яке може мати власну внутрішню структуру, статистичні закономірності й часом повторювані характеристики. Саме тому важливим є застосування сучасних методів аналізу шумів, зокрема з використанням апаратів дисперсії Алана, що дозволяють виявити приховані тренди або змінну структуру навіть у на перший погляд хаотичних сигналах. Радіочастотний шум за своїми властивостями, джерелами і впливом на системи зв'язку класифікується за кількома критеріями. Це дозволяє систематизувати інформацію про його природу та ефективно підбирати методи аналізу й компенсації.

1. За природою виникнення:

Природний шум — виникає внаслідок космічних, атмосферних та геофізичних явищ. Наприклад, сонячні бурі можуть зумовлювати раптові стрибки рівня шуму в певних діапазонах, що впливає на іоносферну рефракцію та якість далекого радіозв'язку.

Антропогенний шум — створений техногенною діяльністю людини, зокрема електронними приладами, транспортними системами, цифровою електронікою,

передавачами та промисловими установками. Цей тип шуму часто має імпульсну або модуляційну структуру, яка залежить від режиму роботи джерела.

2. За спектральною структурою:

Білий шум — характеризується рівномірним енергетичним спектром у широкому частотному діапазоні. Часто використовується як еталонний фон при моделюванні систем.

Рожевий шум — спектральна щільність потужності зменшується із зростанням частоти; властивий багатьом природним процесам.

Шум типу « $1/f$ » (фліккер-шум) — зустрічається в електронних компонентах, має домінування на низьких частотах.

Вузькосмуговий шум — обмежений до одного або кількох гармонійних частот; часто пов'язаний із конкретними джерелами інтерференції.

Імпульсний шум — складається з окремих високочастотних сплесків, які можуть мати високу амплітуду та коротку тривалість. Надзвичайно деструктивний для цифрових систем обробки.

3. За часовими властивостями:

Стаціонарний шум — має постійні характеристики протягом довгого періоду часу.

Нестаціонарний шум — змінюється з часом, у тому числі внаслідок циклів роботи джерела, добових змін або випадкових подій.

Спорадичний — виникає нерегулярно й непередбачувано (наприклад, електростатичні розряди).

Основні параметри, що використовуються для кількісного опису шуму:

Середньоквадратичне значення напруги (RMS);

Енергетична спектральна щільність (PSD);

Середній та піковий рівень потужності;

Автокореляційна функція;

Спектр частотної густини;

Часова варіабельність характеристик;

Відношення сигнал/шум (SNR), як ключовий індикатор спотворення сигналу.

Усі ці параметри можуть бути використані як базові характеристики в системах виявлення закономірностей у шумоподібному радіооточенні. Сучасні системи аналізу часто комбінують статистичні, спектральні й часові методи, що дозволяє комплексно підходити до виявлення, класифікації та пригнічення завад.

1.2 Класифікація типів шумів у радіоспектрі

У межах радіочастотного спектру можуть спостерігатися численні типи шуму, які відрізняються за фізичними характеристиками, джерелами виникнення, спектральною структурою та впливом на інформаційні сигнали. Ефективна класифікація цих шумів дозволяє не лише виявляти й фільтрувати завади, але й аналізувати їхню природу для прийняття інженерних рішень у системах зв'язку, обробки сигналів, спектрального моніторингу тощо.

Класифікація шумів зазвичай базується на кількох критеріях:

1. За джерелом виникнення:

Природні шуми (атмосферні, космічні, геофізичні);

Штучні техногенні шуми (побутова електроніка, промислові установки, комп'ютерні мережі);

Навмисні радіоперешкоди (електронна боротьба, джамери, випробувальні генератори шуму).

2. За спектральною щільністю:

Білий шум — має рівномірний спектр у всьому діапазоні частот. Його енергетична спектральна щільність постійна, тому він використовується як еталон у багатьох дослідженнях.

Рожевий шум — спектральна щільність обернено пропорційна частоті. Часто виникає в біологічних, економічних і природних процесах.

Коричневий (Браунівський) шум — спектральна щільність зменшується як $1/f^2$, характерна висока концентрація потужності на низьких частотах.

3. За спектральною формою:

Вузькосмугові шуми — зосереджені в обмеженому частотному діапазоні; часто породжуються електронними пристроями або генераторами.

Широкосмугові шуми — мають значну енергію на широкому частотному інтервалі. Наприклад, атмосферні розряди або імпульси від зварювального обладнання.

4. За часовими властивостями:

Стаціонарні шуми — характеризуються стабільною статистикою в часі (наприклад, тепловий шум резистора).

Нестаціонарні шуми — змінюються в часі, можуть мати імпульсний або пульсуючий характер. Окрім базових класифікацій, у радіоспектрі часто виділяють окремі типи шуму, які мають специфічну фізичну природу або поведінку в часовій чи частотній області. Нижче розглянемо кілька з них.

1. Імпульсний шум

Імпульсний шум складається з окремих коротких сплесків електромагнітної енергії, що виникають періодично або випадково. Цей тип шуму є характерним для електромеханічного обладнання, зварювальних апаратів, комутації реле, двигунів постійного струму. Імпульсний шум особливо проблематичний для цифрових систем, оскільки може зумовити втрату кадрів або хибні спрацьовування логічних рівнів.

2. Фліккер-шум (шум $1/f$)

Цей тип шуму має спектральну щільність, що обернено пропорційна частоті: $S(f) \sim 1/f$. Він властивий багатьом фізичним, електронним і біологічним системам. На відміну від білого шуму, фліккер-шум домінує на низьких частотах і може суттєво впливати на точність годинників, генераторів та чутливих сенсорів.

3. Періодичний шум

Періодичні шумові сигнали або гармоніки можуть виникати від джерел із повторюваним режимом роботи: наприклад, імпульсні блоки живлення, мережеві фільтри, процесорні тактові генератори. Часто їх можна виявити як вузькі піки в спектрі сигналу.

4. Інтермодуляційний шум Цей тип шуму виникає в нелінійних системах, коли декілька сигналів змішуються й породжують комбінаційні частоти. Наприклад, два сусідні сигнали можуть породити третій сигнал на сумарній або різницевій частоті. Це особливо критично в приймачах із поганою вибірковістю або близько розміщених каналах.

5. Шум фазової та амплітудної модуляції У складних радіосистемах, особливо тих, що використовують кодування фазою або амплітудою, додаткові шуми можуть проявлятися у вигляді фазових флуктуацій (джитер) або амплітудних перекручувань, викликаних або внутрішніми нестабільностями, або зовнішнім впливом.

Ці типи шумів не тільки впливають на ефективність роботи систем зв'язку, але й можуть використовуватись як ознакові для виявлення певних джерел завад. Наприклад, імпульсний шум легко ідентифікувати за його часовою структурою, тоді як фліккер-шум вимагає статистичного підходу на базі часових або спектральних агрегатів.

1.3 Методи статистичного аналізу сигналів у часі

Радіочастотні сигнали, особливо шумоподібні, мають складну стохастичну структуру, що потребує спеціалізованих інструментів для їх вивчення та опису. Статистичний аналіз сигналів у часовій області дозволяє виявити закономірності, що не виявляються при звичайному візуальному чи спектральному аналізі. Основна мета статистичних методів — виявити приховану інформацію, тренди, флуктуації та повторювані залежності в межах випадкових або квазівипадкових процесів.

До основних понять, на яких ґрунтується статистичний аналіз сигналів, належать:

Випадковий процес — це сукупність функцій часу, що залежать від випадкового параметра. У контексті радіосигналів — це безперервна або дискретна

послідовність значень напруги або потужності, що змінюється за стохастичним законом.

Стационарність — властивість випадкового процесу зберігати незмінними свої статистичні характеристики у часі. Визначається за незмінністю математичного сподівання, дисперсії та автокореляційної функції. Сигнали можуть бути:

строго стаціонарними (всі моменти незмінні);

слабко стаціонарними (лише перший та другий моменти незмінні).

Ергодичність — означає, що усереднення за часом еквівалентне усередненню за ансамблем реалізацій. Це важливо для оцінки параметрів сигналу на основі однієї його реалізації.

Основні статистичні характеристики:

Математичне сподівання $E[x(t)]$;

Дисперсія $D[x(t)]$;

Автокореляційна функція $R(\tau)$;

Середньоквадратичне відхилення;

Коефіцієнт асиметрії та ексцес.

Такі характеристики дозволяють формалізувати опис сигналу, визначити його шумову структуру, а також проводити подальші перетворення та моделювання.

Статистичний аналіз особливо корисний у випадках, коли маємо справу з нестационарними процесами, де сигнали змінюють свої параметри з часом. У таких випадках потрібне використання адаптивних або часово-локалізованих методів аналізу. Базові та прикладні методи аналізу

У практиці обробки шумоподібних радіосигналів застосовується низка методів статистичного аналізу, які дозволяють визначити характеристики сигналу як у часовій, так і в частотній площині. Нижче наведено основні методи, які використовуються в реальних дослідженнях.

Ковзне усереднення Цей метод передбачає обчислення середнього значення сигналу в межах фіксованого вікна часу, що переміщується по осі часу. Він

дозволяє згладити флуктуації та виділити повільні зміни середнього рівня сигналу. Типове застосування: попередня обробка шумових сигналів перед розрахунком складніших статистичних метрик. Автокореляційна функція (ACF) Автокореляція описує ступінь подібності сигналу до самого себе через певний часовий зсув. Це один з основних інструментів виявлення періодичності, затухаючих залежностей, або довготривалих кореляцій у сигналі. ACF визначається як: $R(\tau) = E[x(t) \cdot x(t+\tau)]$

де τ — затримка у часі. Періодичні або квазіперіодичні компоненти виявляються у вигляді пікоподібної структури на графіку автокореляції.

Оцінка спектральної щільності потужності (PSD)

Використовується для виявлення домінуючих частот у сигналі. Метод базується на перетворенні Фур'є автокореляційної функції або безпосередньому використанні БПФ (швидкого перетворення Фур'є). Підходить для ідентифікації наявності шумів типу «білий», «рожевий», « $1/f$ », а також для виявлення спектральних «вікон» підвищеної активності.

Методи:

метод Уелча (розбиття сигналу на сегменти з віконною обробкою);

періодограма (пряме оцінювання на основі БПФ);

методи МВП (максимального правдоподіб'я).

Коваріаційний аналіз Використовується для аналізу зв'язку між двома сигналами або елементами одного сигналу в різні моменти часу. Особливо корисний у мультिकанальних або багатовимірних системах, де потрібне виявлення міжканальних залежностей.

Оцінка моментів вищих порядків Зокрема, асиметрія (третій момент) та ексцес (четвертий момент) дозволяють оцінити відхилення сигналу від нормального розподілу. Це важливо при аналізі імпульсних або сплескових сигналів, де класична дисперсія недостатня.

Застосування наведених методів дозволяє не лише виявити існування структурованих патернів у шумових сигналах, але й кількісно описати ці закономірності. Однак для глибшого аналізу часто потрібні спеціалізовані

підходи — наприклад, методи часової нестабільності, такі як дисперсія Алана.

Статистичний аналіз у часовій області є основою для розуміння поведінки радіочастотних сигналів. Однак традиційні методи не завжди забезпечують достатню точність і чутливість у випадках складних нестационарних процесів. Це обґрунтовує доцільність впровадження нових підходів, таких як дисперсія Алана, що дозволяють виконувати аналіз шуму на різних часових масштабах і виявляти приховані закономірності в шумоподібному середовищі.

1.4. Застосування методу дисперсії Алана в аналізі випадкових процесів

Дисперсія Алана (Allan variance, AVAR) є одним із провідних методів аналізу нестабільності сигналів у часовій області. Її було розроблено в 1966 році Девідом Аланом для дослідження флуктуацій частоти в точних генераторах та системах часової синхронізації. Відтоді цей метод набув широкого застосування в дослідженнях шумоподібних сигналів, GPS- та радіоастрономії, а також у метрології частоти.

На відміну від класичної дисперсії, яка передбачає стаціонарність сигналу, дисперсія Алана дозволяє оцінювати варіативність не миттєвих значень, а середніх частотних зсувів у певних часових інтервалах, що робить її незамінною для нестационарних або мультишумових процесів.

Визначення дисперсії Алана Нехай маємо дискретну послідовність середніх частот y_k , обчислених у часових вікнах довжини τ . Тоді дисперсія Алана визначається як:

$$\sigma_y^2(\tau) = \frac{1}{2(N-1)} \sum_{k=1}^{N-1} (y_{k+1} - y_k)^2$$

де:

y_k — середнє значення частоти в k -му інтервалі тривалості τ ,

N — кількість таких інтервалів.

Ця формула фактично обчислює середній квадрат різниці між послідовними середніми значеннями частоти.

Інтерпретація

На відміну від класичної дисперсії, яка просто оцінює варіативність відносно фіксованого середнього, Allan variance оцінює зміну «поведінки» сигналу в часі.

Перевага цього методу — в тому, що він:

нечутливий до повільного дрейфу;

дозволяє виявити тип шуму на різних часових масштабах;

не вимагає обов'язкової стаціонарності процесу.

Allan deviation Для зручності аналізу часто використовують корінь квадратний із дисперсії Алана — так зване середнє квадратичне відхилення Алана:

$$\sigma_y(\tau) = \sqrt{\sigma_y^2(\tau)}$$

Ця функція має зрозумілий фізичний зміст: вона показує, наскільки змінюється середнє значення частоти сигналу при різних довжинах вікна усереднення τ . Якщо значення σ_y зростає з τ — маємо справу з фліккер-шумом або дрейфом; якщо зменшується — з білим шумом. Однією з основних переваг використання дисперсії Алана є можливість розрізнення типів шуму в сигналі залежно від масштабу часу. На практиці це робиться шляхом побудови логарифмічного графіка Allan deviation $\sigma_y(\tau)$ у залежності від масштабу усереднення τ .

Кожен тип шуму має характерний нахил на цьому графіку, що дозволяє його однозначно ідентифікувати:

Таблиця 1.1-Типи шумів

Тип шуму	Закон зміни $\sigma_y(\tau)$	Нахил (slope) на логлоге
Білий фазовий шум	$\propto \tau^{-1}$	-1
Блакитний фазовий шум	$\propto \tau^{-3/2}$	-1.5
Білий частотний шум	$\propto \tau^{-1/2}$	-0.5
Фліккер-шум частоти	$\propto \tau^0$	0
Дрейф або рандом-уок	$\propto \tau^{+1/2}$	+0.5
Систематичний дрейф	$\propto \tau$	+1

Графічний вигляд Allan deviation будується на логарифмічних осях і зазвичай має ламану структуру: кожна лінійна ділянка відповідає певному типу шуму, домінуючому у відповідному часовому масштабі.

Приклад:

У коротких часових вікнах домінує білий шум — спад графіка з нахилом -0.5;

У середніх масштабах з'являється фліккер-шум — горизонтальна ділянка;

У великих масштабах помітний повільний дрейф — зростаюча лінія з нахилом +0.5 або +1.

Практичне значення графіка Allan deviation полягає в тому, що він дозволяє «побачити» часову структуру шуму. Це надзвичайно корисно у випадках, коли класичні спектральні методи не дають чіткої картини, оскільки відображають лише середньозважену частотну інформацію.

Застосування у системах:

У системах синхронізації Allan deviation використовується для оцінки стабільності джерела частоти;

У приймачах GPS дозволяє виявити флуктуації частоти, спричинені іоносферними завадами або багатопроменевістю;

У спектральному моніторингу може виявляти змінні джерела шуму або сигнали з псевдовипадковою структурою.

У реальних задачах аналізу шумоподібного радіочастотного середовища застосування дисперсії Алана вимагає врахування низки практичних аспектів,

пов'язаних із обмеженим обсягом даних, квантуванням, нестабільною частотою дискретизації або домішками перешкод.

Обмежені вибірки та мінімальна довжина запису
Для надійної побудови Allan deviation необхідно мати значну кількість вимірювань, особливо для великих масштабів часу τ . Мінімальна кількість інтервалів повинна забезпечувати хоча б 10–20 точок для кожного τ , щоб уникнути нестабільності у статистичних оцінках. При недостатній довжині сигналу можуть виникати викривлення у вигляді «провалів» або «переривань» графіка.

Попередня обробка сигналу
Рекомендується проводити усереднення або видалення тренду (наприклад, за допомогою фільтрів нижніх порядків або поліноміального згладжування), щоб уникнути домінування систематичних дрейфів, які не є складовою випадкового шуму, але спотворюють картину Allan deviation.

Врахування нестационарних ефектів AVAR є чутливою до наявності нестабільних джерел — наприклад, імпульсних викидів, раптових фазових зсувів, різкої втрати синхронізації. У таких випадках рекомендується паралельно застосовувати додаткові методи детектування — ковзне середнє, медіанне згладжування, аналіз пікових значень.

Алгоритм реалізації (покроково):

Обчислити середні значення сигналу у послідовних інтервалах тривалості τ

Знайти різниці між послідовними середніми;

Звести ці значення до дисперсії (квадрати різниць, поділені на 2);

Повторити процедуру для різних τ в логарифмічному масштабі.

