

Вінницький національний технічний університет  
Факультет інформаційних електронних систем  
Кафедра інфокомунікаційних систем і технологій

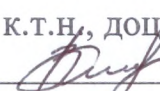
## МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

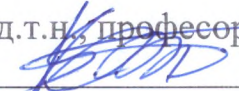
на тему:


«Компенсаційне придушення сигналів відлуння в телекомунікаційних каналах зв'язку на основі адаптивного кореляційного алгоритму»

Виконав: студент 2-го курсу,  
групи ТКС-21м  
спеціальності 172 – Телекомунікації та  
радіотехніка

 Сеньчуков В.І.

Керівник: к.т.н., доцент каф. ІКСТ  
 Воловик А.Ю.  
« 16 » 12 2022 р.

Опонент: д.т.н., професор каф. ІРТС  
 Осадчук В.С.  
« 16 » 12 2022 р.

Допущено до захисту  
Завідувач кафедри ІКСТ  
 д.т.н., проф. Кичак В.М.  
« 16 » 12 2022 р.

Вінниця ВНТУ – 2022 рік

Вінницький національний технічний університет  
 Факультет інформаційних електронних систем  
 Кафедра інфокомунікаційних систем і технологій  
 Рівень вищої освіти II-й (магістерський)

Галузь знань - 17– Електроніка та телекомунікації  
 (шифр і назва)

Спеціальність - 172 – Телекомунікації та радіотехніка  
 (шифр і назва)

Освітньо-професійна програма - Телекомунікаційні системи та мережі

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

**Завідувач кафедри ІКСТ**

**д.т.н., професор В.М. Кичак**

**“14” 09 2022 року**

## ЗАВДАННЯ НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Сеньчукову Володимирі Івановичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Компенсаційне придушення сигналів відлуння в телекомунікаційних каналах зв'язку на основі адаптивного кореляційного алгоритму

керівник роботи Воловик Андрій Юрійович, канд. техн. наук, доцент

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

затверджені наказом вищого навчального закладу від “14” 09 2022 року № 203

2. Строк подання студентом роботи 12 грудня 2022 року

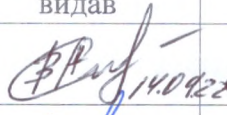
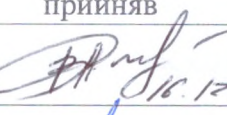
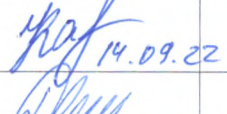
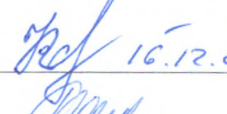
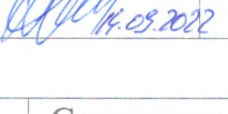
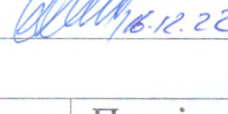
3. Вихідні дані до роботи: адаптивний кореляційний алгоритм компенсації ехосигналів, нерекурсивне оптимальне оцінювання, рекурсивний алгоритм компенсації ехосигналів найменших квадратів, алгоритм компенсації методом найменших середніх квадратів, кореляційна адаптація, цифрові фільтри як елементи механізмів компенсації ехосигналів, фактори, що негативно впливають на функціональні характеристики кореляційного алгоритму, завадостійкість кореляційних алгоритмів; - рівень відношення ехосигнал/шум – 12 дБ., частота тестового синусоїдального сигналу – 300 Гц, 1020 Гц; рівень тестового синусоїдального сигналу – 0 дБ; тривалість тестового сигналу – 198с; частота дискретизації – 8кГц; рівень білого шуму – -30 дБ.

4. Зміст текстової частини: актуальність задачі компенсації ехосигналів у телекомунікаційних системах зв'язку; алгоритми адаптивної фільтрації у техніці компенсації ехосигналів; дослідження та аналіз функціональних характеристик кореляційного алгоритму; аналіз основних факторів негативно впливаючих на функціональні характеристики кореляційного алгоритму; дослідження завадостійкості, вплив пауз в активному сигналі на динаміку адаптації; вплив форми імпульсної характеристики ехотракту на динаміку адаптації; імітаційне моделювання; економічне обґрунтування; охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях.

5. Перелік ілюстративного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень):

причини виникнення ехосигналів у телефонних трактах передачі; спрощена структурна схема ехогзагороджувача; спрощена структурна схема ехокомпенсатора; система ехотракт-виконавчий елемент; цифровий фільтр з кінцевою імпульсною характеристикою; Рисунок; цифровий фільтр з нескінченною імпульсною характеристикою; схеми проведення експерименту й результати дослідження функціональних характеристик кореляційного алгоритму.

#### 6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Спеціальна частина	Воловик А. Ю., доцент кафедри ІКСТ	 14.09.22	 16.12.22
Аналіз економічної ефективності розробки	Кавецький В.В. доцент каф. ЕТВМ	 14.09.22	 16.12.22
Охорона праці та безпека життєдіяльності	Дембійська С.В. професор каф. БЖОПБ	 14.09.2022	 16.12.22

#### 7. Дата видачі завдання 01 вересня 2022 року

№ з/п	Назва етапів магістерської кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	Розробка технічного завдання	12.09.2022р.	
2.	Задачі компенсації ехосигналів у телекомунікаційних системах зв'язку	07.10.2022р.	
3.	Алгоритми адаптивної фільтрації у техніці компенсації ехосигналів	28.10.2022р.	
4.	Дослідження та аналіз функціональних характеристик кореляційного алгоритму	18.11.2022р.	
5.	Техніко-економічне обґрунтування розробки та аналіз економічної ефективності розробки	25.11.2022р.	
6.	Охорона праці та безпека в надзвичай-них ситуаціях	02.12.2022р.	
7.	Оформлення пояснювальної записки та графічної частини	09.12.2022р.	
8.	Нормоконтроль МКР	12.12.2022р.	
9.	Попередній захист МКР, опонування МКР	14.12.2022р.	
10.	Захист МКР ЕК	19.12.2022р.	

Студент

Керівник роботи

  
(підпис)

  
(підпис)

Сеньчуков В.І.

Воловик А.Ю.

## АНОТАЦІЯ

Компенсаційне придушення сигналів відлуння в телекомунікаційних каналах зв'язку на основі адаптивного кореляційного алгоритму. Магістерська кваліфікаційна робота / В. І. Сеньчуков – ВНТУ, 2022 р. – 149 с., 41 рис., - українською мовою.

Метою роботи є дослідження новітніх алгоритмів реалізації кореляційного принципу придушення ехосигналів, які мають швидку і стабільну збіжність та високу стійкість до завад. Проведено дослідження математичних основ алгоритмів, що реалізують кореляційний принцип адаптації. Теоретично обґрунтована необхідність формування віртуального залишкового ехосигналу. Запропонована методика практичних досліджень кореляційного алгоритму. Виконаний порівняльний аналіз алгоритмів адаптації пристроїв компенсації ехосигналів.

Виконано техніко-економічне обґрунтування розробки, розроблений розділ охорони праці та безпеки життєдіяльності.

## ANNOTATION

Compensatory suppression of echo signals in telecommunication communication channels based on an adaptive correlation algorithm. Master's thesis / V. I. Senchukov - VNTU, 2022 - 149 pp., 41 figures, - in Ukrainian.

The purpose of the work is to research the latest algorithms for implementing the correlation principle of echo suppression, which have fast and stable convergence and high resistance to interference. A study of the mathematical foundations of algorithms implementing the correlation principle of adaptation was conducted. The necessity of forming a virtual residual echo signal is theoretically justified. Proposed method of practical research of the correlation algorithm. A comparative analysis of adaptation algorithms for echo compensation devices was performed.

The technical and economic substantiation of the development was carried out, the section on labor protection and life safety was developed.

ВСТУП.....	9
1 АКТУАЛЬНІСТЬ ЗАДАЧІ КОМПЕНСАЦІЇ ЕХОСИГНАЛІВ У ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ СИСТЕМАХ ЗВ'ЯЗКУ.....	13
1.1 Застосування техніки компенсації ехосигналів у телекомунікаційних системах.....	13
1.2 Ефект електричного еха в телефонних каналах зв'язку .....	16
1.3 Методи боротьби з впливом ефекту електричного еха в телефонних каналах зв'язку.....	18
1.4 Компенсація відбитих сигналів у кабельних системах передачі .....	22
1.5 Застосування техніки компенсації ехосигналів для ущільнення радіоканалів .....	23
1.6 Компенсації ехосигналів у радіоретрансляторах.....	24
1.7 Ефективність ехокомпенсаторів акустичних ехосигналів.....	25
1.8 Висновки до розділу .....	26
2 АЛГОРИТМИ АДАПТИВНОЇ ФІЛЬТРАЦІЇ У ТЕХНІЦІ КОМПЕНСАЦІЇ ЕХОСИГНАЛІВ.....	27
2.1 Задача оцінювання невідомої лінійної системи .....	27
2.2 Нерекурсивне оптимальне оцінювання. Фільтр Вінера... ..	28
2.3 Алгоритми класу рекурсія найменших квадратів.....	33
2.4 Алгоритми класу методи найменших середніх квадратів. ....	36
2.5 Кореляційний принцип адаптації .....	40
2.6 Компатний кореляційний алгоритм... ..	44
2.7 Цифрові фільтри як елементи механізмів компенсації ехосигналів.....	46
2.8 Висновки до розділу .....	50
3 ДОСЛІДЖЕННЯ ТА АНАЛІЗ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ ХАРАКТЕРИСТИК КОРЕЛЯЦІЙНОГО АЛГОРИТМУ .....	51
3.1 Аналіз основних факторів, що негативно впливають на функціональні характеристики кореляційного алгоритму .....	51
3.2 Дослідження завадостійкості.....	52
3.3 Дослідження впливу нелінійних спотворень ехосигналу.....	56

3.4	Дослідження впливу параметричних змін ехотракту.....	59
3.5	Дослідження впливу статистичних характеристик активного сигналу на збіжність кореляційного алгоритму .....	63
3.6	Вплив пауз в активному сигналі на динаміку адаптації.....	67
3.7	Вплив пам'яті про залишковий ехосигнал на динаміку та стабільність збіжності.....	69
3.8	Дослідження впливу форми імпульсної характеристики ехотракту на динаміку адаптації.....	71
3.9	Висновки до розділу .....	74
4	<b>ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ТА АНАЛІЗ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ.....</b>	<b>76</b>
4.1	Оцінювання наукового ефекту .....	76
4.2	Розрахунок витрат на здійснення науково-дослідної роботи.....	79
4.2.1	Витрати на оплату праці.....	80
4.2.2	Відрахування на соціальні заходи.....	82
4.2.3	Сировина та матеріали.....	83
4.2.4	Розрахунок витрат на комплектуючі.....	84
4.2.5	Специфікування для наукових (експериментальних) робіт .....	85
4.2.6	Програмне забезпечення для наукових (експериментальних) робіт .....	86
4.2.7	Амортизація обладнання, програмних засобів та приміщень .....	87
4.2.8	Паливо та енергія для науково-виробничих цілей .....	88
4.2.9	Службові відрядження.....	89
4.2.10	Витрати на роботи, які виконують сторонні підприємства, установи і організації.....	89
4.2.11	Інші витрати.....	90
4.2.12	Накладні (загальновиробничі) витрати.....	90
4.3	Оцінювання важливості та наукової значимості науково-дослідної роботи.....	91
4.4	Висновки до розділу .....	93
5	<b>ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ.....</b>	<b>94</b>
5.1	Технічні рішення з безпечного виконання робіт .....	95

5.1.1	Вимоги безпеки під час роботи з екранними пристроями (ПК).....	95
5.1.2	Електробезпека.....	96
5.2	Технічні рішення з гігієни праці та виробничої санітарії.....	97
5.2.1	Мікроклімат.....	97
5.2.2	Склад повітря робочої зони.....	98
5.2.3	Виробниче освітлення.....	99
5.2.4	Виробничий шум.....	100
5.2.5	Електромагнітні випромінювання.....	101
5.2.6	Психофізіологічні фактори.....	103
5.3	Режими радіаційного захисту.....	108
5.4	Висновки до розділу.....	109
	ВИСНОВКИ.....	110
	СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	111
	ДОДАТКИ.....	113
	Додаток А Технічне завдання... ..	114
	Додаток Б (обов'язковий) Протокол перевірки кваліфікаційної роботи на наявність текстових запозичень.....	122
	Додаток В Причини виникнення ехосигналів у телефонних трактах передачі....	124
	Додаток Г Спрощена структурна схема ехозагороджувача.....	126
	Додаток Д Спрощена структурна схема ехокомпенсатора.....	128
	Додаток Е Система ехотракт-виконавчий елемент.....	130
	Додаток Ж Фільтр із кінцевою імпульсною характеристикою.....	132
	Додаток З Фільтр із нескінченною імпульсною характеристикою.....	134
	Додаток К Дослідження завадостійкості.....	136
	Додаток Л Дослідження впливу нелінійних спотворень ехосигналу.....	138
	Додаток М Дослідження впливу параметричних змін ехотракту.....	140
	Додаток Н Дослідження впливу статистичних характеристик активного сигналу на збіжність кореляційного алгоритму.....	142
	Додаток П Вплив пауз в активному сигналі на динаміку адаптації.....	144

Додаток Р Вплив пам'яті про залишковий ехосигнал на динаміку та стабільність збіжності.....	146
Додаток С Дослідження впливу форми імпульсної характеристики ехотракту на динаміку адаптації.....	148



## ВСТУП

*Актуальність роботи.* Сучасна техніка компенсації ехосигналів, крім свого традиційного застосування – придушення електричного ехосигналу в телефонних каналах зв'язку, також успішно застосовується для придушення: акустичних ехосигналів у телефонії та системах конференц-зв'язку; відбитих сигналів у кабельних системах передачі; ехосигналів у повторювачах радіосигналів. Однак, незважаючи на успішний досвід застосування в різних телекомунікаційних технологіях, сучасні пристрої компенсації ехосигналів мають ряд недоліків і не завжди можуть забезпечити необхідні якісні показники, а їх ефективність залежить від характеристик ехотрактів та статистичних характеристик активних сигналів. Ці обставини продовжують процес розвитку алгоритмів та методів адаптивної ехокомпенсації.

