

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії
(повна назва факультету)

Кафедра радіотехнічних систем
(повна назва кафедри)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

магістр

(назва освітнього ступеня)

на тему: Метод та алгоритм комп'ютерного оцінювання сигналів зі змінними частотними параметрами

Виконав: студент VI курсу, групи РРМ-61

спеціальності

172 Телекомунікації та радіотехніка

(шифр і назва спеціальності)

(підпис)

Павлишин В.Г.

(прізвище та ініціали)

Керівник

(підпис)

Дунець В.Л.

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

(підпис)

Хвостівська Л.В.

(прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри

(підпис)

Дунець В.Л.

(прізвище та ініціали)

Рецензент

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Тернопіль
2023

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії
(повна назва факультету)

Кафедра радіотехнічних систем
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Дунець В.Л.
(підпис) (прізвище та ініціали)

«___» _____ 2023 р.

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ**

на здобуття освітнього ступеня Магістр
(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 172 Телекомунікації та радіотехніка
(шифр і назва спеціальності)

Студенту Павлишину Віталію Григоровичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Метод та алгоритм комп'ютерного оцінювання сигналів зі змінними частотними параметрами

Керівник роботи Дунець Василь Любомирович, к.т.н., завідувач кафедри РТ
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від «___» _____ 2023 року № _____

2. Термін подання студентом завершеної роботи _____

3. Вихідні дані до роботи Об'єкт дослідження: процес оцінювання сигналу із варіативними частотними характеристиками методами комп'ютерного моделювання. Предмет дослідження: методи комп'ютерного моделювання

4. Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити)

Вступ.

Розділ 1. Аналітична частина

Розділ 2. Основна частина

Розділ 3. Науково-дослідна частина

Розділ 4. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях

Висновки

Перелік використаних джерел

Додатки

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, слайдів)

1. Титульний аркуш. 2. Актуальність теми. 3. Мета і задачі дослідження. 4. Алгоритм формування власних векторів матриці. 5. Алгоритм формування власних векторів з малими власними числами. 6. Комп'ютерна модель передачі інформації в системі зв'язку.

7. Блок формування власних векторів субсмугової матриці з малими власними числами.

8. Завадостійкість системи зв'язку. 9. Наукова новизна отриманих результатів.

10. Загальні висновки

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці	проректор з адміністративно-господарської роботи та будівництва Клепчик В.М		
Безпека в надзвичайних ситуаціях	ст. викл. кафедри ОХ, Стручок В.С.		

7. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1.	Ознайомлення з завданням до кваліфікаційної роботи		<i>Виконано</i>
2.	Підбір джерел по темі кваліфікаційної роботи		<i>Виконано</i>
3.	Переклад та опрацювання джерел по темі кваліфікаційної роботи		<i>Виконано</i>
4.	Виконання дослідження по темі кваліфікаційної роботи		<i>Виконано</i>
5.	Оформлення розділу «Аналітична частина»		<i>Виконано</i>
6.	Оформлення розділу «Основна частина»		<i>Виконано</i>
7.	Оформлення розділу «Науково-дослідна частина»		<i>Виконано</i>
8.	Оформлення розділу «Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях»		<i>Виконано</i>
9.	Підготовка графічного матеріалу		<i>Виконано</i>
10.	Оформлення кваліфікаційної роботи		<i>Виконано</i>
11.	Нормоконтроль		<i>Виконано</i>
12.	Перевірка на плагіат		<i>Виконано</i>
13.	Попередній захист кваліфікаційної роботи		<i>Виконано</i>
14.	Захист кваліфікаційної роботи		

Студент

_____ (підпис)

Павлишин В.Г.

_____ (прізвище та ініціали)

Керівник роботи

_____ (підпис)

Дунець В.Л.

_____ (прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Метод та алгоритм комп'ютерного оцінювання сигналів зі змінними частотними параметрами // Кваліфікаційна робота освітнього рівня «Магістр» // Павлишин Віталій Григорович // Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії, кафедра радіотехнічних систем, група РРм-61 // Тернопіль, 2023 // С. ____, рис. – ____, табл. – ____, додат. – ____, бібліогр. – ____.

Ключові слова: оцінювання, завадостійкість, метод, комп'ютерне моделювання, спотворення, алгоритм, LabView, інформаційний сигнал.

Кваліфікаційна робота присвячена дослідженню методів та алгоритмів комп'ютерного оцінювання сигналів зі змінними частотними параметрами.

У межах кваліфікаційної роботи:

– Проаналізовано сигнал зі змінними частотними параметрами з використанням методів КМ в LabView.

– Створено компоненти для генерування та обробки сигналів із варіативними частотними параметрами у середовищі КМ LabView.

– Створено комп'ютерну модель передавальної системи в середовищі КМ LabView з метою дослідження впливу багатопроменевих спотворень на ймовірність помилки декодування отриманих ІС.

Застосовуючи розроблену комп'ютерну модель, встановлено взаємозв'язок між якістю декодування інформації та співвідношенням потужності сигналу до односторонньої СГ білого шуму. Також проаналізовано вплив завмирань, викликаних багатопроменевістю, на ймовірність помилки декодування ІС.

ANNOTATION

Method and algorithm of computer evaluation of signals with variable frequency parameters // Qualification work of the educational level «Master» // Pavlyshyn Vitaly Hryhorovych // Ternopil Ivan Puluj National Technical University, Faculty of Applied Information Technologies and Electrical Engineering, Department of Radio Engineering Systems, group RRm-61 // Ternopil, 2023 // P. ____, fig. – ____, tabl. – ____, annexes. – ____, references – ____.

Keywords: evaluation, noise immunity, method, computer modeling, distortion, algorithm, LabView, information signal.

The qualification work is dedicated to the study of methods and algorithms for computer estimation of signals with variable frequency parameters.

As part of the qualification paper:

– The computer modeling methods in LabView are used to analyze the signal with variable frequency parameters.

– Components are developed to generate and process signals with varying frequency parameters in LabView.

– In LabView a computer model is developed to analyze the effect of multipath distortion on the probability of decoding errors in the information transmission system.

The correlation between the likelihood of errors in decoding information and the proportion of signal energy to the one-sided spectral density of white noise is determined through the utilization of the crafted computer model. The examination also encompasses the influence of multipath-induced fading on the probability of decoding errors in the informational signal.

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ

АЦП – Аналого-цифровий перетворювач.

ВМС – Вектор субсмугової матриці.

ВЧ – Висока частота.

ДЧ – Діапазон частот.

ІВ – Інформаційний вектор.

ІЗ – Імпульсна завада.

ІС – Інформаційний сигнал.

КЗ – Канал зв'язку.

КМ – Комп'ютерне моделювання.

РК – Релеєвський канал.

СГ – Спектральна густина.

СКК – Сигнально-кодова конструкція.

СЩП – Спектральна щільність потужності.

ЗМІСТ

ВСТУП	7
РОЗДІЛ 1. АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА	9
1.1 Види завад і спотворень, що впливають на інформаційні сигнали в каналах зв'язку	9
1.2 Явище багатопроменевого завмирання	13
1.3 Явище багатопроменевого завмирання Райса	16
1.3.1 Математичне подання	16
1.3.2 Статичні властивості	18
1.4 Завадостійкість систем зв'язку, які базуються на різних сигнально-кодових конструкціях	20
1.5 Висновок до розділу 1	23
РОЗДІЛ 2. ОСНОВНА ЧАСТИНА	24
2.1 Математичні основи методу формування та обробки сигналів	24
2.2 Метод формування сигналів на основі власних векторів	28
2.3 Метод обробки сигналів на основі власних векторів	29
2.4 Алгоритм кодування інформації на основі власних векторів субсмугової матриці	30
2.5 Алгоритм декодування інформації на основі власних векторів	37
2.6 Комп'ютерна модель передачі інформації в системі зв'язку	41
2.7 Блок модуляції	43
2.8 Блок демодуляції	44
2.9 Блок формування власних векторів субсмугової матриці з малими власними числами	45
2.10 Висновок до розділу 2	47
РОЗДІЛ 3. НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЧАСТИНА	48
3.1 Завадостійкість системи зв'язку при відсутності багатопроменевих спотворень	48

3.2	Завадостійкість системи зв'язку при передачі сигналів по релеевських каналах	49
3.3	Завадостійкість системи зв'язку при передачі сигналів по Райсовський каналах	52
3.4	Висновок до розділу 3	56
РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ		57
4.1	Питання щодо охорони праці	57
4.2	Питання щодо безпеки в надзвичайних ситуаціях.....	59
4.3	Висновок до розділу 4	62
ВИСНОВКИ.....		63
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ		64
ДОДАТКИ		

ВСТУП

Актуальність теми. Проблеми інформаційного обміну серед радіотехнічних пристроїв у густонаселених міських зонах виникають внаслідок електромагнітної взаємодії електронних пристроїв. Основні фактори, що погіршують якість обміну даними та збільшують ймовірність помилкового декодування, – це концентрація завад у всьому ДЧ, породжених різним технічним обладнанням, таким як промислові генератори, медичне діагностичне обладнання, мікрохвильові передавачі тощо. Також значний вплив на ІС мають спотворення, пов'язані з багатопроблемним поширенням відбитих сигналів від різних об'єктів у межах міста.

Слід відзначити, що існують методи обробки сигналів, які мають стійкість до завад у всьому ДЧ. Одним із таких методів є використання власних векторів із невеликими власними числами. Цей метод забезпечує повну інваріантність ІС до впливу завад у всьому ДЧ шляхом мінімізації енергії сигналу в ДЧ, що викликають завади. Проте на сьогодні в літературних джерелах відсутні результати досліджень впливу на сигнали, отримані за допомогою власних ВСМ, спотворень, що виникають у зв'язку з багатолучевим поширенням сигналів.

Оцінка впливу багатопроблемних спотворень на сигнали, що базуються на власних ВСМ за допомогою КМ, залишається актуальною задачею.

Мета і задачі дослідження. Метою даної кваліфікаційної роботи освітнього рівня «Магістр» є оцінка сигналу за допомогою КМ, що включають варіативні частотні характеристики.

Досягнення даної мети передбачає вирішення таких завдань:

- Провести аналіз впливу різноманітних завад та спотворень на ІС в КЗ та визначити методи їх захисту для вибору наукового напрямку.
- Розробити компонент генерування власних векторів в середовищі КМ LabView відповідно до існуючого алгоритму з урахуванням малих власних чисел.

– Розробити компонент генерування сигналів зі змінними частотними характеристиками відповідно до існуючого алгоритму в LabView.

– Розробити компонент обробки сигналів зі змінними частотними характеристиками.

– Побудувати комп'ютерну модель системи передачі інформації в LabView за допомогою розроблених компонентів для проведення експериментальних досліджень щодо впливу багатопроменевих спотворень на ймовірність помилки декодування прийнятих сигналів.

– Визначити залежність ймовірності помилки декодування інформації від співвідношення енергії сигналу до односторонньої СГ білого шуму з використанням отриманої комп'ютерної моделі.

– Визначити взаємозв'язок ймовірності помилки декодування ІС при впливі багатопроменевих завад.

Об'єкт дослідження. Аналіз сигналу із змінними частотними характеристиками за допомогою засобів КМ.

Предмет дослідження. Методи КМ.

Методи дослідження. Теорія ймовірності, цифрова обробка сигналів, LabView.

Практичне значення одержаних результатів. Проведено оцінювання сигналу зі змінними частотними характеристиками за допомогою методів КМ, що дозволило визначити рівень впливу багатопроменевих спотворень на ІС та їх вплив на ймовірність помилки декодування прийнятих сигналів.

РОЗДІЛ 1. АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

1.1 Види завад і спотворень, що впливають на інформаційні сигнали в каналах зв'язку

Зростаюча потреба у швидкому та якісному інформаційному обміні викликає активний розвиток методів та технологій для передачі, зберігання та обробки інформації. У випадку передачі інформації на великі відстані, виникає ймовірність змін та спотворень через вплив техногенних та природних завад. Основні види цих завад та спотворень у густонаселених міських областях будуть описані нижче.

У фізичних каналах передачі інформації ЕЗ, такі як електричні та магнітні поля, можуть спотворювати переданий сигнал, призводячи до зниження функціональної якості телекомунікаційної системи [55].

За походженням ЕЗ (електромагнітні завади) бувають природними, виникаючи внаслідок електромагнітних явищ у Землі, космосі та від людської діяльності. Завади штучного та індустріального характеру пов'язані головним чином з електричними та магнітними процесами, що виникають у технічних системах.

Атмосферні завади утворюються під час руху електричних зарядів в атмосфері через різні причини, такі як грози та електризація провідника антени прийомного пристрою. Блискавки, які виникають переважно влітку у тропічних регіонах, створюють потужне ЕМП (електромагнітне поле), що може впливати на антени та телекомунікаційні системи на великі відстані. Космічні завади виникають внаслідок радіовипромінювання об'єктів космосу, таких як сузір'я та Сонце, і мають значний вплив на інформаційні комунікації, особливо при співпадінні напрямків прийому сигналів та випромінювання завад. Індустріальні завади можна розділити на пристрої, що генерують ВЧ коливання, і пристрої, які, працюючи, створюють завади. Промислові пристрої,

такі як радіопередавачі та ВЧ генератори, можуть створювати наведення та інтерференцію на електричних мережах та антенах у навколишніх областях.

Ефективним засобом протидії індустріальним завадам є використання пристроїв, спрямованих на ліквідацію завад у їх джерелах, наприклад, за допомогою фільтрів, блокувальних конденсаторів, резисторів та екранів. На жаль, деякі з цих пристроїв можуть бути недосконалими або несправними, а деякі джерела завад можуть залишитися непокритими захистом.

Згідно з впливом на форму сигналу, що кодує передані дані в інформаційних комунікаціях, завади можна розділити на адитивні та мультиплікативні:

– Адитивна завада $\xi(t)$ з'єднується з сигналом, їх сума діє на вхід приймача:

$$X(t) = \xi(t) + S(t) \quad (1.1)$$

– Мультиплікативна завада визначається добутком завади і ІС:

$$X(t) = \xi(t) \cdot S(t) \quad (1.2)$$

Завади класифікуються на детерміновані та випадкові, а також на широко та вузькосмугові.

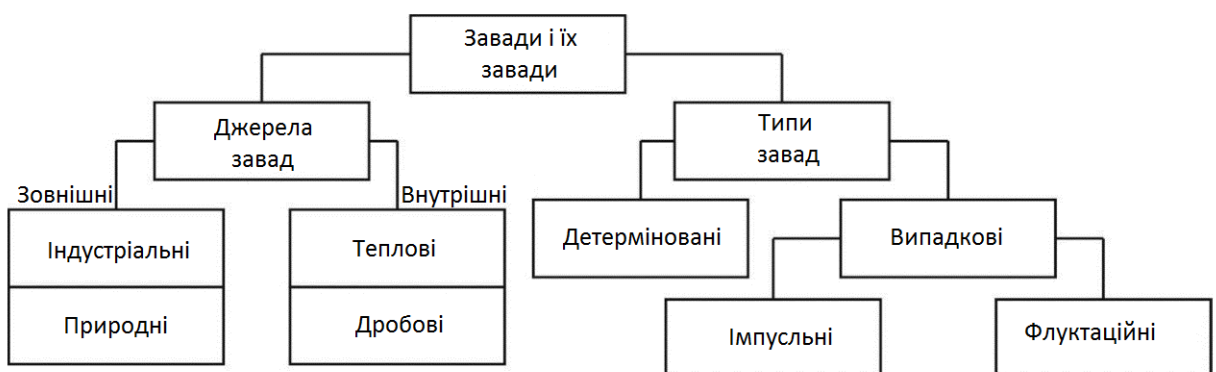


Рис. 1.1 Класифікація завад та їх джерел

Детерміновані завади виникають внаслідок різних промислових пристроїв або систем передачі мережі змінного струму, представляючи собою полігармонічні паразитні сигнали.

ІЗ відрізняються відсутністю накладень у приймальному пристрої, який декодує передавану інформацію, що виражається у перехідних процесах між окремими імпульсами. Вони складаються з послідовності імпульсів із випадковою амплітудою, тривалістю та моментами з'явлення [47, 55]. Ці завади, впливаючи на антену та вхідні кола приймача, спричиняють створення в його контурах затухаючих коливань різної сили. У випадку рідкого послідування імпульсів приймач може успішно приймати корисний сигнал, але при частому впливі імпульсів різної тривалості і амплітуди на приймач детектора діє сума багатьох змінних напруг, нагадуючи гладку заваду. Велика кількість імпульсів від потужних джерел промислових завод може утворювати інтенсивне поле завод, що впливає на процес прийому [47].

Флуктуаційні завади представлені неперервним випадковим коливанням, часто визначеним амплітудою за нормальним законом розподілу. Ймовірність великої амплітуди викиду є невеликою, що пов'язано з тепловим рухом електронів в провіднику, спричиняючи випадкові різниці потенціалів [47].

Завади можна класифікувати за шириною їхнього спектра, визначаючи широкосмугові завади, чий спектр рівний або ширший за спектр сигналу. Прикладом таких завод є флуктуаційні завади з рівномірною СЩП в широкому ДЧ $f \leq 6 \cdot 10^{12}$ при $T = 300K$.

Стаціонарний ВП (випадковий процес) $n(t)$ із рівномірною СЩП $G_n(f)$ у певній ДЧ, визначеному виразом:

$$G_n(f) = \begin{cases} N & \text{при } |f| < F \\ 0 & \text{при } |f| > F \end{cases} \quad (1.3)$$

відомий як квазібілий шум або обмежений по смузі білий гаусовий шум.

Ще одним прикладом широкосмугової завади є ІЗ. У більшості випадків моделі ІЗ використовують логарифмічно-нормальний закон для апроксимації

розподілу тривалості імпульсу. Для опису інтервалу між імпульсами також може застосовуватися логарифмічно-нормальний або експоненціальний розподіл за формулою:

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \sum_{i=1}^n \frac{\alpha_i}{x_i \sigma_i} \exp\left[-\frac{(\lg x_i - \mu_i)^2}{2\sigma_i^2}\right], \quad x > 0 \quad (1.4)$$

де μ_i – середнє значення $\lg x_i$; σ_i^2 – дисперсія $\lg x_i$; α_i – вагові коефіцієнти, $\sum_{i=1}^n \alpha_i = 1$. Із промислового характеру можуть бути краще апроксимовані розподілом Вейбула за формулою:

$$f(x) = km^{m-1} \exp(-kx^m), \quad x \geq 0, \quad (1.5)$$

де m – параметр нахилу, а k – параметр масштабу.

У випадку, коли ширина спектра завади значно менша за ширину спектра ІС, такі завади розглядаються як вузькосмугові або сконцентровані в спектрі.

Однією з простих моделей вузькосмугових завод є квазігармонічні завади [47, 55], які можна представити як суму синусоїд рівної потужності з випадковими фазами за формулою:

$$J(t) = \sum_{k=1}^n \sqrt{\frac{2P_j}{n}} \sin(2\pi f_k t + \theta_k), \quad (1.6)$$

де P_j – потужність j -тої завади, θ_k – незалежні та рівномірно розподілені на інтервалі $[0, 2\pi]$ випадкові фази.

Функція кореляції ВП:

$$R_j(\tau) = \sum_{k=1}^n \frac{P_j}{n} \cos(2\pi f_k \tau). \quad (1.7)$$

Після застосування Фур'є-перетворення до функції кореляції, отримуємо СЦП:

$$G_j(\omega) = \sum_{k=1}^n \frac{P_j}{2n} [\delta(\omega + 2\pi f_k) + \delta(\omega - 2\pi f_k)]. \quad (1.8)$$

Формула 1.8 описує лінійчастий спектр, фокусований на частотах $\pm f_k$, $k = 1, \dots, n$.

1.2 Явище багатопроменевого завмирання

Сигнали, передані між антенами передавача та приймача, піддаватимуться змінам у потужності через вплив різних променів, що входять в антену різними шляхами та переживають відображення та дифракцію через завади. Прийнятий сигнал буде відображати випадкові флуктуації як за амплітудою, так і за фазою. Записи обвідного сигналу вказують на розподіл Релея:

$$p(r) = \frac{r}{\sigma^2} \cdot e^{-\frac{r^2}{2\sigma^2}}, \quad (1.9)$$

де σ^2 представляє середню потужність сигналу за умови, що r відображає оригінальну амплітуду прийнятого сигналу.