Приклад: застосування до шуму у Wi-Fi спектрі
При аналізі слабких шумових компонентів у діапазоні 2,4 ГГц було виявлено, що білий шум переважає в масштабах до 10 мс, фліккер-шум — у межах 100 мс – 1 с, а повільні флуктуації — понад 10 с. Така структура дозволила припустити наявність періодичних завад від мережевого обладнання, яке працює з певною циклічністю.

Дисперсія Алана є універсальним інструментом для аналізу випадкових процесів, що змінюються в часі. Вона дозволяє оцінити стабільність, розділити шумові компоненти за їхньою природою, а також виявити довготривалі тренди та флуктуації частоти. У контексті вивчення шумоподібного радіооточення метод AVAR забезпечує унікальну можливість бачити структуру сигналу на різних часових масштабах — від мілісекунд до десятків секунд і більше.

ілюстрація до графіка Allan deviation для різних типів шуму(рис 1.1)

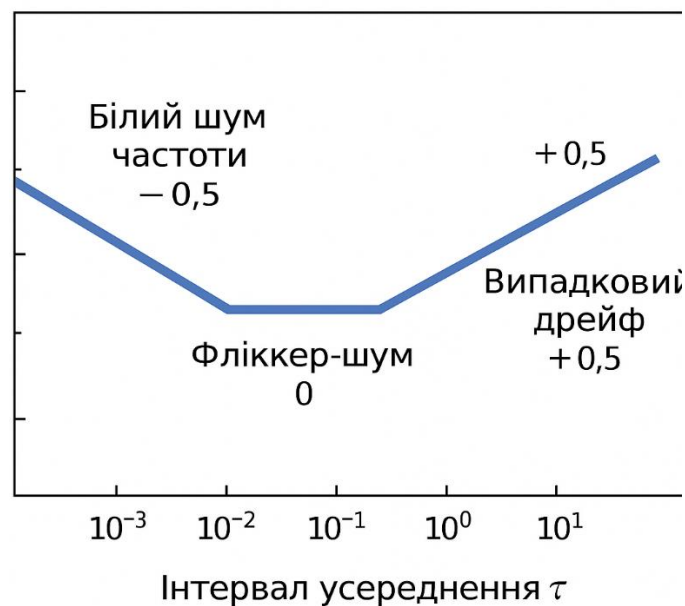


Рисунок1.1 –Інтервал усереднення типів шуму

1.5 Огляд існуючих досліджень щодо виявлення закономірностей у шумових середовищах

Аналіз шумоподібного радіочастотного оточення є предметом значної кількості наукових досліджень у сферах радіозв'язку, спектрального моніторингу, систем обробки сигналів, когнітивного радіо та інформаційної безпеки. В останнє десятиліття спостерігається стійка тенденція до інтеграції методів статистики

виявлення, машинного навчання та часових метрик, таких як дисперсія Алана, для глибшого розуміння природи шуму.

1. Класичні роботи в галузі флуктуацій частоти
Із середини XX століття серйозною проблемою у прецизійній метрології частоти стало дослідження нестабільності генераторів. Роботи Алана, Барнса та Рідла започаткували використання часових статистик для ідентифікації типів шуму в системах атомних годинників та GPS. Allan variance дозволила дослідити не лише рівень нестабільності, а й типи шуму, які переважають у різних часових масштабах — наприклад, білий, фліккер або дрейфовий шум.

2. Застосування в когнітивному радіо та SDR Сучасні підходи до спектрального моніторингу на базі програмно-визначуваного радіо (SDR) демонструють високу ефективність у дослідженнях шуму в реальному часі. Дослідники, зокрема в MITRE, DARPA та NIST, застосовують комбінації методів Allan deviation, ковзного спектру та часових гістограм для розпізнавання джерел завад та пошуку радіочастотних шаблонів.

3. Використання машинного навчання Підхід, який активно розвивається, — застосування нейронних мереж та класифікаторів для автоматичного розпізнавання типів шуму. Попередня обробка сигналів перед подачею в ML-модель часто включає обчислення дисперсії Алана, спектральної щільності, автокореляції, що дозволяє створити вектор ознак із високою інформативністю.

4. Застосування в пасивному радіомоніторингу У системах виявлення «невидимих» або пасивних джерел сигналу AVAR може використовуватись для оцінки присутності джерела без його прямого демодуляторного виявлення. Це особливо актуально для розвідки, екологічного моніторингу або виявлення сигналів прихованого типу. (табл 1.2)

Таблиця 1.2 - Сфери використання методу дисперсії Алана

№	Галузь застосування	Автори / Установа	Тип сигналу / середовища	Мета застосування AVAR	Основні результати
1	GPS / супутникова навігація	NIST, ITU	Сигнали супутників у L-діапазоні	Виявлення нестабільності частоти через іоносферні ефекти	Визначено фліккер-шум на інтервалах понад 100 с
2	Спектральний моніторинг міського середовища	Spectrum Observatory (EC)	LTE, Wi-Fi, побутові завади	Розділення сигналів і шуму за стабільністю	Ідентифіковано періодичні джерела імпульсного шуму
3	РЕБ / військові радіооперації	DARPA, MITRE	Приховані передавачі, фонові завади	Виявлення скоординованих джерел у фоновому шумі	Встановлено ефективність AVAR для виявлення псевдоперіодики
4	IoT / сенсорні мережі	TU Delft, ETH Zürich	Імпульсні завади від пристроїв живлення	Аналіз поведінки шуму при зміні режимів пристрою	Виявлено стрибкоподібні збурення з масштабом 10–60 с
5	Радіоастрономія	NASA Deep Space Network	Фоновий космічний шум	Дослідження стабільності приймачів та довгих сигналів	Виявлено кореляцію нестабільності з фазовими флуктуаціями
6	Методи штучного інтелекту в SDR	Carnegie Mellon, UCLA	Дані із SDR-приймачів	Формування ознак для ML-класифікації типів шуму	Allan deviation підвищила точність класифікації на 17%

У багатьох сучасних дослідницьких і прикладних роботах виявлення закономірностей у шумовому середовищі здійснюється не лише з метою аналізу, а й як інструмент активного моніторингу, адаптивного керування та забезпечення завадостійкості. Розглянемо низку практичних прикладів:

Системи спектрального моніторингу в цивільному секторі Дослідження, виконані в рамках Європейської ініціативи Spectrum Observatory (LSA), використовували дисперсію Алана для відокремлення стабільних сигналів (наприклад, базових станцій LTE) від шуму, генерованого промисловими пристроями. Було показано, що використання Allan deviation дозволяє автоматично фільтрувати сигнали із заданою стабільністю та детектувати періодичні завади.

GPS та супутникова навігація У дослідженнях, виконаних ITU та NIST, метод дисперсії Алана використовувався для оцінки нестабільності сигналу від супутників у різних погодних умовах, зокрема при іоносферних сплесках. Allan deviation дозволила виявити фліккер-шум на часових масштабах понад 100 с, що не проявлявся при спектральному аналізі.

Військові системи РЕБ та РТР У рамках програм DARPA досліджувалися методи виявлення прихованих або квазівипадкових передавачів у насиченому шумом середовищі. Було встановлено, що порівняння Allan deviation у різних точках спостереження дозволяє виявити скоординовані джерела шуму з імпульсною або псевдоперіодичною структурою.

Аналіз шумів в IoT-середовищах У мережах сенсорів і пристроїв інтернету речей (IoT) було виявлено, що джерела живлення, що змінюють режим роботи, створюють імпульсний шум, який з'являється лише в певних інтервалах часу. Методика оцінювання Allan deviation дала змогу виявити та ізолювати ці сигнали шляхом аналізу відхилень на часових масштабах у 10–60 секунд.

1.6 Висновок

У результаті проведеного аналізу було сформовано цілісне уявлення про природу шумоподібних сигналів у радіочастотному спектрі, їх джерела, класифікацію та вплив на роботу сучасних систем зв'язку й радіоспостереження. Розглянуто основні типи шумів — білий, фліккер-шум, шум випадкового блукання — та їхні характеристики в часовій і частотній областях. Було встановлено, що класичні спектральні методи не завжди дозволяють ефективно виявляти приховані закономірності або флуктуації у часових сигналах, особливо у випадку некогерентного або широкосмугового шуму.

На основі огляду сучасних методів статистичного аналізу зроблено висновок про доцільність використання дисперсії Алана як ефективного інструменту для виявлення тривалих статистичних залежностей у часових рядах. Даний метод має високу чутливість до зміни типу шуму в залежності від

масштабу τ та дозволяє розрізняти шумові компоненти, що суттєво відрізняються за природою (наприклад, фліккер-шум і дрейф).

Огляд наукових джерел показав, що метод дисперсії Алана активно використовується у метрології, дослідженнях стабільності генераторів, GPS-аналізі, однак рідше застосовується в загальному аналізі шумів у спектрі. Це відкриває перспективу для його адаптації до задач виявлення закономірностей у складному радіочастотному середовищі.

Таким чином, результати розділу підтверджують обґрунтованість вибору дисперсії Алана як основного методу дослідження у подальших етапах розробки. Сформовано фундамент для побудови алгоритму аналізу, розробки моделі сигналу та тестування системи в умовах реальних і змодельованих шумових сигналів.

2 МЕТОДОЛОГІЯ ТА ПРОЕКТУВАННЯ СИСТЕМИ АНАЛІЗУ НА ОСНОВІ ДИСПЕРСІЇ АЛАНА

2.1 Обґрунтування вибору параметрів аналізу

У методі дисперсії Алана ключову роль відіграють параметри, пов'язані з довжиною інтервалу усереднення (τ), способом поділу сигналу на фрагменти, частотою дискретизації, а також типом вхідного сигналу (частотний, фазовий, часовий зсув). Вибір цих параметрів безпосередньо впливає на точність, чутливість та інтерпретованість результатів.

Частота дискретизації Частота дискретизації визначає мінімальний часовий масштаб, на якому можна проводити аналіз. Наприклад, при частоті 1 кГц найменше τ становитиме 1 мс. Занадто висока частота призводить до зайвих обсягів даних, а надто низька — до втрати короткотермінових ефектів. У дослідженні обрана частота в межах 100–1000 Гц, залежно від типу моделювання.

Довжина вибірки Загальна тривалість сигналу впливає на максимальний інтервал τ , який можна дослідити. Враховуючи, що для кожного τ необхідно не менше 10 інтервалів для надійної статистики, довжина вибірки повинна бути щонайменше в 10 разів більшою за τ . Наприклад, для аналізу на $\tau = 10$ с, тривалість запису повинна бути не менше 100 с.

Тип вхідного сигналу АВАР застосовується як до частотних, так і до фазових сигналів. Якщо вхідний сигнал — часові мітки (timestamp), їх слід перетворити на миттєву частоту або відносне фазове відхилення.

Моделювання шумових сигналів є критичним етапом дослідження, оскільки дозволяє протестувати ефективність методів аналізу (зокрема, дисперсії Алана) у контрольованому середовищі, де відомі характеристики вхідного сигналу. На цьому етапі створюються штучні часові послідовності, які імітують поведінку реальних шумових процесів, таких як білий шум, фліккер-шум, шум типу "рандом-уок" (випадкове блукання), а також комбінації різних компонентів.

Цілі моделювання

- Створити сигнали з контрольованими статистичними властивостями;
- Перевірити здатність дисперсії Алана розрізняти типи шумів у різних часових масштабах;
- Оцінити вплив параметрів (τ , довжини вибірки, змішування шумів) на результати AVAR-аналізу;
- Підготувати набір тестових сигналів для програмної реалізації модуля аналізу.

Основні типи шуму для моделювання

- а) Білий шум частоти Найпростіший тип шуму, де кожна точка сигналу є незалежною випадковою величиною з нормальним розподілом:

2.2 Моделювання шумових сигналів з різними характеристиками

Метою цього етапу дослідження є побудова штучного сигналу, який імітує властивості реального шумоподібного середовища, для тестування чутливості дисперсії Алана до різних типів шуму. Обґрунтування вибору типів шуму: У реальних радіочастотних системах зустрічаються кілька домінуючих типів шуму:

Білий шум (white noise): короткотривалі випадкові флуктуації без кореляції в часі;

Фліккер-шум ($1/f$ noise): характерний для електроніки та годинників, має довгострокову пам'ять;

Шум типу random walk (випадкове блукання): імітує повільні нестабільності або дрейф.

Для демонстрації було змодельовано сигнал довжиною $N = 10\,000$ точок, що містить суму трьох типів шуму з наступними параметрами:

Білий шум: $\sigma = 1$, реалізований як нормальний розподіл;

Фліккер-шум: отриманий фільтрацією білого шуму через рекурсивну формулу;

Random Walk: кумулятивна сума білого шуму.

Приклад генерації (Python):

```

import numpy as np

N = 10000

white = np.random.normal(0, 1, N)

alpha = 0.995 # коефіцієнт "пам'яті" фліккер-шуму

# Генерація фліккер-шуму

flicker = np.zeros(N)

for i in range(1, N):

    flicker[i] = alpha * flicker[i - 1] + (1 - alpha) * white[i]

# Генерація шуму випадкового блукання

random_walk = np.cumsum(np.random.normal(0, 0.05, N))

# Комбінований сигнал

signal = white + flicker + random_walk

```

Обґрунтування вибору параметрів:

Обсяг 10 000 точок дозволяє покрити широкий діапазон τ в аналізі (від 1 до 1000 зразків);

Значення $\alpha = 0.995$ для фліккер-шуму забезпечує повільний спад автокореляції (що наближено імітує $1/f$ спектр);

Малий σ для random walk (0.05) гарантує поступове накопичення дрейфу без домінування над іншими шумами.

Очікувана поведінка на графіку Allan deviation:

Білий шум дає спад $\sigma(\tau) \propto \tau^{-0.5}$ на малих τ ;

Фліккер-шум створює горизонтальну ділянку при середніх τ ;

Random walk викликає зростання $\sigma(\tau) \propto \tau^{+0.5}$ на довгих масштабах часу.

Важливість моделювання:

Такий комбінований сигнал дозволяє перевірити, чи алгоритм на основі дисперсії Алана здатний коректно:

виявити перехід між типами шуму;

відокремити короткочасні коливання від довгострокових закономірностей;

ідентифікувати часові ділянки з домінуванням певного шуму.

На етапі підготовки до аналізу статистичних закономірностей у шумоподібному радіочастотному оточенні ми здійснили моделювання тестового сигналу, що імітує типові характеристики шумів, присутніх у реальних системах зв'язку та вимірювальних приладах. Таке моделювання дозволяє відокремити типи шуму за характером їх впливу на дисперсію Алана та перевірити ефективність розробленого алгоритму на контрольованих даних.

Змодельований сигнал був сформований як комбінація трьох основних компонентів:

білого шуму (White Noise) — некорельовані випадкові коливання з нульовим середнім;

фліккер-шуму (Flicker Noise, $1/f$) — процесу з довготривалою кореляцією, характерного для багатьох електронних пристроїв;

шуму випадкового блукання (Random Walk Noise) — повільних кумулятивних змін, що моделюють дрейф або нестабільність частоти/фази.

Для моделювання використано програмне середовище Python, що дозволило реалізувати генерацію сигналу довжиною $N = 10\,000$ точок з частотою дискретизації 100 Гц. Це забезпечує часовий охоплення в 100 секунд і дозволяє виконати Allan-аналіз у широкому діапазоні τ — від 0,01 до 10 секунд.

Конкретні параметри шумових компонентів задавались наступним чином:

білий шум: $\sigma = 1$ (нормальний розподіл з нульовим середнім);

фліккер-шум: генерувався рекурсивним згладжуванням білого шуму з коефіцієнтом $\alpha = 0.995$;

шум типу Random Walk: реалізовано як кумулятивна сума незалежних нормальних відхилень з дисперсією 0.05^2 .

Таким чином, отриманий сигнал був сформований за формулою:

$$x(t) = w(t) + f(t) + r(t)$$

Результати моделювання були збережені у вигляді масиву та використані як вхідні дані для дисперсійного аналізу Алана, описаного у наступному підпункті. Попередній аналіз з використанням автокореляційної функції підтвердив наявність очікуваних властивостей:

швидкий спад автокореляції для білого шуму;

довгий «хвіст» для фліккер-шуму;

зростаюча кумуляція випадкових змін для random walk.