На даний момент одним з найбільш актуальних завдань адаптивної теорії фільтрації є завдання ефективної адаптації ехокомпенсаційних механізмів в умовах безперервно діючих адитивних шумів та зустрічних сигналів. Це завдання актуальне для цілого ряду практичних додатків.

Аналіз існуючих рішень, які застосовуються у цих додатках ехокомпенсації показує, що вони мають істотні недоліки. Так, наприклад, кореляційний алгоритм, що застосовується в технології "кореляційного ущільнення" має достатню для даного застосування завадостійкість, але при цьому показує досить повільну збіжність, що позначається на функціональних характеристиках обладнання.

Дана ситуація дозволяє говорити, що існує потреба в розробленні завадостійких алгоритмів, що володіють при цьому швидкою, стабільною збіжністю. Аналізуючи можливі шляхи вирішення цієї потреби, можна відзначити, що кореляційний принцип, реалізований, зокрема, кореляційним алгоритмом, забезпечує ключову в даному завданні властивість - високу стійкість до перешкод (завадостійкість). Тому доцільним підходом до завдання розробки таких алгоритмів є розвиток ідеї кореляційного принципу.

Таким чином дана робота полягає в дослідженні завадостійких, стабільних та швидких алгоритмів, що реалізують кореляційний принцип адаптації пристроїв компенсації ехосигналів.

*Аналіз останніх досліджень.* Завдання адаптивного налаштування механізмів компенсації ехосигналів є одним із основних прикладних завдань теорії адаптивної фільтрації, яка із середини 20-го століття переживає етап інтенсивного розвитку та імплементації у багатьох сферах науки та техніки.

Значний внесок у розвиток адаптивної фільтрації загалом, та техніки компенсації ехосигналів зокрема, внесли закордонні науковці: В.В. Шахгільдян, Є.П. Кузнєцов, Р.Л. Стратанович, М.М.Sondhi [13], М. Rupp [10], А. Sayed [12], D.G. Messerschmitt, R.E. Kalman, В. Widrow, J. Benesty [7], В. Hassibi [8], R. Plackett, S. Naikin та ін. Ключовий внесок у розвиток математичних основ адаптивної фільтрації (теорії оптимального оцінювання) внесли видатні математики 20-го століття: Н. Вінер, Е. Хопф, А.А. Колмогоров.

Досліджуваний у рамках цієї роботи кореляційний принцип адаптивного налаштування ехокомпенсаційних механізмів вперше було запропоновано С.С. Шавріним та Ш. Вайксельбаумом у 1991 році. На сьогодні у відкритих джерелах можна знайти не більше двох десятків окремих публікацій, присвячених цьому алгоритму, а спеціалізована література, присвячена адаптивної фільтрації, зовсім не містить інформації про нього. Оскільки доступні у відкритому друку публікації не містять інформації про теоретичні основи та ряд важливих функціональних характеристик кореляційного алгоритму, можна зробити висновок про його низьку дослідженість.

*Мета і завдання роботи.* Метою цієї роботи є дослідження новітніх алгоритмів реалізації кореляційного принципу придушення ехосигналів, що мають високі функціональні характеристики, а саме швидку і стабільну збіжність і високу стійкість до завад, враховуючи здатність адаптивного налаштування на фоні зустрічного сигналу.

*Задачами* магістерської кваліфікаційної роботи є:

1. Аналіз теоретичних основ кореляційного принципу адаптивної налаштування ехокомпенсаційних механізмів. Математичний аналіз загальних положень теорії оптимального вінеровського оцінювання (Рівняння Вінера) та процесів, що описують процес адаптації алгоритмів побудованих за кореляційним принципом;

2. Дослідження функціональних характеристик алгоритмів адаптації, що реалізують кореляційний принцип адаптації;

3. Аналіз механізмів впливу основної групи факторів, що здійснюють негативний вплив на функціональні характеристики алгоритмів, які реалізують кореляційний принцип;

4. Аналіз методів, що дозволяють покращити функціональні характеристики алгоритмів, побудованих на кореляційному принципі адаптації;

5. Дослідження ефективності алгоритмів адаптації, що реалізують кореляційний принцип та оцінка можливих областей їх застосування.

*Об'єктом дослідження є:* процеси перетворення електричних сигналів у телекомунікаційних каналах зв'язку, призначених для передачі інформаційних повідомлень за умови присутності відбитих ехосигналів та дії супутніх випадкових збурень.

*Предметом дослідження є:* спеціальні, цифрові методи обробки електричних сигналів у телекомунікаційних мережах, що сприяють розробці завадостійких, швидкодіючих, зі стабільною збіжністю алгоритмів ехокомпенсації сигналів.

*Методи дослідження.* Дослідження, проведені у цій роботі, засновані на методах математичної статистики, лінійної алгебри, теорії випадкових процесів, теорії оптимального оцінювання, теорії дискретної фільтрації для синтезу рекурсивних цифрових фільтрів, цифрової адаптивної фільтрації, а також методи математичного та комп'ютерного моделювання.

#### *Наукова новизна*

1. Проведено дослідження математичних основ алгоритмів, що реалізують кореляційний принцип адаптації. В рамках цих досліджень здійснено аналіз системи математичних виразів, що описують процес адаптації кореляційного

алгоритму на основі загальних положень теорії оптимального вінеровського оцінювання, а також визначено основні фактори, що завдають негативний вплив на його швидкість збіжності та завадостійкість.

2. Теоретично обґрунтована необхідність формування віртуального залишкового ехосигналу. Це дозволяє виділити алгоритм, що його використовує для адаптації, як окремий алгоритм під назвою "мінімальна кореляція віртуальних сигналів" (МКВС).

3. Вперше запропонована методика практичних досліджень кореляційного алгоритму. Дослідження, проведені на її основі, виявили емпіричні залежності його функціональних характеристик від параметрів алгоритму, статистичних характеристик активного сигналу, статистичних властивостей адитивних перешкод, форми імпульсної характеристики ехотракту, нелінійних викривлень ехосигналу.

4. Вперше виконаний порівняльний аналіз оригінального алгоритму адаптації пристроїв компенсації ехосигналів МКВ. Алгоритм має високу швидкість збіжності та завадостійкість. За швидкістю збіжності запропонований алгоритм перевершує нормалізований метод найменших середніх квадратів (НМНСК) та кореляційний алгоритм, тоді як його стійкість до перешкод залишається на рівні кореляційного алгоритму.

Матеріали досліджень доповідались на науковому семінарі кафедри інфокомунікаційних систем і технологій Вінницького національного технічного університету у 2022 році.

# 1 АКТУАЛЬНІСТЬ ЗАДАЧІ КОМПЕНСАЦІЇ ЕХОСИГНАЛІВ У ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ СИСТЕМАХ ЗВ'ЯЗКУ

## 1.1 Застосування техніки компенсації ехосигналів у телекомунікаційних системах

Початковий етап розвитку техніки компенсації ехосигналів нерозривно пов'язані з розвитком телекомунікаційних систем. Це зумовлено тим, що першою проблемою, спричиненою негативним впливом ехосигналів у телекомунікаціях, є вплив ефекту електричного еха на абонентів телефонних мереж. Починаючи огляд проблеми ефекту електричного еха в телефонних каналах зв'язку, варто відзначити, що досить тривалий час цей ефект не був суттєвою проблемою для телефонії. Проблема ефекту еха гостро постала перед дослідниками лише до 50-тих років 20 століття. Це зумовлювалося тим, що у ранніх етапах тракту телефонної передачі були пасивними, тобто без проміжних підсилювальних елементів. Це, у свою чергу, гарантувало наступне: відносно невелику затримку в трактах передачі через обмеження дальності загасання; відсутність значного рівня електричних ехосигналів через відсутність переходів між дво- та чотирипровідними ділянками тракту; згасання ехосигналів, що виникають, переважно сформованих в акустичному ехотракті.

Перші спроби вирішити проблему впливу ехосигналів призвели до створення методу загородження ехосигналів, який починає свій розвиток у 50-ті роки 20 століття. Цей простий принцип загородження спочатку цілком ефективно справлявся із завданням усунення ефекту еха при відносно невеликих затримках ехосигналу, характерних для „наземної” телефонії [1]. Однак успіхи в космічній галузі в 50-60 роках 20-го століття породжують нове завдання у світі телекомунікацій – телефонна передача супутниковими каналами зв'язку з типовими затримками ехосигналу близько 500-700 мс (для геостаціонарної орбіти). Такі затримки значно змінюють динаміку телефонної розмови, що призводить до проблематичності впровадження принципу ехозагородження у

подібних каналах. Саме ця проблема призвела до розробки компенсаційних методів придушення ехосигналів [1]. Перша аналогова реалізація ехокомпенсатора була виконана в 1966 колективом інженерів компанії Bell Labs. Серед них слід виділити американського дослідника Мена Сондхі, чия роль у цій роботі була ключовою. Важливо також відзначити, що в першому ехокомпенсаторі було застосовано метод найменших середніх квадратів (МНСК, LMS) з деякими модифікаціями, які були продиктовані аналоговою реалізацією пристрою. З моменту першої практичної реалізації ехокомпенсатора до теперішнього часу техніка компенсації ехосигналів пережила досить інтенсивний період розвитку, знаходячи нові області застосування. Важливою подією в цьому є випуск першого комерційного ехокомпенсатора компанією COMSAT TeleSystems на початку 80-х років. Ця подія відкрила епоху комерційного виробництва ехокомпенсаторів.

Стрімкий розвиток телекомунікаційних технологій породив низку масштабних завдань для техніки придушення ехосигналів. Так, розвиток мереж мобільного стільникового зв'язку та їх подальша конвергенція з мережами ТМЗК призвели до проблеми впливу ефекту електричного еха, що заважає, при організації з'єднань між мобільними і стаціонарними абонентами. алгоритми кодування мови, що використовуються в стандарті GSM, вносять значну затримку (кінцева затримка для ехосигналу в мережах GSM може досягати значень більше 200 мс), що робить можливі електричні ехосигнали в мережі ТМЗК помітними для абонентів мобільної мережі. Тому в з'єднаннях такого типу застосування засобів придушення ехосигналів є необхідним. З кінця 90-х років 20 століття перед технікою придушення ехосигналів стоїть завдання придушення ефекту електричного еха при передачі мовного сигналу мережами пакетної комутації (технології VoEth, VoIP і т.д.). У разі VoIP-телефонії кінцева затримка ехосигналу становить від 50 до 300 мс при внутрішньомережевому з'єднанні і може досягати 800 мс при з'єднанні між мережами. Так само як і в мобільних мережах, у технології VoIP відсутні головні джерела електричного еха – диференціальні системи або їх електронні аналоги, а сам канал є логічно чотирьохпровідним.

Однак проблема електричного еха виникає при підключенні до мережі

двохпровідних телефонних апаратів, призначених для роботи в мережах ТМЗК через VoIP-шлюзи, а також при встановленні з'єднання з абонентами мережі ТМЗК. Крім цього, у VoIP-телефонії важливу роль відіграє проблема акустичного еха, оскільки абоненти часто використовують для спілкування звукові колонки та мікрофони. Станом на сьогодні проблема еха у VoIP-телефонії цілком успішно вирішується за допомогою вбудованих в обладнання ехокомпенсаторів. Реалізація функції ехокомпенсації у VoIP-обладнанні, як правило, покладена на спеціалізований DSP-процесор (VoIP-процесор), який також здійснює кодування мовного сигналу та інші функції цифрової обробки мовного сигналу.