Відомо, що амплітуда комплексного гаусівського сигналу має розподіл Релея. Ймовірність того, що амплітуда прийнятого сигналу буде меншою за задане значення (R), виражається функцією розподілу:

$$P(r \leq R) = \int_0^R p(r) dr \quad (1.10)$$

$$P(r \leq R) = 1 - e^{-\frac{R^2}{2\sigma^2}} \quad (1.11)$$

Для більш детального аналізу середнє значення випадкової змінної Релея виражається так:

$$E(r \leq R) = \int_0^\infty r \cdot p(r) dr \quad (1.12)$$

$$E(r) = \sigma \sqrt{\frac{\pi}{2}} \quad (1.13)$$

Дисперсія для розподілу Релея подається у вигляді:

$$\sigma_r^2 = E\{r^2\} - [E\{r\}]^2 \quad (1.14)$$

$$\sigma_r^2 = \int_0^\infty r^2 p(r) dr - \sigma^2 \frac{\pi}{2}, \quad (1.15)$$

$$\sigma_r^2 = \sigma^2 \left(2 - \frac{\pi}{2}\right). \quad (1.16)$$

На рисунку 1.2 наведено модель багатопроменевого завмирання, як мультиплікативне спотворення.

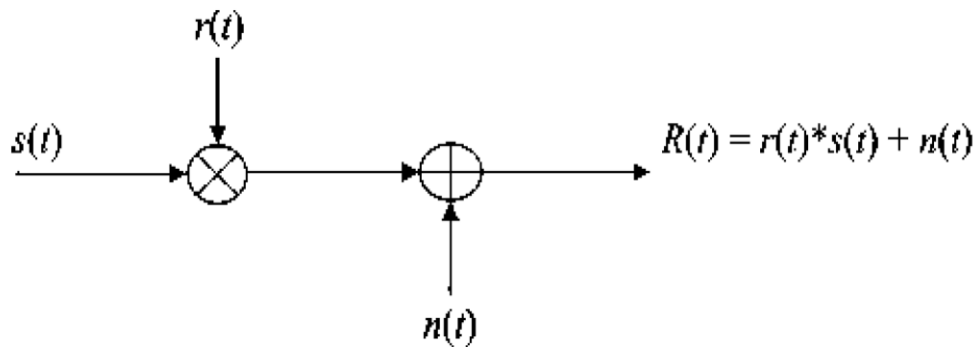


Рис. 1.2 Графічне зображення багатопроменевого завмирання під впливом шуму

На рисунку 1.3 зображено графік, що демонструє широкі флуктуації сигналу.

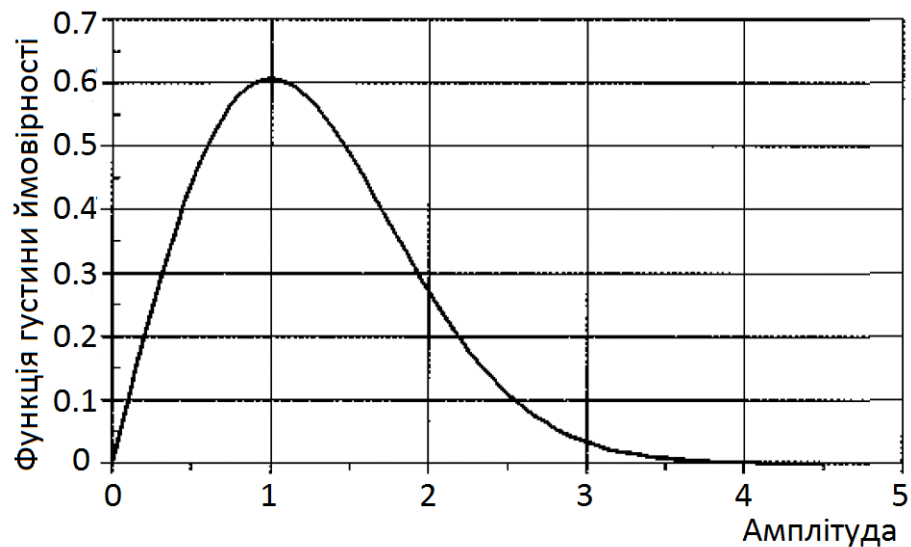


Рис. 1.3 Графік щільності ймовірності Релея (нормована потужність – 1)

Даний розподіл застосовується для опису стрімких флуктуацій сигналу в умовах багатопробеневого завмирання. Термін “швидкий” застосовується для підкреслення інтенсивних змін на відстані, приблизно рівної половині довжини хвилі несучого сигналу, особливо коли завмирання відбуваються неподалік одне від одного. Ці флуктуації виникають через місцеве оточення приймача, а не внаслідок флуктуацій сигналу, що виникають на великій відстані одне від одного.

Дві ключові метрики в сфері бездротового цифрового зв'язку відносяться до піків і завмирань. В тому числі, цікаво визначити частоту виникнення завмирань на певній глибині та кількість часу, протягом якого сигнал фактично перебуває нижче цього рівня.

Перша величина, визначається як частота перетину рівня і визначає, при якій огинаюча перетинає заданий рівень сигналу R у позитивному напрямку. Математично це виражено наступним чином:

$$N_R = \int_0^{\infty} rp(R, r)dr, \quad (1.17)$$

де N_R – частота перетинів рівня, R – це заданий рівень сигналу, r – часова похідна обвідної.

$$N_R = \sqrt{2\pi}f_m\rho e^{-\rho^2} \quad (1.18)$$

де $\rho = \frac{R}{R_{RMS}}$, f_m – максимальне доплерівське зміщення або значення частоти, визначається наступним чином:

$$f_D = f_m \cos(\theta) = \frac{v}{\lambda} \cos(\theta), \quad (1.19)$$

де v – швидкість транспортного засобу; λ – довжина хвилі несучої хвилі; θ – кут прибуття щодо вектора швидкості, що переміщається в тому ж напрямку, що і транспортний засіб.

Враховуючи всеспрямовану антену приймача, багато променів прибуття можуть мати різні кути, що призводить до доплерівського зміщення частоти. Це зміщення частоти пов'язане із кутом прибуття кожного променя, проте загальне доплерівське зміщення частоти характеризується як сума всіх променів.

Щодо середньої тривалості часу завмирання, вона визначається як середній час, протягом якого прийнятий сигнал залишається нижче нормованого рівня R . Математично це виражається як:

$$\bar{\tau} = \frac{1}{TN_R} \cdot \sum_i \tau_i \quad (1.20)$$

$$\bar{\tau} = \frac{1}{N_R} \cdot P(r \leq R), \quad (1.21)$$

$$\bar{\tau} = \frac{e^{\rho^2} - 1}{\rho f m \sqrt{2\pi}} \quad (1.22)$$

Розгляд результату вказує на обернену пропорційність між середньою тривалістю часу завмирання та доплерівською частотою.

1.3 Явище багатопроменевого завмирання Райса

Тут спостерігається переважаючий стаціонарний сигнал, або промінь, який збільшує потужність отриманого сигналу, особливо такого, як промінь, що рухається в напрямку прямої видимості.

1.3.1 Математичне подання

Розподіл Райса виражається через наступне рівняння:

$$\rho(r) = \frac{r}{\sigma^2} e^{-\frac{(r^2 + A^2)}{2\sigma^2}} I_0\left(\frac{rA}{\sigma^2}\right), \quad (0 \leq A), (0 \leq r), \quad (1.23)$$

де $I_0(x)$ – модифікована функція Бесселя першої категорії та $\frac{A^2}{2}$ пропорційно потужності основного сигналу.

Важливо визначити, наскільки сильним має бути основний сигнал. Це можна визначити шляхом розрахунку коефіцієнта K :

$$K = 10 \cdot \log \left[\frac{A^2}{2\sigma^2} \right]. \quad (1.24)$$

Коефіцієнт характеризується співвідношенням між потужністю основного сигналу та потужністю сигналу з багатьма променями. Для прикладу, якщо домінуючого сигналу немає $A = 0$, то $K = \infty$, і розподіл приймає форму Релея. У випадку відсутності сигналу з багатьма променями $\sigma^2 = 0$ і $K = \infty$, розподіл наближається до імпульсу. На рисунку 1.4 подано графік даного розподілу для різних значень коефіцієнта K .

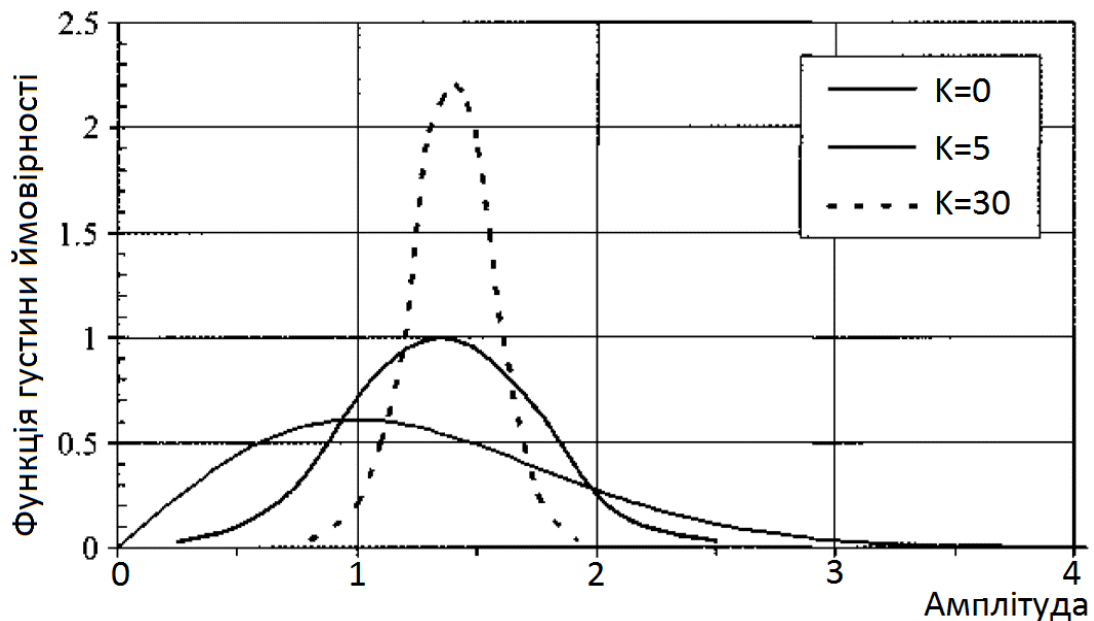


Рис. 1.4 Графік розподілу функції щільності імовірності Райса

Рисунок 1.4 демонструє, що при зростанні інтенсивності поширення у межах видимості спостерігається зменшення флуктуацій обвідної. Кількість глибоких завмирань зменшується, що сприяє зниженню миттєвих помилок і покращенню середньої імовірності бітових помилок.

1.3.2 Статичні властивості

Середнє значення випадкової величини, що має розподіл Райса, можна виразити наступним чином:

$$E\{r\} = \sigma \sqrt{\frac{\pi}{2}} \left[(1 + K) I_0 \left(\frac{K}{2} \right) K I_1 \left(\frac{K}{2} \right) \right] e^{-\frac{K}{2}} \quad (1.25)$$

Функція розподілу сигналу Райса представляє імовірність того, що амплітуда прийнятого сигналу буде менше конкретного значення, позначеного як R :

$$P(r \leq R) = \int_0^R p(r) dr. \quad (1.26)$$

Визначимо нормований рівень сигналу як:

$$\rho = \frac{R}{\sqrt{A^2 + 2\sigma^2}}, \quad (1.27)$$

то функцію розподілу можна записати так:

$$P(r \leq R) = 1 - Q(\sqrt{2K}, \sqrt{2(K+1)\rho^2}), \quad (1.28)$$

де $Q(a, b)$ – функція Маркума:

$$Q(a, b) = \int_0^{\infty} x \cdot e^{-\frac{(x^2+a^2)}{2}} I_0(ax) dx. \quad (1.29)$$

Частота перетину рівня виражена наступним чином:

$$L_R = \sqrt{2\pi(K+1)} f_m \rho e^{-K-(K+1)} I_0(2\rho\sqrt{K(K+1)}), \quad (1.30)$$

де ми визначили нормований рівень сигналу:

$$\rho = \frac{R}{R_{RMS}}. \quad (1.31)$$

Перевірка для припущення $K = 0$ дає той самий результат, як і раніше для випадку релеєвського завмирання. На рисунку 1.5 представлено порівняння частоти перетину рівня для різних значень K .

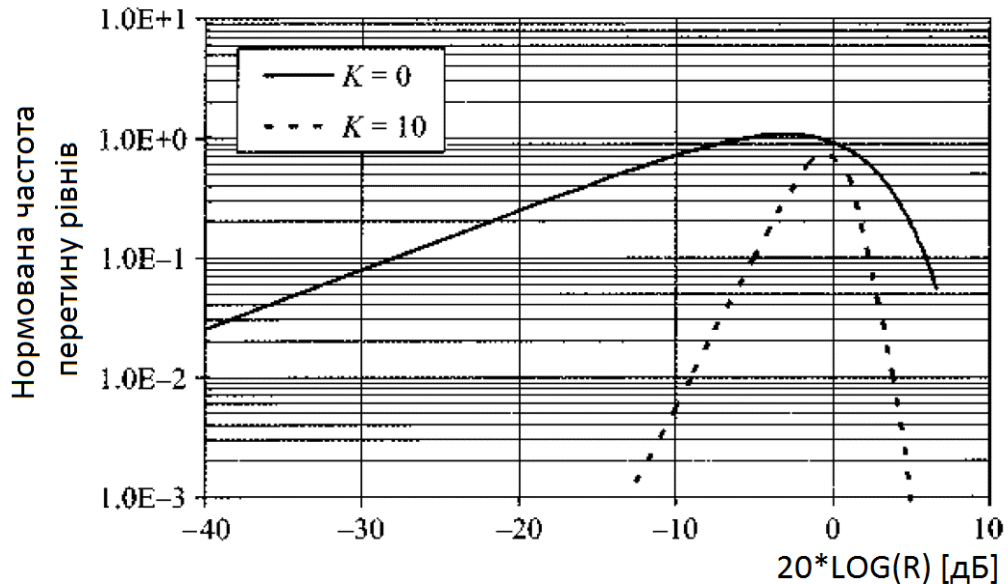


Рис. 1.5 Порівняння частоти перетину рівня для різних значень K

Підсумовуючи вищезазначене, важливим фактором, що впливає на передачу інформації у комунікаційних мережах, є зовнішні, випадкові завади. Особливу увагу слід приділити техногенним впливам у промислових містах, де вузькосмугові зміни спектра мають суттєвий вплив на ІС. Забезпечення якості передачі даних вимагає заходів, таких як екранування каналів або компенсація завад, або застосування методів кодування, що забезпечують високий рівень стійкості до вузькосмугових завад.

Поза розглянутими завадами, значущим впливом на стійкість систем передачі інформації є явище багатопроменевого завмирання. Це обумовлено множинними відбиттями сигналу від об'єктів у міській місцевості та їхньою суперпозицією на приймальних антенах передавача.

1.4 Завадостійкість систем зв'язку, які базуються на різних сигнально-кодових конструкціях

Однією з ключових характеристик надійності інформаційних комунікацій є середня імовірність помилкового декодування, позначена як $p_{\text{вш}}$ [55]. Під час обміну інформацією ця імовірність залежить від впливу завад на ІС і від характеристик СКК, яка використовується для кодування даних.

Розглянемо вплив флуктуаційних завад на стійкість інформаційних комунікацій, де застосовані різні методи кодування, базуючись на різних СКК. Для СКК, що ґрунтуються на довічних сигналах, існує загальний вираз для точного обчислення імовірності помилки:

$$p = 1 - F\left(\sqrt{\frac{E_A}{2N_0}}\right), \quad (1.32)$$

де $F(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\infty} \exp\left(\frac{-t^2}{2}\right) dt$ – функція Лапласа;

$E_A = \int_0^T (s_0(t) - s_1(t))^2 dt$ – енергія різницевого сигналу;

N_0 – одностороння СЩП білого шуму.

За формулою 1.18, при використанні СКК із сигналами з амплітудною модуляцією, імовірність помилки має значення:

$$p = 1 - F\left(\sqrt{\frac{E}{2N_0}}\right). \quad (1.33)$$

де E – енергія сигналу.

При застосуванні ортогональних сигналів для кодування та передачі інформації імовірність помилки може бути визначена за формулою 1.34.

$$p = 1 - F\left(\sqrt{\frac{E}{N}}\right) \quad (1.34)$$

Сигнали $\mathbf{s}_1(t)$ і $\mathbf{s}_0(t)$ вважаються ортогональними на інтервалі часу T , якщо виконується умова 1.35.

$$\int_0^T \mathbf{s}_1(t)\mathbf{s}_0(t) = \mathbf{0}. \quad (1.35)$$

СКК, що задовольняють умові (1.35), включають СКК, засновані на частотній маніпуляції.

У випадку використання для кодування інформації СКК з протилежними сигналами, тобто згідно з:

$$\mathbf{s}_0(t) = -\mathbf{s}_1(t), \quad (1.36)$$

ймовірність помилки визначається формулою:

$$p = 1 - F\left(\sqrt{\frac{E}{N_0}}\right) \quad (1.37)$$

Отже, оптимальним варіантом для кодування інформації є використання систем сигналів з фазовою маніпуляцією, заснованих на вузькосмугових сигналах, що має найнижчу ймовірність помилки.

В інформаційних комунікаціях нецільово використовувати системи з двійковими сигналами через їхню обмежену швидкість обміну. Застосування систем з багатопозиційними сигналами в СКК дозволяє значно підвищити швидкість передачі, кодуючи кожен сигнал блоком бітів m . Ймовірність помилки для таких конструкцій обчислюється за формулою:

$$p \approx 1 - \prod_{j=1}^n (1 - p_j), \quad (1.38)$$

де $p_j = 1 - F\left(\sqrt{\frac{E_{\Delta j}}{2N_0}}\right)$ та $E_{\Delta j} = \int_0^T (s_{j0}(t) - s_{j1}(t))^2$ – відповідно ймовірність помилки та енергія різницевого сигналу ФГС. Розрахунки та графіки ймовірності помилок представлені [55] в залежності від співвідношення енергії сигналу до односторонньої СЩП шуму.

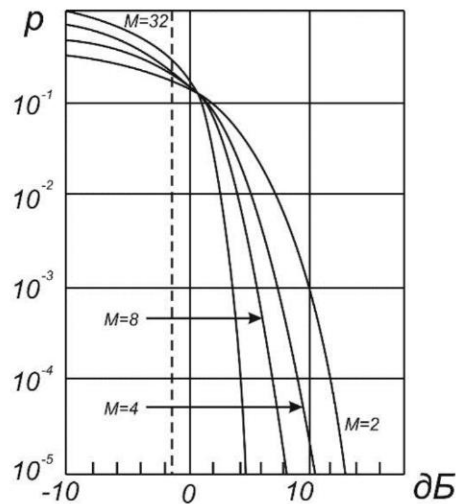


Рис. 1.6 Графіки залежності ймовірності помилки від співвідношення енергії сигналу до односторонньої СЩП білого шуму

З рисунку 1.6 видно, що методи кодування на основі субсмугових кодів з меншою кількістю багатопозиційних сигналів проявляють вищу стійкість до завад.

При впливі вузькосмугових завад на інформаційні комунікації немає загальних виразів для визначення ймовірності помилки, оскільки це залежить від різних параметрів характеру завади та тонкої структури сигналу, включаючи енергію та скалярні властивості сигналів.

Вплив зосереджених по спектру завад на ІС вузькосмугових кодів призводить до значного спотворення інформації, оскільки енергетичний спектр завади практично повністю впливає на вузькосмуговий сигнал.

Існують методи, які роблять ІС майже інваріантними до впливу вузькосмугових завад. Один із таких методів базується на власних ВСМ з малими власними числами. Деталі цього методу будуть представлені в другому розділі роботи.