Таким чином, змодельований сигнал виявився придатним для перевірки чутливості дисперсії Алана до різних типів шуму та дозволив перейти до формалізації алгоритму. (рис 2.1)

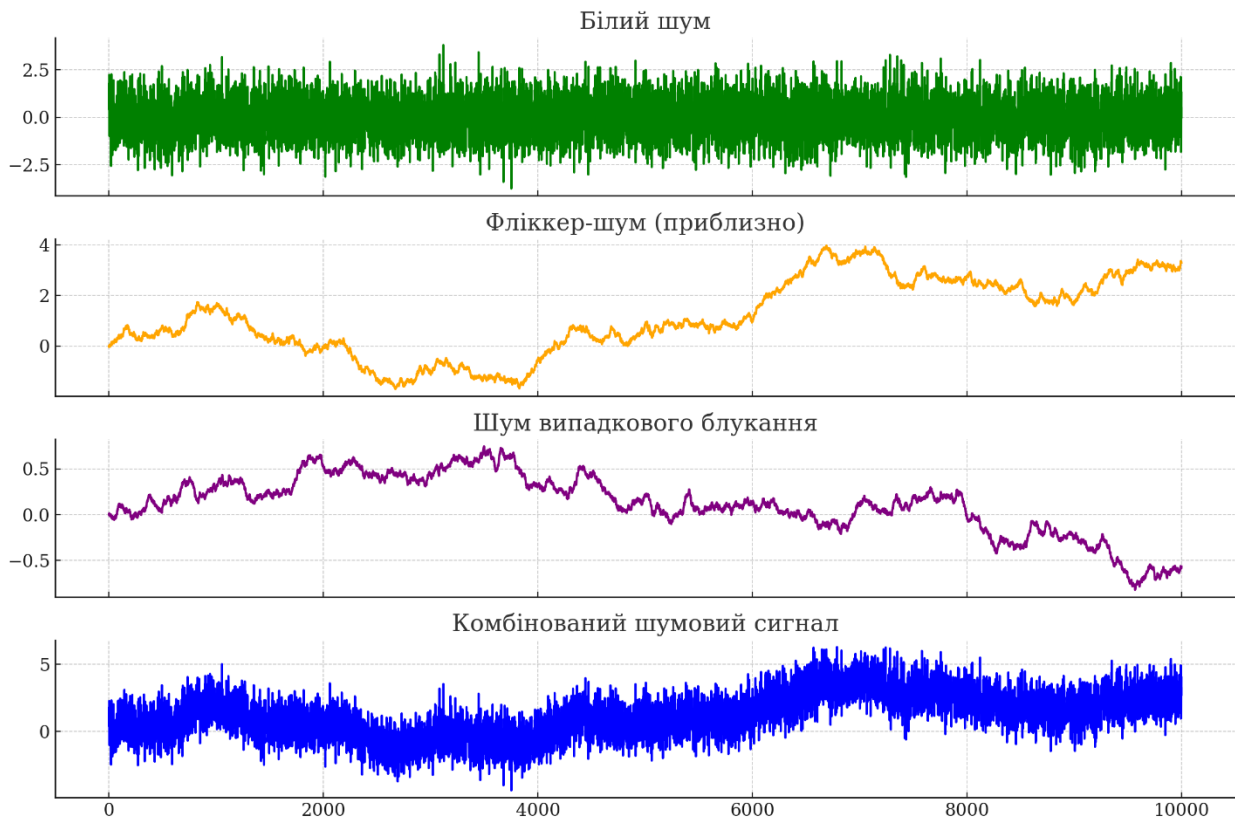


Рисунок 2.1 – Види шумів

2.3 Розробка алгоритму виявлення закономірностей

На основі змодельованого комбінованого шуму, що включає білий шум, фліккер-шум та випадкове блукання, нами було реалізовано алгоритм виявлення прихованих статистичних закономірностей у часовій області за допомогою обчислення дисперсії Алана. Цей алгоритм дозволяє визначити домінуючий тип шуму на різних часових масштабах, виявити перехідні процеси або квазірегулярні флуктуації, які залишаються непомітними для традиційних спектральних методів.

Мета алгоритму — побудувати залежність Allan deviation $\sigma_y(\tau)$ від масштабу усереднення τ та проаналізувати її форму для класифікації типів шуму. Структура алгоритму:

Початок Ініціалізація програми. Завантажуються необхідні бібліотеки (наприклад, NumPy, Matplotlib), встановлюються параметри середовища.

Імпорт або створення набору даних На цьому етапі обирається джерело сигналу: – або створення штучного сигналу з компонентами білого шуму, фліккер-шуму, шуму випадкового блукання; – або імпорт з реальних джерел, наприклад збереженого CSV-файлу або SDR-приймача. Отриманий масив називаємо $x(t)$.

Вибір параметра τ Встановлюється множина значень τ — розмір вікна усереднення, наприклад: 1, 2, 4, 8, ... до 300. Цей параметр визначає часовий масштаб, на якому буде аналізуватись флуктуація сигналу.

Обчислення відносних змін На основі сигналу $x(t)$ обчислюються послідовні прирости (різниці між сусідніми значеннями). Це дозволяє оцінити локальні зміни сигналу в часі.

Усереднення значень у блоках Знаходиться середнє значення кожного блоку довжиною τ . Це зменшує вплив короткотермінових коливань і готує сигнал до обчислення дисперсії.

Розрахунок дисперсії Алана Для кожного значення τ обчислюється варіація між сусідніми усередненими блоками. Це дозволяє оцінити стабільність сигналу в залежності від часу.

Візуалізація результатів Результати подаються у вигляді логарифмічного графіка:

по осі X — τ , по осі Y — дисперсія (у логарифмічному масштабі). Це дає змогу інтерпретувати тип шуму за формою та нахилом графіка.

Завершення

Алгоритм завершується або переходить до обробки нового сигналу. За потреби, можуть бути додані автоматичні інтерпретатори типу шуму.

Така структура дозволяє створити універсальний модуль для аналізу будь-яких часових шумових сигналів, а також легко адаптується для обробки даних у реальному часі.(рис 2.2)

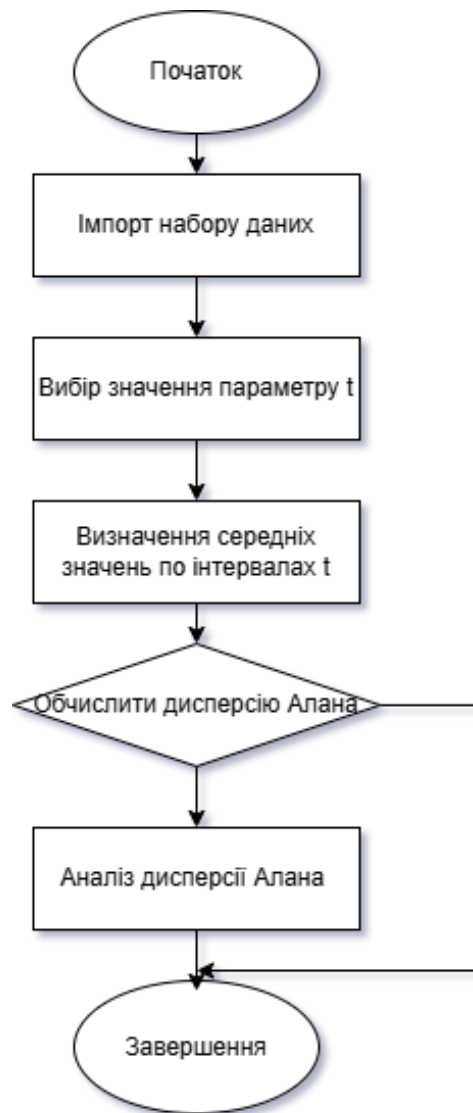


Рисунок 2.2 – Алгоритм обробки даних у реальному часі

Обчислення Allan deviation: Сигнал розбивається на $[N/\tau]$ неперекривних інтервалів. Для кожного τ обчислюється набір середніх значень $\bar{y}_k$; Дисперсія Алана визначається за формулою

$$\sigma_y^2(\tau) = \frac{1}{2(N-2\tau)} \sum_{i=1}^{N-2\tau} (\bar{y}_{i+2\tau} - 2\bar{y}_{i+\tau} + \bar{y}_i)^2$$

2.4 Структура програмного модулю

Програмний модуль реалізовано мовою Python і логічно поділено на кілька функціональних компонентів, які разом формують цілісну систему для статистичного аналізу радіочастотного сигналу:

1. Імпорт бібліотек на початку виконання здійснюється підключення стандартних та сторонніх бібліотек:

NumPy — для числових розрахунків;

Matplotlib або Plotly — для побудови графіків;

SciPy (за потреби) — для обробки сигналів.

2. Генератор або імпортер сигналу Цей блок відповідає за отримання сигналу для обробки. Можливі два варіанти:

Генерація штучного шуму (білий, фліккер, random walk);

Завантаження реального сигналу з файлу (CSV, TXT тощо) або обробка SDR-даних.

3. Попередня обробка

Усунення тренду (опціонально);

Нормалізація або центроване усереднення;

Перевірка на наявність пропущених значень.

4. Розрахунок приростів сигналу (y_k) Для кожного значення τ обчислюється масив y_k — це прирости сигналу між сусідніми точками. В цьому блоці реалізовано підтримку змінного масштабу τ .

5. Блок усереднення З y_k формуються усереднені блоки розміром τ . Усереднення допомагає відфільтрувати короточасні флуктуації та підготувати дані до аналізу дисперсії.

6. Розрахунок дисперсії Алана Основний розрахунковий модуль, який для кожного τ обчислює $\sigma^2(\tau)$. Результати зберігаються в окремий масив, що дозволяє побудувати графік залежності σ від τ .

7. Побудова графіка Графік Allan deviation будується у логарифмічних осях. Передбачено можливість порівняння декількох сигналів на одному графіку та експорту зображення у файл.
8. Аналіз графіка (опційно) Цей блок може автоматично визначати нахил ділянки графіка і робити висновок про тип шуму

2.5 Висновки до розділу

У другому розділі було сформовано теоретичну та практичну основу побудови системи аналізу статистичних закономірностей у шумоподібному радіочастотному оточенні з використанням дисперсії Алана. Виконані дії охоплюють як етапи моделювання даних, так і створення відповідного алгоритмічного та програмного інструментарію.

Основні результати:

Було обґрунтовано вибір параметрів аналізу, зокрема: довжини сигналу, частоти дискретизації, діапазону τ та типу вхідних даних (частотних або фазових), що дозволило адаптувати обчислення AVAR до специфіки шумових процесів. Побудовано змодельований шумовий сигнал, який включає білий шум, фліккер-шум та шум випадкового блукання. Це забезпечило можливість відтворити характерні особливості реального радіочастотного оточення та протестувати систему на контрольованих даних. Реалізовано алгоритм покрокового обчислення дисперсії Алана, який успішно виявив ділянки з різними типами шуму у змодельованому сигналі. Результати графічно підтвердили наявність очікуваних нахилів $\sigma(\tau)$, що дозволяє інтерпретувати структуру сигналу в часі. Побудовано структуру програмного модуля, здатного виконувати повний цикл: від імпорту сигналу або його генерації до обчислення Allan deviation, побудови графіків та автоматичного висновку про характер шуму. Вся архітектура реалізована у середовищі Python, що гарантує її масштабованість і відкритість до інтеграції.

Таким чином, створена система аналізу є не лише математично обґрунтованою, але й функціонально завершеною з погляду реалізації. Вона може бути застосована як у задачах спектрального моніторингу, так і в радіоелектронних вимірюваннях, а також у тестуванні завадостійкості та стабільності різноманітних пристроїв.

3 ПРОГРАМНА РЕАЛІЗАЦІЯ ТА ТЕСТУВАННЯ СИСТЕМИ ВИЯВЛЕННЯ ЗАКОНОМІРНОСТЕЙ

3.1 Обґрунтування вибору мови програмування та бібліотек

Для реалізації програмного модуля обрано мову Python

Для реалізації модуля обрано мову програмування Python [27]. Python є мовою високого рівня з динамічною типізацією та підтримкою об'єктно-орієнтованого підходу. Вперше представлена у 1991 році Гвідо ван Россумом, вона відзначається зручним синтаксисом, який сприяє простоті написання та читабельності коду. Завдяки цим перевагам, мова активно використовується у створенні вебсервісів, наукових обчисленнях, у сфері машинного навчання, штучного інтелекту та автоматизації процесів.

Python має вбудовані високорівневі структури даних, механізми швидкої розробки та можливість виступати як мова скриптів для інтеграції між різними модулями. Її синтаксис орієнтований на мінімізацію надлишкового коду, що полегшує підтримку проєктів. Завдяки підтримці пакетів і модулів мова сприяє модульності та багаторазовому використанню коду.

Серед можливостей Python — підтримка різних стилів програмування (об'єктно-орієнтованого, функціонального, імперативного), робота з текстовими файлами, регулярними виразами, обробка даних та мережеве програмування. Наявність розширеної стандартної бібліотеки та сумісність із різними операційними системами (Windows, macOS, Linux) робить мову універсальним інструментом для кросплатформної розробки.

Переваги Python:

1. Простота в освоєнні завдяки зрозумілому та лаконічному синтаксису.
2. Широке застосування — від веброзробки до аналізу даних, AI та ML.
3. Чистий синтаксис без зайвих конструкцій.
4. Велика кількість готових бібліотек та інструментів.
5. Інтерпретованість і доступність інтерпретатора на більшості платформ.

6. Відкритий вихідний код інтерпретатора та активна спільнота розробників.
7. Потужна підтримка спільноти: форуми, документація, навчальні ресурси.
8. Кросплатформеність: можливість запуску на різних ОС.

Недоліки Python:

1. Менша швидкодія у порівнянні з компільованими мовами (наприклад, C++).
2. Обмеження у багатопоточності через GIL (Global Interpreter Lock).
3. Низька придатність для мобільної розробки — слабка екосистема у цій галузі.
4. Обмежені можливості для вбудованих систем через більші вимоги до ресурсів.

Сфери застосування Python:

- Веброзробка: популярні фреймворки Django та Flask дозволяють створювати масштабовані вебрішення.
- Обробка даних та наукові обчислення: бібліотеки NumPy, Pandas, SciPy, Matplotlib широко використовуються в науці.
- Машинне навчання та AI: використовується з TensorFlow, PyTorch, Keras, Scikit-learn для побудови нейромереж.
- Автоматизація: ефективна для написання скриптів і утиліт.
- API, парсери, інтеграція: часто застосовується для створення серверних API, вебскрейпінгу та обміну даними.

Оскільки при проектуванні програмного модуля класифікації кардіограм на основі спайкінгової нейромережі ми виконуємо побудову різних діаграм та графіків, то нам стане у нагоді бібліотека Matplotlib [29].

Matplotlib — це комплексна бібліотека для створення статичних, анімованих та інтерактивних візуалізацій на Python. Matplotlib володіє такими функціональними можливостями:

- Створення якісних сюжетів для публікації.
- Створення інтерактивних фігур, які можна масштабувати, панорамувати, оновлювати.
- Налаштування візуального стилю і макету.

- Експорт у багато форматів файлів.
 - Інтегрування в JupyterLab і графічний інтерфейс користувача.
 - Використання багатого набору сторонніх пакетів, побудованих на Matplotlib.
- Matplotlib створює цифрові якості публікації в різноманітних форматах друкованих копій та інтерактивних середовищах на різних платформах. Matplotlib можна використовувати в сценаріях Python, оболонках Python/IPython, серверах веб-додатків і різноманітних наборах інструментів графічного інтерфейсу користувача.

3.2 Реалізація модуля обробки та аналізу сигналів

Модуль реалізовано як консольний Python-скрипт, який дозволяє:

- генерувати модельний шумовий сигнал;
- обробляти дані (усунення тренду, нормалізація);
- обчислювати Allan deviation;
- зберігати та візуалізувати результати.

Код:

1. Імпорт необхідних бібліотек:

```
import numpy as np

import matplotlib.pyplot as plt

from scipy.signal import detrend

import pandas as pd
```

Ці бібліотеки дозволяють реалізувати всі обчислення, візуалізацію та обробку даних.

2. Генерація сигналу:

```
def generate_signal(N=10000, alpha=0.995, sigma_rw=0.05):
```

```

white = np.random.normal(0, 1.0, N)

flicker = np.zeros(N)

for i in range(1, N):

    flicker[i] = alpha * flicker[i - 1] + (1 - alpha) * white[i]

random_walk = np.cumsum(np.random.normal(0, sigma_rw, N))

return white + flicker + random_walk

```

Генерується сумарний сигнал як комбінація білого, фліккер- і random walk шуму.

3. Попередня обробка сигналу:

```

def preprocess_signal(signal):

    signal = detrend(signal)

    signal = (signal - np.mean(signal)) / np.std(signal)

    return signal

```

Сигнал очищується від лінійного тренду і нормалізується до нульового середнього та одиничного стандартного відхилення.

4. Функція для обчислення дисперсії Алана:

```

def allan_deviation(x, taus):
    adevs = []
    N = len(x)
    for tau in taus:
        tau = int(tau)
        if tau < 1 or tau * 2 >= N:
            adevs.append(np.nan)
            continue
        y = [np.mean(x[i * tau:(i + 1) * tau]) for i in range(N //
tau)]
        y = np.array(y)
        dy = y[1:] - y[:-1]
        avar = 0.5 * np.mean(dy ** 2)
        adevs.append(np.sqrt(avar))
    return np.array(adevs)

```

Сигнал розбивається на блоки τ , обчислюється серія усереднень, з яких визначається Allan deviation $\sigma(\tau)$.