Техніка компенсації ехосигналів також почала знаходити застосування для компенсації ехосигналів при передачі немовних сигналів. Одним з перших таким масштабним застосуванням вважатимуться симетричні варіанти технології DSL (HDSL, SDSL, G.SHDSL тощо.). Ці варіанти сімейства DSL реалізують повнодуплексний режим двохпровідної лінії з поділом сигналів зустрічних напрямків за допомогою диференціальної системи та ехокомпенсатора. У цій конструкції ехокомпенсатор видаляє відображені ехосигнали, налаштовуючись на конкретну лінію, і відіграє ключову роль для забезпечення прийняттого поділу сигналів, що приймається і передається.

Наступним важливим застосуванням компенсаційного принципу придушення ехосигналів є придушення відображених в лінії сигналів у версії стандарту Gigabit Ethernet (1000Base-T). Стандарт був офіційно прийнятий у 1999 році. Цікаво, що в Ethernet ехокомпенсація використовується не тільки для боротьби з безпосередньо відбитим сигналом від неоднорідностей у кручений парі, але також для боротьби з перехідними перешкодами між крученими парами всередині кабелю. З цього моменту ехокомпенсатори стали обов'язковим елементом для трансіверів усіх наступних версіях технології Ethernet.

Вони також застосовуються в стандарті 10GBASE-T (IEEE 802.3an-2006), що забезпечує передачу потоку з лінійною швидкістю 10 Гбіт/с по кабелю категорії 6A, а також в новітніх стандартах 2.5GBASE-T і 5GBASE-T, що забезпечують передачу 2.5 Гбіт/с та 5 Гбіт/с відповідно при використанні кабелю

категорії 5e.

Необхідно зазначити, що на даний момент можна говорити про збереження тенденції розширення сфери застосування техніки компенсації ехосигналів.

## 1.2 Ефект електричного еха в телефонних каналах зв'язку

На сьогодні проблема ефекту електричного еха в трактах телефонної передачі характеризується значним ступенем вивченості самого ефекту та розробленості методів боротьби з ним. Однак постійний розвиток телекомунікаційних мереж та впровадження нових технологій найчастіше вносить несподівані особливості у процес формування ехосигналів. Це підтримує актуальність проблеми ефекту еха для сучасних телефонних мереж (класичних ТМЗК, мобільних мереж, IP-телефонії).

Причинами виникнення ефекту електричного еха в сучасних телефонних мережах є кілька значних джерел ехосигналів. Залежно від середовища їх формування ці ехосигнали прийнято розділяти на електричну і акустичну складові, а кола, що їх формують, прийнято називати електричним і акустичним ехотрактом відповідно. Основними джерелами електричної складової ехосигналу є диференціальні системи (ДС) та їх електронні аналоги, що використовуються на стику двох-і чотирьохпрохідних частин каналу, та відображення сигналів від неоднорідностей хвильового опору двохпровідної ділянки тракту [1, 2].

Акустична складова ехосигналу виникає через наявність акустичного зв'язку мікрофона та телефону абонентського апарату. Цей зв'язок зумовлений поширенням акустичної хвилі по трубці телефону і відображенням акустичних хвиль в навколишньому просторі [2]. Основні причини формування ехосигналів у телефонних каналах зв'язку схематично представлені на рисунку 1.1.



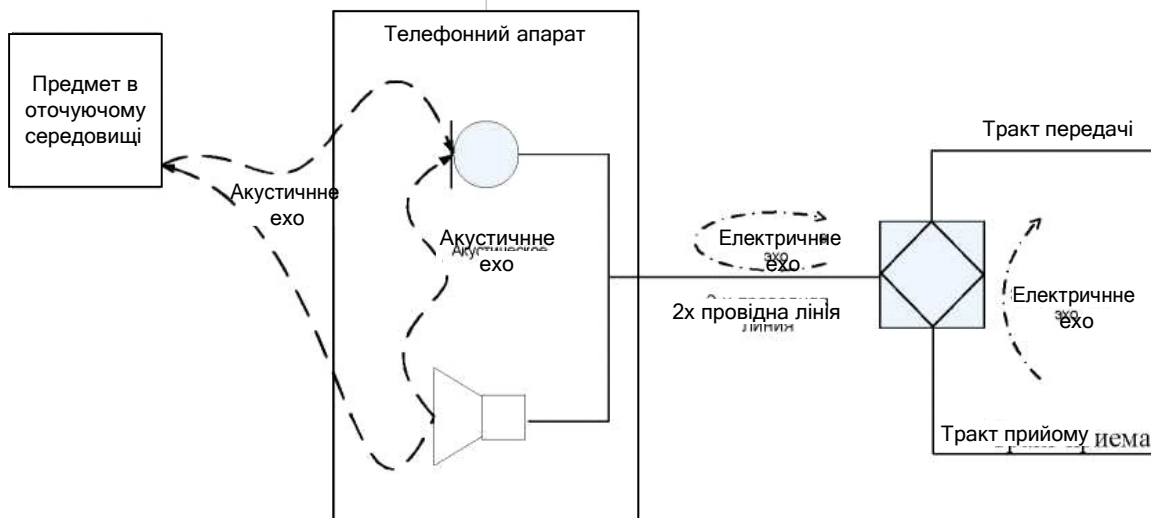


Рисунок 1.1 – Причини виникнення ехосигналів у телефонних трактах передачі

Канал двосторонньої телефонної передачі має як мінімум два показані на рисунку 1.1 тракти формування ехосигналів (ехотракту). Тому, з погляду ефекту електричного еха, він є замкнутою системою. Це призводить до того, що в телефонних присутні як ехо промовця, так і ехо слухача. Природно, що в переважній більшості випадків ефект електричного еха здійснює помітний негативний вплив тільки на абонента, що говорить. Як правило, говорячи про негативний вплив еха, мається на увазі саме негативний вплив на абонента, що говорить. Однак при слабкому згасанні ехосигналів може бути помітний ефект відлуння слухача абонента. Цей ефект полягає в тому, що абонент, що слухає, чує кожну вимовлену фразу абонентом що розмовляє кілька разів. Це здійснює не менший вплив на комфортність розмови, ніж ехо абонента що говорить.

Як відомо, в основному ступінь впливу ефекту ехо, що заважає, на абонентів визначається двома факторами: рівнем ехосигналу і його затримкою. Відповідно до рекомендації МСЕ-Т G.131 залежність припустимого значення показника помітності (гучності) ехосигналу для абонентів TELR (показник розраховується на основі загасання в ехотракті та налаштування рівнів у каналі) від затримки сигналу в одному напрямку можна визначити за наступним відомим графіком:

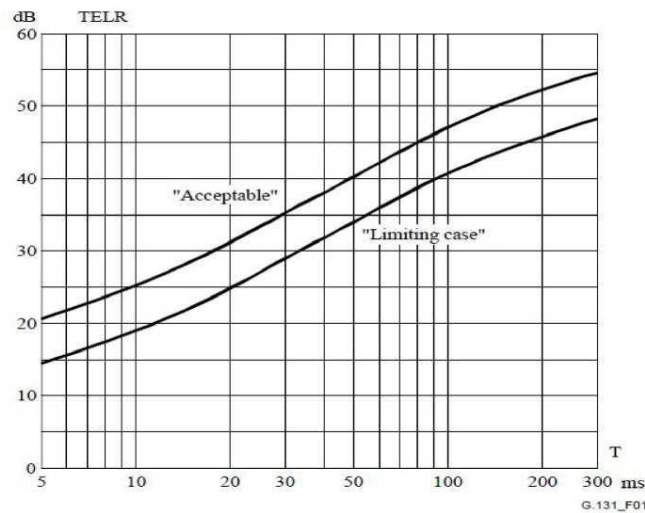


Рисунок 1.2 – Залежність допустимого значення показника TELR від затримки сигналу в одному напрямку

Згідно з наявними джерелами [3] існує ряд другорядних факторів, що істотно впливають на психофізичне сприйняття ехосигналів. До них, перш за все, відносяться: адитивні шуми, загальна гучність у телефоні абонента, що говорить, частотна залежність загасання в ехотракті, нелінійні спотворення в ехотракті і т.д.

Звертаючись до механізму впливу ефекту ехо на комфортність розмови, можна назвати інтуїтивно зрозуміле його джерело. Існує ціла сукупність особливостей сприйняття ефекту ехо людиною, причини виникнення яких не до кінця пояснюються аргументами, що лежать на поверхні. До таких особливостей віднесено: збереження сильного впливу ехосигналу при його перетворенні на невиразну перешкоду; гістерезис у сприйнятті ефекту ехо людиною. У цій роботі розглянута модель сприйняття людиною ехосигналів.

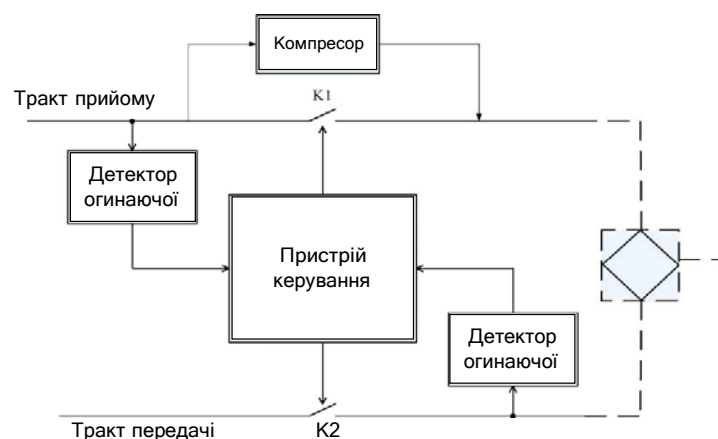
### 1.3 Методи боротьби з впливом ефекту електричного еха в телефонних каналах зв'язку

Існує кілька методів боротьби з ефектом електричного ехо в трактах телефонної передачі, спрямованих як на усунення причин виникнення ехосигналів, так і на його придушення.

Основним методом, що реалізує боротьбу з причинами виникнення ехо, є узгоджуючий метод. Суть цього методу зводиться до підвищення ступеня узгодженості диференціальних систем та автоматизації процесу підстроювання характеристик ДС на конкретній лінії. Пристрої, що реалізують цей метод, отримали назву самобалансуючі ДС (СБДС) і ДС (АДС), що адаптуються.

До методів придушення ехосигналів належать ехозагородження та ехокомпенсація. Ідея загородження ехосигналів полягає у внесенні додаткового згасання в напрямок передачі, яке є зворотним до поточного напрямку передачі мови, тобто в напрямку від абонента, що слухає, до абонента що розмовляє. Згасання вноситься з урахуванням динамічного аналізу сигналів у кожному напрямі передачі [3].

Використання дуплексного телефонного каналу в напівдуплексному режимі можливе, оскільки осмислена розмова між абонентами передбачає почерговий обмін фразами. Для виняткових випадків, коли співрозмовники перебувають один одного, передбачено особливий режим роботи пристрою, який називається „режим перебою”. З іншого боку, метод не застосовується за необхідності збереження повнодуплексного режиму, наприклад, у разі модемного з'єднання. У цій ситуації ехозагороджувач в кращому разі перебуватиме в режимі перебою і не впливатиме на сигнали в каналі. Спрощена структурна схема ехозагороджувача представлена на рисунку 1.3:



Рисунк 1.3 – Спрощена структурна схема ехозагороджувача

Відповідно до рисунка пристрій керування (ПК) приймає рішення про стан виконавчих елементів (ключів K1 і K2) на підставі інформації про поточні рівні сигналів у трактах прийому та передачі, що отримується від детекторів огинаючої (ДО).

Ехозагороджувачі мають ряд переваг та недоліків. До переваг ехозагороджувачів передусім, необхідно віднести простоту реалізації і високий рівень придушення ехосигналів, незалежну від особливостей активних сигналів і ехотрактів. Звертаючись до недоліків ехозагородження, слід виділити неможливість організації повнодуплексного режиму. Важливими недоліками є такі ефекти як: пропадання перших складів фраз; хибні детектування відсутності або наявності сигналів, що є причинами накладання вимови та хибних перебоїв; зміни рівня або „забарвлення” шумів у тракті прийому у разі генерації шуму комфортності. При цьому зі зростанням затримки в каналі зв'язку психофізичне сприйняття, позначених небажаних ефектів значно зростає [1-3]. Як зазначалося раніше, саме незадовільна робота ехозагороджувачів в супутникових каналах зв'язку стала першою мотивацією розробки та імплементації компенсаційного принципу придушення ехосигналів. Найбільш поширеним у сучасних телекомунікаційних мережах методом придушення ехосигналів є компенсаційний метод. Його ідея полягає у формуванні копії ехосигналу та подальшого віднімання цієї копії з сигналу зворотного напрямку передачі. Структурна схема ехокомпенсатора (ЕК) представлена на рисунку 1.4:

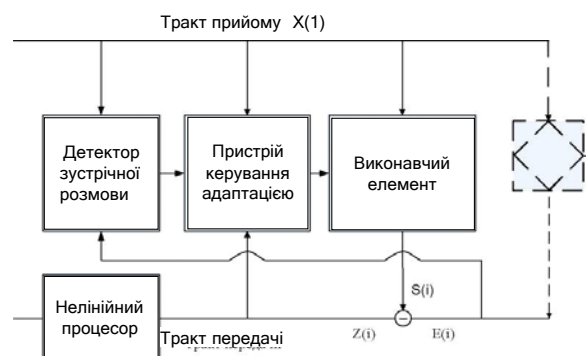


Рисунок 1.4 – Спрощена структурна схема ехокомпенсатора

Як видно з рисунка, копія ехосигналу формується виконавчим елементом (ВЕ). Пристрій керування адаптацією (ПКА) здійснює адаптивне налаштування ВЕ таким чином, щоб рівень залишкового ехосигналу був мінімальним. Нелінійний процесор (НП) здійснює відсікання залишкового ехосигналу. Детектор зустрічної розмови (ДЗР) дозволяє зупиняти адаптацію з метою запобігти розладу ЕК, якщо обидва абоненти говорять одночасно.