Отже, в міських умовах можна використовувати сигнали, які адаптуються до вузькосмугових завад, наприклад, сигнали, засновані на власних ВСМ. Однак у міських областях є інші види спотворень, такі як багатопроменеве завмирання, яке виникає від відбиття сигналу від різних будівель. Важливо

зазначити, що наразі не проводилося досліджень сигналів, заснованих на власних ВСМ з малими власними числами, у зв'язку з цим їх вплив на такі умови залишається невизначеним.

1.5 Висновок до розділу 1

Аналіз виявив, що обмін інформацією між джерелом і споживачем піддається спотворенням, особливо внаслідок вузькосмугових, флуктуаційних та багатопроменевих завад у КЗ. Зокрема, для підвищення стійкості інформаційного обміну в умовах впливу зосереджених по спектру завад, рекомендується використовувати СКК, зокрема сигнали, що базуються на власних ВСМ з малими власними числами. Важливо врахувати, що дослідження стійкості цих сигналів до багатопроменевих спотворень наразі відсутні, і це ускладнює оцінку ефективності їх використання в міських умовах. Тому, для з'ясування впливу багатопроменевих спотворень на сигнали, що ґрунтуються на власних ВСМ, застосування комп'ютерної моделі є важливим завданням. Однак основним критерієм оцінки ефективності методу кодування є ймовірність помилки в умовах впливу флуктуаційних завад і багатопроменевих спотворень, яка є ключовим показником завадостійкості методів кодування в цифрових системах для інформаційного обміну.

РОЗДІЛ 2. ОСНОВНА ЧАСТИНА

2.1 Математичні основи методу формування та обробки сигналів

Кодування інформації ефективніше виконувати шляхом передвизначення набору власних векторів з мінімальною енергією у визначеному ДЧ:

$$Q = (\bar{q}_k, \bar{q}_{k+1}, \dots, \bar{q}_N). \quad (2.1)$$

Вибір ДЧ залежить від місцезнаходження спектральної зосередженої завади і враховується при розрахунку елементів власної матриці A .

$$a_{ik} = \begin{cases} \frac{\sin[v_r(i-k)] - \sin[v_{r-1}(i-k)]}{\pi(i-k)}, & i \neq k \\ \frac{v_r - v_{r-1}}{\pi}, & i = k \end{cases} \quad (2.2)$$

Відбір власних векторів для кодування інформації відбувається відповідно до прийнятих критеріїв. Кожен власний вектор, що відповідає окремому ІК, множиться на ІС a_{ik} . Якщо алфавіт ІС складається з n елементів, то кожен ІС відповідає $\log_2 n$ бітам переданої інформації. Сума отриманих векторів утворює вектор закодованої інформації:

$$x = \bar{e}_1 \bar{q}_1 + \bar{e}_2 \bar{q}_2 + \dots + \bar{e}_N \bar{q}_N. \quad (2.3)$$

Цей вираз можна подати у векторній формі, визначивши сукупність ІС як ІВ:

$$\bar{e} = (e_1, e_2, \dots, e_N) \quad (2.4)$$

$$\bar{x} = Q\bar{e} \quad (2.5)$$

Декодування інформації з вектора реалізується за допомогою виразу:

$$\bar{e}_i = \bar{x}q^T. \quad (2.6)$$

враховуючи ортогональність власних векторів:

$$\begin{aligned} \mathbf{q}_k \mathbf{q}_i^T &= \mathbf{0} \text{ при } i \neq k \\ \mathbf{q}_k \mathbf{q}_i^T &= \mathbf{1} \text{ при } i = k \end{aligned} \quad (2.7)$$

Отже, для ефективного декодування інформації на приймальному боці необхідно мати повний набір власних векторів, який використовується при кодуванні, і розуміти правила перетворення бітів переданої інформації в ІС.

Важливо відзначити, що енергія вектора \mathbf{x} , що містить передану інформацію, в обраному ДЧ обчислюється згідно з виразом:

$$E_{\text{пр}} = \sum_{i=1}^J e_i^2 \lambda_i. \quad (2.8)$$

Отже, особливістю спектру цього вектора є практично повна відсутність енергетичних компонентів у необхідному ДЧ, де концентрується завада. Це забезпечує практичну інваріантність переданої закодованої інформації до впливу зосереджених по спектру завад.

У цьому методі кодування існує проблема – необхідність зберігання великої кількості власних векторів для кожного ДЧ [34]. Це вимагає зберігання наборів власних векторів для кожного інтервалу, що призводить до значного обсягу пам'яті в приймачі та передавачі.

Для зменшення кількості власних векторів можна використовувати адаптивну квадратурну модуляцію. Заміна квадратурного і синфазного каналів дозволяє використовувати лише половину власних векторів, зменшуючи обсяг пам'яті вдвічі. Однак для компенсації інверсії спектра потрібно сформувати відповідний сигнал у синфазному каналі. Математичні основи цього процесу подані нижче для обробки квадратурним модулятором.

Враховуючи твердження, що будь-який періодичний дискретний сигнал можна представити як суму гармонік [87], ми отримуємо наступне спільне вираження:

$$s(k\Delta t) = a_0 + \sum_{n=1}^{\frac{N}{2}} [a_n \cos(\omega_n k\Delta t) + b_n \sin(\omega_n k\Delta t)], \quad (2.9)$$

де $\Delta t = \frac{T}{N}$ – період дискретизації, N – кількість відліків, $\omega_n = \frac{2\pi n}{\Delta t}$ – кутова частота, T – період, а a_n і b_n – коефіцієнти, що визначаються так:

$$a_n = \frac{2}{T} \int_0^T s(t) \cos(\omega_n t) dt \approx \frac{2}{N} \sum_{k=0}^{N-1} s(k\Delta t) \cos\left(\frac{2\pi nk}{N}\right), \quad (2.10)$$

$$b_n = \frac{2}{T} \int_0^T s(t) \sin(\omega_n t) dt \approx \frac{2}{N} \sum_{k=0}^{N-1} s(k\Delta t) \sin\left(\frac{2\pi nk}{N}\right). \quad (2.11)$$

Проведемо дискретне перетворення Фур'є сигналу, представленого як вектор (2.9), і порівняємо його з виразами (2.10) і (2.11), отримуючи [87]:

$$S(n) = \sum_{k=0}^{N-1} s(k\Delta t) e^{-\frac{j2\pi nk}{N}} = \sum_{k=0}^{N-1} s(k\Delta t) \cos\left(\frac{2\pi nk}{N}\right) - j \sum_{k=0}^{N-1} s(k\Delta t) \sin\left(\frac{2\pi nk}{N}\right) = a_n \frac{N}{2} - j b_n \frac{N}{2} \quad (2.12)$$

Враховуючи симетрію щодо середньої частоти відліків ІВ, можна залишити лише першу половину спектра, помноживши її на відповідний коефіцієнт:

$$\bar{S}(n) = \begin{cases} 2 \cdot S(n), & \text{при } < \frac{N}{2} \\ 0 & \text{при } > \frac{N}{2} \end{cases}, \quad (2.13)$$

Тепер отриманий дискретний спектр використаємо у виразі для зворотного дискретного перетворення Фур'є:

$$\bar{S}(k) = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} \bar{S}(n) e^{\frac{j2\pi nk}{N}} = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{\frac{N}{2}} (a_n - j b_n) e^{\frac{j2\pi nk}{N}}, \quad (2.14)$$

$$\text{Re}(\bar{S}(k)) = a_0 + \sum_{n=1}^{\frac{N}{2}} \left[a_n \cos\left(\frac{j2\pi nk}{N}\right) + b_n \sin\left(\frac{j2\pi nk}{N}\right) \right]. \quad (2.15)$$

Враховуючи формулу 2.15, реальна частина функції 2.14 повністю збігається з формулою 2.9, а сам спектр ІВ подається у вигляді 2.13. Отриманий вектор є сумою комплексних експонент і не має інверсної компоненти спектра,

тож його можна використовувати для подальшої квадратурної модуляції відповідно до [87].

Як відзначено вище, обмін квадратурним і синфазним каналами на вході квадратурного кодера призводить до обертання спектра результуючого ІВ. На рисунках 2.1-2.3 наведено результати КМ.

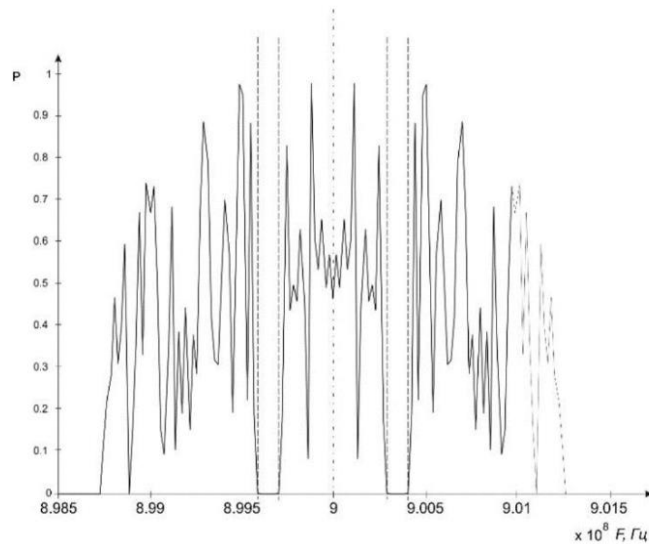


Рис. 2.1 Спектр сигналу при застосуванні стандартної амплітудної модуляції

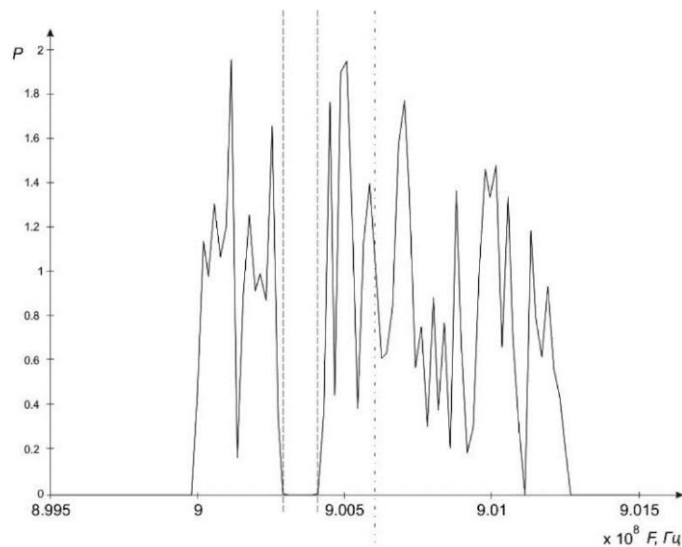


Рис. 2.2 Спектр сигналу при застосуванні квадратурної модуляції

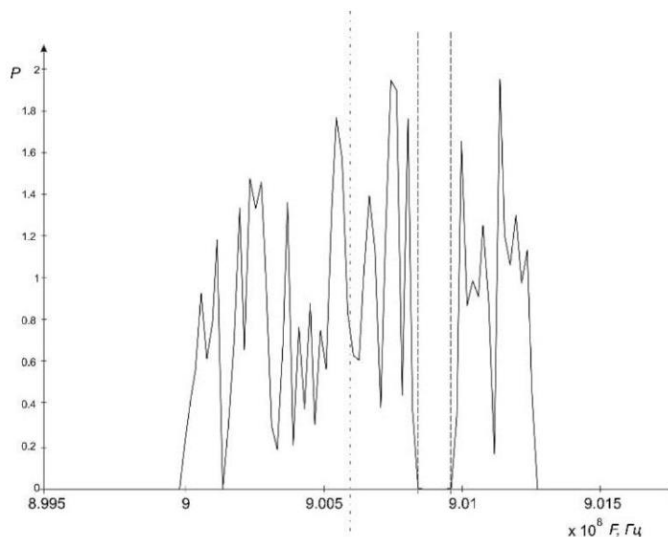


Рис 2.3 Спектр сигналу при квадратурній модуляції з взаємною заміною квадратурного і синфазного каналів

Важливо відзначити, що для переміщення ІВ в потрібний ДЧ при взаємній заміні квадратурних і синфазних каналів необхідно налаштувати частоту несучого гармонійного коливання на ширину смуги сформованого сигналу.

Також важливо відзначити, що застосування квадратурної модуляції ІВ дозволяє зменшити ширину спектра переданого ІС в фізичному каналі. Це впливає з формули 2.13 та підтверджується результатами експериментів наведеними на рисунках 2.4-2.5.

2.2 Метод формування сигналів на основі власних векторів

Підсумовуючи вищесказане, розроблений метод кодування включає такі етапи:

– Формування набору власних векторів для перших восьми частотних інтервалів згідно з виразами $Q = (\bar{q}_1, \bar{q}_2, \dots, \bar{q}_i)$, де q_i – власні ВСМ виду $A_i = \{a_{m,n}^i\}$, $m, n = 1, \dots, L$ із відповідними елементами:

$$a_{n,m}^i = \begin{cases} \frac{(\sin[v_{2i}(m-n)] - \sin[v_{1i-1}(m-n)])}{\pi(m-n)}, & m \neq n \\ \frac{v_{2i} - v_{1i}}{\pi}, & m = n \end{cases} \quad (2.16)$$

- Вибір власних векторів, власні числа яких менше 0.008.
- Перетворення Фур'є отриманої сукупності власних векторів $Q = (\bar{q}_1, \bar{q}_2, \dots, \bar{q}_i)$ для визначення енергетичних спектрів кожного вектора.
- Визначення середньої енергії частотного інтервалу $E_{\text{сер}}$ та енергії кожного частотного інтервалу за виразами 2.41-2.42.
- Вибір власних векторів так, щоб енергія кожного частотного інтервалу була в чотири рази менше середньої енергії: $E_j < 4E_{\text{сер}}$.
- Збереження вибірки власних векторів для 8 частотних інтервалів в пам'яті для подальшого використання при кодуванні інформації.
- Представлення послідовності інформаційних біт у вигляді ІС $\bar{e} = (e_1, e_2, \dots, e_j)$ для кожного ІК.
- Множення кожного ІС e_1 на відібраний власний вектор q_1 , а отримані добутки сумуються в кодову послідовність s .
- Перетворення Фур'є кодової послідовності s для отримання енергетичного спектра.
- Модифікація енергетичного спектра кодової послідовності за формулою 2.13.
- Зворотне перетворення Фур'є модернізованого спектра кодової послідовності, формуючи комплексний вектор, де реальна частина – квадратурна складова, а уявна – синфазна.
- Обробка квадратурної і синфазної складових в квадратурному модуляторі перед передачею сигналу в ІК.

2.3 Метод обробки сигналів на основі власних векторів

Метод декодування включає такі етапи:

- Проведення смугової фільтрації прийнятого ІС.

- Виділення обвідної квадратурної складової кодового сигналу шляхом множення на ВЧ коливання та подальша фільтрація фільтром НЧ.
- АЦП квадратурної складової кодового сигналу.
- Перемноження отриманої кодової послідовності на кожен з власних векторів, які використовувалися при кодуванні інформації.
- Підсумовування відліків при перемножуванні кодової послідовності і власних векторів для обчислення ІС .
- Декодування отриманого символу у вигляді послідовності біт, яка передається до відповідного приймача інформації.

2.4 Алгоритм кодування інформації на основі власних векторів субсмугової матриці

Відповідно до розробленого методу кодування інформації, використовується математичний апарат власних ВСМ, що ґрунтується на виразах, поданих нижче.

Процес кодування інформації включає етап визначення значень власної матриці для відповідного частотного інтервалу, що вибирається з урахуванням локалізації вузькосмугової завади через попереднє тестування ІК.

$A_r = \{a_{ik}\}$ представляє собою ВСМ для r -го частотного інтервалу з елементами такого формату:

$$a_{ik}^i = \frac{\sin[v_r(i-k)] - \sin[v_{r-1}(i-k)]}{\pi(i-k)}, \text{ при } i \neq k \quad (2.17)$$

$$a_{ii}^r = \frac{v_r - v_{r-1}}{\pi} \quad (2.18)$$

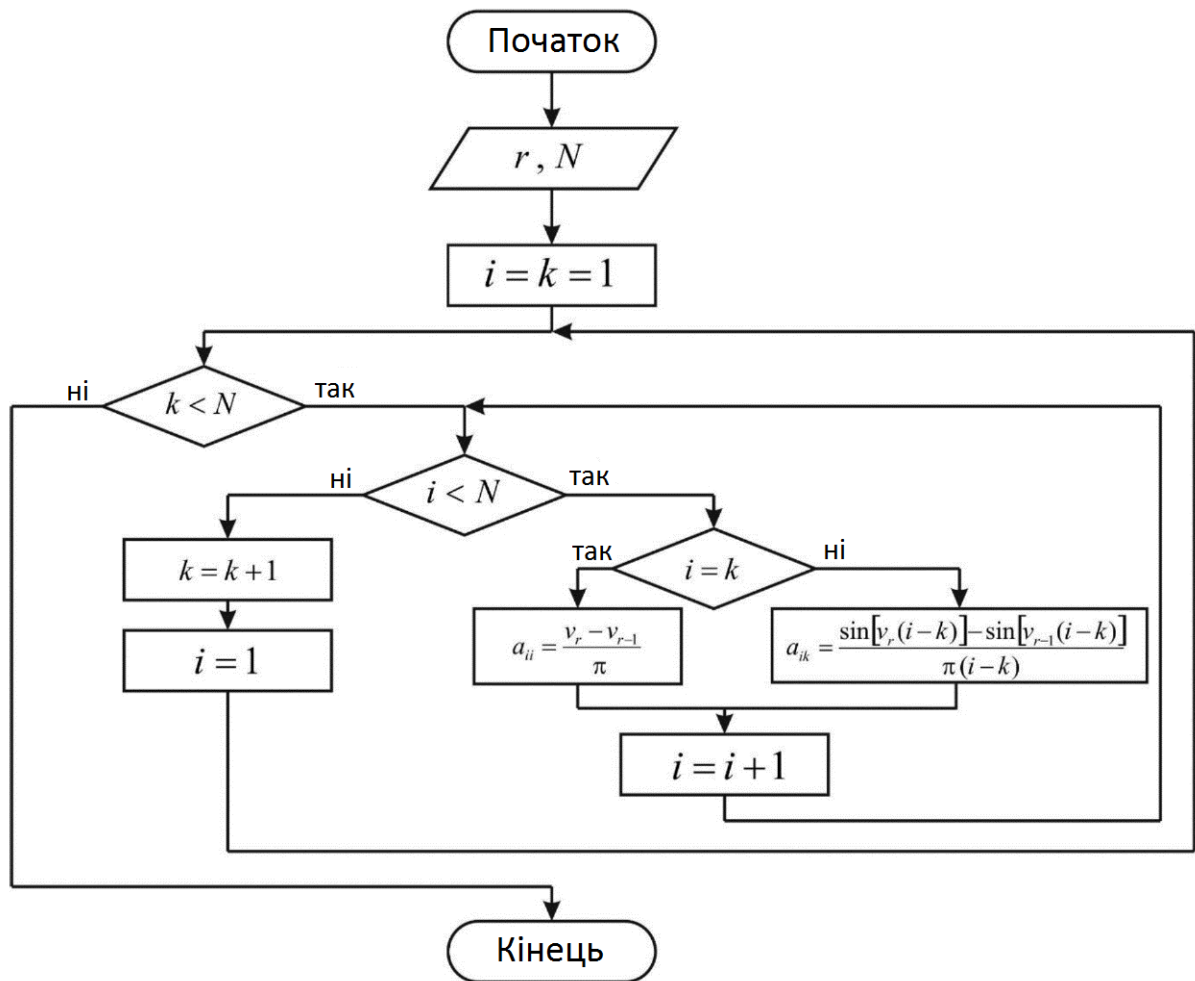


Рис. 2.4 Процес обчислення ВСМ

Наступний етап кодування інформації включає визначення та відбір власних ВСМ A_r . Застосовуючи метод прямокутників до отриманої ВСМ, обчислюються власні вектори \bar{q}_j і власні числа λ_j . Відбір власних векторів проводиться лише для тих, чий власні числа менше 0.008 за формулою 2.19:

$$0.008 > \lambda_i > \lambda_{i+1} > \dots > \lambda_{i+1} \approx 0, \quad (2.19)$$

де $j = 1, \dots, N$.