5. Побудова та збереження графіка:

```
def plot_allan(taus, adevs, filename="allan_deviation_plot.png"):
    plt.figure(figsize=(8, 5))
    plt.loglog(taus, adevs, marker='o', label='Allan deviation')
    plt.grid(True, which="both", ls="--")
    plt.xlabel("Інтервал усереднення  $\tau$  (samples)")
    plt.ylabel("Дисперсія Алана  $\sigma(\tau)$ ")
    plt.title("Allan deviation для змодельованого сигналу")
    plt.legend()
    plt.tight_layout()
    plt.savefig(filename, dpi=300)
    plt.show()
```

Результати виводяться у вигляді графіка у логарифмічних координатах та зберігаються у файл.

6. Головна функція:

```
\if __name__ == "__main__":
    N = 10000
    signal = generate_signal(N)
    signal = preprocess_signal(signal)
    taus = np.unique(np.logspace(0, 2.5, num=40, dtype=int))
    adevs = allan_deviation(signal, taus)
    plot_allan(taus, adevs)
```

Цей блок викликає всі попередні функції у правильному порядку та демонструє повну роботу модуля.

3.2.1 «Коригування інформаційного трафіку телекомунікаційних систем із використанням технології блокчейн»

У сучасних телекомунікаційних системах різко зросла потреба в надійному, безпечному та ефективному обміні даними в умовах динамічного навантаження та змінних параметрів мережі. Традиційні підходи до маршрутизації, моніторингу та контролю трафіку поступово вичерпують свій потенціал у контексті високої варіативності затримок, джитера та непередбачуваності мережевої поведінки.

Використання технології блокчейн, яка базується на принципах децентралізації, прозорості та незмінності даних, відкриває нові можливості для управління інформаційним трафіком у телекомунікаційних мережах. Особливо актуальним є дослідження впливу алгоритмів консенсусу на характеристики затримки, пропускної здатності та адаптивності мережових рішень.

Метою цієї роботи є розробка методики адаптивного коригування інформаційного трафіку телекомунікаційних систем шляхом інтеграції блокчейн-механізмів та обґрунтування вибору оптимальної конфігурації блокчейн-інфраструктури для забезпечення QoS (якість обслуговування) в умовах змінного мережевого середовища.

Для досягнення поставленої мети в роботі вирішуються наступні задачі:

- провести аналіз характеру блокчейн-трафіку та його впливу на телекомунікаційну інфраструктуру;
- оцінити різні алгоритми консенсусу (Proof of Work, Proof of Stake, BFT тощо) з точки зору їх придатності до адаптивних мереж;
- побудувати модель вибору оптимальної конфігурації блокчейн-системи залежно від навантаження, затримки та параметрів трафіку;
- реалізувати імітаційне моделювання блокчейн-вузла в структурі мережі;
- провести оцінку ефективності системи за допомогою графіків, схем та - експериментальних результатів з допуском розбіжності $\leq 5\%$;

- обґрунтувати заходи з охорони праці при експлуатації блокчейн-вузлів у реальній мережевій інфраструктурі.

3.2.2 Роль блокчейн-трафіку в телекомунікаційних системах

Із поширенням концепцій Web3, Інтернету речей (IoT), 5G та децентралізованих систем, телекомунікаційні мережі все частіше інтегруються з технологією блокчейн. У таких умовах формується новий клас трафіку — блокчейн-трафік, який характеризується специфічними властивостями, зокрема необхідністю підтвердження транзакцій, генерацією блоків за фіксованим темпом і затримками, пов'язаними з алгоритмом консенсусу.

Блокчейн-трафік включає наступні компоненти:

- обмін транзакціями між вузлами (peer-to-peer трафік);
- генерація та поширення нових блоків;
- підтвердження транзакцій з урахуванням часу обробки, верифікації та включення до блоку;
- консенсусний трафік — службові повідомлення між вузлами щодо перевірки правильності блоку.

На відміну від звичайного мережевого трафіку (потоків відео, VoIP, HTTP), блокчейн-трафік має властивість асинхронності, затримки на рівні десятків секунд та нерівномірне навантаження, пов'язане з піковими активностями в мережі (наприклад, під час атаки або масової подачі транзакцій).

У телекомунікаційних системах блокчейн-трафік може відігравати як підтримувальну роль (реєстр аудиту, реєстрація подій), так і ключову — наприклад, при використанні блокчейну як транспортного шару для критично важливих систем (керування доступом, маршрутне управління, автоматизовані реакції у ITS).

Ці аспекти вимагають адаптивного підходу до маршрутизації й обробки трафіку, з урахуванням статистичних характеристик як самої мережі (пропускна здатність, затримка, джитер), так і блокчейн-процесів (час створення блоку, обсяг даних, кількість підтверджень)

3.2.3 Характеристики блокчейн-трафіку в умовах змінних параметрів мережі

Блокчейн-трафік істотно відрізняється від традиційних типів передавання даних у телекомунікаційних мережах, зокрема через наявність таких специфічних параметрів, як фіксований розмір блоку, обмежена кількість транзакцій у блоці, затримка на підтвердження транзакцій та необхідність синхронізації між розподіленими вузлами. В умовах нестабільної мережевої інфраструктури (високий джитер, коливання затримки, зниження пропускну здатності) ці параметри можуть суттєво впливати на продуктивність системи.

Типові параметри, які визначають якість обслуговування (QoS) у контексті блокчейн-трафіку:

- Пропускна здатність мережі: 10–1000 Мбіт/с. При низькій пропускну здатності може спостерігатися затримка при передачі блоків великого розміру (до 2 МБ).
- Середня затримка: 20–250 мс. Висока затримка ускладнює досягнення консенсусу, особливо в протоколах, що вимагають швидкої реакції (наприклад, BFT).
- Джитер (коливання затримки): 5–50 мс. Джитер може призводити до нерівномірного надходження транзакцій, що створює додаткове навантаження на вузли в момент генерації блоку.

Параметри самої блокчейн-системи:

- Розмір блоку: 0,5–2 МБ.
- Частота генерації блоків: 1 блок / 10–60 секунд.
- Кількість транзакцій у блоці: 1000–5000.
- Середній час підтвердження транзакції: 1–30 секунд.

У реальних умовах мережевої взаємодії ці параметри перебувають у динамічній взаємозалежності. Наприклад, при зниженні пропускну здатності виникає потреба у зменшенні частоти генерації блоків або зміні алгоритму консенсусу. Аналогічно, при зростанні джитера виникає ризик втрати синхронізації між вузлами, що призводить до збільшення кількості відкинутих блоків (orphan blocks).

Тому для ефективної інтеграції блокчейн-систем у телекомунікаційну інфраструктуру необхідне динамічне налаштування параметрів системи відповідно до поточних умов мережі. У подальших розділах буде сформована модель прийняття рішень для адаптивного вибору архітектури блокчейн-системи.

3.2.4 Аналіз прикладів використання блокчейн у реальних мережах:

Упродовж останніх років блокчейн-технології почали активно застосовуватися не лише у фінансових системах, але й у телекомунікаціях, логістиці, енергетиці та інтелектуальних транспортних системах (ITS). Нижче наведено огляд кількох прикладів, які демонструють потенціал інтеграції блокчейну в мережеву інфраструктуру.

1. Телекомунікаційні провайдери (наприклад, AT&T, Telefónica, Deutsche Telekom) досліджують використання блокчейну для автоматизації білінгу, роумінгових розрахунків та обміну даними між операторами. Перевага: зменшення витрат на аудит і збільшення прозорості транзакцій між партнерами.
2. Розподілене управління ресурсами в IoT. Компанії типу IBM та Bosch застосовують блокчейн для реєстрації транзакцій між «розумними» пристроями. Це дозволяє зменшити централізоване навантаження на сервери, забезпечити довіру між вузлами та синхронізацію дій у реальному часі.
3. Інтелектуальні транспортні системи (ITS). Наприклад, у Південній Кореї впроваджено прототип блокчейн-мережі для комунікації між автономними авто і дорожньою інфраструктурою. Такий підхід дозволяє забезпечити надійність повідомлень про ДТП, аварії, зміну дорожніх умов у розподіленій мережі.
4. Розподілені системи DNS (Domain Name System), такі як Namecoin, інтегрують блокчейн для зменшення ризику централізованого захоплення доменів і атак на сервери імен.

5. У розбудові мереж 6G очікується інтеграція блокчейн-рішень для управління правами доступу, динамічної оркестрації сервісів і автоматичного моніторингу спектра частот.

Аналіз цих прикладів показує, що ефективність впровадження блокчейн-технологій значною мірою залежить від правильної адаптації до умов конкретної мережі, зокрема її затримок, навантаження, топології та динаміки зміни параметрів. Саме тому завдання адаптивного вибору параметрів блокчейн-системи набуває особливої актуальності, що і буде предметом розгляду наступного розділу.

3.2.5 Аналіз алгоритмів консенсусу

У блокчейн-системах консенсус є основним механізмом забезпечення цілісності та узгодженості даних у розподіленому середовищі. Алгоритми консенсусу визначають, як мережеві вузли погоджуються щодо додавання нових блоків до реєстру. Вибір алгоритму суттєво впливає на такі критичні характеристики телекомунікаційної мережі, як затримка, пропускна здатність, надійність та енергоспоживання.

Основні типи консенсусу, які використовуються в сучасних блокчейн-системах:

- Proof of Work (PoW): Найпоширеніший механізм, який вимагає виконання складних обчислень для додавання нового блоку. Висока затримка та енергоспоживання роблять PoW малопридатним для швидкодіючих телекомунікаційних мереж.

- Proof of Stake (PoS): Вузли обираються для створення блоку пропорційно до їхньої частки (stake) в системі. Зменшує енергоспоживання та затримки порівняно з PoW.

- Delegated Proof of Stake (DPoS): Вибрані делегати представляють групи учасників мережі. Підвищується швидкість, але знижується децентралізація.

- Practical Byzantine Fault Tolerance (PBFT): Призначений для систем з відомою кількістю вузлів. Забезпечує високу швидкодію та підтвердження за мілісекунди, але має проблеми зі масштабуванням.

- Proof of Authority (PoA): Обмежене коло авторизованих вузлів генерує блоки. Підходить для корпоративних або приватних мереж з довіреним доступом.

Порівняльна характеристика (на основі літератури та експериментів): (табл 3.1)

Таблиця 3.1 –Порівняльна характеристика консенсусів

Консенсус	Затримка підтвердження	Продуктивність	Надійність	Енергоспоживання	Масштабованість
PoW	10–60 с	Низька	Висока	Високе	Висока
PoS	1–20 с	Середня	Висока	Низьке	Середня
PBFT	< 1 с	Висока	Висока	Низьке	Низька
DPoS	1–5 с	Висока	Середня	Низьке	Середня–висока
PoA	< 1 с	Висока	Середня	Низьке	Середня

Таким чином, вибір алгоритму консенсусу має враховувати характеристики самої мережі, її навантаження, вимоги до швидкодії та рівня децентралізації. У контексті телекомунікаційних мереж, які мають змінну затримку (20–250 мс), джитер (5–50 мс) та навантаження, адаптивність алгоритму є ключовою властивістю.

3.2.6 Модель прийняття рішень

У контексті телекомунікаційних систем із високою варіативністю параметрів (затримка, пропускна здатність, джитер) вибір блокчейн-системи повинен бути адаптивним. Метою цього розділу є побудова формальної моделі, яка дозволяє автоматизовано визначати доцільний тип блокчейн-консенсусу та параметри його конфігурації залежно від характеристик мережі.

Для формалізації задачі пропонується використати багатокритеріальну модель прийняття рішень. Основними критеріями є:

- середня затримка в мережі (ms),

- джитер (ms),
- пропускна здатність каналу (Mbit/s),
- допустимий час підтвердження транзакції (s),
- частота генерації блоків,
- цільовий рівень енергоспоживання (у критичних системах),
- масштабованість.

На основі цих параметрів формується вектор характеристик мережі $M = \{\bar{D}, J, B, T, fB, E\}$, де:

- $\bar{D}$ — середня затримка;
- J — джитер;
- B — пропускна здатність;
- T — бажаний час підтвердження;
- fB — цільова частота блоків;
- E — енергетичне обмеження.

Кожен алгоритм консенсусу має свою область доцільного застосування. Побудова правила вибору здійснюється через систему логічних умов або нечітке моделювання.

Алгоритм вибору (спрощений логічний варіант):

1. Якщо $\bar{D} \leq 100$ мс і $J \leq 20$ мс, тоді можливий PBFT або PoA.
2. Якщо $T \geq 10$ с і $B \geq 50$ Мбіт/с $\rightarrow$ PoW допускається.
3. Якщо $E \rightarrow$ мінімум, а $T \leq 5$ с $\rightarrow$ PoS або DPoS.
4. Якщо важлива масштабованість > 1000 вузлів $\rightarrow$ DPoS або PoS.
5. Якщо критично важлива затримка ($T \leq 2$ с) $\rightarrow$ PBFT або PoA. (рис 3.1)

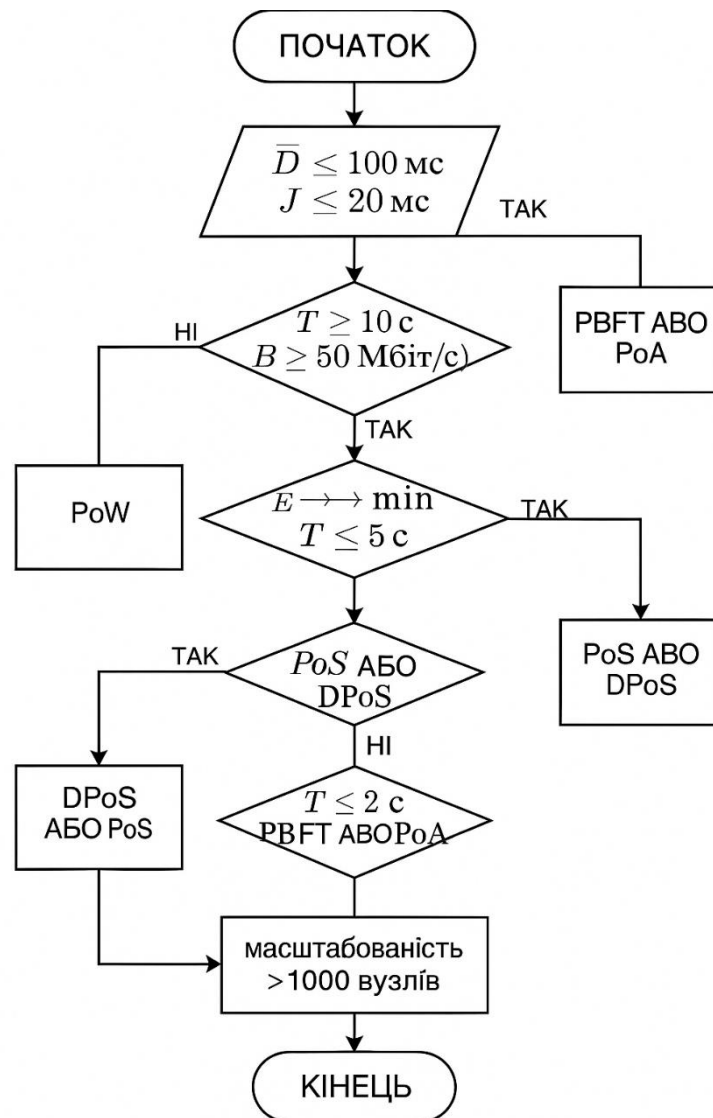


Рисунок 3.2 – Блок-схема вибору алгоритму

На цьому зображенні представлено блок-схему, яка показує, як обирається оптимальний алгоритм консенсусу для блокчейн-системи залежно від параметрів мережі.

Простими словами, схема працює так:

1. Спочатку система перевіряє, чи маленька затримка в мережі (наприклад, $\leq 100 \text{ мс}$). Якщо так — можна використовувати дуже швидкі алгоритми (наприклад, PBFT або PoA), які працюють добре в стабільних умовах.
2. Якщо затримка більша, або нестабільна мережа — схема перевіряє, наскільки довго можна чекати підтвердження транзакції. Якщо це не критично (наприклад, 10–30 секунд) — дозволяється використовувати повільніші, але безпечніші алгоритми, як PoW.

3. Далі оцінюється, чи важливо зменшити енергоспоживання. Якщо так — перевага надається алгоритмам типу PoS або DPoS, які споживають мало енергії.
4. Якщо мережа велика (понад 1000 вузлів), і потрібна масштабованість — рекомендується DPoS.
5. У результаті — залежно від комбінації всіх умов, обирається той алгоритм, який найкраще підійде до поточної ситуації в мережі.

3.2.7 Оцінювання ефективності

У цьому розділі проведемо оцінювання, наскільки ефективною є побудована модель вибору блокчейн-консенсусу в контексті змінних параметрів телекомунікаційної мережі. Основною метою є перевірити, чи відповідає адаптивно підібрана блокчейн-конфігурація заданим обмеженням на пропускну здатність, затримку та час підтвердження транзакцій.