Основна перевага ехокомпенсаторів полягає у можливості використання каналу у повнодуплексному режимі. До того ж, відсутність ефектів, пов'язаних з перемиканням ключів, забезпечує ехокомпенсаторам істотно меншу помітність для абонентів у порівнянні з ЕС. У сприятливих умовах робота ЕК може бути непомітна для абонентів. Тим не менш, у багатьох реальних випадках абоненти можуть помічати поступове зниження рівня ехосигналу на початку розмови або, наприклад, короткочасне підвищення рівня ехосигналу через параметричні впливи в ехотракті або вплив пауз у мовному сигналі.

Переходячи до питання недоліків компенсаційного принципу придушення ехосигналів, важливо зауважити, що ехокомпенсатори є дуже складними пристроями і мають велику кількість залежностей функціональних характеристик від зовнішніх і внутрішніх умов, іноді неочевидних.

Динаміка адаптації щодо простих у реалізації та найбільш застосовуваних алгоритмів адаптації залежить від характеристик активного сигналу та форми імпульсної характеристики ехотракту. Це може призвести до варіації часу адаптації з'єднання до з'єднання. При цьому досить важливим аспектом є питання стабільності ехокомпенсаторів, так як ехокомпенсатор, що некоректно працює, може сам є джерелом сильного ехосигналу. Ще одним важливим недоліком є проблематичність компенсації ехосигналів зі значною затримкою, оскільки зі зростанням кількості вагових коефіцієнтів ІЕ серйозно зростає обсяг необхідних обчислень і погіршується динаміка адаптації ЕК. У деяких випадках, якщо апріорно відома область значної частини імпульсної характеристики ехотракту, цю проблему можна вирішити, локалізувавши цю область. Однак у ряді важливих

завдань, наприклад, при придушенні акустичних ехосигналів у приміщеннях з більшим часом реверберації такий підхід неможливий [3, 4].

#### 1.4 Компенсація відбитих сигналів у кабельних системах передачі

Гостро стоїть питання негативного впливу відбитих сигналів у провідних мідних напрямних середовищах (кручені пари, коаксіальні кабелі). Ця проблема особливо актуальна у разі організації повнодуплексного каналу по одному напрямному середовищі з поділом сигналів за допомогою електронного аналога диференціальної системи. В цьому випадку відбиті сигнали впливають не тільки на власний передавач, як у чотирьохпровідному варіанті, але і на приймач сигналу зустрічного напрямку, що, як відомо, значно гірше. Джерелом відбитих сигналів є неоднорідності хвильового опору лінії, що виникають з причини: наявності з'єднувальних муфт і розподільчих стійок, порушень повивання пари (для кручених пар) і, особливо, неузгодженості хвильового опору напрямного середовища і терміну опору на кінці лінії. Ці відображення значно впливають на дальність передачі. З кількісними оцінками ступеня їхнього впливу з прикладу технології Gigabit Ethernet можна ознайомитися в [5].

Стосовно питання методів боротьби з відбитими сигналами в кабельних лініях зв'язку, важливо зазначити, що в цілому проблему вдається вирішити за допомогою запозичених з телефонії методів техніки компенсації ехосигналів. Спрощена схема приймально-передавального пристрою систем передачі даних представлена на рисунку 1.5. Як видно, в цій конструкції ехокомпенсатор пригнічує відбиті ехосигнали з сигналу, налаштовуючись на конкретну лінію, і відіграє ключову роль для забезпечення прийняттого поділу сигналів, що приймається і передається. При цьому провідні напрямні середовища мають відносно стабільні часові характеристики, тому ехокомпенсатор не обов'язково постійно здійснювати адаптацію. Достатньо налаштуватись один раз при встановленні з'єднання, генеруючи в лінію найбільш сприятливий для адаптації

сигнал (білий шум) і відсутність зустрічних сигналів. Ця властивість широко використовується у сучасних технологіях передачі даних.

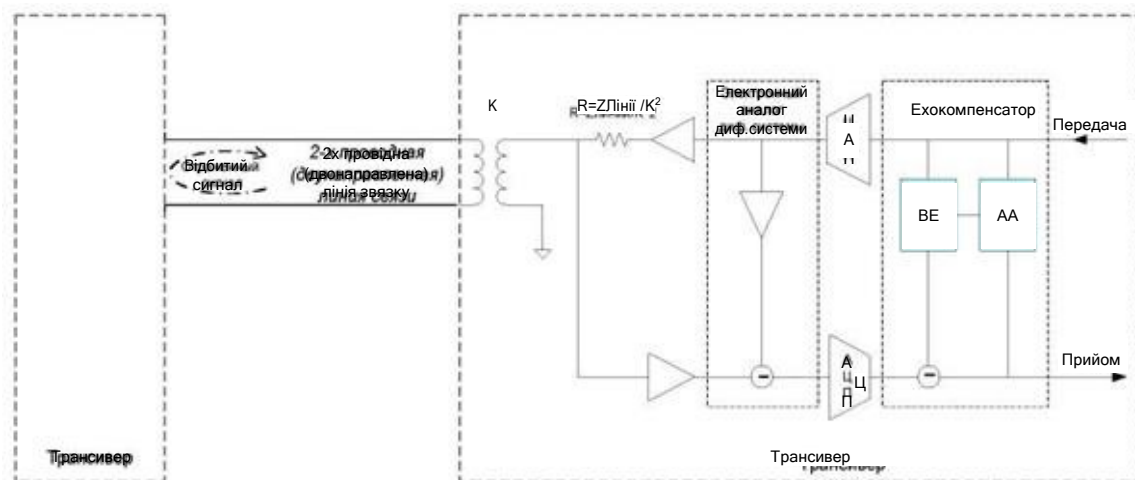


Рисунок 1.5 – Застосування ехокомпенсаторів у кабельних СПД

Як уже зазначалося раніше, серед кабельних технологій, у яких застосовується ехокомпенсація, найбільш значущими для сучасних телекомунікацій є симетричні варіанти технології DSL (HDSL, SDSL, G.SHDSL і т.д.) та технології стандарту Gigabit Ethernet (1000Base-T).

1.5 Застосування техніки компенсації ехосигналів для ущільнення радіоканалів

Як зазначалося раніше, тенденція розширення області застосування техніки компенсації ехосигналів продовжує зберігатися нині. Останніми роками техніка компенсації ехосигналів активно застосовується придушення ехосигналів, що у радіоканалах зв'язку. Найбільш важливим застосуванням техніки компенсації ехосигналів є її застосування у технології "Carrier-in-Carrier". У рамках цієї технології ехокомпенсація дозволяє організувати супутниковий канал зв'язку на двох частотах та забезпечує захист інформації фізично. Захист інформації на фізичному рівні забезпечується за рахунок того, що сигнали в кожному

частотному каналі є сумою двох корисних інформаційних сигналів, а для прийому інформації необхідно відняти сигнал, що передається. Специфічна техніка компенсації ехосигналів, що застосовується в "Carrier-in-Carrier", що дозволяє здійснити налаштування ехокомпенсатора в умовах наявності зустрічного сигналу, отримала назву „кореляційне ущільнення каналів зв'язку”. В даний час ця техніка продовжує свій розвиток.

### 1.6 Компенсації ехосигналів у радіоретрансляторах

Останніми роками техніка компенсації ехосигналів також досить активно застосовується у повторювачах (ретрансляторах) радіосигналів.

Структурна схема ретранслятора з ехокомпенсатором представлена на рисунку 1.6.

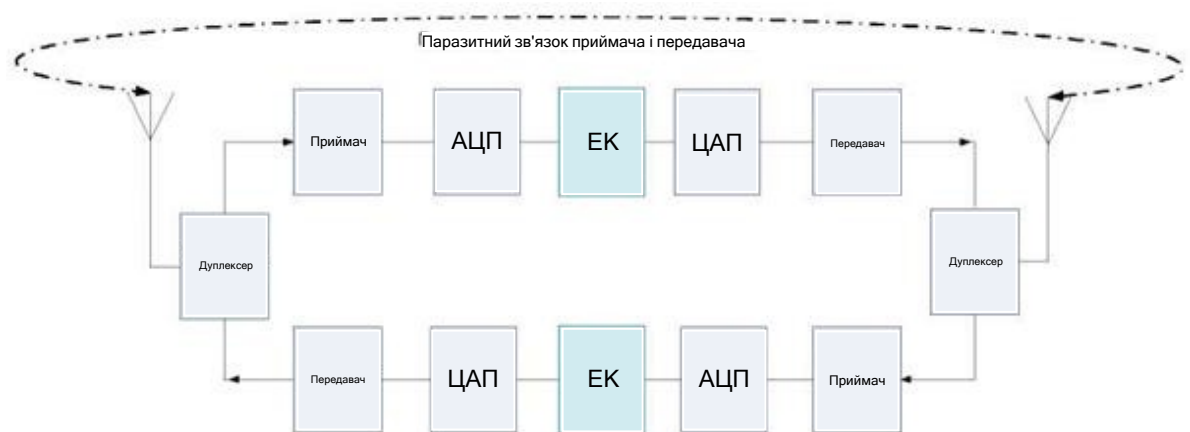


Рисунок 1.6 – Застосування ехокомпенсаторів у ретрансляторах радіосигналів

Застосування даних ретрансляторів можна спостерігати розглянувши [6] роботу ехокомпенсаторів, які входять в складу ретрансляторів мереж стільникового рухомого зв'язку. Крім цього, можна виділити застосування техніки компенсації ехосигналів в ретрансляторах сигналу телевізійного мовлення DBV-T/H [5,6].

### 1.7 Ефективність ехокомпенсаторів акустичних ехосигналів



Сучасні акустичні ехокомпенсатори (АЕС) застосовують як у бюджетних пристроях „хендс-фрі”, так і в дорогих системах конференц-зв'язку [6, 7]. Підвищення ефективності акустичних ехокомпенсаторів є сьогодні дуже актуальним завданням, і, відповідно, інтерес дослідників до цього завдання зберігається. Так, наприклад, досить багато досліджень присвячено розробці ефективних алгоритмів придушення акустичних ехосигналів, що пройшли нелінійним акустичним ехотрактом [7]. Зберігає свою актуальність також завдання підвищення стійкості перешкод акустичних ехокомпенсаторів. Сучасні системи конференц-зв'язку можуть працювати зі стерео сигналом або багатоканальним звуком. У цьому випадку компенсація ехосигналу повинна здійснюватись багатоканальним ехокомпенсатором. Розвиток багатоканальних акустичних ехокомпенсаторів також є актуальним завданням. Структурна схема двоканального ехокомпенсатора представлена на малюнку нижче:

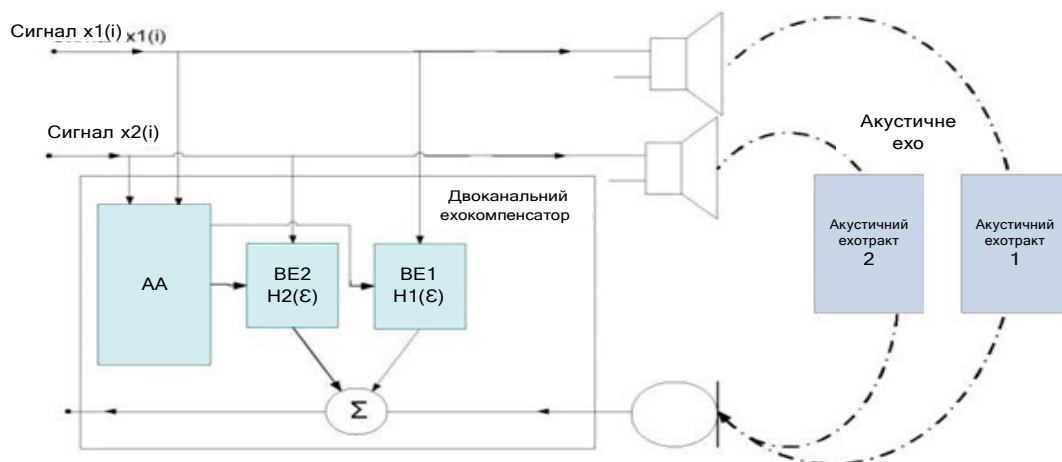


Рисунок 1.7 – Придушення ехосигналів в багатоканальних системах гучного зв'язку і конференц-зв'язку

В реальних умовах експлуатації, які застосовуються на сьогоднішній день АЕС, не завжди можуть забезпечити необхідний рівень придушення ехосигналів, оскільки акустичні ехотракти характеризуються досить великою кількістю недоліків. Зокрема акустичним ехотрактам властиві: велика затримка ехосигналів;

низька стабільність ехотракту; високий рівень адитивних шумів (сторонніх акустичних сигналів); значні нелінійні спотворення, притаманні недорогих динаміків.