Розраховані власні вектори для кожного частотного інтервалу зберігаються в регістрах пам'яті один раз, що дозволяє ефективно прискорити виконання загального алгоритму. Це особливо актуально, оскільки розрахунок власних векторів використовується лише під час ініціалізації алгоритму на його початковому етапі.

Після генерування сукупності власних векторів, вибираються лише ті, чий енергетичні складові рівномірно розподілені поза необхідною смугою частот. Це визначається розрахунком енергетичного спектра для кожного власного вектора за формулою:

$$Q(k) = \sum_{h=1}^N q(h) \exp\left(-\frac{2\pi}{N}(h-1)(k-1)\right), \quad (2.20)$$

Середній рівень енергії по частотних інтервалах і енергія кожного інтервалу обчислюється за формулами:

$$E_{сер} = \frac{\sum_{k=1}^N Q^2(k)}{H} \quad (2.21)$$

$$E_j = \sum_{k=jH}^{(j+1)H} Q^2(k), \quad (2.22)$$

де H – кількість відліків в спектрі, які припадають на один частотний інтервал. Порівнюючи енергію власного вектора в кожному частотному інтервалі з середньою енергією, і якщо енергія інтервалу не перевищує в 4 рази значення середньої енергії, робиться висновок про рівномірний розподіл енергетичних складових спектра. На основі математичних виразів розроблено алгоритм розрахунку та відбору власних векторів (див. рис. 2.5).

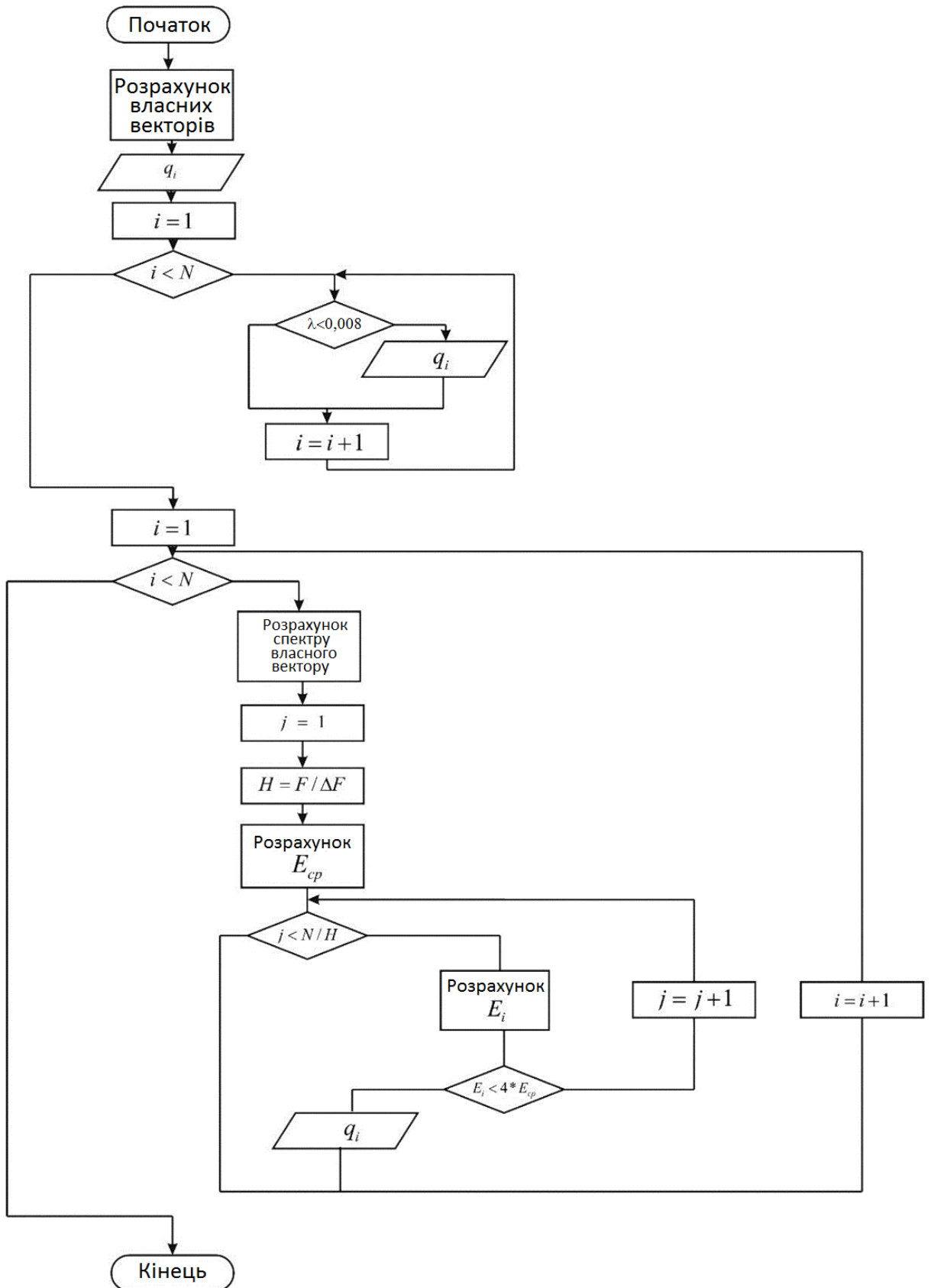


Рис 2.5 Схема алгоритму обчислення та відбору власних ВСМ Ar з невеликими власними числами

В розглянутому алгоритмі (див. рис. 2.5) ефективно перебираються всі вектори, розраховуються їх спектри, і відбираються вектора, спектри яких відповідають заданій формі, видаляючи невідповідні вектори. Виділені вектори мають власні числа менше певного значення 0.008 та рівномірно розподілений спектр поза необхідною смугою частот.

Математичні засади кодування інформації визначаються наступним чином:

$$\bar{s} = Q\bar{e}, \quad (2.23)$$

де \mathbf{s} – сформований ІС; $\bar{e} = (e_1, e_2, \dots, e_j)$ – ІВ; e_j – інформаційні символи.

Для передачі закодованої послідовності використовується швидке перетворення Фур'є. Енергетичний спектр послідовності трансформується згідно з формулою:

$$S_i = \begin{cases} S_i & \text{при } i = 1 \\ 2S_i & \text{при } 1 < i < n/2 \\ 0 & \text{при } i > N/2 \end{cases} \quad (2.24)$$

Після проведення оберненого перетворення Фур'є формується комплексна послідовність, де реальна частина відповідає вихідній кодовій послідовності. Далі проводиться АЦП реальної і уявної частин отриманої кодової послідовності для здійснення квадратурної модуляції. Сформовані сигнали подаються на квадратурний модулятор, фільтруються та передаються через ІК. На рисунку 2.6. наведено блок-схему кодування інформації.

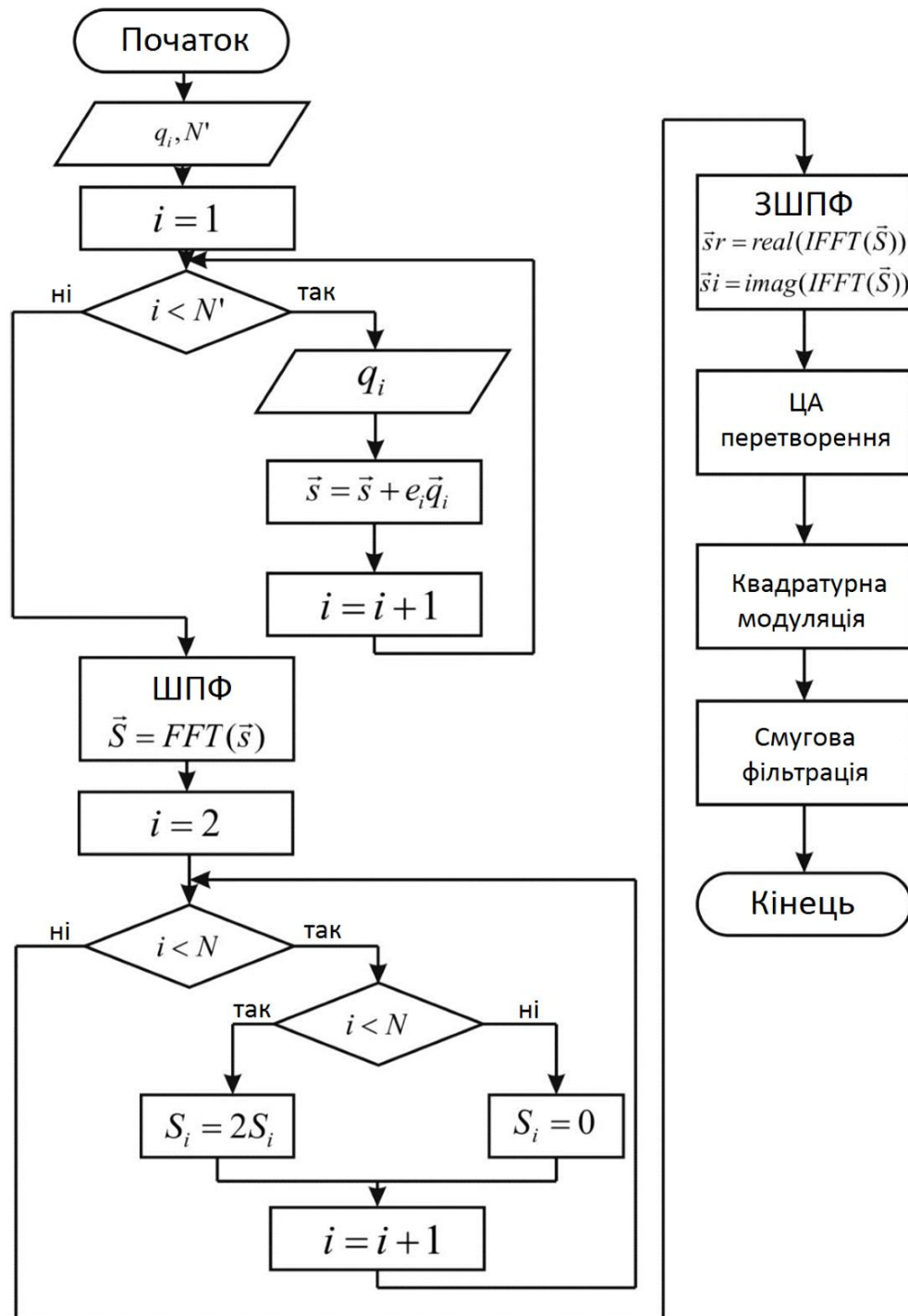


Рис 2.6 Схема алгоритму кодування інформації за участю власних ВСМ

На рисунку 2.7 наведено альтернативний алгоритм кодування інформації.

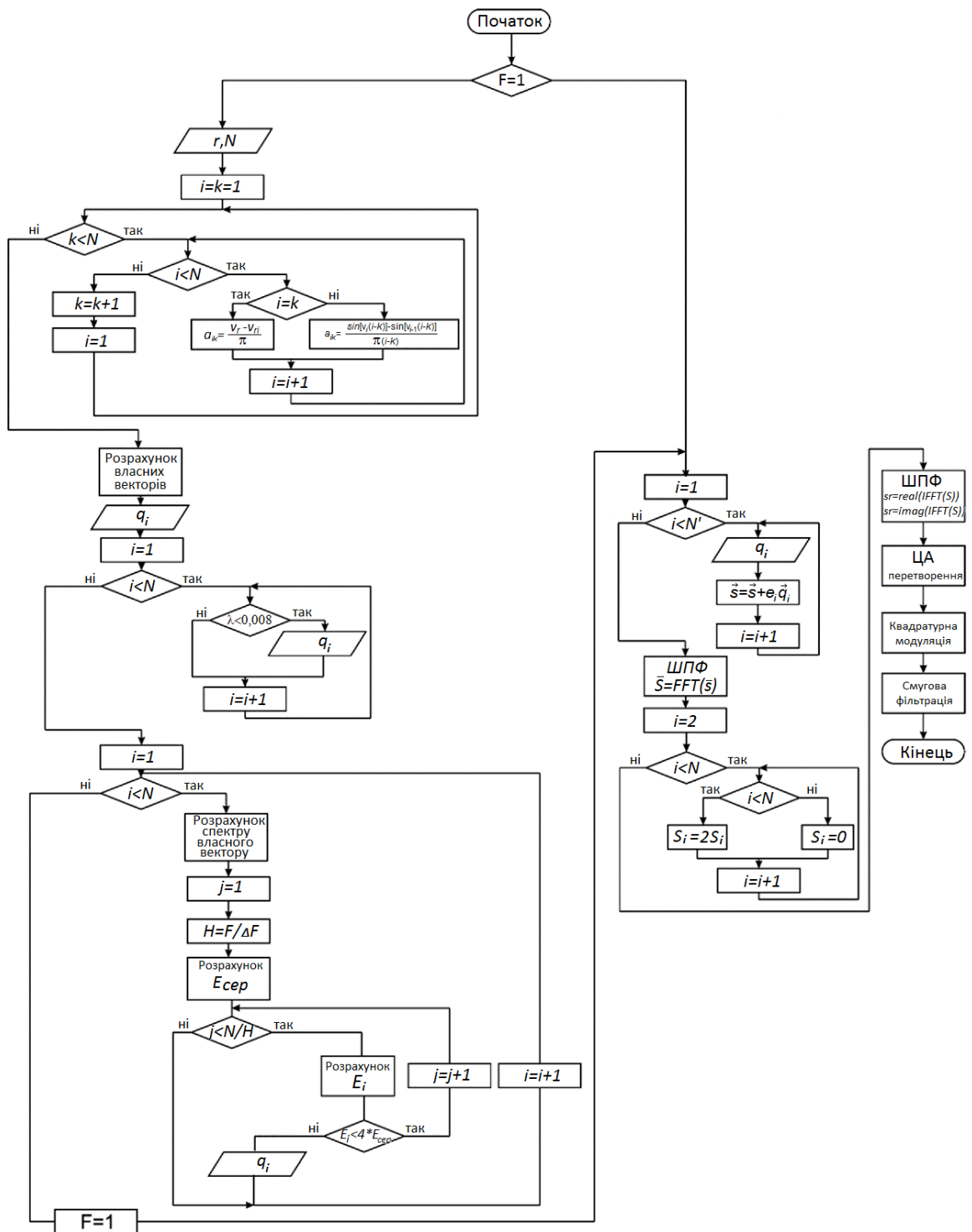


Рис 2.7 Альтернативний алгоритм кодування інформації

Алгоритм кодування інформації із використанням власних ВСМ:

- Введення вихідних даних (F_H , N , r , F_d).
- Розрахунок вибірки власних векторів, якщо їх не було збережено в пам'яті.
- Розрахунок елементів матриці.

- Обчислення власних ВСМ.
- Відбір власних векторів з числами менше 0,008 та рівномірний спектральний розподіл.
- Запис отриманого набору векторів в реєстр.
- Встановлення змінної F в значення 1.
- Перемноження вектора ІС на власні вектори, використовуючи формулу 2.22.
- Застосування швидкого перетворення Фур'є.
- Обробка отриманого спектра згідно із формулою 2.23.
- Здійснення зворотного перетворення Фур'є.
- Мультиплексування сигналу на реальну та уявну компоненту.
- Обробка АЦП реальної та уявної компонент.
- Множення на коливання несучої частоти за допомогою \cos і \sin .
- Агрегування одержаних сигналів та їхнє введення в ІК.

2.5 Алгоритм декодування інформації на основі власних векторів

Алгоритм декодування інформації проходить кілька етапів, подібних алгоритму кодування. Перший етап включає обчислення ВСМ та власних векторів, якщо це не було зроблено під час ініціалізації алгоритму. Обчислення елементів власної матриці виконується так само, як і в алгоритмі кодування (див. рис. 2.5).

Важливо відзначити, що алгоритм обчислення та відбору власних векторів має відмінності, зокрема, у виборі векторів, який повинен бути ідентичним для пристроїв кодування та декодування. Отже, відбір власних векторів відбувається за порядковим номером, переданим разом із закодованими даними. Інформація про частотний інтервал з мінімальною енергією також передається разом з інформаційними даними. На рисунку 2.8 наведено алгоритм обчислення та відбору власних векторів.

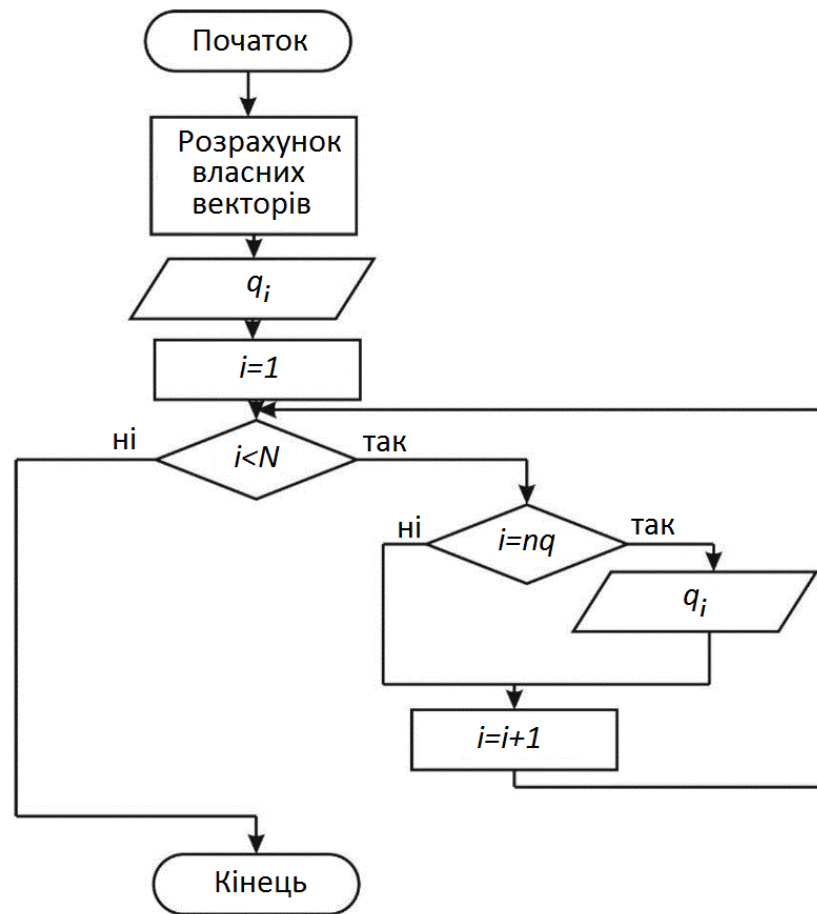


Рис 2.8 Алгоритм обчислення та відбору власних векторів

Власні вектори для кожного частотного інтервалу обчислюються лише один раз та зберігаються в пам'яті, що прискорює загальний алгоритм. Після генерування сукупності власних векторів, обираються лише ті, які відповідають вказаним кодером порядковим номерам.

Алгоритм декодування включає обробку ВЧ АС, його перетворення в дискретну послідовність і отримання інформаційних символів з кодової послідовності за допомогою власних векторів.

У фінальному етапі кодування застосовується квадратурна модуляція, але при декодуванні використовується перемноження вхідного сигналу з гармонійним коливанням та фільтрація НЧ фільтром для отримання кодової послідовності.

Другим кроком обробки широкопasmового сигналу є визначення інформаційних бітів із ЦС (цифровий сигнал), використовуючи математичні

вирази, подані у пункті 2.1. Вираз для обробки сигналу з використанням власних ВСМ може бути виражений наступним чином:

$$e_i = \bar{x} \bar{q}_i \quad (2.25)$$

де \bar{x} – отримана закодована послідовність; \bar{e} – представляє інформаційні біти чи символи i -го алфавіту, що еквівалентні конкретним двійковим послідовностям.

На підставі усього вищезазначеного, було створено наступний алгоритм (див. рис. 2.9).