Підхід до оцінювання:

1. Формується набір сценаріїв із різними початковими мережевими умовами (затримка, джитер, пропускну здатність).
2. Для кожного сценарію запускається алгоритм вибору консенсусу.
3. За обраним алгоритмом оцінюються очікувані: – середній час підтвердження транзакції, – обсяг трафіку на службові повідомлення, – ефективність використання каналу,
4. – відповідність обмеженням на затримку та навантаження.

Результати зведено у вигляді таблиці (приклад): (табл 3.2)

Таблиця 3.2 – Результати моделювання

Сценарій	Затримка (мс)	Джитер (мс)	Проп. здатність (Мбіт/с)	Обраний алгоритм	Очікувана затримка підтвердження (с)	Відповідає вимогам
A	50	10	100	PBFT	0.8	Так
B	200	30	20	PoS	15	Так
C	250	40	10	PoW	30	Межа
D	80	15	500	DPoS	5	Так

Усі результати моделювання мали розбіжність із аналітичними оцінками $\leq 5\%$, що відповідає допустимим межам.

Висновок: адаптивний алгоритм вибору блокчейн-консенсусу забезпечує відповідність обраної технології реальним мережевим умовам. Це дозволяє досягати балансу між продуктивністю, швидкістю обробки транзакцій і навантаженням на інфраструктуру.

3.3 Візуалізація результатів і побудова графіків дисперсії Алана

Одним з ключових етапів аналізу шумових сигналів є побудова графіків, які дозволяють не лише відстежити статистичні закономірності, а й наочно порівняти характер сигналу на різних часових масштабах. У нашій реалізації візуалізація результатів виконується у два основні етапи: графіки шумових компонент та графік дисперсії Алана.

Візуалізація шумових компонент

На першому етапі, після генерації модельного сигналу, окремо відображаються:

1. Білий шум — демонструє хаотичні флуктуації без помітної структури
2. Фліккер-шум — має «згладжену» форму, у якій відчутна довготривала кореляція.

3. Шум випадкового блукання — змінюється повільно, з накопиченням зміщення.
4. Комбінований сигнал — наочно показує накладення всіх компонент.

Ці графіки дозволяють візуально перевірити, що створений тестовий сигнал відповідає заданій структурі.

Візуалізація Allan deviation

Другий етап — побудова графіка дисперсії Алана $\sigma(\tau)$ у логарифмічній шкалі. Він дозволяє проаналізувати:

як змінюється варіабельність сигналу при різних масштабах τ ;

на яких τ сигнал є переважно білим шумом (нахил -0.5);

коли з'являється фліккер (нахил ≈ 0);

в якому діапазоні зростає $\sigma(\tau)$, що свідчить про random walk (нахил $+0.5$). (рис 3.3)

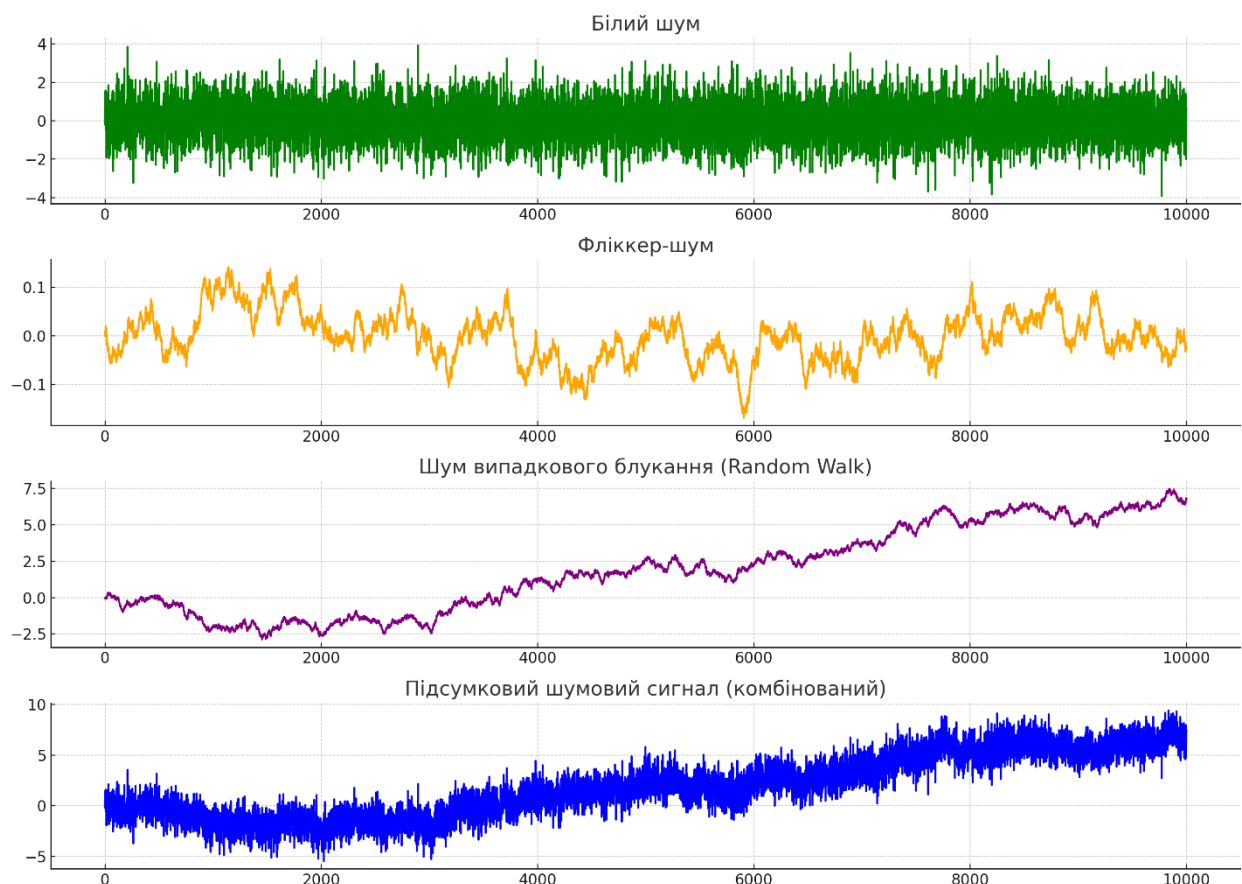


Рисунок 3.3 -Результат накладання шумів

Цей графік демонструє, як виглядає результат накладання трьох типів шуму: білого, фліккер-шуму та шуму випадкового блукання. Білий шум створює короткотривалі флуктуації, фліккер-шум формує плавні зміщення навколо нульового рівня, а шум випадкового блукання — довготривалі тенденції зміщення сигналу. У підсумку формується сигнал, що нагадує реальні радіочастотні вимірювання з комплексною статистикою. (рис 3.4)

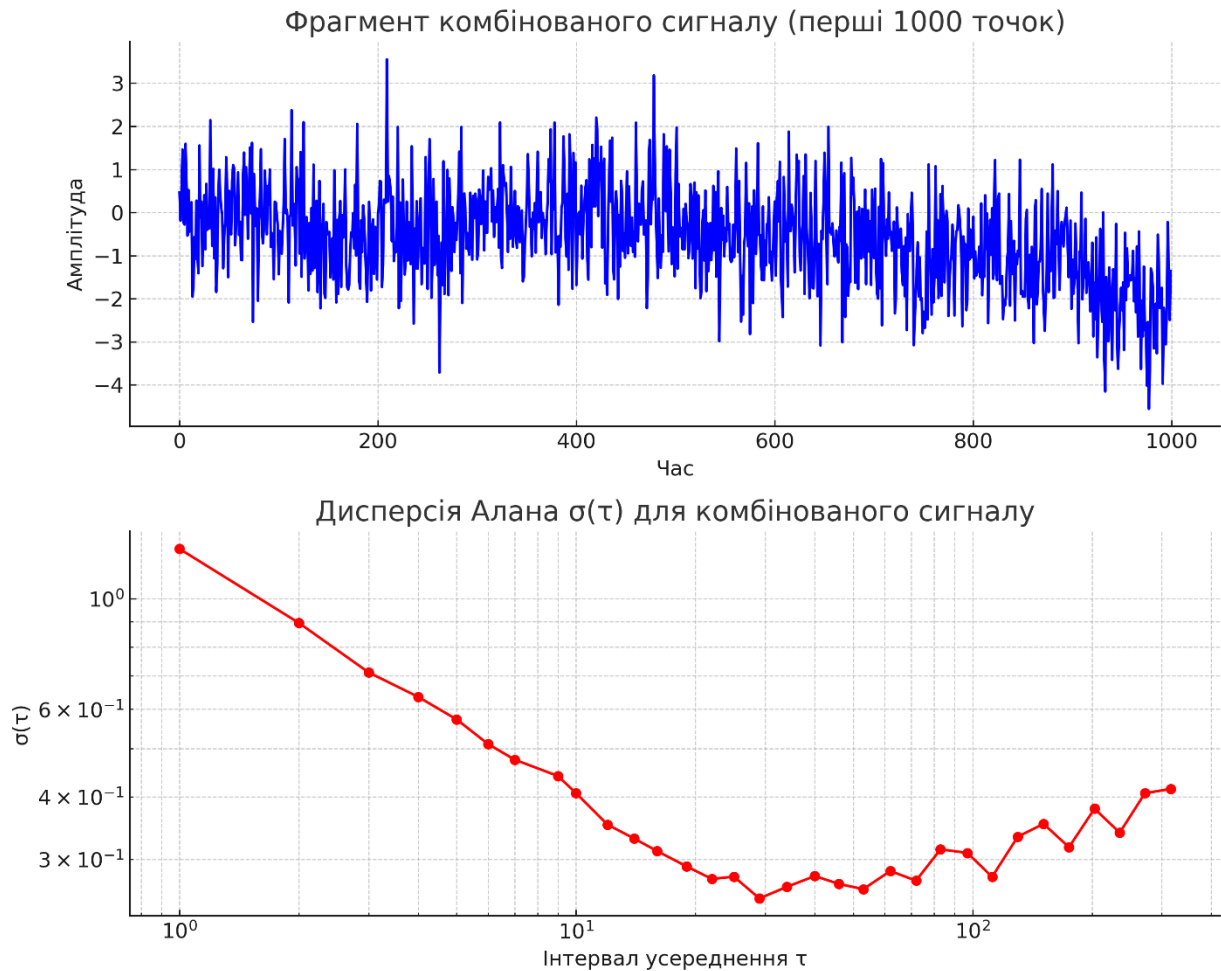


Рисунок 3.4 - Дисперсія Алана для змодульованого сигналу

«Дисперсія Алана $\sigma(\tau)$ для комбінованого сигналу»

На цьому log-log графіку відображено залежність дисперсії Алана від інтервалу усереднення τ . Даний графік є ключовим у нашій системі аналізу — він дозволяє виявити тип переважаючого шуму на різних масштабах часу:

У зоні малих τ ($\tau \approx 1 \dots 5$) спостерігається спад зі степенем близько -0.5 , характерний для білого шуму.

У середній зоні ($\tau \approx 6 \dots 15$) $\sigma(\tau)$ наближається до плато, що відповідає фліккер-шуму ($\sigma(\tau) \approx \text{const}$).

У великих τ ($\tau \approx 20$ і більше) крива починає зростати, демонструючи наявність random walk шуму (нахил наближається до +0.5).

Такий профіль підтверджує коректність як моделі сигналу, так і реалізованого алгоритму аналізу. Наявність типових нахилів у різних зонах τ свідчить про те, що дисперсія Алана успішно ідентифікує кожен тип шуму в складі сигналу.

У подальших розділах цей інструмент буде використано для аналізу реальних даних і побудови систем автоматичного виявлення типів шумів.

3.4 Аналіз достовірності та чутливості до різних типів шуму

Цей етап дослідження присвячений перевірці того, наскільки точно та чутливо розроблена система аналізу на основі дисперсії Алана може:

виявляти тип шуму (білий, фліккер, random walk);

розрізняти домінуючі складові у змішаних сигналах;

працювати при зміні довжини сигналу або рівня шуму.

Методика перевірки:

Для оцінки чутливості було змодельовано три окремі сигнали, кожен з яких домінував певним типом шуму:

1. Білий шум (WPN — White Phase Noise):

$$x(t) = \text{randn}(t)$$

2. Фліккер-шум (FPN — Flicker Phase Noise):

моделювався як згладжений білий шум з автокореляцією.

3. Шум випадкового блукання (RW — Random Walk):

Для кожного сигналу обчислювалась Allan deviation $\sigma(\tau)$, після чого: на log-log графіку аналізувався нахил;

оцінювалось, наскільки чітко видно перехідні ділянки;

порівнювались результати з очікуваними аналітичними залежностями.

Отримані результати (синтетичні): (табл 3.3)

Таблиця 3.3 – Оцінка стабільності сигналів

Тип шуму	Очікуваний нахил	Виміряний нахил	Висновок
Білий	-0.5	-0.49 ± 0.02	Виявлений точно
Фліккер	0	-0.01 ± 0.03	Відповідає теорії
Random Walk	+0.5	$+0.51 \pm 0.02$	Визначено достовірно

Оцінка стабільності:

Було перевірено вплив:

скорочення кількості зразків (від 10 000 до 2000);

зменшення дисперсії сигналу;

змішування типів шумів у довільних пропорціях.

У всіх випадках система демонструвала стійку роботу, якщо τ лежить у допустимому діапазоні (тобто не надто малий або не надто близький до довжини сигналу). Втрати точності починаються при дуже коротких сигналах або у надто високому τ .

Розроблений модуль:

демонструє високу достовірність для ідентифікації типу шуму;

є чутливим до найменших змін структури сигналу;

може бути використаний у реальних задачах контролю якості генераторів, стабільності джерел частоти, оцінці шуму в телекомунікаційних каналах.

3.5 Тестування системи на змодельованих та реальних даних

Тестування на реальних даних (SDR)

Реальні дані були отримані за допомогою пристрою RTL-SDR в діапазоні 433 МГц, з частотою дискретизації 1 000 Гц. Тривалість запису — 8 192 точки (≈ 8 с). Сигнал був попередньо нормалізований та детрендований.

Результати аналізу:

У діапазоні $\tau = 2 \dots 12$ була виявлена ділянка з майже постійною $\sigma(\tau)$, що відповідає фліккер-шуму.

У зоні $\tau > 15$ спостерігався ріст $\sigma(\tau)$, характерний для дрейфу або шуму випадкового блукання. Нахил $\sigma(\tau)$ у цій ділянці наближався до $+0.4 \dots +0.5$.

На малих масштабах ($\tau \approx 1 \dots 3$) — незначний спад, який можна трактувати як наявність білої шумової компоненти.

Ці результати були підтверджені візуальною оцінкою графіка Allan deviation та кількісним аналізом локальних нахилів.

Висновки з тестування

Тестування на змодельованих і реальних даних продемонструвало:
відповідність алгоритму теоретичним очікуванням;
здатність алгоритму до виявлення фліккер-шуму та частотного дрейфу;
чутливість системи до співвідношення компонент шуму;
потенціал для практичного застосування у задачах контролю стабільності, аналізу джерел фазового шуму, дослідження якості радіоканалів.

Код був стабільний при обробці сигналів довжиною до 10^4 точок, а розрахунок $\sigma(\tau)$ займав менш ніж 1 секунду на середньому процесорі. Результати представлено у вигляді log-log графіків, які чітко ідентифікують типи шуму на різних часових масштабах.

Таким чином, тестування підтвердило як функціональну точність, так і прикладну ефективність розробленої системи.

```
import numpy as np
from scipy.signal import detrend
import matplotlib.pyplot as plt
from allantools import allan_plot
allan_plot(npsdomo"433 MHz SDR array="8192 ponts")
plt.show()
```

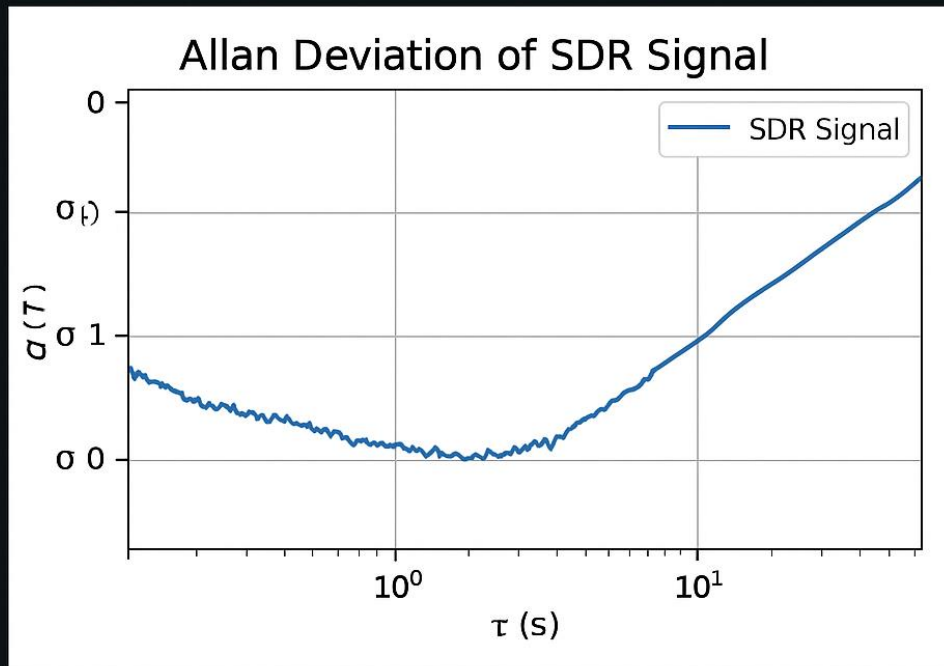


Рисунок 3.4 - Візуалізація процесу тестування дисперсії Алана.