## 1.8 Висновки до розділу

Основними завданнями ехокомпенсації в телекомунікаціях можна назвати: придушення електричної та акустичної складових ехосигналів у телефонії та системах конференц-зв'язку; придушення відбитих сигналів у кабельних системах передачі; придушення ехосигналів у ретрансляторах радіосигналів.

Серед актуальних завдань, які стоять перед технікою компенсації ехосигналів, можна назвати: кореляційне ущільнення каналів зв'язку; придушення ехосигналів у ретрансляторах радіосигналів; інтегральна оцінка якості ехо захищених каналів; компенсація акустичних ехосигналів у системах конференц-зв'язку.

Компенсаційний метод є основним методом придушення ехосигналів у телекомунікаціях. Метод ехо загородження продовжує застосовуватися в телефонії, але сфера його застосування поступово скорочується.

## 2 АЛГОРИТМИ АДАПТИВНОЇ ФІЛЬТРАЦІЇ У ТЕХНІЦІ КОМПЕНСАЦІЇ ЕХОСИГНАЛІВ

### 2.1 Задача оцінювання невідомої лінійної системи

Завдання оцінювання характеристик (або ідентифікації) невідомої лінійної системи є одним із основних завдань теорії адаптивної фільтрації. Це завдання докладно розглядається у досить великій кількості літератури, присвяченій адаптивній фільтрації [7].

Загальна постановка завдання оцінювання характеристик невідомої лінійної системи має на увазі наявність самої досліджуваної системи та деякої її оцінки, різницю характеристик цих систем необхідно мінімізувати. У контексті техніки компенсації ехосигналів ці системи прийнято називати ехотрактом і виконавчим елементом, відповідно. Ці прості положення ілюструє рисунок 2.1:

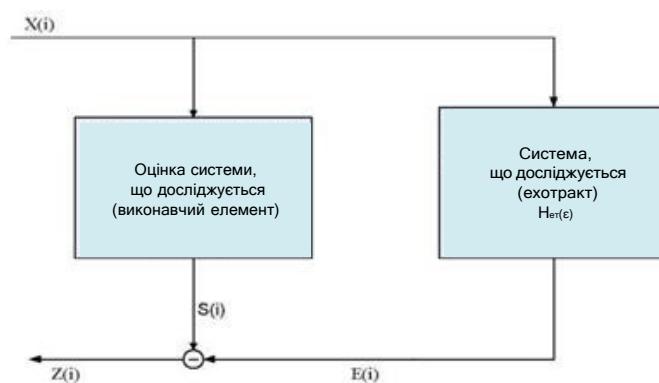


Рисунок 2.1 – Система ехотракт-виконавчий елемент

Цілком логічно, що як "міра близькості" оцінки характеристик ехотракту та виконавчого елемента повинна виступати деяка функція різницевого сигналу  $z_i$  (залишковий ехосигнал, помилка). Таку функцію прийнято називати цільовою функцією адаптації, а завданням адаптації є мінімізація. Цільова функція у загальному вигляді може бути записана як:

$$\xi = f(z_i). \quad (2.1)$$

Завдання вибору цільової функції стоїть на чолі всього процесу розробки алгоритму адаптації. Так як цільову функцію необхідно мінімізувати, то для отримання однозначного результату вона повинна мати один екстремум, причому він має бути мінімумом. Існує ряд функцій, які відповідають цим вимогам, наприклад: квадратична функція, модуль, функція порогу. З перерахованих функцій лише квадратична функція дає можливість отримати оптимальну нерекурсивну оцінку системи, що досліджується. Власне для отримання оптимального рішення необхідно мінімізувати середньоквадратичну помилку (MSE) або, іншими словами, математичне очікування квадрата залишкового ехосигналу. Таким чином, цільову функцію, яка призводить до оптимальної вінерівської оцінки, можна записати як:

$$\xi = E\{z_i^2\}. \quad (2.2)$$

Завершуючи розгляд цільових функцій, необхідно уточнити, що загальнодоступна література, наприклад [8], містить загальну інформацію про можливість застосування інших цільових функцій (модуль, порогова). При цьому обумовлюється явна неефективність і обмеженість застосування алгоритмів, побудованих на основі таких цільових функцій.

## 2.2 Нерекурсивне оптимальне оцінювання. Фільтр Вінера

Розглянемо докладніше цільову функцію  $E\{z_i^2\}$ . Для зручності запису позначимо імпульсну характеристику виконавчого елемента  $H_m = \{h_0, h_1 \dots h_N\}^T$  – матриця розміром  $N \times 1$  (вектор). Активний сигнал  $X_{N,i} = \{x_i, x_{i-1} \dots x_{i-N}\}^T$  – матриця розміром  $N \times 1$  (вектор). Тут варто виділити, що в контексті розгляду рівняння Вінера-Хопфа залежність імпульсної характеристики виконавчого елемента ( $H_N$ ) від часу не відображена, оскільки рішення буде нерекурсивним методом, тобто оптимальна імпульсна характеристика буде обчислена за одну ітерацію.

Сигнал на виході фільтра в довільний момент часу можна записати у вигляді інтеграла звірки в дискретній формі:

$$s_i = \sum_{s=0}^N h_s \cdot x_{i-s} = H_{N,i}^T \cdot X_{N,i} = X_{N,i}^T \cdot H_N. \quad (2.3)$$

Залишковий ехосигнал при цьому дорівнює:

$$z_i = e_i - s_i = e_i - H_N^T \cdot X_{N,i} \quad (2.4)$$

Квадрат залишкового ехосигналу дорівнює:

$$z_i^2 = (e_i - H_N^T \cdot X_{N,i})^2 = e_i^2 - e_i \cdot H_N^T \cdot X_{N,i} - H_N^T \cdot X_{N,i} \cdot e_i + H_N^T \cdot X_{N,i} \cdot H_N^T \cdot X_{N,i}$$

З урахуванням виразу (2.3) цей вираз можна записати так:

$$z_i^2 = e_i^2 - e_i \cdot X_{N,i}^T \cdot H_N - H_N^T \cdot X_{N,i} \cdot e_i + H_N^T \cdot X_{N,i} \cdot X_{N,i}^T \cdot H_N.$$

Підставимо отриманий вираз у вираз для цільової функції (2.2):

$$\xi = E\{z_i^2\} = E\{e_i^2\} - P_N^T \cdot H_N - H_N^T \cdot P_N + H_N^T \cdot R_N \cdot H_N, \quad (2.5)$$

де:

$$P_N = E\{X_{N,i} \cdot e_i\} = E\left\{ \begin{matrix} e_i \cdot x_i \\ e_i \cdot x_{i-1} \\ \dots \\ e_i \cdot x_{i-N} \end{matrix} \right\} - \text{вектор взаємної кореляції активного}$$

сигналу та ехосигналу.

$$R_N = E\left\{ \begin{matrix} x_i^2 & x_i \cdot x_{i-1} & \dots & x_i \cdot x_{i-N} \\ x_{i-1} \cdot x_i & x_{i-1}^2 & \dots & x_{i-1} \cdot x_{i-N} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{i-N} \cdot x_i & x_{i-N} \cdot x_{i-1} & \dots & x_{i-N}^2 \end{matrix} \right\} - \text{автокореляційна матриця}$$

активного сигналу.

Розглянемо отримане співвідношення (2.5). З нього видно, що цільова функція  $\xi$  є функція сукупності аргументів, якими є коефіцієнти  $H_N$  фільтра. Для кожного аргументу окремо ця функція є квадратичною. При цьому  $\xi$  характеризує енергію, тому може бути негативною. Похідна  $\xi$  дорівнює:

$$\frac{d\xi}{dH_N} = \frac{dM[e_i^2]}{dH_N} + \frac{dH_N^T \cdot R_N \cdot H_N}{dH_N} - \frac{dH_N^T \cdot P_N}{dH_N} - \frac{dP_N^T \cdot H_N}{dH_N} = 2 \cdot R_N \cdot Y_N - 2 \cdot P_N \quad (2.6)$$

Тепер для знаходження мінімуму цільової функції прирівняємо похідну до нуля:

$$\frac{d\xi}{dH_N} = 2 \cdot R_N \cdot Y - 2 \cdot P_N = 0.$$

Переносячи шукану величину в ліву частину:

$$H_{\text{опт},N} = R_N^{-1} \cdot P_N. \quad (2.7)$$

Рівняння (2.7) є загальновідомим виразом і зветься рівняння Вінера-Хопфа. Цей вислів описує нерекурсивну процедуру, що отримала назву вінеровського оптимального оцінювання. Окремо слід зазначити, що автокореляційна матриця  $R_N$  та вектор взаємної кореляції  $P_N$  не залежить від часу, оскільки мається на увазі, що активний сигнал є стаціонарним випадковим процесом.

Широко відомо, що оцінка за допомогою рівняння Вінера-Хопфа дає оптимальний результат навіть у разі наявності в ехосигналі некорельованих з активним адитивним сигналом шумів.

Однак у контексті планованого дослідження стійкості до адитивних перешкод рекурсивного кореляційного алгоритму, необхідно розглянути цю властивість рівняння Вінера-Хопфа докладніше. При цьому особливу увагу буде приділено зв'язку цільової функції адаптації  $E\{z_t^2\}$  та вектора взаємної кореляції активного сигналу і залишкового ехосигналу ( $P_{XZ}$ ).

Тут, перш за все, необхідно помітити, що рівняння Вінера-Хопфа і вираз для похідної цільової функції оперують ехосигналом  $e_i$  (входить у вектор взаємної кореляції активного сигналу та ехосигналу  $P_N$ ). Ця обставина є цілком природною, оскільки в рамках оптимального нерекурсивного оцінювання

залишковий ехосигнал сигналу (або сигналу помилки) - це лише зручний математичний прийом.

Рівняння Вінера-Хопфа показує взаємозв'язок між вхідним і вихідним сигналами досліджуваної системи та застосовується безпосередньо до неї (система на рисунку 2.1 у цьому разі скасовується). Однак рекурсивні методи оперують саме залишковим ехосигналом, тому необхідно виразити похідну цільової функції через залишковий ехосигнал. Для цього необхідно виразити залишковий ехосигнал через ехосигнал та його копію:

$$\frac{d\xi}{dH_N} = 2 \cdot R_N \cdot H_N - 2 \cdot P_{N,i} = 2 \cdot R_N \cdot H_N - 2 \cdot E\{(s_i + z_i) \cdot X_{N,i}^T\} = 2 \cdot R_N \cdot H_N - 2 \cdot E\{s_i \cdot X_{N,i}^T\} - 2 \cdot E\{z_i \cdot X_{N,i}^T\}.$$

Якщо підставити в отриманий вираз (2.3), маємо:

$$\frac{d\xi}{dH_N} = 2 \cdot R_N \cdot H_N - 2 \cdot E\{H_N^T \cdot X_N \cdot X_{N,i}^T\} - 2 \cdot E\{z_i \cdot X_{N,i}^T\} = 2 \cdot R_N \cdot H_N - 2 \cdot H_N^T \cdot R_N - 2 \cdot P_{XZ_N},$$

де  $P_N = E\{z_i \cdot x_{i-1}\}$  - вектор взаємної кореляції активного сигналу та залишкового ехосигналу.

З огляду на симетричність  $R_N$  можна записати, що  $H_N^T \cdot R_N = R_N \cdot H_N$ . Тоді попередній вираз спрощується:

$$\frac{d\xi}{dH_N} = -2 \cdot P_{XZ_N}. \quad (2.8)$$

Вираз (2.8) є дуже цікавим. Проаналізуємо його докладніше. Так, перший очевидний висновок з цього рівняння: похідна цільової функції лінійно залежить від функції взаємної кореляції активного сигналу і залишкового ехосигналу  $P_{XZ_N}$ .

З рівняння (2.8) також випливає, що некорельовані з активним сигналом шуми теоретично не впливають на оптимальну оцінку при вирішенні рівняння Вінера-Хопфа. Вочевидь, такі шуми не вплинуть на значення модуля вектора  $P_{XZ_N}$ , отже, і похідну цільової функції. При цьому цільова функція  $E\{z_t^2\}$ , у разі наявності адитивних некорельованих з активним сигналом шумів, сходиться до енергії адитивного шуму, а модуль вектора взаємної кореляції  $P_{XZ_N}$  сходиться до нуля, так само як і у разі відсутності шумів.