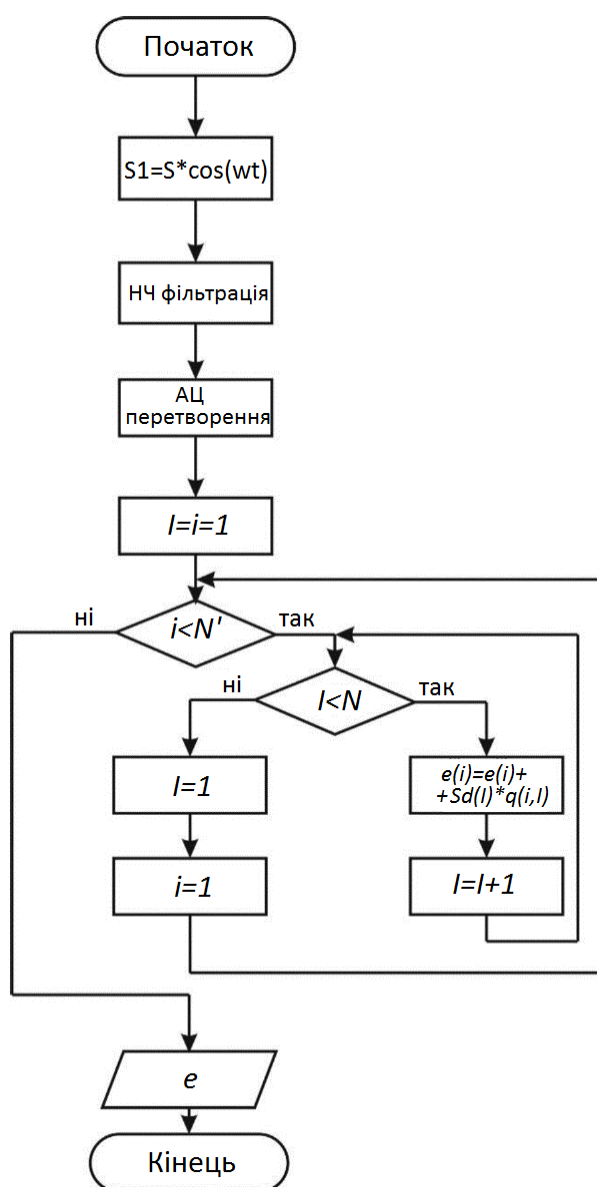


Рис. 2.9 Схема алгоритму декодування інформації

На рисунку 2.10 наведено алгоритм декодування інформації за новим методом. Даний алгоритм застосовується до декодування окремого символу. Символ може бути бітом або представником m -го алфавіту. Щоб забезпечити безперервний прийом інформації, необхідно виконати цей алгоритм для кожного символу, циклічно повторюючи його, при цьому обчислення власних векторів виконується після кожної зміни частотного інтервалу. Вибір частотного інтервалу із мінімальною концентрацією енергії здійснюється враховуючи завадливі умови для забезпечення інваріантності до зосередженої спектральної завади.

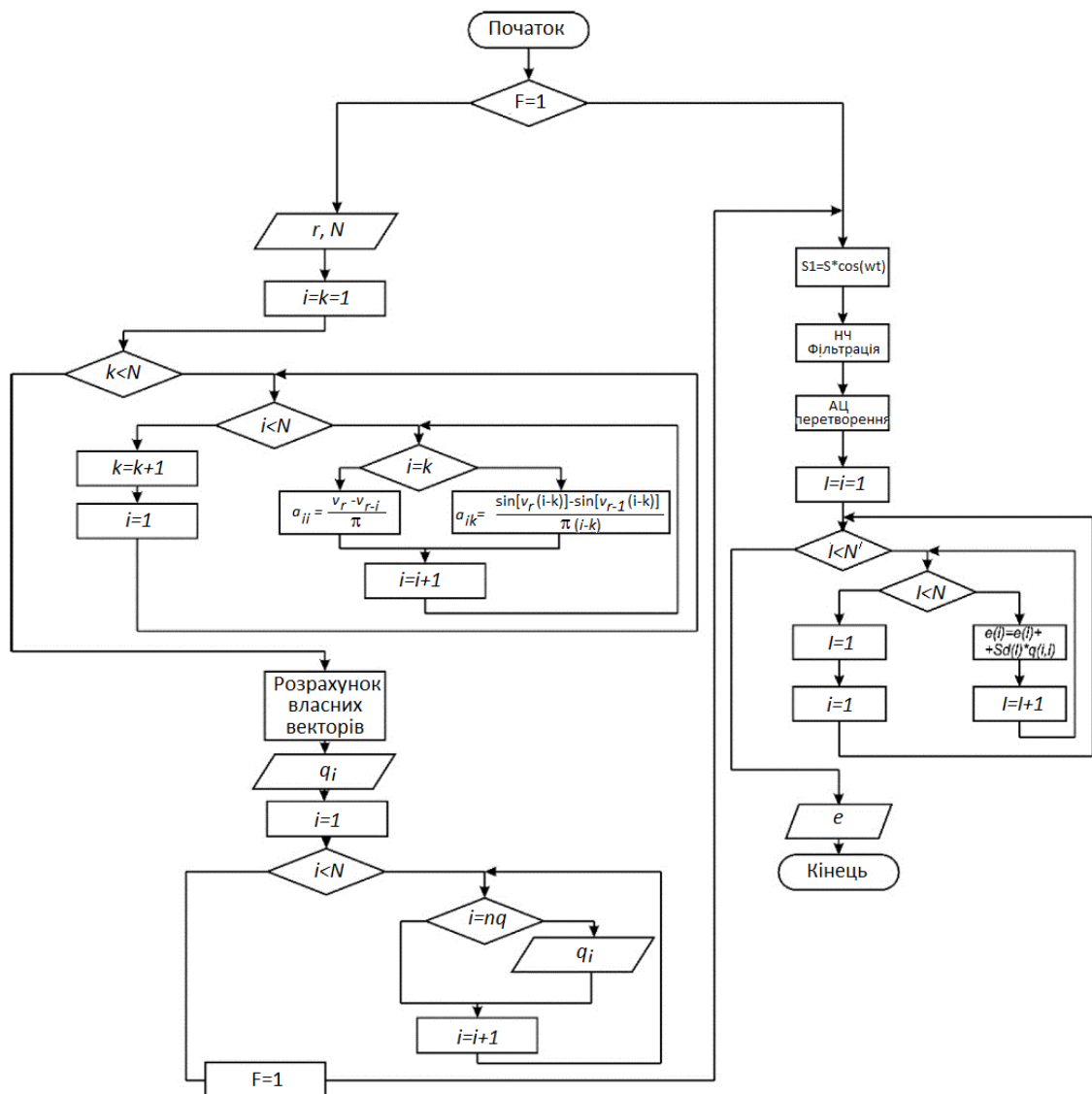


Рис 2.10 Алгоритм декодування інформації за новим методом

Алгоритм декодування інформації з використанням власних ВСМ узагальнено так:

- Вводяться вихідні дані: F_H , N , nq , r .
- Якщо власні вектори необраховані, проводиться їхнє розрахування.
- Обраховуються елементи матриці (2.16-2.17).
- Обраховуються власні вектори матриць.
- Генерується вибірка власних векторів за даними кодера.
- Одержані власні вектори заносяться в реєстр.
- Змінна F встановлюється в 1.
- Приймання сигналу.
- Перемноження отриманого сигналу на гармонійне коливання необхідної частоти та фази.
- Обробка сигналу НЧ фільтром.
- АЦП сигналу.
- Множення отриманої дискретної послідовності на власні ВСМ.
- Розшифрування символів.

2.6 Комп'ютерна модель передачі інформації в системі зв'язку

У середовищі КМ LabVIEW створено комп'ютерну модель, що повністю відтворює процес передачі інформації в системі зв'язку, заснований на власних ВСМ. Модель складається з 5 блоків: генерування власних векторів, модуляції, моделювання впливу багатопроменевих спотворень, моделювання впливу білого шуму та демодуляції. Блоки моделювання спотворень та білого шуму є стандартними для середовища КМ LabVIEW, інші є самостійними підпрограмами. Модель дозволяє налаштовувати різноманітні параметри, включаючи кількість відліків власних векторів (N), тривалість сигналу (dN), кількість фреймів (NC), максимальні значення власних чисел (Alpha), початкову частоту (f) і ширину частотного інтервалу (df), розмір алфавіту для

модуляції (M), тривалість завмирань (Profile length) та параметр Райса (Rician parameter).

На рисунку 2.11 наведено панель керування цієї комп'ютерної моделі.

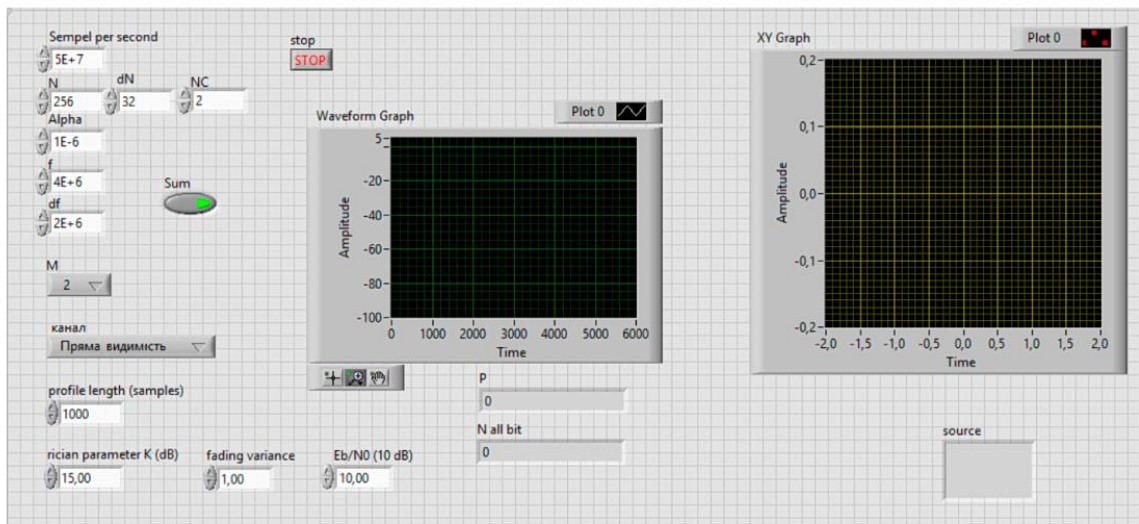


Рис. 2.11 Панель керування

На рисунку 2.12 подано схему даної моделі.

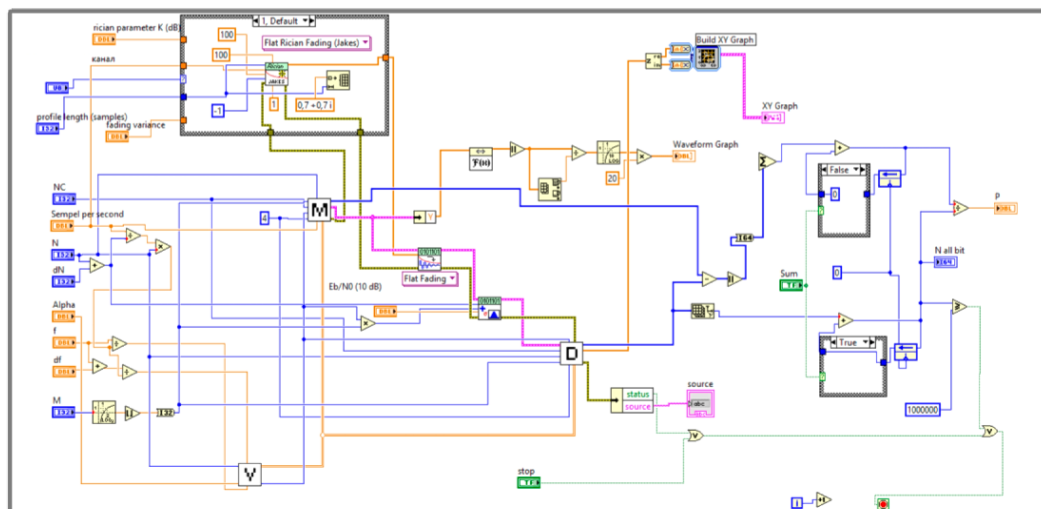


Рис. 2.12 Схема моделі

Модель також здатна порівнювати вихідну бітову послідовність з отриманою після демодуляції, щоб оцінити кількість помилкових біт відносно загальної кількості прийнятих, використовуючи формулу:

$$p_{\text{пом}} = \frac{n_{\text{пом}}}{n_{\text{б}}}, \quad (2.26)$$

де $n_{\text{пом}}$ – кількість помилкових біт інформації; $n_{\text{б}}$ – загальна кількість переданих біт інформації.

Повторення процесів генерування ІС, спотворення його моделювання та подальшої демодуляції відбувається до досягнення загальної кількості переданих біт, що дорівнює заданій величині або до зупинки користувачем моделі. Зазвичай експеримент завершується після передачі 10 000 000 біт. Результати стосовно завадостійкості систем передачі інформації, що базуються на власних ВСМ, будуть подані надалі.

2.7 Блок модуляції

Розроблено компонент модуляції на основі алгоритму обробки інформації. Вхідні параметри включають Mbit (кількість біт на власний вектор), N (кількість відліків власних векторів), NC (кількість фреймів сигналу), S/s (частота дискретизації), NV (кількість власних векторів) та NS (кількість синхровекторів). Найважливіша функція блоку – генерування випадкової бітової послідовності та її кодування за допомогою власних ВСМ. На виході отримується потік біт (BitRate), ІС (Output Cluster) та інформація про помилки (Error out). Панель керування та схема блоку наведені на рисунках 2.13 і 2.14 відповідно.

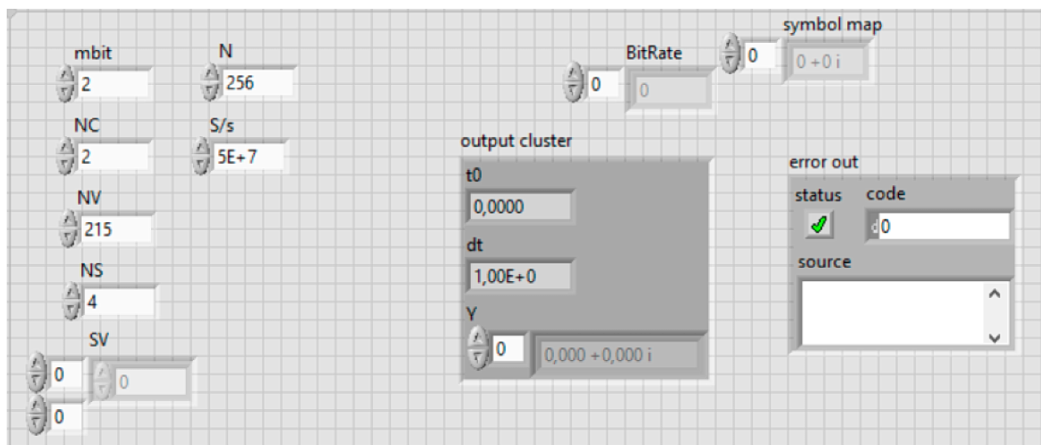


Рис. 2.13 Панель керування

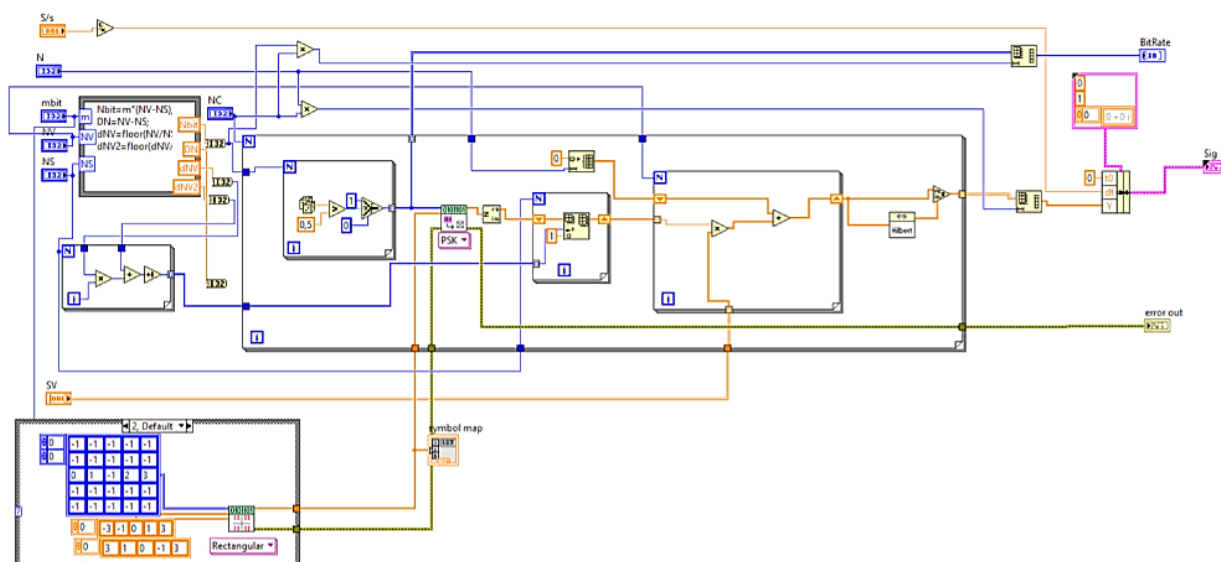


Рис 2.14 Схема блоку

2.8 Блок демодуляції

На основі обробки інформації створено блок демодуляції (див. рис. 2.15-2.16), який здійснює обробку та декодування спотвореного ІС. Параметри входу блоку включають: кількість власних векторів (NV) та синхровекторів (NS), кількість фреймів сигналу (NC), кількість відліків власних векторів (N), кількість біт на власний вектор (Mbit), кластерну змінну про помилки (Error in), спотворений ІС (Sig) та ВСМ (SV).

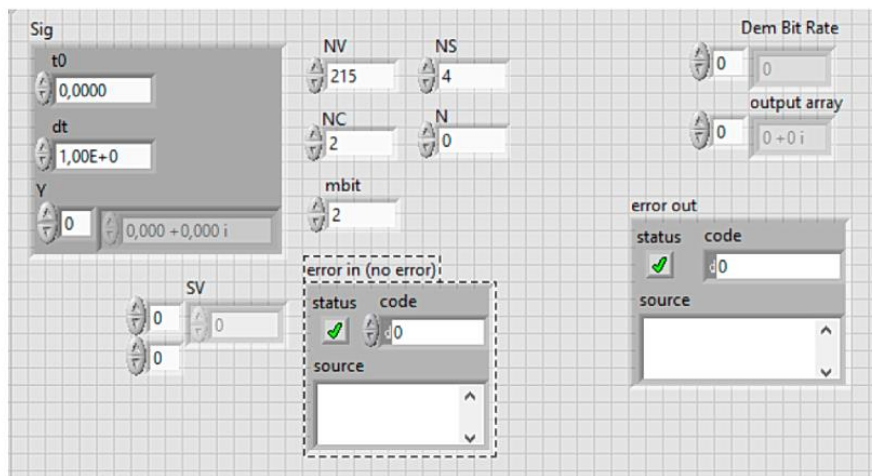


Рис. 2.15 Панель керування блоку демодуляції

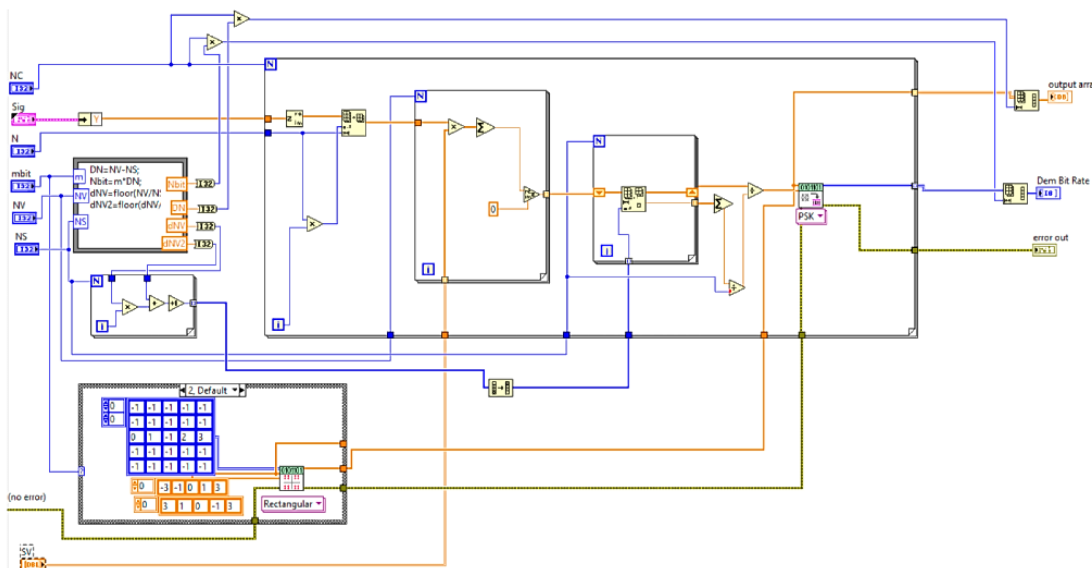


Рис. 2.16 Схема керування блоку демодуляції

На виході блоку демодуляції отримуємо два сигнали: Dem Bit Rate – потік біт, отриманих після демодуляції, та Output array – потік символів, також отриманих в результаті демодуляції. Кластерна змінна Error out включає інформацію про похибки, які виникли під час модуляції.