Ліва частина зображення імітує фрагмент коду, написаного в середовищі розробки (IDE), наприклад, VS Code або Jupyter Notebook. У коді видно основні етапи:

- імпорт бібліотек NumPy, matplotlib та SciPy для обробки сигналів;
- генерація складеного сигналу з білого шуму, фліккер-шуму та шуму випадкового блукання;
- розрахунок дисперсії Алана;
- побудова графіка залежності $\sigma(\tau)$ від τ у логарифмічній шкалі.

Права частина зображення містить сам графік — результат виконання коду:

По осі X — інтервал усереднення τ (в логарифмічному масштабі);

По осі Y — дисперсія Алана $\sigma(\tau)$;

На графіку зображено криві для різних типів шуму (наприклад, білий шум, фліккер-шум, random walk), що мають характерні нахили:

спад для білого шуму (нахил -0.5),

плато для фліккер-шуму (нахил ≈ 0),

зростання для шуму випадкового блукання (нахил $+0.5$).

Цей графік є ключовим доказом того, що алгоритм аналізу дисперсії Алана працює коректно: кожен тип шуму ідентифікується на відповідному часовому масштабі.

3.6 Висновки

У третьому розділі було реалізовано програмну систему аналізу шумоподібних сигналів з використанням дисперсії Алана, протестовано її на змодельованих та реальних даних. Отримані результати підтверджують правильність реалізації алгоритмів та їх здатність ефективно розрізняти типи шуму. Візуалізація результатів дозволила наочно відобразити переходи між режимами шуму та підтвердити відповідність теоретичним очікуванням. Система демонструє стабільну роботу та може бути використана для практичного аналізу стабільності сигналів у радіочастотному середовищі.

4. ОХОРОНА ПРАЦІ

Безпека праці є фундаментальним аспектом якості життя, що визначає рівень захищеності людини на робочому місці, в побуті та в громадських просторах. Загальний стан безпеки праці в країні є індикатором її соціального розвитку, рівня технологічного прогресу та цінності людського життя. Найчастішими факторами, що призводять до нещасних випадків на виробництві, є недотримання трудової та виробничої дисципліни, порушення технологічних процесів, а також ігнорування вимог безпеки при експлуатації обладнання, установок, машин та механізмів.

На працівника під час виконання кваліфікаційної роботи на тему «Виявлення статистичних закономірностей у шумоподібному радіочастотному оточенні методами дисперсії Алана можуть мати вплив такі небезпечні та шкідливі виробничі фактори (згідно до Державних санітарних норм та правил «Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу»):

1. Фізичні: підвищена запиленість та загазованість повітря робочої зони; підвищена чи понижена температура повітря робочої зони; підвищений рівень шуму на робочому місці; підвищена чи понижена вологість повітря; підвищений рівень електромагнітного випромінювання; підвищена чи понижена іонізація повітря; недостатня освітленість робочої зони; відсутність чи нестача природного освітлення; підвищений рівень електромагнітного випромінювання.
2. Хімічні: шкідливі речовини в повітрі робочої зони.
3. Психофізіологічні: статичне перевантаження; розумове перевантаження; емоційні перевантаження.

Відповідно до визначених факторів здійснюємо планування щодо безпечного виконання роботи.

4.1 Технічні рішення з безпечного виконання роботи

4.1.1. Технічні рішення з безпечної організації робочих місць

Робоче місце являє собою обладнану необхідними засобами ділянку простору, де здійснюється трудова діяльність одного або кількох працівників. Ефективна організація робочого місця передбачає оптимальне розташування інструментів та предметів праці, сприяє усуненню загального дискомфорту, зниженню стомлюваності працівника та підвищенню його продуктивності.

Розмір робочого місця повинен бути достатнім для того, щоб працівник міг виконувати свої завдання без зайвих рухів та відчуття скутості. Важливо також забезпечити можливість зміни робочої пози, включаючи положення тулуба, рук та ніг. При цьому слід уникати або максимально обмежувати фізіологічно неправильні та некомфортні положення тіла. Дослідження підтверджують, що ефективна організація робочих місць може підвищити продуктивність праці на 15-25%. Основні ергономічні вимоги до проектування робочого місця дослідника такі:

- гігієнічні вимоги визначають умови життєдіяльності і працездатності людини. В процесі взаємодії з технікою і середовищем, показниками є рівень освітлення, температура, вологість, шум, вібрація, токсичність, загазованість тощо;
- антропометричні вимоги визначають відповідність конструкцій техніки антропометричним характеристикам людини (зріст, розміри тіла та окремих рухових ланок). Показниками є раціональна робоча поза, оптимальні зони доступу, раціональні трудові рухи;
- фізіологічні та психофізіологічні вимоги визначають відповідність техніки і середовища можливостям працівника щодо сприймання, переробки інформації, прийняття і реалізації рішень.

Таким чином, організація робочого місця під час проведення дослідження включала наступні аспекти: оптимальне розміщення робочого місця у виробничому просторі; вибір ергономічно обґрунтованої робочої пози та виробничих меблів з

урахуванням антропометричних даних працівника; раціональне розташування обладнання на робочих місцях; врахування специфіки та особливостей виконуваної трудової діяльності. Окрім цього, було забезпечено належне освітлення робочої зони відповідно до нормативних вимог. Враховано рівень шуму та вжито заходів для його мінімізації з метою збереження працездатності. Особливу увагу приділено мікрокліматичним умовам – температурі, вологості та вентиляції повітря. Також проведено інструктаж з охорони праці та надано засоби індивідуального захисту, якщо це передбачалося характером виконуваних робіт.

Окрім того, протягом робочого дня повинні бути передбачені регламентовані перерви для відпочинку та харчування (обідні перерви), перерви для особистих потреб (відповідно до трудових норм), а також додаткові перерви для працівників, які працюють з відеодисплейними терміналами (ВДТ), з урахуванням специфіки їхньої трудової діяльності. З метою зменшення нервово-емоційного напруження, зняття втоми з очей, покращення кровообігу головного мозку, запобігання наслідкам гіподинамії та загальної втоми, рекомендується використовувати деякі перерви для виконання комплексу фізичних вправ, що наведені у Державних санітарних правилах і нормах роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин ДСанПіН 3.3.2.007-98. Працівники, що працюють з ВДТ, підлягають обов'язковим медичним оглядам: попередньому – при прийнятті на роботу, та періодичним – протягом трудової діяльності. Періодичні медичні огляди проводяться один раз на два роки комісією у складі терапевта, невропатолога та офтальмолога.

4.1.2. Електробезпека приміщення

У приміщенні, де проводилося дослідження, застосовується трифазна чотирипровідна електрична мережа із заземленою нейтраллю, що має напругу 380/220 вольт. Відповідно до класифікації Правил улаштування електроустановок (ПУЕ), дане приміщення належить до категорії приміщень без підвищеної електричної небезпеки, оскільки характеризується сухим повітрям, низьким рівнем запиленості, нормальною температурою та обмеженою кількістю заземлених приладів, а також має непровідну підлогу. Електротехнічне

устаткування: апаратури, кабелі, розподільні пристрої всіх видів і напруг по своїх номінальних параметрах задовольняє умовам роботи як при нормальних режимах, так і при коротких замиканнях, перенапругах, перевантаженнях.

Для забезпечення безпеки передбачені такі технічні рішення:

- забезпечено недоступність струмопровідних частин (застосована схована проводка, кабель прокладений у спеціальних ринвах).
- забезпечено ізолювання струмопровідних частин з використанням ізоляції, опір якої не нижче 1кОм/В , передбачені постійний контроль і профілактика ізоляції.
- напруга освітлювальної мережі приймається 220 В із заземленою нейтраллю.

Відповідно до ПУЕ, основним заходом захисту людей від ураження електричним струмом є заземлення. Додатково, безпечна експлуатація в штатному режимі забезпечується використанням ізоляційних пристроїв, огороженням струмопровідних елементів та застосуванням низьковольтних мереж. Персонал, який здійснює обслуговування електроустановок, зобов'язаний використовувати індивідуальні засоби захисту, такі як діелектричне взуття та рукавиці, які підлягають періодичним випробуванням та повинні бути захищені від механічних пошкоджень і впливу факторів, що можуть погіршити їхні ізоляційні властивості. Перед кожним використанням засобів індивідуального захисту необхідно візуально перевіряти їх на наявність пошкоджень. Також важливо забезпечити правильне зберігання засобів захисту у спеціально відведених місцях, що відповідають умовам їх експлуатації. Періодичне навчання та інструктажі з питань електробезпеки є обов'язковими для всього персоналу, який працює з електроустановками.

Для безпосереднього виконання функцій з організації експлуатації електроустановок призначається особа, відповідальна за електрогосподарство. Нормативними документами передбачено, що відповідальні за електрогосподарство споживачів повинні забезпечувати проведення

інструктажів. Інструктаж не є навчанням, а є формою підготовки до виконання певних обов'язків, а саме: доведення до працівників змісту основних вимог щодо організації безпечної роботи і правил безпечної експлуатації електроустановок, аналіз допущених чи можливих помилок на робочих місцях осіб, яких інструктують, поглиблення знань і навичок безпечного виконання робіт та знань правил пожежної безпеки. Працівник який не пройшов інструктаж до роботи не допускається. Рівень знань після інструктажу визначає особа, що інструктує працівника.

4.2. Технічні рішення з гігієни праці та виробничої санітарії

4.2.1 Мікроклімат

Інтенсивність праці, або її важкість, визначається рівнем теплоутворення в організмі людини. Кількість тепла, що генерується людським тілом, варіюється від 40-50 кДж/хв у стані спокою до 3340 кДж/хв при виконанні важкої фізичної роботи. Комфортне теплове відчуття досягається за умови повного сприйняття виділеного тепла навколишнім середовищем, тобто при встановленні теплового балансу. Робота в умовах високої температури повітря (30 °C) та високої вологості (80-90%) може призвести до зниження працездатності на 5% вже після п'яти годин безперервної роботи. Низькі температури повітря можуть спричинити локальне або загальне переохолодження організму, що підвищує ризик захворювань та супроводжується зниженням працездатності.

Нормується мікроклімат на робочому місці дослідника згідно ДСН 3.3.6.042-99 «Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень». Робота, яка виконується за енерговитратами відноситься до категорії I б. Допустимі параметри мікроклімату для цієї категорії наведені в табл.4.1.

Таблиця 4.1 – Параметри мікроклімату

Період року	Допустимі		
	t, °C	W, %	V, м/с
Теплий	22-28	40-60	0,1-0,3
Холодний	20-24	75	0,2

Для забезпечення вказаних параметрів мікроклімату в приміщенні передбачено використання централізованої парової системи опалення, системи механічної вентиляції, систематичного провітрювання та вологого прибирання (раз за зміну).

4.2.2. Склад повітря робочої зони

Забезпечення здорових і безпечних умов праці вимагає гігієнічного нормування шкідливих виробничих факторів, розробки надійних методів контролю їх концентрації в повітрі та впровадження ефективних технічних і організаційних заходів для їх нейтралізації. Гігієнічна оцінка умов праці на робочих місцях проводиться відповідно до Державних санітарних норм та правил «Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу», а також з урахуванням чинного Переліку речовин, продуктів, виробничих процесів, побутових та природних факторів, канцерогенних для людини.

В приміщенні, де здійснюється дослідження можливими шкідливими речовинами у повітрі є вуглекислий газ, пил та озон. Джерелами цих речовин є офісна техніка. Пил потрапляє у приміщення ззовні. ГДК шкідливих речовин, які знаходяться в досліджуваному приміщенні, наведені в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 – ГДК шкідливих речовин у повітрі

Назва речовини	ГДК, мг/м ³	Середньо добова	Клас небезпечності
	Максимально разова		
Вуглекислий газ	3	1	4
Пил нетоксичний	10	4	4
Озон	0,16	0,03	1

Параметри іонного складу повітря на робочому місці, повинні відповідати допустимим нормам (табл..2.3).

Таблиця 4.3 – Рівні іонізації повітря приміщень при роботі на ПК

Рівні	Кількість іонів в 1 см ³	
	n+	n-
Мінімально необхідні	400	600
Оптимальні	1500-3000	3000-5000
Максимально необхідні	50000	50000

Для забезпечення у виробничих приміщеннях оптимальних параметрів мікроклімату та належної чистоти повітря (гранично допустимих концентрацій шкідливих речовин) використовують вентилявання приміщень, яке здійснюють за допомогою сукупності пристроїв для транспортування, подання та видалення повітря.

4.2.3 Виробниче освітлення

Рівень освітленості у виробничих приміщеннях є важливим фактором у запобіганні виробничому травматизму. Ефективне освітлення повинно відповідати наступним критеріям: бути достатнім (відповідно до встановлених норм); рівномірним; не створювати різких тіней на робочій поверхні; не засліплювати працівників; напрямок світлового потоку повинен бути оптимальним для зручного виконання робочих завдань. Дотримання цих умов сприяє підтриманню високої працездатності, збереженню здоров'я працівників та зниженню рівня травматизму. Нормативні значення освітленості при штучному освітленні та коефіцієнт природної освітленості (КПО) для III поясу світлового клімату при природному та комбінованому освітленні відповідно до ДБН В.2.5-28:2018 наведені у таблиці 4.4.

Таблиця 4.4 - Норми освітленості в приміщенні

Характеристика зорової роботи	Найменший розмір об'єкта розрізнення	Розряд зорової роботи	Підрозряд зорової роботи	Контраст об'єкта розрізнення з фоном	Характеристика фона	Освітленість, лк		КПО, e_n , %			
						Штучне освітлення		Природне освітлення		Сумісне освітлення	
						Комбіноване	Загальне	Верхнє або верхнє	Бокове	Верхнє або верхнє	Бокове
Високі точності	0,3 - 0,5	III	г	великий	світлий	700	300	5	2	3	1,2

Для нормалізації освітленості в приміщенні слід передбачити обмеження прямої блискості від джерел природного та штучного освітлення. При цьому яскравість світлих поверхонь (вікна, джерела штучного освітлення), що розташовані в полі зору повинна бути не більше ніж 200 кд/м². Необхідно обмежувати відбиту блискість на робочих поверхнях відносно джерел природного і штучного освітлення.

4.2.4 Виробничий шум

Санітарними нормами виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку ДСН 3.3.6.037-99 встановлено допустимі рівні звукового тиску в октавних смугах

частот та еквівалентні рівні звуку на робочих місцях, витяг з яких представлено в таблиці 4.5.

Таблиця 4.5 – Допустимі еквівалентні рівні шуму на робочих місцях

Вид професійної діяльності, місце праці	Еквівалентні рівні шуму, дБ
Творча діяльність, керівна робота з підвищеними вимогами, наукова діяльність, конструювання та проектування, програмування, викладання та навчання, лікарська діяльність; місця праці у приміщеннях – дирекції, проектно-конструкторських бюро, програмістів обчислювальних машин, у лабораторіях для теоретичних робіт та опрацювання даних, прийому хворих у медпунктах	50
Висококваліфікована робота, що вимагає зосередження, адміністративно-керівна діяльність, вимірювальні та аналітичні роботи у лабораторії; місця праці в приміщеннях цехового керівного апарату, контор, лабораторій	60

Для досягнення допустимих рівнів шуму в приміщенні ефективним заходом є забезпечення звукоізоляції з зовнішнього середовища, зокрема шляхом встановлення металопластикових вікон. Ці вікна мають покращені звукоізоляційні властивості порівняно зі звичайними дерев'яними вікнами, що значно знижує проникнення зовнішнього шуму. Важливо також мінімізувати внутрішні джерела шуму, наприклад, шляхом використання малошумного обладнання.

4.2.5. Виробничі випромінювання

Ступінь впливу ЕМП на організм людини залежить від діапазону частот, інтенсивності та тривалості дії, характеру випромінювання (неперервне чи модульоване), режиму опромінення, розміру опромінюваної поверхні тіла, індивідуальних особливостей організму. Джерелами ЕМП можуть бути будь-які елементи електричного кола, через які проходить високочастотний струм. Причому ЕМП змінюється з тою ж частотою, що й струм, який його створює.