Як зазначалося раніше, метод прямого рішення рівняння Вінера-Хопфа отримав назву фільтр Вінера.

До незаперечних переваг прямого обчислення імпульсної характеристики ехотракту можна віднести можливість налаштування фільтра за одну ітерацію та теоретичну незалежність точності результату від автокореляційної функції активного сигналу та некорельованих з активним сигналом адитивних шумів в ехотракті.

Втім, пряме обчислення імпульсної характеристики ехотракту є дуже ресурсомістким завданням. Обчислювальна складність алгоритму дорівнює  $O[N^3]$  і визначається необхідністю обігу автокореляційної матриці вхідного сигналу, тобто зростає в кубічній прогресії в залежності від порядку фільтра (кількості вагових коефіцієнтів). Серед другорядних недоліків можна відзначити наявність похибки визначення імпульсної характеристики через кінцівки вибірок, стрибкоподібні зміни рівня ехосигналу при підстроюванні вагових коефіцієнтів фільтра.

Через обчислювальну складність фільтр Вінера не набув широкого поширення в техніці компенсації ехосигналів. На практиці більшого поширення набули рекурсивні алгоритми, що мають меншу обчислювальну складність і забезпечують поступове, "плавне" зниження рівня залишкового ехосигналу.

### 2.3 Алгоритми класу рекурсія найменших квадратів

До цього класу алгоритмів належать: зважений РНК, РНК на основі QR-розкладання (QR-РНК), швидкий алгоритм Калмана, швидкий РНК, швидкий



трансверсальний фільтр і т.д. Детальна структуризація різномайття алгоритмів цього класу дана в [6,8].

Розглянемо теоретичні засади методів класу РНК. Для цього повернемося до рівняння Вінера-Хопфа:

$$H_N = R_N^{-1} \cdot P_N.$$

Для переходу до рекурсивного обчислення вагових коефіцієнтів фільтра припустимо, що у довільний момент часу  $i$  провадиться лише одне додаткове спостереження. Тоді автокореляційну матрицю та вектор взаємної кореляції можна представити так [5]:

$$R_{N,i} = \sum_{j=0}^i X_{N,j} \cdot X_{N,j}^T = \sum_{j=0}^{i-1} X_{N,j} \cdot X_{N,j}^T + X_{N,i} \cdot X_{N,i}^T = R_{N,i-1} + X_{N,i} \cdot X_{N,i}^T. \quad (2.9)$$

$$P_{N,i} = \sum_{j=0}^i e_j \cdot X_{N,j} = \sum_{j=0}^{i-1} e_j \cdot X_{N,j} + e_i \cdot X_{N,i} = P_{N,i-1} + e_i \cdot X_{N,i}. \quad (2.10)$$

Як видно, вирази (2.9) та (2.10) дозволяють рекурсивно обчислювати вектор взаємної кореляції та автокореляційну матрицю, але для знаходження коефіцієнтів фільтра, як і раніше, необхідно звертати матрицю  $R_{M,i}$ .

Для визначення виразу для адаптації коефіцієнтів фільтра повернемося до рівняння Вінера-Хопфа. При цьому необхідно врахувати, що у разі рекурсивного обчислення  $H_N$  залежатиме від часу:

$$(2.11)$$

$$(2.12)$$

$$H_{N,i} = R_{N,i}^{-1} \cdot P_{N,i} = H_{N,i} + C_{N,i} \cdot (e_i - X_{N,i} \cdot H_{N,i-1}) = H_{N,i-1} + C_{N,i} \cdot \alpha, \quad (2.13)$$

$$\text{де } \alpha = e_i - X_{N,i} \cdot H_{N,i-1}. \quad (2.14)$$

Рекурсивний алгоритм найменших квадратів полягає у обчисленні вектора  $C_{N,i}$  у вигляді, в якому він введений у (2.12), обчисленні  $R_{N,i}^{-1}$  згідно з формулою (2.11) та адаптації відводів фільтра згідно з виразами (2.13) та (2.14). Варто зазначити, що вектор  $C_{N,i}$  у літературі, як правило, називають вектор Калмана.

Алгоритм у представленому вище вигляді має нескінченну пам'ять, тому розмір вікна, через які пропущені дані, становить  $[0; i]$ , тобто вікно є зростаючим. Тому описаний вище алгоритм зветься рекурсивного методу найменших квадратів зі зростаючим вікном.

З огляду на можливі у реальній ситуації нестационарності активного сигналу та нестационарності самого ехотракту, пам'ять алгоритму бажано обмежити. Для досягнення цієї мети на цьому етапі вводять коефіцієнт забування  $\lambda_j$ , Існує кілька підходів до реалізації цієї величини. Найбільш простим з них є розрахунок вхідних в алгоритм величин за кінцевим числом найбільш "свіжих" відліків. Цей випадок можна інтерпретувати як множення даних на граничну функцію виду:

$$\lambda_j = \begin{cases} 1, & \text{при } i - L \leq j \leq i \\ 0, & \text{при } j < i - L \end{cases} \quad (2.15)$$

Можна помітити, що дані пропускаються через вікно фіксованої довжини  $(2L)$ , тому такий алгоритм отримав назву рекурсивний метод найменших квадратів із ковзним вікном.

Найбільш затребуваним є РНК з експонентним зважуванням. У цьому випадку як коефіцієнт  $\lambda_j$  використовується показова функція  $\lambda^{i-j}$  (при  $\lambda \leq 1$ ). Введення справжнього множника дозволяє задати вагові коефіцієнти вхідним даним таким чином, щоб найбільш "свіжі" відліки мали найбільшу вагу. Легко показати, що розглянутий вище алгоритм зростаючого вікна є окремим випадком алгоритму з експоненційним зважуванням при значенні  $\lambda = 1$ . З урахуванням коефіцієнта забування остаточні вирази для зваженої РНК мають вигляд (2.16) - (2.20):

$$\Phi_{N,i}^{-1} = \Phi_{N,i-1}^{-1} - C_{N,i} \cdot X_{N,i} \cdot \Phi_{N,i-1}^{-1} \quad (2.16)$$

$$C_{N,i} = \frac{\Phi_{N,i-1}^{-1} \cdot X_{N,i-1}^T \cdot X_{N,i}}{\lambda + X_{N,i}^T \cdot \Phi_{N,i-1}^{-1} \cdot X_{N,i}} \quad (2.17)$$

$$\alpha = e_i - X_{N,i} \cdot H_{N,i-1} \quad (2.18)$$

$$H_{N,i} = H_{N,i-1} + C_{N,i} \cdot \alpha \quad (2.20),$$

де  $\Phi_{N,i}$  - введене позначення для  $R_{N,i} \cdot \lambda^{k-i}$ .

Такий запис алгоритму набув найбільшого поширення.

Оскільки адаптація коефіцієнтів відбувається рекурсивно, для початку роботи  $\Phi_{N,i-1}^{-1}$  і  $H_{N,i-1}$  повинні ініціалізуватися деякими значеннями. Зазвичай вектор  $H_{N,i-1}$  приймають рівним нульовому вектору. Щоб уникнути операції розподілу на нуль, як  $\Phi_{N,i-1}^{-1}$  використовують одиничну матрицю, помножену на деякий близький до нуля позитивний коефіцієнт.

Розглядаючи властивості виваженого РНК, перш за все, необхідно зазначити, що алгоритм має квадратичну обчислювальну складність  $O[N^2]$ . Ця обставина значною мірою обмежує застосування алгоритму РНК у додатках, які вимагають обробки сигналу в реальному часі. Багато в чому цю проблему дозволяють зняти швидкі варіанти алгоритму РНК, засновані на методах лінійного передбачення, які дозволяють швидко (ефективно) обчислити вектор Калмана. Швидкі алгоритми РНК має лінійну обчислювальну складність  $O[N]$ . Наприклад, швидкий алгоритм Калмана вимагає лише  $10 * N$  операцій множення,  $9 * N$  операцій додавання і дві операції поділу [8].

Крім істотної обчислювальної складності, РНК вимогливий до точності обчислень і може втратити стабільність за її недостатності (проблема числової стабільності алгоритму). Це зумовлено тим, що під впливом помилок обчислень матриця  $\Phi_{N,i-1}^{-1}$  може стати негативно визначеною.

Однозначною перевагою алгоритмів класу РНК є їхня швидка збіжність та відносна незалежність швидкості збіжності від статистичних характеристик активного сигналу. За цим показником РНК значно перевершують прості градієнтні алгоритми МНСК, що зазначається в наступних роботах [6,9]. Швидка збіжність РНК обумовлена тим, що з його висновку був допущено серйозних апроксимацій і спрощень. Єдиним очевидним допуском при виведенні алгоритму стало запровадження коефіцієнта забування  $\lambda^i$ , який обмежує пам'ять алгоритму про попередні відліки. Це еквівалентно апроксимації цільової функції виразом:

$$\xi = E\{z^2\}_i \approx \frac{1}{i+1} \sum_{j=0}^i Z^2_{i-j} \cdot l^{i-j}. \quad (2.21)$$

У контексті запланованих досліджень кореляційного алгоритму важливо розглянути питання стійкості до адитивних шумів (перешкодостійкості, робастності) алгоритмів класу РНК. Оскільки під час виведення алгоритму не було допущено грубих спрощень, можна припустити, що алгоритми класу РНК певною мірою володіють властивостями оптимального фільтра Вінера, у тому числі й у перешкодостійкості. Але в наявній літературі можна знайти різні думки щодо перешкодостійкості алгоритму РНК. Так, порівнюючи перешкодостійкість РНК з завадостійкістю алгоритму МНСК, у [8] стверджується, що якість фільтрації в умовах наявності перешкод у алгоритму РНК вище. При цьому в [9] автори повідомляють, навпаки, про більшу завадостійкість МНСК, тоді як алгоритм РНК визначається як алгоритм, який може в певних обставин мати досить низьку завадостійкість. Додатково варто відзначити, що питання підвищення стійкості до перешкод алгоритму РНК на сьогодні викликає у дослідників певний інтерес. Методи підвищення завадостійкості РНК пропонуються в [5].

#### 2.4 Алгоритми класу методи найменших середніх квадратів

Обчислювальна складність фільтра Вінера та алгоритму РНК спонукала дослідників до розробки алгоритмів, що вимагають значно менших обчислювальних ресурсів. Результатом досліджень у цьому напрямі став метод найменших середніх квадратів (МНСК) та численні подальші варіації цього алгоритму. Серед варіацій алгоритму МНСК можна назвати: нормалізований метод найменших квадратів (НМНСК), блоковий МНСК, пропорційно нормалізований МНСК, багатосмуговий МНСК.

Розглянемо докладніше базовий для цього класу алгоритм МНСК. Зв'язок між поточною та оптимальною імпульсною характеристикою виконавчого елемента має вигляд:

$$H_{\text{опт}N} = H_{N,i} - 0,5 \cdot R_{N,i}^{-1} \cdot \nabla \xi. \quad (2.22)$$

Зв'язок між двома величинами виражається членом  $0,5 \cdot R_{N,i}^{-1} \cdot \nabla \xi$ . У принципі, в ході отримання виразу (2.22) не було допущено жодних спрощень, тому адаптація, як і раніше, може бути здійснена за одну ітерацію. Однак з метою згладжування впливу спрощень, які будуть введені нижче, доцільно поступово наближати коефіцієнти фільтра до оптимальних. Для цього введемо параметр адаптації  $x$ , що обмежує максимальне збільшення відводів фільтра ( $x < 1$ ). З урахуванням вищесказаного можна перейти до наступної рекурсивної формули:

$$H_{N,i} = H_{N,i-1} - x \cdot 0,5 \cdot R_{N,i}^{-1} \cdot \nabla \xi. \quad (2.23)$$

Формула (2.23) описує процес адаптації згідно з алгоритмом Ньютона. Формула (2.23) дозволяє рекурсивно налаштувати відводи виконавчого елемента, але, як і раніше, є обчислювально складною. Найбільш очевидним способом спростити обчислення є відмова від обчислення зворотної матриці  $R_{N,i}^{-1}$ , замінивши її просто одиничною матрицею:

$$H_{N,i} = H_{N,i-1} - x \cdot 0,5 \cdot \nabla \xi. \quad (2.24)$$

Формула (2.24) визначає процес адаптації згідно з алгоритмом якнайшвидшого спуску. Наступне спрощення може бути спрямовано на зниження обчислень для розрахунку градієнта цільової функції. Алгоритм МНСК використовує найпростіший варіант, тобто заміну усереднення величини  $Z_i^2$  за ансамблем реалізацій миттєвим значенням  $Z_i^2$ :

$$\xi = E\{z^2\} = \lim_{i \rightarrow \infty} \frac{1}{i+1} z^2 \approx z^2. \quad (2.25)$$

Відповідно до цього спрощення градієнт цільової функції може бути виражений як:

$$\nabla \xi_N \approx \frac{dz^2}{dH_{N,i}} = \frac{d(z \cdot z)}{dH_{N,i}} = \frac{d(e_i - H^T \cdot X_{N,i})}{dH_{N,i}} \cdot z_i = -2 \cdot X_{N,i} \cdot z_i. \quad (2.26)$$

Підставляючи (2.26) у (2.24) знаходимо:

$$H_{N,i} = H_{N,i-1} + x \cdot X_{N,i} \cdot z_i. \quad (2.27)$$

Формула (2.27) визначає адаптацію коефіцієнтів згідно з алгоритмом МНСК. Неважко помітити, що вираз (2.27) є  $N$  незалежних рівнянь, тому можна записати вирази для кожного коефіцієнта фільтра окремо. Отже, вираз для  $\varepsilon$ -ного коефіцієнта фільтра для МНСК можна записати як:

$$h_{i+1}(\varepsilon) = h_i(\varepsilon) + x \cdot X_{i-s} \cdot z_i. \quad (2.28)$$

Вираз (2.13) може бути отриманий відмінним від описаного вище способом спрощення рівняння Вінера Хопфа, а саме градієнтними чисельними методами. Для цього потрібно прийняти як цільову функцію миттєве значення  $Z_i^2$  і знайти її мінімум для кожного вагового коефіцієнта фільтра методом градієнтного (найшвидшого) спуску. Геометрична інтерпретація цього підходу, зазвичай, міститься у літературі, присвяченій адаптивній фільтрації, наприклад [5]. Тут слід зазначити, що нуль похідної  $Z_i^2$  можна також шукати методом Ньютона. Алгоритм адаптації, що реалізує такий пошук, має аналогічну назву.