2.9 Блок формування власних векторів субсмугової матриці з малими власними числами

Блок генерації власних ВСМ (див. рис. 2.17-2.18) необхідний для генерування векторів з обмеженими власними числами і включає наступні вихідні параметри:

- N – кількість відліків у власному векторі.
- α – максимально допустимі значення власних чисел для відбору власних векторів.
- v_1 – нормована частота початку частотного інтервалу з мінімумом енергії власного вектора.
- v_2 – нормована частота кінця частотного інтервалу з мінімумом енергії власного вектора.

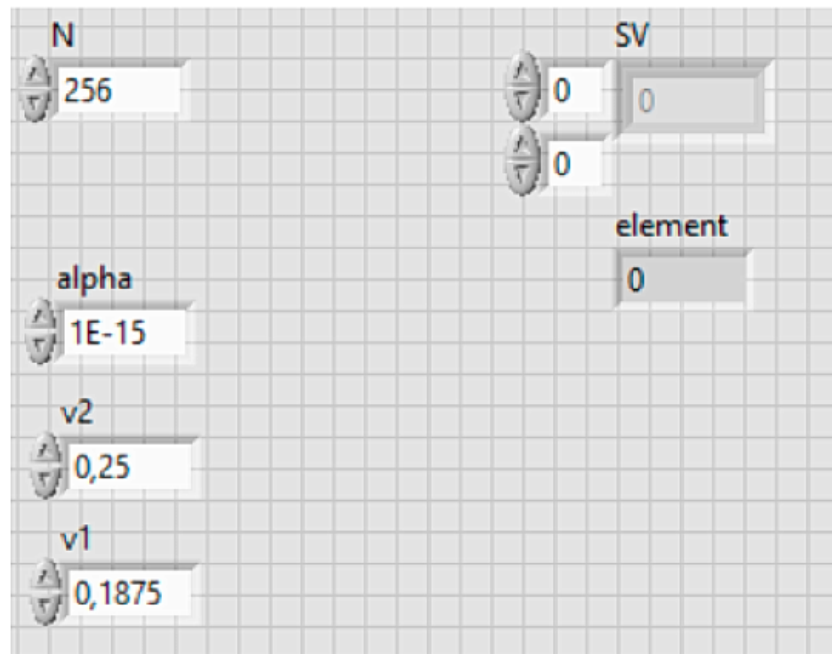


Рис. 2.17 Панель керування блоку генерування власних ВСМ з обмеженими власними числами

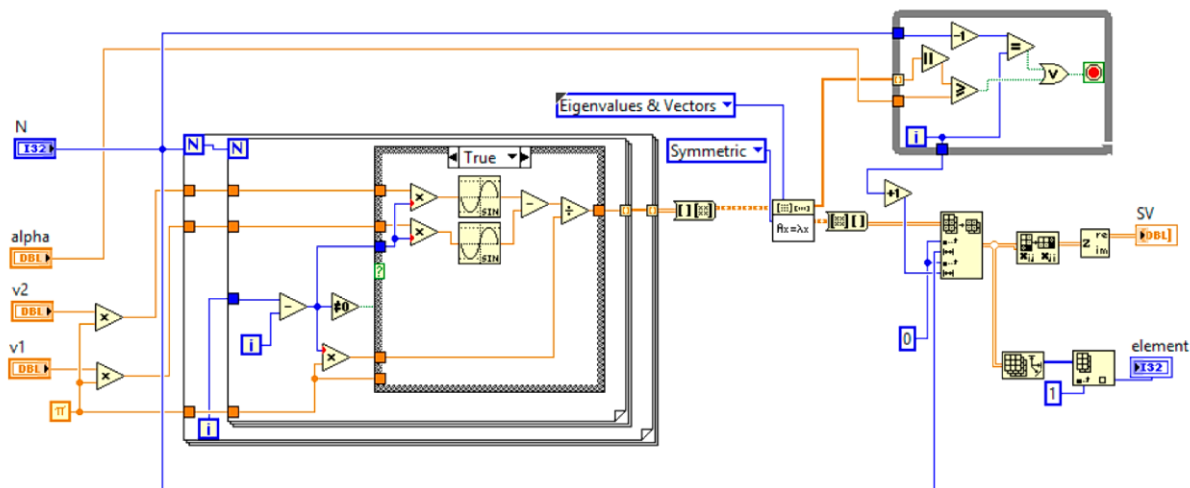


Рис. 2.18 Схема блоку генерування власних ВСМ з обмеженими власними числами

Вихідними параметрами цього блоку є масив власних ВСМ з власними числами менше Alpha, а також кількість отриманих власних векторів.

2.10 Висновок до розділу 2

У розділі створено компоненти для генерування власних векторів і сигналів, базовані на використанні власних ВСМ з невеликими власними числами у середовищі КМ LabView. Розроблено також компонент обробки сигналів, що ґрунтується на власних ВСМ з малими власними числами в середовищі КМ LabView. На основі цих компонентів побудовано комп'ютерну модель системи передачі інформації, використовуючи власні ВСМ з малими власними числами.

РОЗДІЛ 3. НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЧАСТИНА

3.1 Завадостійкість системи зв'язку при відсутності багатопроменевих спотворень

Проведено експерименти для аналізу стійкості до завад у відсутність багатопроменевих спотворень, враховуючи співвідношення енергії сигналу та односторонньої СГ білого шуму. Результати подано у таблиці 3.1.

Таблиця 3.1

Ймовірність помилок у системі зв'язку без врахування багатопроменевого спотворень

E/N	-10	0	10	20	30	40
P	0.448957	0.193798	0.0013937	0	0	0

На рисунку 3.1 наведено побудований графік результатів.

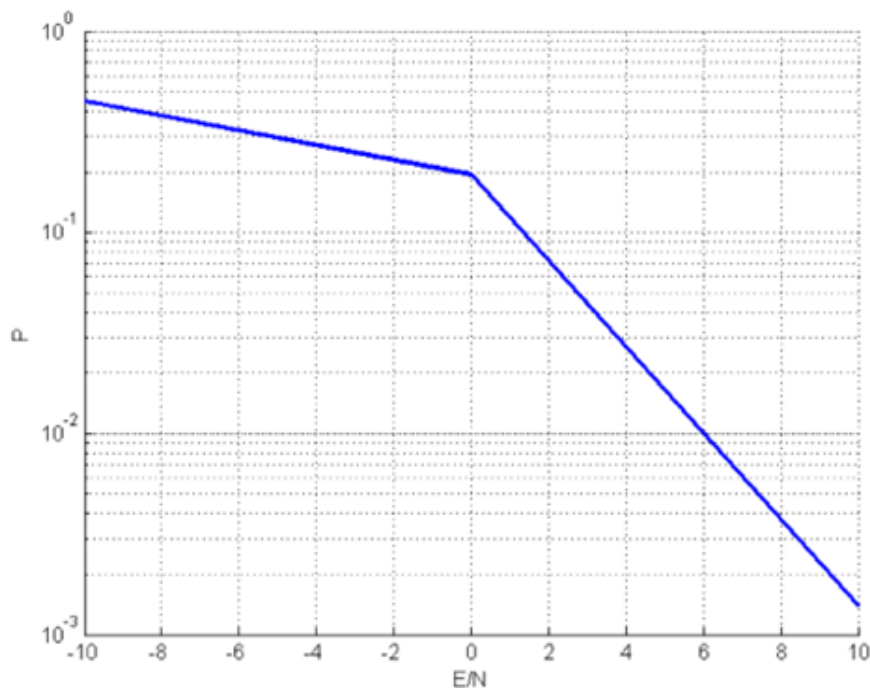


Рис. 3.1 Ймовірність помилки у системі зв'язку без впливу багатопроменевих спотворень

З результатів експериментів випливає, що із збільшенням відношення E/N імовірність помилки при передачі інформації значно зменшується. Зазначено, що при відношенні E/N більше 20 дБ на передачу 10 000 000 біт помилок не виникає.

3.2 Завадостійкість системи зв'язку при передачі сигналів по релєєвських каналах

Проведено експерименти для вивчення стійкості системи зв'язку під час передачі сигналів через рельєфні канали. Імовірність помилки змінювалася в залежності від частоти виникнення затухань та відношення сигнал-шум. Моделювання включало варіацію таких параметрів, як розмір алфавіту для модуляції та ширина частотного інтервалу з мінімальною енергією сигналу. Результати подані у Додатку Б в таблицях Б.1-Б.6.

На рисунках 3.2-3.7 для візуального аналізу представлено графіки ймовірностей помилок у системі зв'язку через реєєвські канали.

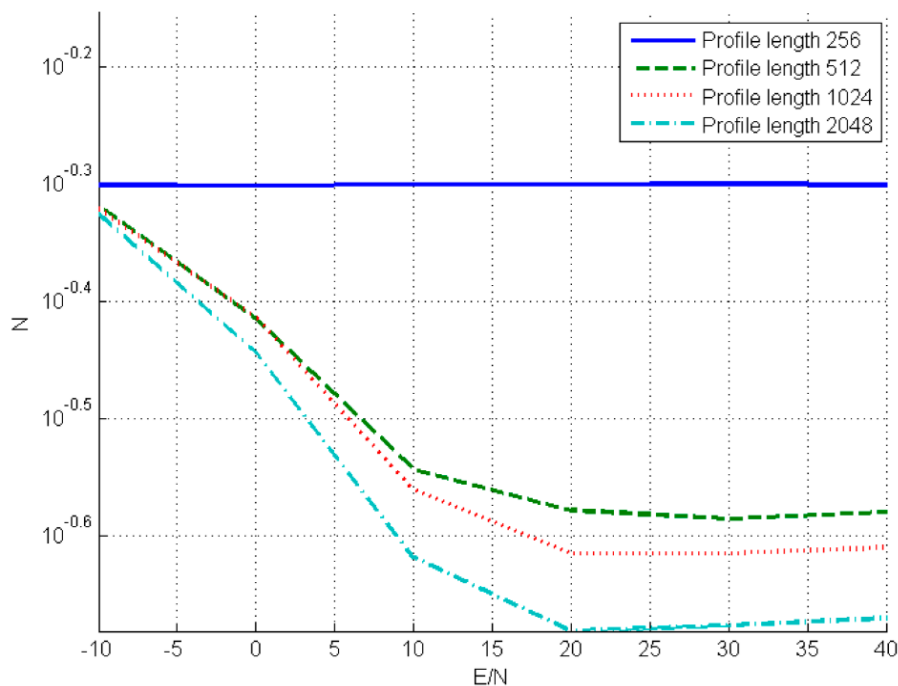


Рис. 3.2 Ймовірність помилок у системі передачі сигналів через РК з параметрами $M = 2$ та $df = 2E + 6$

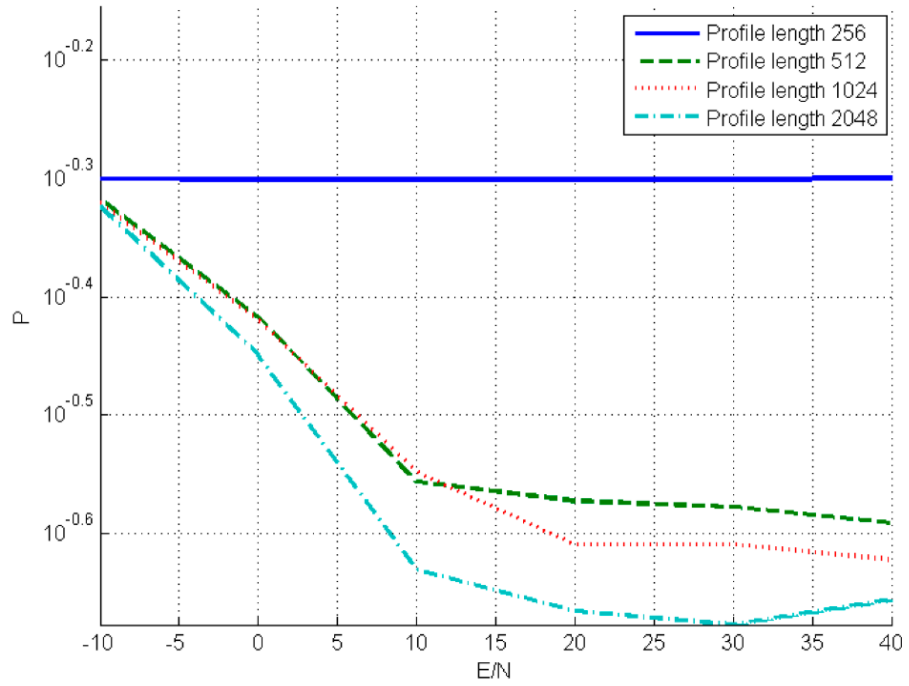


Рис. 3.3 Імовірність помилок у системі передачі сигналів через РК з параметрами $M = 2$ та $df = 4E + 6$

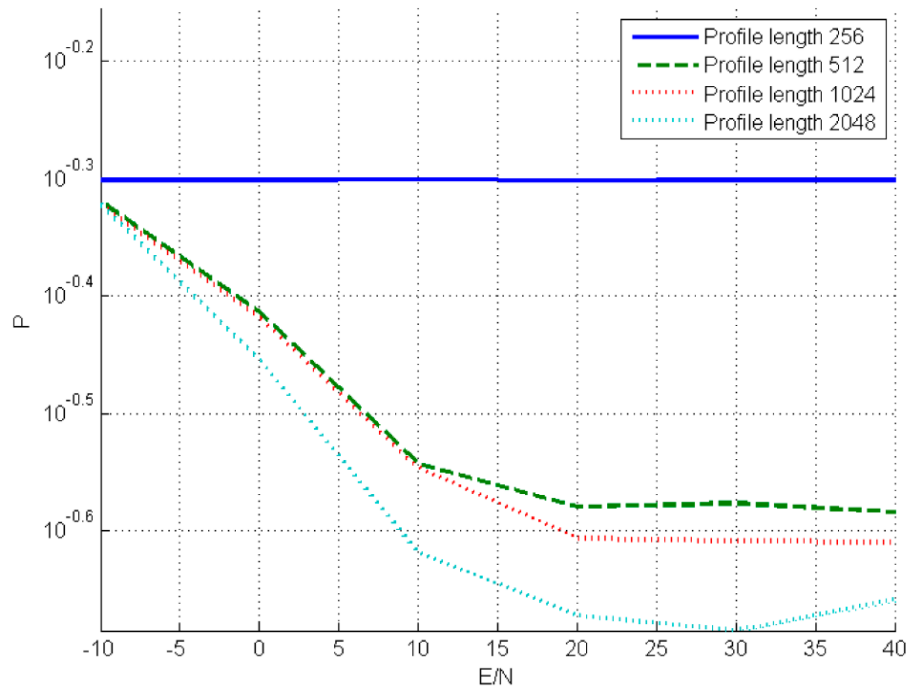


Рис. 3.4 Ймовірність помилок у системі передачі сигналів через РК з параметрами $M = 2$ та $df = 8E + 6$

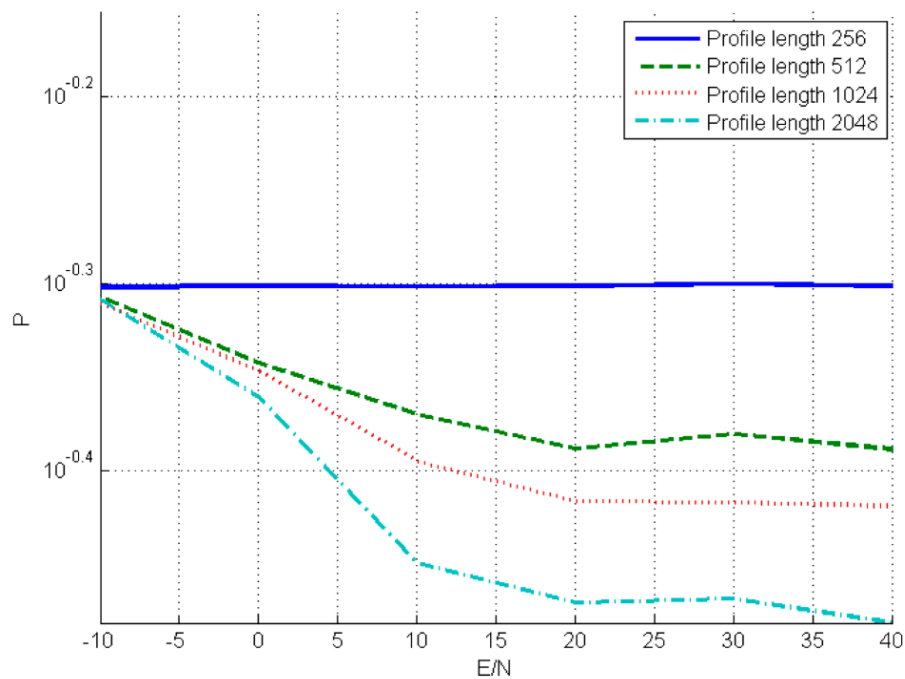


Рис. 3.5 Імовірність помилок у системі передачі сигналів через РК з параметрами $M = 4$ та $df = 2E + 6$

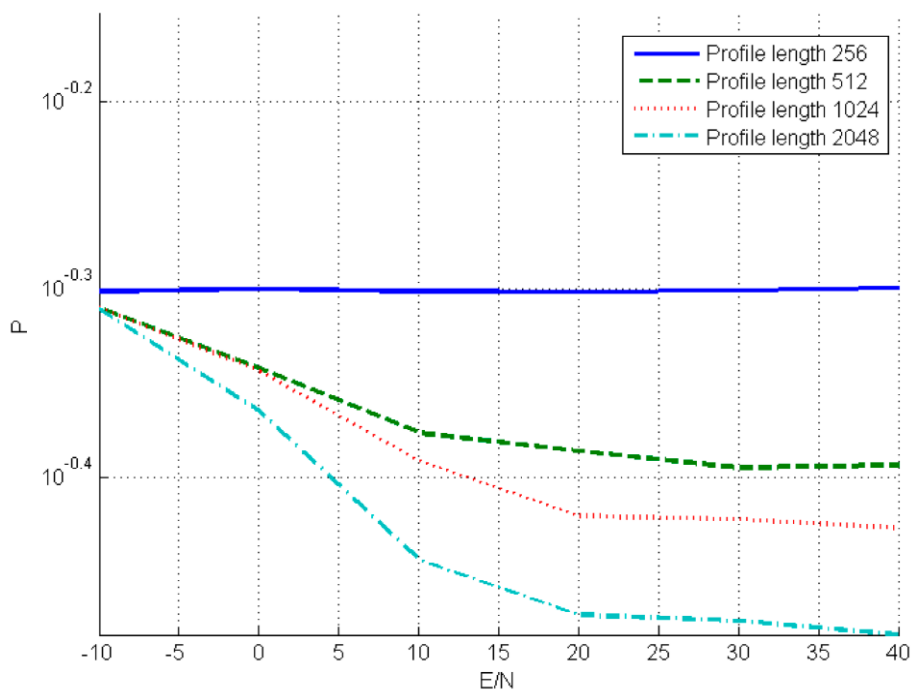


Рис. 3.6 Ймовірність помилок у системі передачі сигналів через РК з параметрами $M = 4$ та $df = 4E + 6$

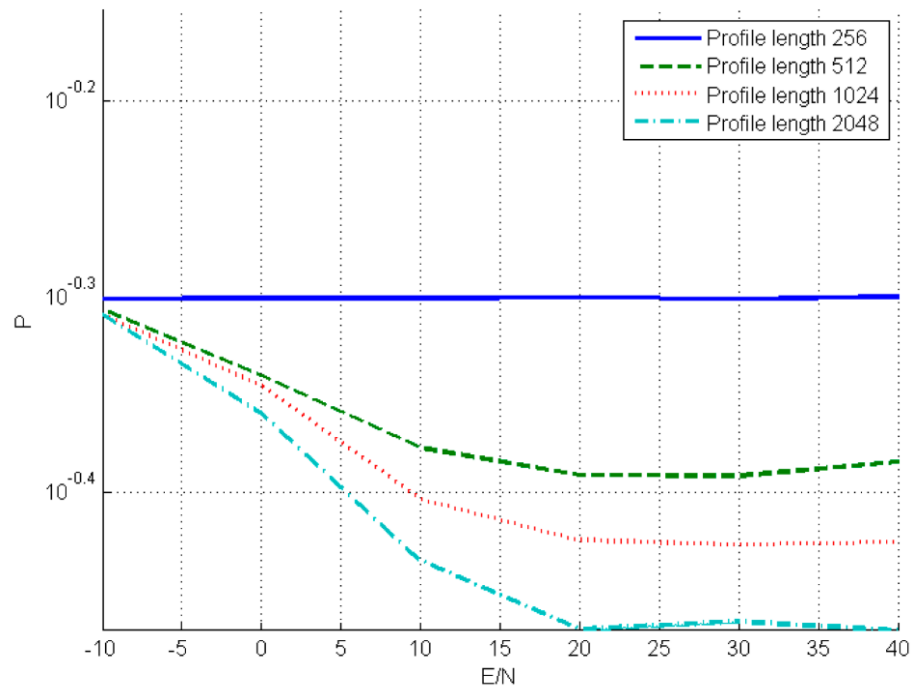


Рис. 3.7 Імовірність помилок у системі передачі сигналів через РК з параметрами $M = 4$ та $df = 8E + 6$

Як підтверджують наші експериментальні результати, взаємодія між енергією сигналу та односторонньою СГ білого шуму впливає на імовірність помилки, але в меншій мірі, ніж тривалість багатопроменевих завмирань. Значущим є той факт, що збільшення тривалості завмирань призводить до зниження імовірності помилки.