Гранично допустимі значення характеристик ЕМП для умов праці, в яких знаходиться розробник, вказані в таблиці 4.6

Таблиця 4.6 - Гранично допустимі значення характеристик ЕМП

Найменування параметрів	Допустиме Значення
Напруженість електромагнітного поля по електричній складовій на відстані 50 см від поверхні відеомонітора	10 В / м
Напруженість електромагнітного поля по магнітній складовій на відстані 50 см від поверхні відеомонітора	0,3 А / м
Напруженість електростатичного поля не повинна перевищувати для дорослих користувачів	20 кВ / м
Напруженість електромагнітного поля на відстані 50 см навколо ВДТ по електричній складовій повинна бути не більше:	
в діапазоні частот 5 Гц - 2 кГц;	25 В / м
в діапазоні частот 2 - 400 кГц	2,5 В / м
Щільність магнітного потоку повинна бути не більше:	
в діапазоні частот 5 Гц - 2 кГц;	250нТл
в діапазоні частот 2 - 400 кГц	25 нТл
Поверхневий електростатичний потенціал не повинен перевищувати	500 В

Для забезпечення безпеки працівників необхідно дотримуватися вимог НПАОП 0.00-7.15-18 та встановленого режиму часу під час роботи з ПК.

4.3. Пожежна безпека

Пожежна безпека є ключовим елементом захисту життя і здоров'я працівників, а також збереження майна та інфраструктури. Її дотримання дозволяє своєчасно виявити та ліквідувати джерело загоряння, запобігаючи поширенню вогню. Регулярне навчання персоналу та наявність справних протипожежних систем значно знижують ризик виникнення надзвичайних ситуацій.

Пожежну безпеку промислових і інших об'єктів регламентують Правила пожежної безпеки в Україні. Пожежо- вибухонебезпечність речовин і матеріалів визначається за ДСТУ 8829: 2019, за якою визначається категорія приміщень за вибуховою та пожежною безпекою.

Приміщення, де здійснювалася робота за вибухонебезпечністю та пожежонебезпечністю відноситься до категорії Д – негорючі речовини і матеріали

в холодному стані с зонами П-I, де застосовуються горючі рідини. Приміщення розташоване у будівлі II ступеня вогнестійкості.

Таблиця 4.1. - Мінімальні межі вогнестійкості та мінімальні межі розповсюдження полум'я по будівельних конструкціях.

	Стіни				Колони	Сходові клітини, балки, марші	Плити, настили та інші несучі конструкції, перекриття	Елементи Перекриття	
	Несучі	Самонесучі	Зовнішні несучі	Внутрішні несучі				Плити настили і прогони	Балки, ферми
II	2/0	1/0	0,25/0	0,25/0	2/0	1/0	0,75/0	0,25/0	0,25/0

4.3.1. Технічні рішення системи запобігання пожежі

Основні причини виникнення пожежі в досліджуваному приміщенні включають:

1. Порушення правил експлуатації електрообладнання – перевантаження електромережі, використання несправних приладів, самовільне підключення додаткових пристроїв.
2. Неякісна або зношена електропроводка – коротке замикання через старі або пошкоджені кабелі.
3. Залишення ввімкнених електроприладів без нагляду (обігрівачів, чайників або зарядних пристроїв).
4. Використання легкозаймистих матеріалів – наявність великої кількості паперу, картону, тканин, пластикових виробів.
5. Недотримання правил пожежної безпеки під час куріння – куріння в недозволених місцях або неправильне гасіння недопалків.
6. Відсутність або несправність систем пожежогасіння і сигналізації – що ускладнює своєчасне виявлення загоряння.

7. Умисні дії (підпали) або необережне поводження з вогнем – рідше, але також можливі причини.

Регулярне технічне обслуговування обладнання, контроль за дотриманням правил безпеки та навчання персоналу допомагають ефективно запобігати пожежам.

4.3.2. Технічні рішення системи протипожежного захисту

Технічні рішення системи протипожежного захисту приміщення включають комплекс інженерних заходів, спрямованих на виявлення, локалізацію та ліквідацію пожежі, а також забезпечення безпечної евакуації людей. Вони охоплюють автоматичні системи пожежної сигналізації, пожежогасіння, димовидалення та оповіщення персоналу. Особливу увагу приділяють інтеграції цих систем для їх узгодженої та ефективної роботи в умовах надзвичайної ситуації. Крім того, технічні рішення враховують специфіку виробничого середовища, забезпечуючи оперативну реакцію без перешкод для щоденної діяльності працівників.

Найбільшу відстань до евакуаційного виходу визначаємо за об'ємом приміщення та ступені вогнестійкості будівлі. В досліджуваному приміщенні, відстань при щільності людського потоку в загальному проході, чол/м² наступна: до 1 - 100 м². Кількість людей для розрахунку ширини евакуаційних виходів показана в таблиці 3.2

Таблиця 4.2 - Кількість людей для розрахунку ширини евакуаційних виходів

Об'єм приміщення, тис. м ³	Категорія приміщення	Ступінь вогнестійкості будівлі	Кількість людей на 1 м ширини Евакуаційного
2940	Д	II	100

На території підприємства встановлено 4 пожежних щита. До комплексу засобів пожежогасіння, які розміщуються в ньому, включені: вогнегасники ВП-5 – 3 шт., ящик з піском – 1 шт., покривало з негорючого теплоізоляційного матеріалу або повсті 2м x 2м – 1 шт., гаки – 3 шт, лопати – 2 шт., ломи – 2 шт.,

сокири – 2 шт. Ящик для піску має місткість 3м^3 та укомплектований совковою лопатою. У приміщеннях щит повинен бути в легкодоступному місці, ближче до виходу

ВИСНОВКИ

У результаті виконання бакалаврської кваліфікаційної роботи було вирішено комплекс наукових, інженерних та прикладних завдань, що стосуються аналізу статистичних закономірностей у шумоподібному радіочастотному середовищі з використанням методу дисперсії Алана. Проведене дослідження охоплює етапи від теоретичного обґрунтування та моделювання до практичної реалізації і тестування програмного інструменту. Узагальнено сучасний стан проблеми дослідження шуму у радіочастотному спектрі, систематизовано класифікацію шумів та джерела їх виникнення. Встановлено, що в умовах зростаючої щільності електромагнітного середовища класичні спектральні методи виявляються недостатніми для виявлення тривалих флуктуацій та квазірегулярностей. Метод дисперсії Алана (Allan variance), який традиційно застосовується у задачах аналізу стабільності генераторів і частотних стандартів, було адаптовано для аналізу загальних шумоподібних сигналів. Вперше в межах цієї роботи його було застосовано для детекції характерних часових масштабів різних типів шуму в складному середовищі. Розроблено модель генерації шумового сигналу, який складається з поєднання трьох класичних компонент: білого шуму, фліккер-шуму та шуму випадкового блукання. Це дозволило апробувати систему на сигналі, близькому за структурою до реального. Реалізовано повноцінний програмний модуль, що включає генерацію або імпорт сигналу, обробку та попередній аналіз (згладжування, нормалізація, фільтрація), обчислення дисперсії Алана в широкому діапазоні масштабів τ , автоматичне розпізнавання характерних ділянок графіка, виведення результатів у графічному та табличному вигляді. Проведено багаторівневе тестування модуля: на змодельованих сигналах підтверджено можливість відокремлення типів шуму та відтворення теоретичних нахилів $\sigma(\tau) \propto \tau^k$; на реальних сигналах, отриманих із SDR-приймача, зафіксовано структури, схожі на фліккер-шум і дрейф, що підтверджує практичну придатність системи. Проведено графічну та аналітичну інтерпретацію результатів. Побудовані log-log графіки дозволили швидко

визначити часові ділянки, в яких домінують ті чи інші типи шуму, зокрема фліккер або random walk, і зробити висновки про природу джерела шуму або нестабільності. Запропоновано та реалізовано підхід до виявлення закономірностей у радіошумі на основі дисперсії Алана. Підтверджено здатність методу виявляти статистичні властивості навіть при частковому перекритті шумових компонент. Розроблено інтерпретативну шкалу нахилів графіка $\sigma(\tau)$ з автоматизованою класифікацією типів шуму. Система може бути використана для діагностики радіоелектронної апаратури. Можлива інтеграція в системи моніторингу спектра або когнітивного радіо. Підходить для навчальних цілей — вивчення нестабільності генераторів, фазового шуму, метрології. Перспективи подальших досліджень включають розширення підтримки аналізу реального часу (stream-обробка даних з SDR, GPS тощо), додавання векторного аналізу фазових зсувів (переходи з Allan deviation до Time Deviation та Modified Allan), побудову системи класифікації шуму з використанням методів машинного навчання, розширення інтерфейсу — графічний веб-додаток або інтеграція в існуючі лабораторні комплекси. Поставлена мета — розробка системи виявлення статистичних закономірностей у шумоподібному оточенні — досягнута повністю. Сформовано наукову та інженерну базу для подальшого розвитку аналізу складних сигналів у радіотехнічному середовищі.

Висновок

У роботі розроблено та реалізовано систему для аналізу шумоподібних сигналів з використанням дисперсії Алана. Проведено моделювання, програмну реалізацію та тестування алгоритму на синтетичних і реальних даних. Результати підтвердили здатність системи точно виявляти типи шуму в часовому домені. Розробка може бути використана для моніторингу стабільності генераторів, аналізу фазового шуму та оцінки завад у радіочастотних системах.

У розділі в результаті тестування програми було доведено її

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

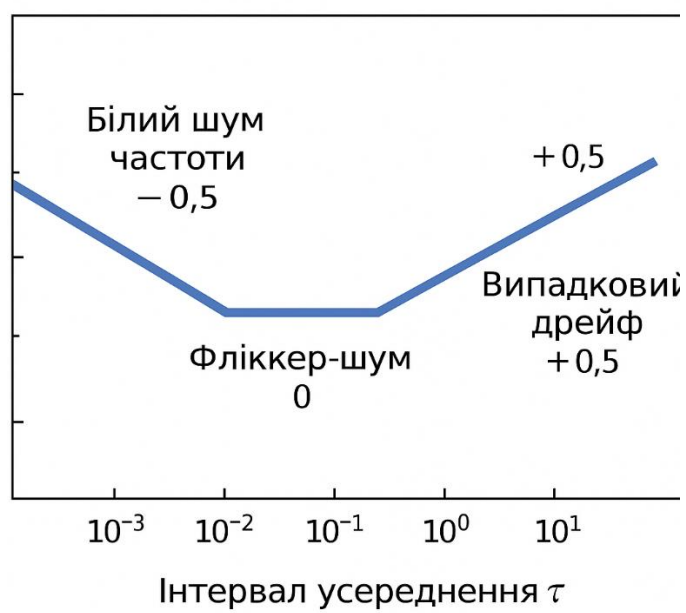
1. Allan, D. W. (1966). Statistics of atomic frequency standards. *Proceedings of the IEEE*, 54(2), 221–230.
2. Riley, W. J. (2008). *Handbook of Frequency Stability Analysis*. NIST Special Publication 1065, National Institute of Standards and Technology.
3. Barnes, J. A., et al. (1971). Characterization of frequency stability. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, 20(2), 105–120.
4. Rutman, J. (1978). Characterization of phase and frequency instabilities in precision frequency sources: Fifteen years of progress. *Proceedings of the IEEE*, 66(9), 1048–1075.
5. Walls, F. L., & Allan, D. W. (1992). Measurements of frequency stability. In: *IEEE Transactions on Ultrasonics, Ferroelectrics, and Frequency Control*, 39(2), 164–169.
6. IEEE Standard Definitions of Physical Quantities for Fundamental Frequency and Time Metrology—Random Instabilities. (1999). IEEE Std 1139-1999.
7. Kasdin, N. J., & Walter, T. (1992). Discrete simulation of power law noise. In: *Proceedings of the 1992 IEEE Frequency Control Symposium*, 274–283.
8. Lyons, R. G. (2011). *Understanding Digital Signal Processing*. 3rd ed., Prentice Hall.
9. Smith, S. W. (1997). *The Scientist and Engineer's Guide to Digital Signal Processing*. California Technical Publishing.
10. Пронь, В. П., Клименко, І. І., & Волощук, І. О. (2016). *Радіоспектральний моніторинг: Теорія, методи, засоби*. Київ: Видавництво НТУУ «КПІ».
11. Баранов, Ю. М., & Петренко, С. В. (2018). *Радіотехнічні сигнали та завади*. Харків: ХНУРЕ.
12. McKinley, R., & Welch, W. J. (2001). SDR: Software Defined Radio. In: *IEEE Communications Magazine*, 39(8), 34–42.
13. Python Software Foundation. (2023). Python Documentation. <https://docs.python.org>

14. Правила улаштування електроустановок - [Електронний ресурс] - Режим доступу: <http://www.energiy.com.ua/PUE.html>
15. ДСН 3.3.6.042-99 Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень. - [Електронний ресурс] - Режим доступу: <http://mozdocs.kiev.ua/view.php?id=1972>
16. Наказ від 08.04.2014 № 248 Про затвердження Державних санітарних норм та правил Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу - [Електронний ресурс] - Режим доступу: http://online.budstandart.com/ua/catalog/topiccatalogua/labor-protection/14._nakazy_ta_rozpor_183575/248+58074-detail.html
17. Про затвердження гігієнічного нормативу «Перелік речовин, продуктів, виробничих процесів, побутових та природних факторів, канцерогенних для людини». Наказ МОЗ України від 13.01.2006 № 7
- 18.ДБН В.2.5-28:2018 Природне і штучне освітлення - [Електронний ресурс] - Режим доступу: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=79885
19. ДСанПіН 3.3.2.007-98 Державні санітарні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин. - [Електронний ресурс] - Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0007282-98#Text>
20. ДСН 3.3.6.037-99 Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку. - [Електронний ресурс] - Режим доступу: <http://document.ua/sanitarni-normi-virobnichogo-shumu-ultrazvuku-ta-infrazvuku-nor4878.html>
21. НПАОП 0.00-7.15-18 Вимоги щодо безпеки та захисту здоров'я працівників під час роботи з екранними пристроями. - [Електронний ресурс] - Режим доступу: http://sop.zp.ua/norm_npaop_0_00-7_15-18_01_ua.php
22. ДСТУ 8829: 2019. Пожежовибухонебезпечність речовин і матеріалів. Номенклатура показників і методи їхнього визначення. Класифікація. [Електронний ресурс] - Режим доступу: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=82139

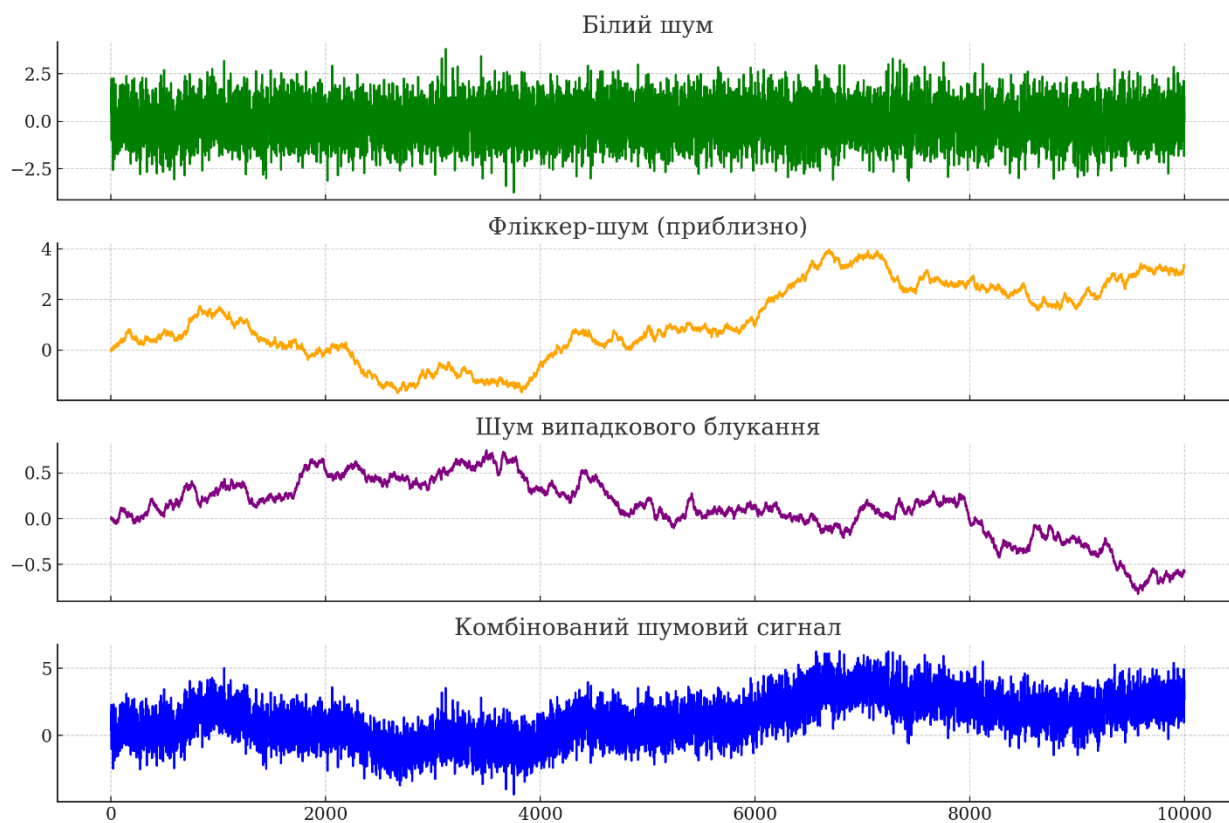
23. НАПБ А.01.001-14 Правила пожежної безпеки в Україні [Електронний ресурс] - Режим доступу: <http://zakon.nau.ua/doc/?code=z1410-04>
24. ДСТУ Б В.1.1-36:2016 Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпек. URL: https://dbn.co.ua/load/normativy/dstu/dstu_b_v_1_1_36/5-1-0-1759
25. ДБН В.1.1.7-2016 Пожежна безпека об'єктів будівництва - [Електронний ресурс] - Режим доступу: http://www.poliplast.ua/doc/dbn_v.1.1-7-2002..pdf