Оригінальний метод МНСК має низку функціональних недоліків, які спонукали дослідників покращувати його характеристики.

Так, для зниження ефекту спрощення цільової функції застосовують блоковий МНСК, який апроксимує цільову функцію усередненням за кількома

відліками (не слід плутати цей алгоритм із блоковим МНСК у частотній ділянці). З цього випливає, що для блочного МНСК формула адаптації набуває вигляду:

$$h_{i+1}(\varepsilon) = h_i(\varepsilon) + x \cdot \sum_{l=0}^{M-1} X_{i-s-l} \cdot z_{i-l}. \quad (2.29)$$

МНСК і блоковий МНСК мають загальний недолік - залежність швидкості адаптації від потужності активного сигналу  $x_i$ . Для зниження впливу цього недоліку розумно зробити крок адаптації пропорційним дисперсії активного сигналу.

Алгоритм НМНСК має непогані функціональні характеристики і низьку обчислювальну складність. Тому він набув широкого поширення в завданнях компенсації ехосигналів і може розглядатися як найбільш затребуваний алгоритм класу алгоритмів МНСК.

Описані вище алгоритми мають невисоку обчислювальну складність. Це, безумовно, є основною перевагою цього класу алгоритмів.

До недоліків слід віднести нижчу проти методами РНК швидкість збіжності, і навіть її залежність від статистичних показників активного сигналу. До того ж можна зробити інтуїтивно зрозуміле припущення, що груба апроксимація цільової функції має призводити до низької завадостійкості алгоритмів даного класу. Однак, як зазначалося при аналізі характеристик РНК, на противагу цьому твердженню окремі автори повідомляють про суттєву завадостійкість алгоритмів класу МНСК. Перешкодостійкість алгоритму НМНСК буде розглянута в наступному розділі.

## 2.5 Кореляційний принцип адаптації

Оригінальна ідея стандартного кореляційного алгоритму полягає у мінімізації вираженого у явному вигляді вектора взаємної кореляції активного сигналу та залишкового ехосигналу [7]. Однак наявна література не містить математичного обґрунтування цього алгоритму. Тому таке обґрунтування є

пріоритетним завданням у рамках теоретичного дослідження, представленого у цьому розділі.

Задаючись питанням математичних основ кореляційного алгоритму, можна назвати, що зазначена вище мета адаптації кореляційного алгоритму забезпечується оптимальною вінеровською оцінкою [10]. Таким чином, можна зробити припущення, що кореляційний алгоритм та рівняння Вінера-Хопфа мають однозначний математичний зв'язок. Для виявлення зв'язку звернемося до рівняння Вінера-Хопфа.

$$H_{\text{опт}_N} = R_N^{-1} \cdot P_N. \quad (2.30)$$

Відомо, що рівняння (2.30) дозволяє обчислити оптимальний вектор  $H_{\text{опт}_N}$  за одну ітерацію і описує процедуру нерекурсивного оптимального оцінювання. У той самий час, кореляційний алгоритм передбачає рекурсивні обчислення. Тому, перш за все, необхідно перейти від рівняння (2.30) до рекурсивної процедури адаптації. У рамках теорії адаптивної фільтрації подібний перехід є стандартним кроком, що передбачає нескладні маніпуляції з градієнтом цільової функції. Вони були продемонстровані під час виведення алгоритмів МНСК. У цьому ж розділі хотілося б представити альтернативну інтерпретацію цього переходу, яка важлива в контексті розгляду кореляційного алгоритму. Метою цієї інтерпретації є максимальне відображення особливостей рекурсивного обчислення, тому вона ґрунтується на аналізі системи, що здійснює рекурсивну оцінку невідомої досліджуваної системи (ехотракту):



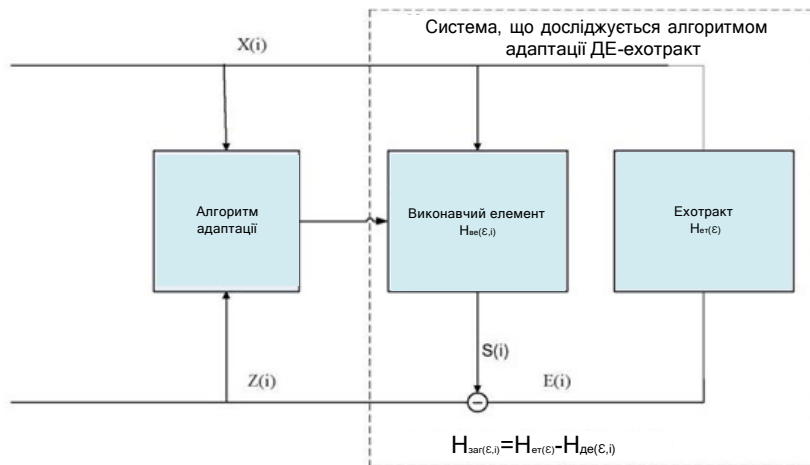


Рисунок 2.2 – Структурна схема системи рекурсивного оцінювання імпульсної характеристики ехотракту

Нехай імпульсна характеристика ехотракту  $H_{eT_N}$  невідома, але стаціонарна. А імпульсна характеристика виконавчого елемента  $H_{veN,i}$  відома, але змінюється на кожній ітерації ( $i$  - номер ітерації). Ця ситуація цілком реально відбиває процес рекурсивної адаптації, який, зазвичай, містить сотні, або навіть тисячі, ітерацій до досягнення прийнятної оцінки.

Неважко показати, що на довільній ітерації  $i$  сукупна імпульсна характеристика системи "виконавчий елемент – ехотракт" може бути представлена різницею імпульсних характеристик ехотракту та виконавчого елемента, тобто можна записати:

$$H_{зN,i} = H_{eT_N} - H_{ieN,i} \quad (2.31)$$

Припустимо, що на  $i$ -тій ітерації є достатня вибірка сигналів (математично, природно, необмежена) для розрахунку АКМ активного сигналу, а також ВКФ активного сигналу і залишкового ехосигналу. Тоді на цій ітерації може бути здійснена оптимальна оцінка сукупної імпульсної характеристики  $H_{зN,i}$  за допомогою рівняння Вінера-Хопфа.

Підставимо оптимальну оцінку  $H_{зN,i}$  у вираз (2.31):

$$R_N^{-1} \cdot P_{XZ_{N,i}} = H_{eT_N} - H_{ie_{N,i}}, \quad (2.32)$$

де  $P_{XZ_{N,i}}$  - вектор взаємної кореляції активного сигналу і  $z'_i$ .

Цілком очевидно, що для здійснення оптимальної оцінки рівняння (2.32) повинен фігурувати вектор взаємної кореляції "залишкового ехосигналу"  $z$  та активного сигналу  $x$ . Це впливає з того, що алгоритм адаптації оцінює саме  $H_{zN}$ , а не  $H_{eT_N}$  (див. рисунок 2.2). Однак оцінка відповідно до рівняння Вінера-Хопфа буде коректною лише, якщо для розрахунків буде використано реалізацію залишкового ехосигналу, отриману в умовах стаціонарної імпульсної характеристики  $H_{zN}$ . На жаль, для рекурсивної адаптації ця умова не виконується, реальний залишковий ехосигнал  $z_i$  формується в умовах змінної  $H_{zN,i}$ .

Врахуємо, що  $H_{zN}$ , в (2.32) - це оптимальна оцінка імпульсної характеристики ехотракту. Доцільно задачі адаптації, її необхідно використовувати як імпульсну характеристику виконавчого елемента на  $i + 1$  кроці адаптації. Враховуючи це та представляючи рівняння (2.32) у більш зручному вигляді, отримуємо:

$$H_{IE_{N,i+1}} = H_{E_{N,i}} + R_N^{-1} \cdot P_{XZ_{N,i}} \quad (2.33)$$

Вираз (2.33), як і раніше, є оптимальною оцінкою, але з урахуванням детермінованої складової ( $H_{IE_{N,i}}$ ). Тому оптимальний вектор коефіцієнтів виконавчого елемента на черговий ітерації може бути знайдено математично точно (за умови необмеженої вибірки сигналів). Однак для розрахунку оптимальної оцінки, як і раніше, необхідно звертати автокореляційну матрицю  $R_N$ . Це, як відомо, операція обчислювально складна.

Для зниження обчислювальної складності кореляційного алгоритму використовується апроксимація автокореляційної матриці активного сигналу

автокореляційною матрицею білого шуму еквівалентної потужності, тобто наступною діагональною матрицею:

$$R_N \approx D_N = E \begin{pmatrix} x_i^2 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & x_{i-1}^2 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & x_{i-\varepsilon}^2 & \dots \\ 0 & 0 & \dots & x_{i-N}^2 \end{pmatrix} \quad (2.34)$$

Враховуючи цю апроксимацію, а також вводячи необхідні константи, можна записати вираз для кореляційного алгоритму у векторно-матричній формі:

$$H_{N,i+1} = H_{N,i} + \mu \cdot (R_{\text{бш}N,i} + \delta E)^{-1} \cdot P_{XZ_{N,i}} \quad (2.35)$$

де:  $P_{XZ_{N,i}} = E\{X_{N,i} \cdot z_i\}$  - вектор взаємної кореляції активного сигналу і залишкового ехосигналу,  $\delta$  - мала величина,  $E$  - одинична матриця,  $R_{\text{бш}N,i}$  - автокореляційна матриця білого шуму еквівалентної потужності,  $N$  - кількість коефіцієнтів фільтра,  $\mu$  - параметр адаптації (для класичної формули використовується  $\rho = 1 / \mu$ ).

Таким чином, для отримання кореляційного алгоритму з рівняння Вінера-Хопфа необхідно здійснити перехід до рекурсивних обчислень, апроксимувати автокореляційну матрицю активного сигналу автокореляційною матрицею білого шуму і апроксимувати сигнал  $z'_{j,i=\text{const}}$  реальним залишковим ехосигналом  $z_i$ .

Звернемося до питання обчислювальної складності кореляційного алгоритму. Апроксимація автокореляційної матриці активного сигналу забезпечує лінійну залежність обчислювальної складності кореляційного алгоритму від кількості вагових коефіцієнтів фільтра  $O[N]$ . Тим не менш, при прямому розрахунку коефіцієнтів фільтра необхідно оцінити кореляцію залишкового ехосигналу та активного сигналу по  $M$  відліках на кожній ітерації адаптації, що породжує  $N \cdot M$  кількість операцій множення (операції множення – основне обчислювальне навантаження). З урахуванням можливості рекурентного обчислення дисперсії активного сигналу реалізація кореляційного алгоритму

вимагає на одну ітерацію наступного кількості операцій множення (оцінка враховує формування виконавчим елементом копії ехосигналу):

$$Mul = N \cdot M + 2 \cdot N \quad (2.36)$$

Таким чином, пряма реалізація кореляційного алгоритму – завдання дуже обчислювально складне. Значно знизити обчислювальну складність можна під час реалізації "компактного кореляційного алгоритму", запропонованого в [10] і розглянутого в наступному розділі.

До основних переваг кореляційного алгоритму необхідно віднести його високу стійкість до перешкод, яка досліджувалася в [10].