3.3 Завадостійкість системи зв'язку при передачі сигналів по Райсовський каналах

Проведено експерименти для аналізу стійкості системи передачі сигналів через канали Райса. Величина імовірності помилок змінювалася в залежності від параметрів прямого та відбитого променів, а також від відношення сигнал-шум. Моделювання включало зміни розміру алфавіту при модуляції та ширини частотного інтервалу з мінімальною енергією сигналу. Результати КМ подано у Додатку В у таблицях В.1-В.6.

На рисунках 3.8-3.13 наведено графіки імовірності помилок у системі зв'язку під час передачі через канали із розподілом Райса.

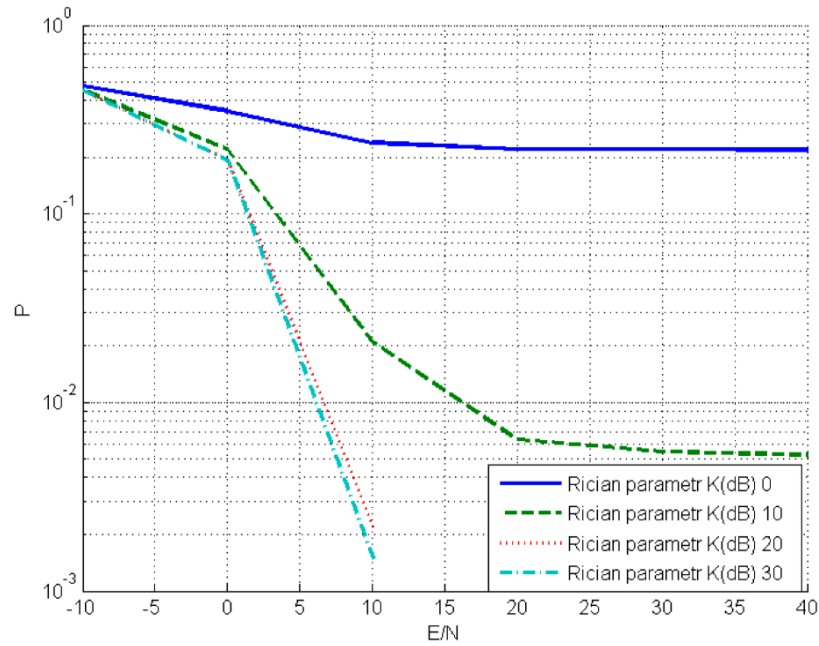


Рис. 3.8 Ймовірність помилок у системі передачі сигналів через РК з параметрами $M = 2$ та $df = 2E + 6$

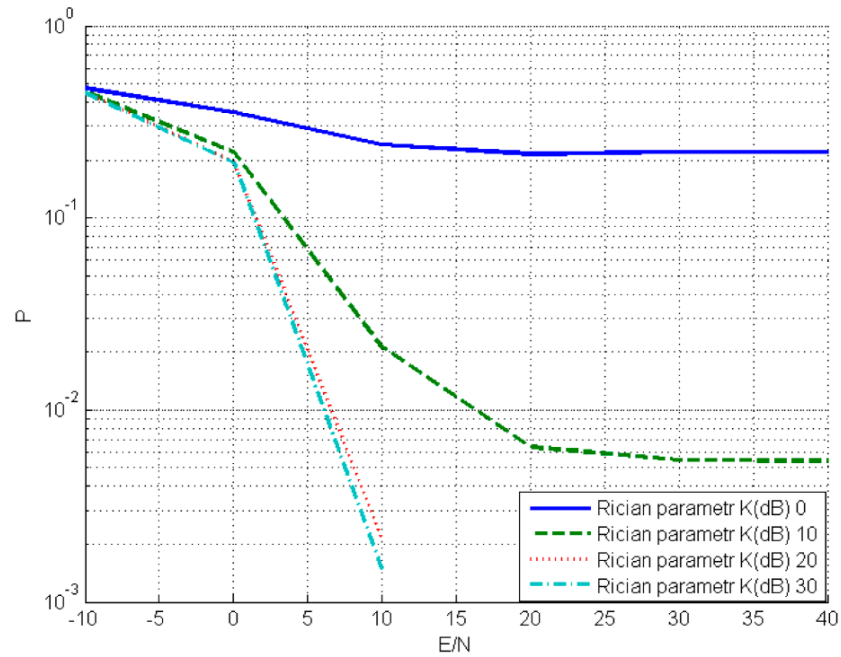


Рис. 3.9 Ймовірність помилок у системі передачі сигналів через РК з параметрами $M = 2$ та $df = 4E + 6$

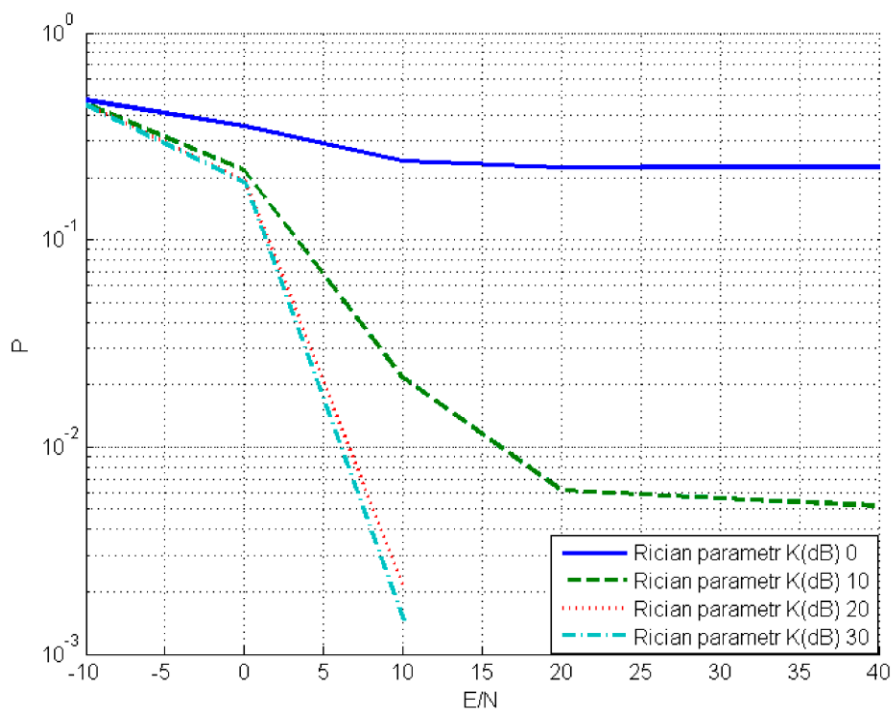


Рис. 3.10 Ймовірність помилок у системі передачі сигналів через РК з параметрами $M = 2$ та $df = 8E + 6$

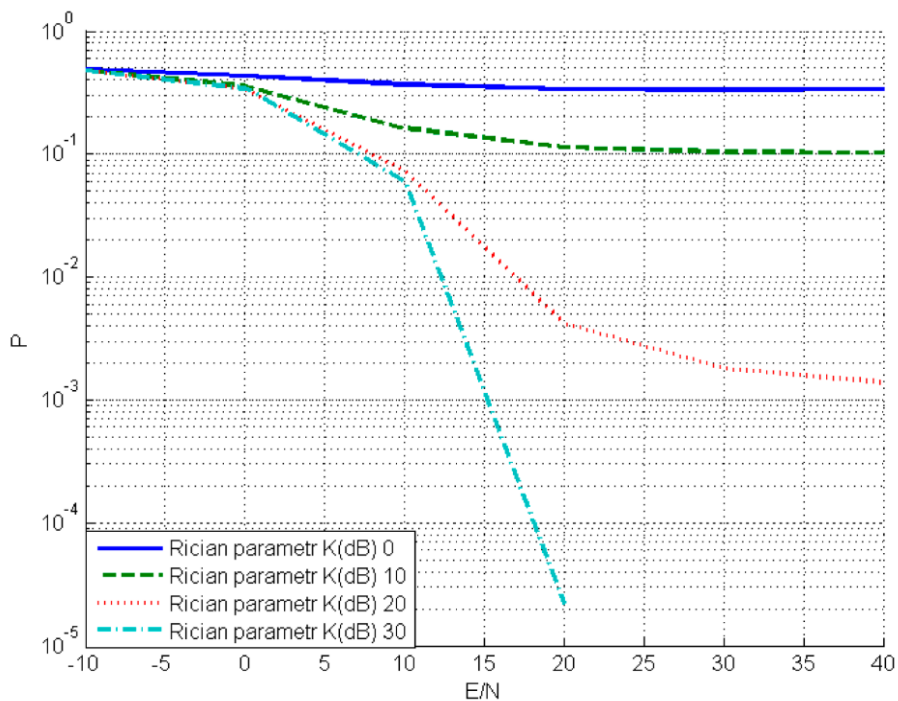


Рис. 3.11 Ймовірність помилок у системі передачі сигналів через РК з параметрами $M = 4$ та $df = 2E + 6$

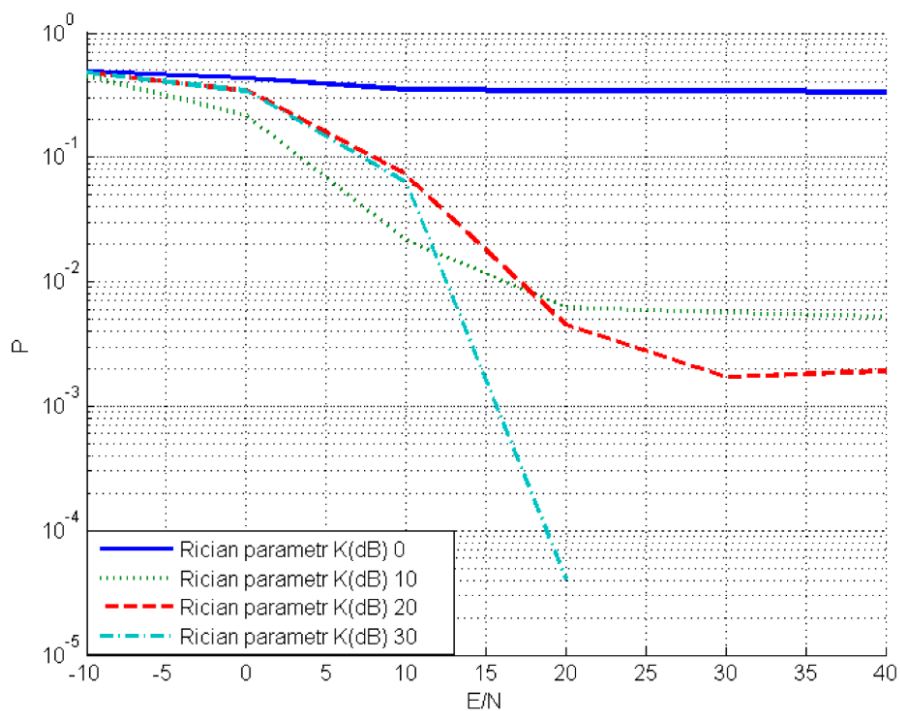


Рис. 3.12 Ймовірність помилок у системі передачі сигналів через РК з параметрами $M = 4$ та $df = 4E + 6$

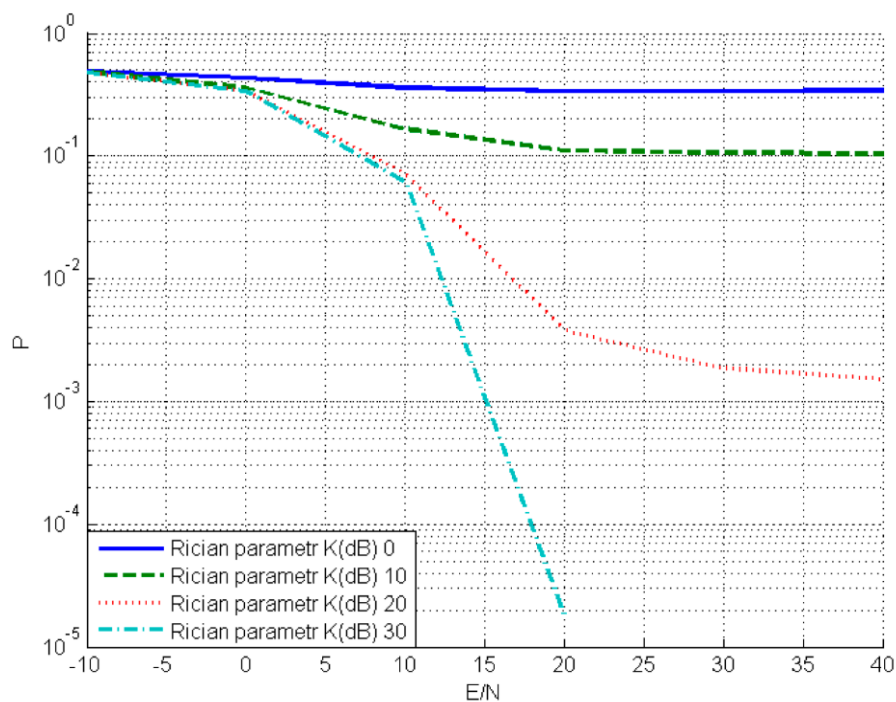


Рис. 3.13 Ймовірність помилок у системі передачі сигналів через РК з параметрами $M = 4$ та $df = 8E + 6$

Результати експериментів вказують на важливість відношення енергії прямого та відбитого сигналів для імовірності помилок. При невеликих відношеннях (менше 0 дБ) криві ймовірності помилок у Райсовському та РК майже співпадають. З іншого боку, великі відношення (більше 30 дБ) призводять до збігу кривих завадостійкості для Райсовського каналу та сигналів без спотворень. Важливо відзначити, що зміни ширини частотного інтервалу практично не впливають на ймовірність помилок у декодуванні сигналу, який піддається багатопроменевому завмиранню.

3.4 Висновок до розділу 3

Розроблено комп'ютерну модель для експериментального дослідження впливу багатопроменевих спотворень на ймовірність помилки декодування ІС. Здійснено аналіз результатів, визначено, що величина відношення енергії сигналу до СГ білого шуму та тривалість завмирань суттєво впливають на ймовірність помилки. Зміни ширини частотного інтервалу майже не впливають на ймовірність помилки при декодуванні спотворених ІС.

РОЗДІЛ 4.

ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

4.1 Питання щодо охорони праці

Розробка програмного для дослідження каналів зв'язку у телекомунікаційних системах здійснювалась на персональному комп'ютері, тому дотримання вимог Державних санітарних правил і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин (ДСанПіН 3.3.2.007-98) (затверджено постановою Головного державного санітарного лікаря України від 10.12.98 р. №7) [81] та Вимог щодо безпеки та захисту здоров'я працівників під час роботи з екранними пристроями, затверджених наказом Міністерства соціальної політики України 14.02.2018 № 207 (НПАОП 0.00-7.15-18), які розроблено на основі Директиви 90/270/ЄЕС від 29 травня 1990 року про мінімальні вимоги безпеки та здоров'я при роботі з екранними пристроями [32].

В процесі роботи з системою рівень безпеки та захист працюючого від випромінювання екранних пристроїв має бути зведено до гранично допустимого рівня (вібрації, шуму, температур), який не спричиняє соматичних розладів, а також інших патологічних змін стану здоров'я, працездатності відповідно до вимог безпеки та охорони здоров'я працівників.

Під час облаштування робочого місця необхідно підібрати таке устаткування, яке не створює додаткового шуму та не виділяє позанормованого тепла. Гранично допустимі рівні шуму повинні відповідати вимогам Санітарних норм виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку (ДСН 3.3.6.037-99), затверджених постановою Головного державного санітарного лікаря України від 01 грудня 1999 року № 37 [33]. Мікроклімат виробничого приміщення має підтримуватись на постійному рівні та відповідати вимогам Санітарних норм мікроклімату виробничих приміщень (ДСН 3.3.6.042-99),

затверджених постановою Головного державного санітарного лікаря України від 01 грудня 1999 року № 42 [34].

Організація робочого місця при роботі із системою повинно бути забезпечено відповідність усіх елементів місця та їх розташування повинне бути ергономічним, антропологічним, відповідати психофізіологічним вимогам, а також характеру роботи із системою при розробці програмного забезпечення. Освітлення в зоні роботи повинне створювати контраст між екраном і навколишнім середовищем та відповідати вимогам ДСанПІН 3.3.2.007-98 [32]

Телекомунікаційна система згідно Технічного регламенту щодо медичних виробів, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 2 жовтня 2013 р. № 753, відноситься до класу медичних виробів як інструмент, апарат, прилад, пристрій, що застосовуються з метою забезпечення діагностики, моніторингу полегшення перебігу хвороби пацієнта в разі захворювання, лікування.

Відповідне програмне забезпечення системи розроблялось у такий спосіб, щоб у разі його застосування не було спричинено виникнення ризику для клінічного стану або безпеки споживачів чи для здоров'я і безпеки користувачів або інших осіб [32].

Відповідно до вимог [32] телекомунікаційна система з електронною програмною системою, спроектована таким чином, що забезпечує надійність, відтворюваність, та ефективність системи згідно з призначенням. В системі передбачено засоби для усунення або мінімізації спричинених ризиків у разі поодинокого збою.

Програмне забезпечення системи розроблено відповідно до поточного рівня знань з урахуванням принципів циклу розробки, управління ризиками, валідації та перевірки [32].

Конструкцією системи передбачено мінімізацію ризиків створення електромагнітних полів, які можуть погіршити роботу інших виробів або обладнання в звичайних умовах, а також, щоб уникнути ризиків випадкового

ураження електричним струмом за умови належного використання, правильного встановлення, тобто має робочу ізоляцію і виконана таким чином, що підключити її до електричної мережі можна лише після під'єднання корпусу до заземлювача, а при від'єднанні від мережі - корпус відключається від заземлювача (нульового захисного провідника) в останню чергу. Рівень та стан ізоляції струмопровідних частин системи відповідає правилам використання системи.