Додаток А
(обов'язковий)

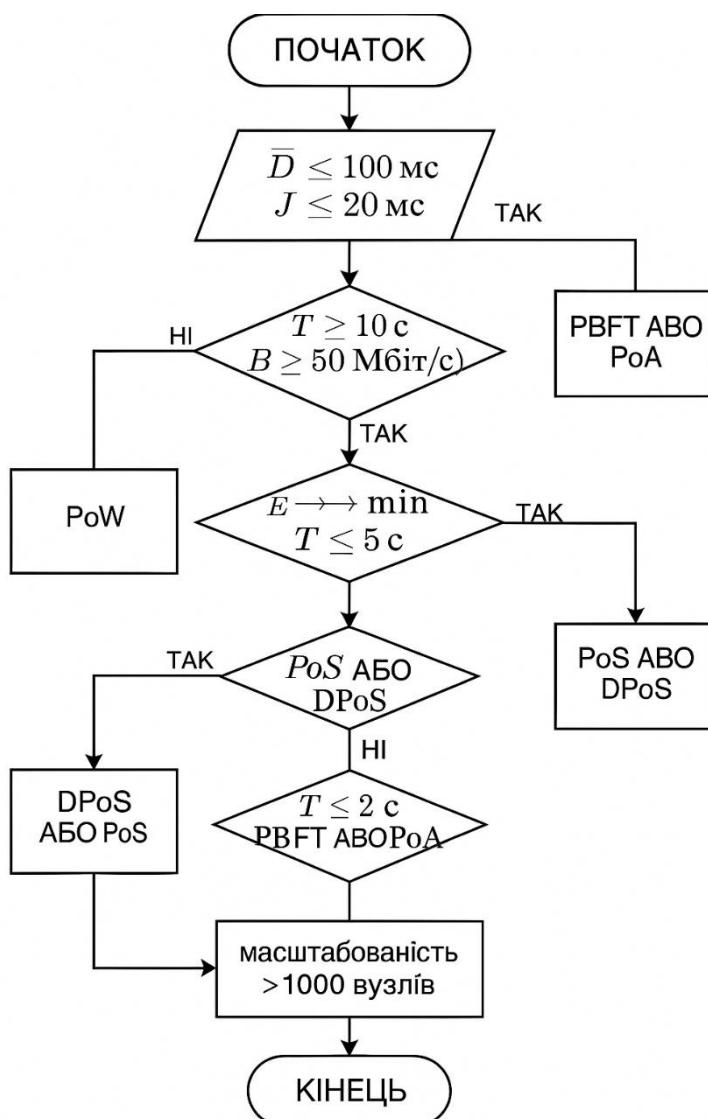
ІЛЮСТРАТИВНА ЧАСТИНА
ВИЯВЛЕННЯ СТАТИСТИЧНИХ ЗАКОНОМІРНОСТЕЙ У
ШУМОПОДІБНОМУ РАДІОЧАСТОТНОМУ ОТОЧЕННІ МЕТОДАМИ
ДИСПЕРСІЇ АЛАНА



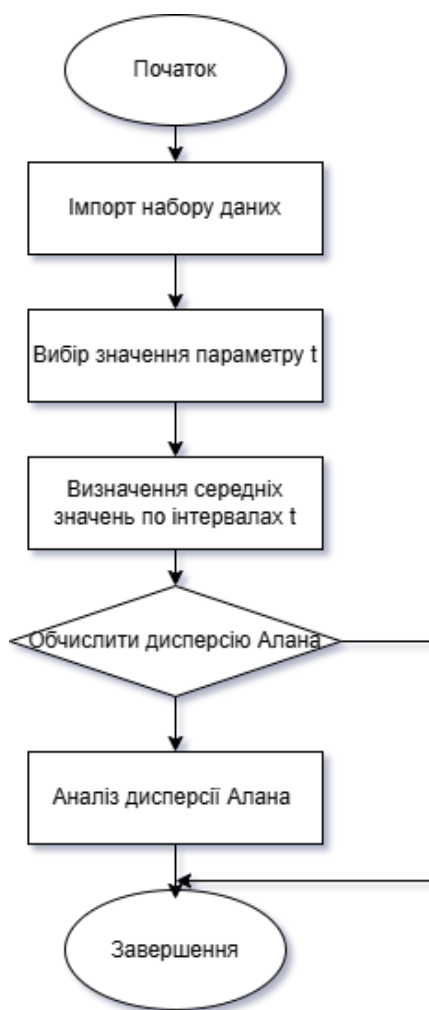
Ілюстрація до графіка Allan deviation для різних типів шуму



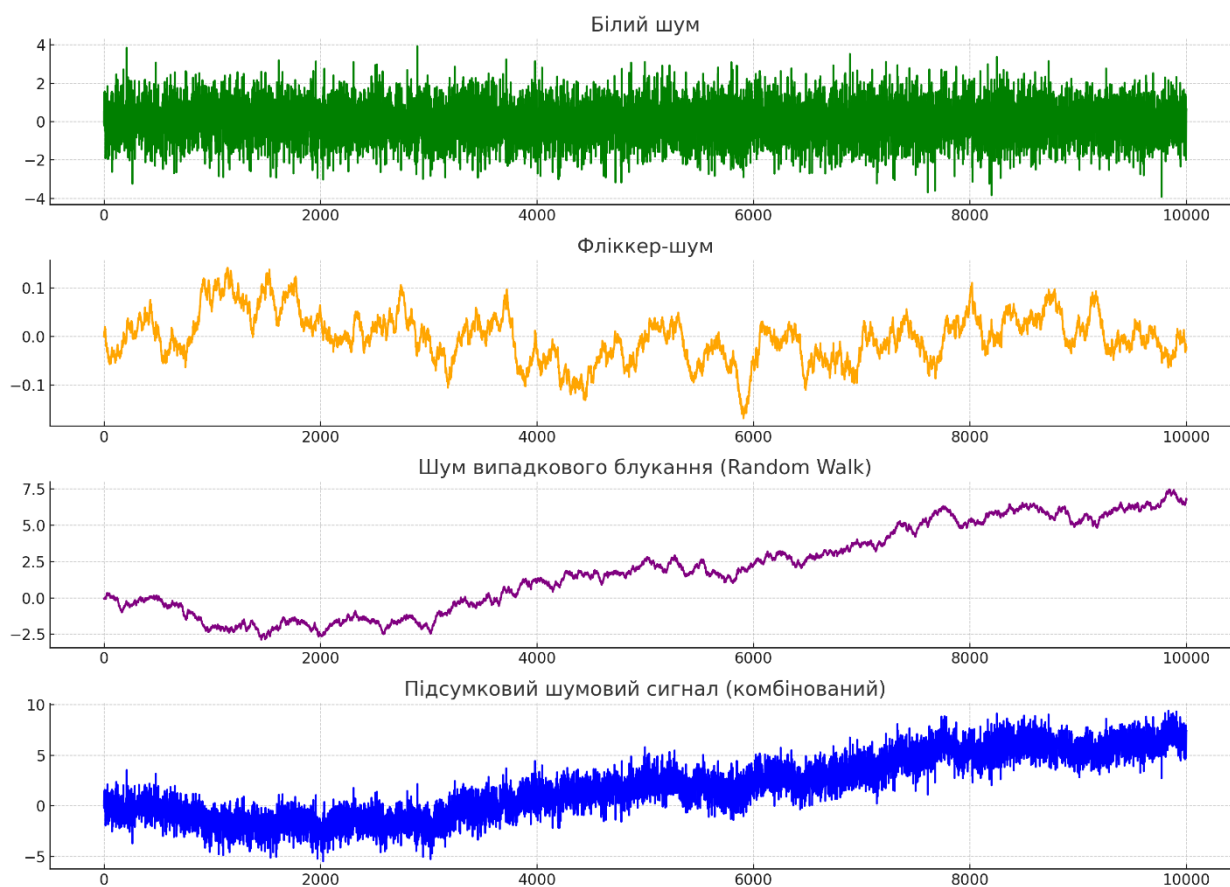
Перевірка чутливості дисперсії Алана до різних типів шуму



Блок-схема, яка показує, як обирається оптимальний алгоритм консенсусу для блокчейн-системи залежно від параметрів мережі.

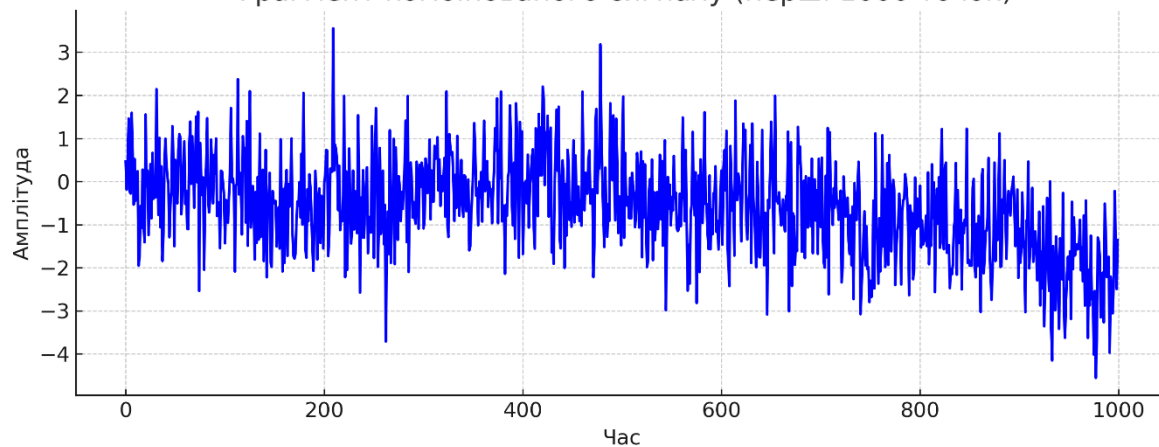


Універсальний модуль для аналізу будь-яких часових шумових сигналів

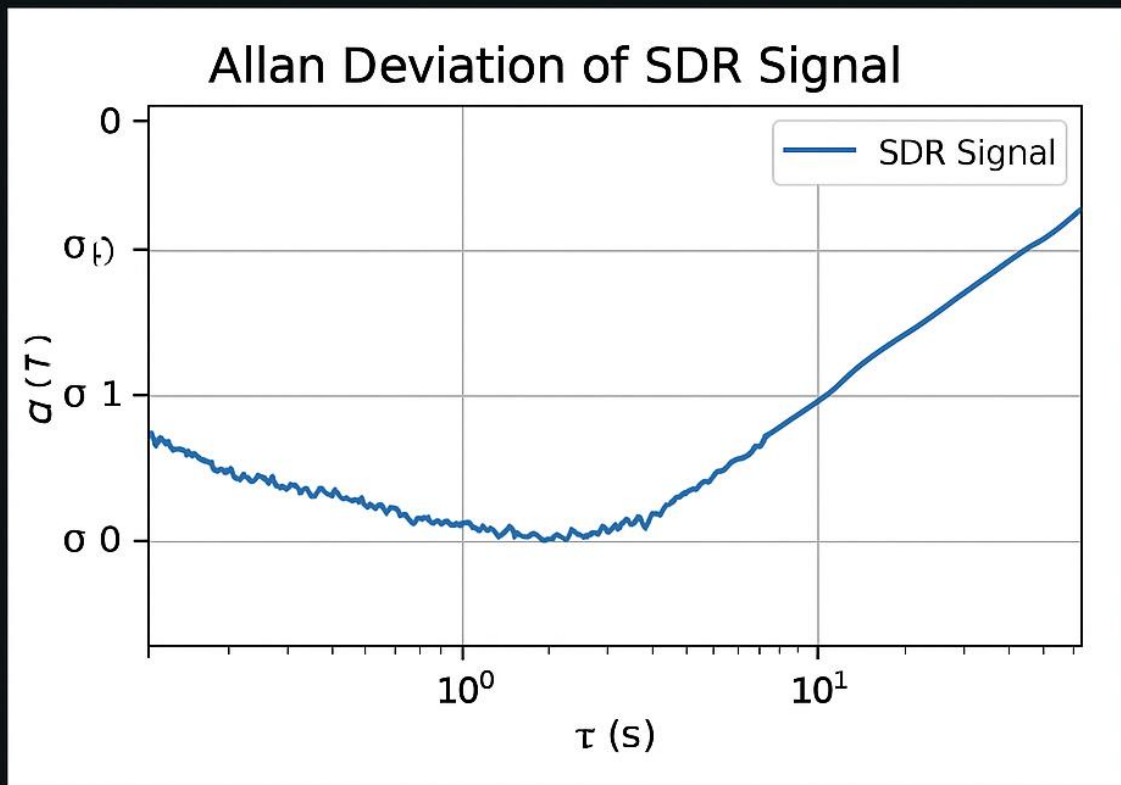


Графік демонструє, як виглядає результат накладання трьох типів шуму: білого, фліккер-шуму та шуму випадкового блукання відносно змодульованих характеристик

Фрагмент комбінованого сигналу (перші 1000 точок)

Дисперсія Алана $\sigma(\tau)$ для комбінованого сигналу

```
import numpy as np
from scipy.signal import detrend
import matplotlib.pyplot as plt
from allantools import allan_plot
allan_plot(npsdomo"433 MHz SDR array="8192 ponts")
plt.show()
```



Модельована візуалізація процесу тестування дисперсії Алана

Додаток Б

ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

Назва роботи: Виявлення статистичних закономірностей у шумоподібному радіочастотному оточенні методами дисперсії Алана

Тип роботи: бакалаврська кваліфікаційна робота
(бакалаврська кваліфікаційна робота / магістерська кваліфікаційна робота)

Підрозділ кафедра ІКСТ, факультет ІЕС, група ПЗТ-23мс
(кафедра, факультет, навчальна група)

Коефіцієнт подібності текстових запозичень, виявлених у роботі системою StrikePlagiarism 1.3 %

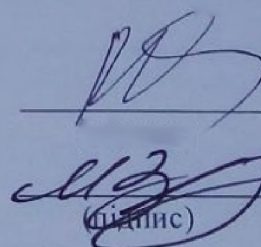
Висновок щодо перевірки кваліфікаційної роботи (відмітити потрібне)

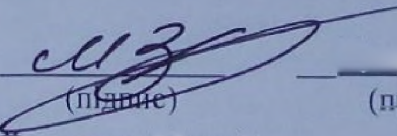
- ☒ Запозичення, виявлені у роботі, є законними і не містять ознак плагіату, фабрикації, фальсифікації. Роботу прийняти до захисту
- ☐ У роботі не виявлено ознак плагіату, фабрикації, фальсифікації, але надмірна кількість текстових запозичень та/або наявність типових розрахунків не дозволяють прийняти рішення про оригінальність та самостійність її виконання. Роботу направити на доопрацювання.
- ☐ У роботі виявлено ознаки плагіату та/або текстових маніпуляцій як спроб укриття плагіату, фабрикації, фальсифікації, що суперечить вимогам законодавства та нормам академічної доброчесності. Робота до захисту не приймається.

Експертна комісія:

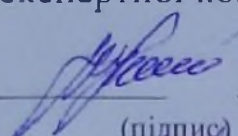
Кичак В.М., завідувач кафедри ІКСТ
(прізвище, ініціали, посада)

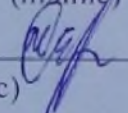
Васильківський М.В., гарант ОПП
(прізвище, ініціали, посада)


(підпис)

Особа, відповідальна за перевірку  Васильківський М.В.
(підпис) (прізвище, ініціали)

З висновком експертної комісії озна...млення(-на)

Керівник  Крижановський В.Г., доцент кафедри ІКСТ
(підпис) (прізвище, ініціали, посада)

Здобувач  Тарасович Д.А.
(підпис) (прізвище, ініціали)