Таким чином, телекомунікаційна система є безпечною з точки зору охорони праці та техніки безпеки.

4.2 Питання щодо безпеки в надзвичайних ситуаціях

У разі загрози чи настання надзвичайних ситуацій необхідним є забезпечити надійну роботу об'єктів оснащених телекомунікаційними системами.

На виконання вимог Державних будівельних норм ДБН В1.2-4-2006 «Інженерно-технічні заходи цивільного захисту (цивільної оборони)» основними заходами щодо підвищення стійкості забезпечених об'єктів є:

- захист робітників і службовців;
- підвищення стійкості інженерно-технічного комплексу;
- виключення або обмеження можливих негативних наслідків від вторинних факторів ураження;
- організація надійного матеріально-технічного забезпечення і стійких виробничих зв'язків;
- проведення заходів по зниженню можливих втрат і забезпеченню стабільності випуску продукції;
- забезпечення надійності управління виробництвом;
- завчасна підготовка до відновлення порушеного виробництва.

Захист робітників і службовців досягається:

- укриттям в захисних спорудах;

- евакуацією в заміську зону;
- забезпеченістю засобами індивідуального захисту; надійним та своєчасним оповіщенням про небезпеку;
- розробкою режимів захисту;
- герметизацією приміщень;
- проведенням профілактичних медичних заходів.

Підвищення стійкості інженерно-технічного комплексу досягається:

- заглибленням або розміщенням у незавалюваних приміщеннях устаткування і комунікацій;
- підвищенням міцнісних характеристик споруд;
- базуванням підприємства на декількох джерелах електропостачання;
- передбаченням на мережах газопостачання і теплофікації заходів проти витікання газу, пару, води, а також резервних ліній для переключення енергопостачання від інших магістралей (об'єктів).

Ймовірність виникнення на підприємстві пожеж залежить в основному від ступеня вогнестійкості будинків і споруд, пожежо- і вибухо- небезпечності, щільності забудови будинків і споруд і ступеня їх руйнувань.

При розробці заходів по виключенню або обмеженню дії на об'єкт та його елементи вторинних факторів поразки слід враховувати специфічні властивості об'єктів. Так, на об'єктах нафтопереробної і нафтохімічної промисловості внаслідок руйнування і ушкодження місткостей, трубопроводів і арматури можливе виникнення вибухо-небезпечних газоповітряних сумішей, які можуть вибухнути і призвести до руйнування устаткування, будівельних конструкцій, будинків і споруд.

Виникнення і характер пожеж залежать не тільки від категорії виробництва по пожежній небезпеці, але й від ступеня вогнестійкості будинків і споруд. За ступенями вогнестійкості будинки і споруди поділяються на п'ять груп (I, II, III, IV і V).

Лікувальні корпуси психіатричних лікарень і диспансерів мають бути не нижче III ступеня вогнестійкості.

Будинки лікувальних закладів на 60 і менше ліжок та амбулаторно-поліклінічні заклади на 90 відвідувань за зміну дозволяється проектувати IV, V ступеня вогнестійкості з рубленими чи брущатими стінами.

Приміщення лікувальних, амбулаторно-поліклінічних закладів і аптек (крім приміщень медичного персоналу громадських будинків і споруд, аптечних кіосків) в разі розміщення їх в будинках іншого призначення мають бути відокремлені від решти приміщень протипожежними стінами 1-го типу і мати самостійні виходи назовні.

Ступінь вогнестійкості будинків і споруд визначається мінімальними межами вогнестійкості будівельних конструкцій і загоряння матеріалів, із яких ці конструкції збудовані. Вогнестійкість будівельних конструкцій визначається часом згоряння (запалювання) і вимірюється в годинах. Всі будівельні матеріали, як відомо, поділяються на три групи: такі, що згоряють, важко згоряють і не згоряють.

Для виключення або обмеження можливості виникнення і поширення пожеж, отруєнь та інших вторинних факторів ураження на підприємствах проводяться заходи по протипожежній та інженерно-технічній профілактиці. Вони включають заходи, що запобігають розповсюдженню пожежі (обладнання протипожежних розривів навколо нагрівальних печей і установок, створення і підготовка сил і засобів пожежогасіння, винесення складів паливо-мастильних матеріалів, вибухонебезпечних речовин за територію об'єкта та зниження їх запасів, обвалювання місткостей і складів СДОР, обладнання пристроїв для їх нейтралізації, підготовка резервуарів з водою та прийняття інших необхідних мір захисту).

При оцінці стійкості об'єкта у НС необхідно також враховувати розташування об'єкта відносно меж зон можливого катастрофічного затоплення при зруйнуванні гребель гідровузлів і його наслідків.

На стійкість роботи об'єктів значний вплив може створити радіоактивне забруднення місцевості, тому для захисту робітників розроблюються необхідні режими радіаційного захисту.

Це такі заходи, як зниження запасів (на території підприємства) матеріально-технічних засобів, створення в заміській зоні необхідних запасів і резервів сировини, палива, устаткування, комплектуючих виробів, запасних деталей, будівельних матеріалів, рухомих електричних і компресорних станцій для проведення рятівних і невідкладних робіт: підготовка підприємства до переведення на резервні (автономні) джерела електро-, паро- і водопостачання, завчасне дослідження можливостей використання місцевих джерел сировини, палива, комплектуючих деталей та інших необхідних для виробництва матеріалів.

Важливим заходом є завчасна підготовка до відновлення порушеного виробництва, для чого на об'єкті розробляється план відновлювальних робіт, що дозволить значно скоротити час на проведення робіт у випадку часткового зруйнування об'єкта.

4.3 Висновок до розділу 4

У підрозділі з охорони праці обґрунтовано безпечність експлуатації телекомунікаційної системи з точки зору охорони праці.

У підрозділі з безпеки в надзвичайних ситуаціях проаналізовано питання аналізу заходів по підвищенню стійкості об'єктів, що використовують електроенцефалографічну систему в надзвичайних ситуаціях, способів захисту персоналу зазначених об'єктів.

ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі вирішено важливу задачу оцінювання сигналу із змінними частотними характеристиками за допомогою методів КМ.

Отримано наступні результати:

- Проаналізовано вплив різних завод і спотворень на ІС в КЗ та методи їх захисту, що визначило напрямок подальших досліджень.
- Розроблено компонент генерування власних векторів у середовищі КМ LabView відповідно до існуючого алгоритму.
- Розроблено компонент генерування сигналів та обробки сигналів у середовищі КМ LabView.
- Побудовано комп'ютерну модель системи передачі інформації з використанням власних ВСМ для експериментального дослідження впливу багатопроменевих спотворень на ймовірність помилки декодування.
- Визначено, що величина відношення енергії сигналу до СГ білого шуму менше впливає на ймовірність помилки, ніж тривалість завмирань. Також виявлено, що збільшення тривалості завмирань призводить до зменшення ймовірності помилки.
- Підтверджено, що величина відношення енергії прямого променю до відбитих впливає на ймовірність помилкового прийому інформації, а збільшення цього відношення призводить до збігу кривих для заводостійкості та неспотворених сигналів.
- Встановлено, що зміни ширини частотного інтервалу практично не впливають на ймовірність помилки декодування ІС при багатопроменевих завмираннях.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ

- 1 Allen, J.B., Berkley, D.A.: Image method for efficiently simulating small-room acoustics. *J. Acoust. Soc. Am.* 65(4), 943–950 (1979).
- 2 Peterson, P.M.: Simulating the response of multiple microphones to a single acoustic source in a reverberant room. *J. Acoust. Soc. Am.* 80(5), 1527–1529 (1986).
- 3 Nelson, P.A., Elliott, S.J.: *Active control of sound*. Academic, London (1993).
- 4 Polack, J.D.: *La transmission de l'energie sonore dans les salles*. Thèse de doctorat d'état, Université du Maine, Le Mans (1988).
- 5 Gustafsson, T., Rao, B.D., Trivedi, M.: Source localization in reverberant environments: modeling and statistical analysis. *IEEE Trans. Speech Audio Process.* 11(6), 791803 (2003).
- 6 Reichardt, W., Lehmann, U.: Raumeindruck als oberbegriff von rumlichkeit und halligkeit, erluterungen des raumeindrucks masses. *Acustica* 40, 174–183 (1978).
- 7 Polack, J.D.: Playing billiards in the concert hall: the mathematical foundations of geometrical room acoustics. *Appl. Acoust.* 38(2), 235–244 (1993).
- 8 Pietrzyk, A.: Computer modeling of the sound field in small rooms. In: *Proc. of the 15th AES Int. Conf. on Audio, Acoustics and Small Spaces*, vol. 2, pp. 24–31. Copenhagen, Denmark (1998).
- 9 Gardner, W.G. 1998. Chapter 3. Reverberation Algorithms, in Kahrs, M. And Brandenburg, K. Editors. *Applications of Digital Signal Processing to Audio and Acoustics*. Kluwer Academic Publishers.
- 10 Schroeder. M. R., Logan, B. F. 1961. Colorless Artificial Reverberation. *J. Audio Engineering Society*. Vol. 9, No. 3.
- 11 E.A.P Habets, “Single- and multi-microphone speech dereverberation using spectral enhancement,” Ph.D. dissertation, T. U. Eindhoven, 2007.

- 12 J. Hardwick, C.D. Yoo, and J.S. Lim, "Speech enhancement using the dual excitation speech model," in *Proc. IEEE Int. Conf. Acoust., Speech Signal Process. (ICASSP)*, 1993, pp. 367–370.
- 13 C.D. Yoo, "Speech enhancement based on the generalized dual excitation model with adaptive analysis window," in *Proc. IEEE Int. Conf. Acoust., Speech Signal Process. (ICASSP)*, 1995, vol. 1, pp. 832–835.
- 14 H. Attias and L. Deng, "Speech Denoising and Dereverberation Using Probabilistic Models," *Advances in Neural Inform. Process. Syst.*, vol. 13, pp. 758–764, 2001.
- 15 J.R. Deller, J.G. Proakis, and J.H.L. Hansen, *Discrete-Time Processing of Speech Signals*. New York: MacMillan, 1993.
- 16 M. Tonelli, M.G. Jafari, and M.E. Davies, "A multi-channel Maximum Likelihood approach to de-reverberation," in *Proc. European Signal Process. Conf. (EUSIPCO)*, Florence, Italy, Sept. 2006.
- 17 B. Yegnanarayana, "Speech enhancement using excitation source information," in *Proc. IEEE Int. Conf. Acoust., Speech Signal Process. (ICASSP)*, 2002, vol. 1, pp. 541–544.
- 18 H. Wang and F. Itakura, "An implementation of multi-microphone dereverberation approach as a preprocessor to the word recognition system," *J. Acoust. Soc. Jap.*, vol. 13, no. 5, pp. 285–293, 1992.
- 19 A. Oppenheim, R. Schafer, T. Stockham, "Nonlinear filtering of multiplied and convolved signals", *IEEE Trans. Audio and Electroacoustics*, Vol. AU-16, No. 3, 1968.
- 20 M. Wu and D. L. Wang, "A two-stage algorithm for one microphone reverberant speech enhancement," *IEEE Trans. Audio, Speech, Lang. Process.*, vol. 14, no. 3, pp. 774–784, May 2006.
- 21 P. Krishnamoorthy and S. R. M. Prasanna, "Reverberant speech enhancement by temporal and spectral processing," *IEEE Trans. Audio, Speech, Lang. Process.*, vol. 17, no. 2, pp. 137–148, Feb. 2009.

22 S. Mosayyebpour, M. Esmaili, T. A. Gulliver, “Single-Microphone Early and Late Reverberation Suppression in Noisy Speech,” *IEEE Trans. Audio, Speech, Lang. Process.*, vol. 21, no. 2, pp. 322–335, Feb. 2013.

23 E. A. P. Habets, N. Gaubitch, and P. A. Naylor, “Temporal selective dereverberation of noisy speech using one microphone,” in *Proc. IEEE Int. Conf. Acoust., Speech Signal Process. (ICASSP)*, Apr. 2008, pp. 4577–4580.

24 J. S. Erkelens and R. Heusdens, “Single-microphone late-reverberation suppression in noisy speech by exploiting long-term correlation in the DFT domain,” in *Proc. IEEE Int. Conf. Acoust., Speech Signal Process. (ICASSP)*, Apr. 2009, pp. 3997–4000.

25 N.D. Gaubitch, P.A. Naylor, and D. Ward, “On the use of linear prediction for dereverberation of speech,” in *Proc. of the Int. Workshop Acoust. Echo Noise Control (IWAENC)*, Kyoto, Japan, 2003, pp. 99–102.

26 N.D. Gaubitch, D.B. Ward, and P.A. Naylor, “Statistical analysis of the autoregressive modeling of reverberant speech,” *J. Acoust. Soc. Am.*, vol. 120, pp. 4031–4039, Dec. 2006.

27 D. Gesbert and P. Duhamel, “Robust blind identification and equalization based on multi-step predictors,” in *Proc. IEEE Int. Conf. Acoust., Speech Signal Process. (ICASSP)*, 1997, vol. 26, no. 5, pp. 3621–3624.

28 Khvostivska L., Khvostivskyi M., Dunets V., Dediv I. Matematychnе, alhorytmichne ta prohramne zabezpechennia synfaznoho vyivlennia radiosyhnaliv v elektronnykh komunikatsiinykh merezhakh iz zavadamy [Mathematical, algorithmic and software support of synphase detection of radio signals in electronic communication networks with noises]. *Scientific Journal of TNTU (Tern.)*, vol. 111, no 3, pp. 48-57 [in Ukrainian].

29 Iryna Dediv Liliya Khvostivska, Mykola Khvostivskyy, Vasyl Dunetc. The 2nd International Workshop on Information Technologies: Theoretical and Applied Problems (ITTAP-2022). Ternopil, Ukraine.

30 Державні санітарні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин ДСанПіН

3.3.2.007-98. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0007282-98> (дата звернення: 22.10.2019).

31 Про затвердження Вимог щодо безпеки та захисту здоров'я працівників під час роботи з екранними пристроями НПАОП 0.00-7.15-18. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/main/z0508-18> (дата звернення: 22.10.2019).

32 Державні санітарні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин ДСанПН 3.3.2.007-98. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0007282-98> (дата звернення: 22.10.2019).

33 Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку ДСН 3.3.6.037-99. URL: <http://arm.te.ua/docs/DSN-3.3.6.037-99.pdf> (дата звернення: 22.10.2019).

34 Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень ДСН 3.3.6.042-99. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/va042282-99> (дата звернення: 22.10.2019).

ДОДАТКИ

Ймовірність помилок у системі передачі сигналів через РК

Таблиця Б.1 – З параметрами $M = 2$ та $df = 2E + 6$

E/N	-10	0	10	20	30	40
Profile length						
256	0,499517	0,499593	0,500358	0,499274	0,499938	0,499523
512	0,479906	0,385989	0,286586	0,263432	0,265199	0,260524
1024	0,476008	0,381734	0,283776	0,247686	0,246207	0,245489
2048	0,475816	0,35115	0,240807	0,212674	0,206595	0,219442

Таблиця Б.2 – З параметрами $M = 2$ та $df = 4E + 6$

E/N	-10	0	10	20	30	40
Profile length						
256	0,499803	0,499305	0,500617	0,500239	0,500874	0,500024
512	0,48083	0,384277	0,285906	0,264222	0,259536	0,262947
1024	0,477496	0,385215	0,274574	0,24244	0,242595	0,245497
2048	0,472623	0,359624	0,240372	0,208289	0,210658	0,213777

Таблиця Б.3 – З параметрами $M = 2$ та $df = 8E + 6$

E/N	-10	0	10	20	30	40
Profile length						
256	0,500459	0,500248	0,50009	0,499894	0,500124	0,500974
512	0,481594	0,382576	0,27760	0,267553	0,264356	0,256295
1024	0,477485	0,380527	0,282942	0,245832	0,245922	0,238636
2048	0,473964	0,355261	0,234385	0,21597	0,210279	0,22075

Таблиця Б.4 – 3 параметрами $M = 4$ та $df = 2E + 6$

E/N	-10	0	10	20	30	40
Profile length						
256	0,499077	0,500115	0,499707	0,499834	0,50106	0,499998
512	0,493403	0,454754	0,427105	0,409079	0,416528	0,408802
1024	0,488975	0,449967	0,403076	0,38358	0,382824	0,381205
2048	0,491831	0,436056	0,355532	0,338555	0,340209	0,330175

Таблиця Б.5 – 3 параметрами $M = 4$ та $df = 4E + 6$

E/N	-10	0	10	20	30	40
Profile length						
256	0,500105	0,501116	0,500074	0,499584	0,50044	0,501872
512	0,490029	0,454962	0,420506	0,411155	0,402806	0,404174
1024	0,489657	0,453335	0,406024	0,379834	0,37819	0,374133
2048	0,489365	0,432165	0,359953	0,336579	0,334016	0,32844

Таблиця Б.6 – 3 параметрами $M = 4$ та $df = 8E + 6$

E/N	-10	0	10	20	30	40
Profile length						
256	0,499954	0,500203	0,500178	0,500522	0,499862	0,500924
512	0,493354	0,45667	0,419584	0,406558	0,406134	0,413014
1024	0,490657	0,451355	0,395404	0,376819	0,374754	0,375814
2048	0,490936	0,437092	0,367365	0,339225	0,342367	0,338766

Ймовірність помилок у системі передачі сигналів через Райсовські канали

Таблиця В.1 – 3 параметрами $M = 2$ та $df = 2E + 6$

E/N	-10	0	10	20	30	40
Rician parametr K						
0	0,47595	0,35063	0,238425	0,21908	0,21918	0,21791
10	0,45391	0,21927	0,021066	0,00636	0,00548	0,00526
20	0,44952	0,19321	0,002159	0	0	0
30	0,44774	0,19218	0,001489	0	0	0

Таблиця В.2 – 3 параметрами $M = 2$ та $df = 4E + 6$

E/N	-10	0	10	20	30	40
Rician parametr K						
0	0,47436	0,35489	0,239775	0,21495	0,21946	0,219578
10	0,45223	0,22013	0,021253	0,00651	0,00547	0,00544
20	0,45123	0,19538	0,002087	0	0	0
30	0,44638	0,19305	0,001436	0	0	0

Таблиця В.3 – 3 параметрами $M = 2$ та $df = 8E + 6$

Е/Н Rician parametr К	-10	0	10	20	30	40
0	0,47407	0,35472	0,239652	0,22336	0,22477	0,225168
10	0,45304	0,21593	0,021602	0,00619	0,00563	0,00523
20	0,44896	0,19307	0,002124	0	0	0
30	0,44613	0,19012	0,001454	0	0	0

Таблиця В.4 – 3 параметрами $M = 4$ та $df = 2E + 6$

Е/Н Rician parametr К	-10	0	10	20	30	40
0	0,48835	0,43517	0,34893	0,34169	0,34374	0,333342
10	0,48401	0,36284	0,16672	0,11358	0,10793	0,111148
20	0,47886	0,34387	0,07156	0,00452	0,00172	0,001903
30	0,47654	0,34103	0,06194	0,00003	0	0

Таблиця В.5 – 3 параметрами $M = 4$ та $df = 4E + 6$

Е/Н Rician parametr К	-10	0	10	20	30	40
0	0,49016	0,43184	0,36819	0,33857	0,33305	0,3367
10	0,47897	0,36034	0,16165	0,11286	0,10397	0,1025
20	0,47603	0,33866	0,07254	0,00416	0,00178	0,00138
30	0,47865	0,34333	0,05946	0,00001	0	0

Таблиця В.6 – 3 параметрами $M = 4$ та $df = 8E + 6$

Е/Н Rician parametr К	-10	0	10	20	30	40
0	0,48974	0,43378	0,35944	0,335925	0,33802	0,34262
10	0,48235	0,36145	0,16557	0,111152	0,10664	0,10456
20	0,47836	0,33803	0,07148	0,003844	0,00184	0,00154
30	0,47714	0,33595	0,06124	0,000016	0	0