З іншого боку, наявна література не містить інформації про ряд важливих функціональних характеристик алгоритму та їх залежність від параметрів алгоритму, наприклад про швидкість збіжності. Всебічне дослідження алгоритму та виявлення основних залежностей функціональних характеристик від внутрішніх та зовнішніх факторів є завданням наступного розділу справжньої роботи. Трохи забігаючи вперед, можна сказати, що дослідження виявило важливий недолік - низьку швидкість та стабільність збіжності алгоритму, а також їхню залежність від параметрів алгоритму та статистичних характеристик сигналу.

## 2.6 Компактний кореляційний алгоритм

Розглянемо компактний кореляційний алгоритм, представлений у [9,10].

Сформульована раніше обчислювальна складність  $N \cdot M + 2 \cdot N$  кореляційного алгоритму може бути охарактеризована як досить висока. Тим не менш, вона була отримана за досить формального підходу до завдання обчислення вагових коефіцієнтів. Розглянемо нескладні шляхи зниження обчислювальної складності. Для цього запишемо кореляційний алгоритм у матрично-векторній формі:

$$H_{N,i+1} = H_{N,i} + \xi * (H_{\text{б,ш},N,i} + \delta E)^{-1} * P_{XZ_{N,i}} \quad (2.37)$$

Для зниження обчислювальної складності необхідно обчислювати рекурсивно члени  $(H_{\text{б,ш},N,i} + \delta E)^{-1} = G_{N,i}$  та  $P_{XZ_{N,i}}$ . Для цього необхідно подати діагональну матрицю  $G_{N,i}$  як:

$$G_{N,i} = G_{N-1,i} + \text{diag}[X_{N,i} * X_{N,i}^T]^{-1}. \quad (2.38)$$

Оскільки за умовою  $G_{N,i}$  є діагональною, то немає необхідності в розрахунку всіх значень матриці  $[X_{N,i} * X_{N,i}^T]$ , яка має ранг  $N$ . Достатньо розрахувати тільки головну діагональ цієї матриці (решта членів матриці прирівнюються до нуля). Це відображено у (2.38) членом  $\text{diag}[X_{N,i} * X_{N,i}^T]$ .

Аналогічним шляхом представимо  $P_{XZ_{N,i}}$ :

$$P_{XZ_{N,i}} = P_{XZ_{N,i-1}} + X_{N,i} * z_i \quad (2.39)$$

Компактний кореляційний алгоритм можна записаний трьома виразами:

$$G_{N,i} = G_{N,i-1} + \text{diag}[X_{N,i} * X_{N,i}^T]^{-1} \quad (2.40)$$

$$P_{XZ_{N,i}} = P_{XZ_{N,i-1}} + X_{N,i} * z_i \quad (2.41)$$

$$H_{N,i+1} = H_{N,i} + \xi i * (G_{N,i} + \delta E) * P_{XZ_{N,i}} \quad (2.43)$$

Підсумкова обчислювальна компактного кореляційного алгоритму дорівнює:

$$\text{Mul} = 4 * N + 1 \quad (2.44)$$

При цьому для роботи алгоритму необхідно зберігати  $M+N$  значень сигналів  $z_i$  і  $x_i$ , а також таку кількість квадратів відліків активного сигналу  $x_i$ . Додатково до цього необхідно додати зберігання вектора  $H_{N,i}$  ( $N$  значень) та сигналу  $x_i$  ( $N$  відліків) для формування копії ехосигналу.

$$\text{RAM} = 4 * N + 2 * M, \text{ відліків.} \quad (2.45)$$

Окремо слід зауважити, що обчислення компактного кореляційного алгоритму залежить від кількості відліків оцінки  $BK\Phi$  ( $M$ ). Це важлива властивість при необхідності досягнення високої стійкості до перешкод алгоритму.

## 2.7 Цифрові фільтри як елементи механізмів компенсації ехосигналів

Фільтр із кінцевою імпульсною характеристикою (КІХ-фільтр). Структурна схема КІХ-фільтра представлена на рисунку 3.3:

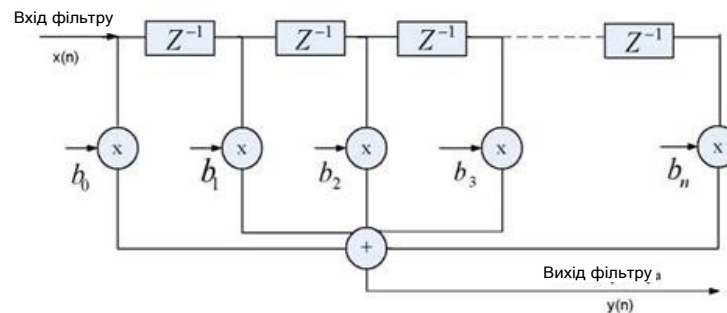


Рисунок 2.3 – Фільтр із кінцевою імпульсною характеристикою

Сигнал на виході такого фільтра формується згідно з інтегралом згортки для дискретних сигналів і може бути представлений через коефіцієнти фільтра:

$$y(n) = \sum_{k=0}^{N-1} h(k) \cdot x(n - k) = \sum_{k=0}^{N-1} b_k \cdot x(n - k). \quad (2.46)$$

Передатна характеристика КІХ-фільтра визначається як:

$$H(z) = \sum_{k=0}^{N-1} h(k) \cdot z^{-k} = \sum_{k=0}^{N-1} b_k \cdot z^{-k}. \quad (2.47)$$

Основними перевагами КІХ-структури є її безумовна стійкість, можливість реалізації будь-якого відгуку в заданому часовому інтервалі та простота налаштування. Безумовна стійкість визначається відсутністю зворотних зв'язок. У

зв'язку з цим КІХ-фільтри також називають нерекурсивними фільтрами. Простота налаштування визначається тим, що сукупність значень відводів фільтра є його імпульсною характеристикою. Це дозволяє завантажувати результат оцінки ІХ алгоритмом адаптації у відведення фільтра без додаткових перетворень. Сукупність значень коефіцієнтів фільтра прийнято називати Н-регістром.

Основним недоліком КІХ-фільтра є, власне, кінцівка імпульсної характеристики. Це призводить до необхідності реалізації фільтрів великого порядку для придушення ехосигналів, що пройшли через ехотракти з тривалим відгуком. Неважко помітити, що з наростання числа відводів лінійно наростають обчислення, пов'язані з формуванням сигналу виконавчого елемента обсягу, що робить реалізацію ехокомпенсатора досить громіздкою. Однак у багатьох випадках це виявляється єдиним прийнятним рішенням.

Цифрові фільтри з безкінечною імпульсною характеристикою (БІХ-фільтри). Наявність зворотного зв'язку в БІХ-фільтрах зумовлює їхню другу назву - рекурсивні фільтри. Структурна схема БІХ-фільтра представлена на рисунку нижче:

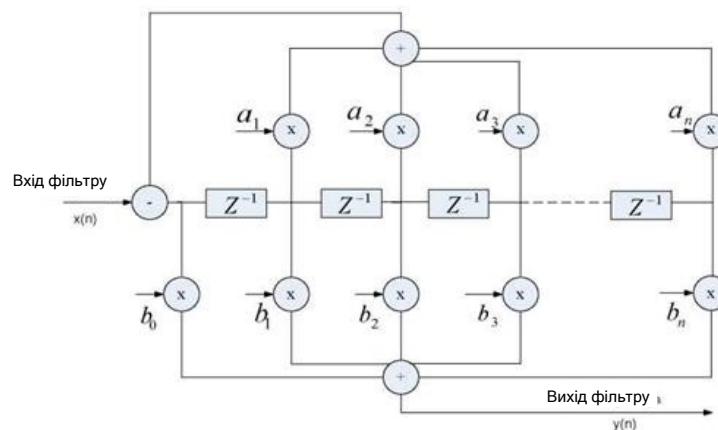


Рисунок 2.4 – Фільтр із безкінечною імпульсною характеристикою

Перевагою представленої вище структури є нескінченність імпульсної характеристики. У разі множинних відображень в ехотракті ця перевага дає можливість придушення ехосигналів з великою кінцевою затримкою виконавчими елементами порівняно невеликого порядку. З огляду на це застосування БІХ-фільтрів є особливо привабливим, наприклад, при придушенні

акустичного ехосигналу. При цьому очевидно, що БІХ-структура може бути нестійкою. Крім проблеми стійкості, застосування БІХ-фільтрів спричиняє ще ряд складнощів пов'язаних з необхідністю забезпечення досить високої точності обчислень, збіжністю алгоритмів адаптації до локальних мінімумів цільової функції, необхідністю вирішення нелінійних рівнянь тощо. [8]. Можна говорити, що ці складності багато в чому обмежує застосування БІХ-фільтрів у завданнях техніки придушення ехосигналів.

Крім представлених вище двох базових для ЦОС типів фільтрів, задачах техніки компенсації ехосигналів застосовується ряд спеціальних виконавчих елементів. До них відносяться: ґратчасті фільтри, що дозволяють підвищити швидкість адаптації у ряді застосувань [4]; фільтри на основі рядів Вольтера, що використовуються для придушення ехосигналів, що пройшли через нелінійний ехотракт; фільтр Гільберта для придушення ехосигналів в умовах такого специфічного нелінійного перетворення як зсув частот [6].

Найбільш простим способом придушення нелінійно спотвореного ехосигналу є додавання до складу ехокомпенсатора безінерційного поліноміального коректора, що дозволяє компенсувати нелінійні продукти зосередженого джерела нелінійності. Природньо, що такий метод є неефективним, якщо в ехотракті присутні одразу кілька елементів, що вносять помітні спотворення нелінійні, тобто нелінійність є "розподіленою". У разі розподіленого характеру нелінійності для придушення ехосигналу слід застосовувати фільтри на основі рядів Вольтера.

Розглянемо фільтр на основі рядів Вольтера

$$E_{\infty} = \sum_{i=1}^{+\infty} \dots \sum_{i=1}^{+\infty} a_{i \dots j} * x_i \dots * x_j = \iint_{-\infty}^{+\infty} \dots \int \kappa_{1, 2 \dots \infty}(r_1, r_2 \dots r_{\infty}) * \prod_{i=1}^{+\infty} x(t - r_i) \quad (2.48)$$

Функції  $h(r)$ ,  $h(r_1, r_2) \dots h(r_1, r_2 \dots r_{\infty})$  називають ядрами ряду Вольтера. Їх прийнято нумерувати так: перший член, відповідно, ядро першого порядку (або лінійне), другий - другого порядку, третій - третього порядку і так далі.



Переходячи до дискретного подання відгуку ехотракту та кінцевої вибірки активного сигналу, отримуємо:

$$E_i = \sum_{i=1}^N h_i * x_i + \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N h_{ij} * x_i * x_j + \dots + \sum_{j=1}^N \sum_{j=1}^N \dots \sum_{k=1}^N h_{ij\dots k} * x_i * x_j * x_k \quad (2.49)$$

Природно, реалізувати нескінченну кількість ядер неможливо, тому практично обмежуються кількома першими ядрами. Цього цілком достатньо для ефективного придушення ехосигналу під час роботи з переважною більшістю ехотрактів. Так, наприклад, застосування фільтра Вольтера з двома ядрами забезпечує вигаш у придущенні ехосигналу близько 10 дБ порівняно з лінійним фільтром [5, 7]. Так як відгук нелінійного ехокомпенсатора можна подати у вигляді суперпозиції відгуку лінійної та нелінійної складової, найбільш зручною архітектурою для нього є так званий складовий ЕК, в якому виробляються дві функціональні частини: лінійний ЕК та пристрій придушення нелінійної частини ехосигналу. Типова структура такого пристрою представлена на рисунку 2.5.

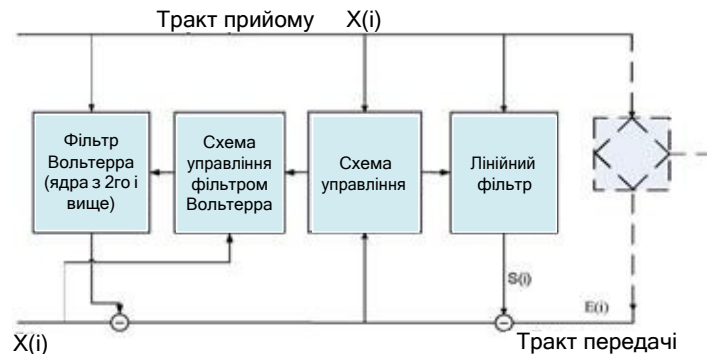


Рисунок 2.5 – Структурна схема ехокомпенсатора з виконавчим елементом на основі фільтра Вольтера

## 2.8 Висновки до розділу

1. У рамках завдання компенсації ехосигналів у телекомунікаційних каналах зв'язку успішно застосовуються багато широко відомих рекурсивних алгоритмів оцінювання невідомої лінійної системи, такі як: нормалізований метод найменших середніх квадратів (НМНСК), пропорційно нормалізований МНСК,

швидкий алгоритм афінних проєкцій (FAP), швидкий (FTF), кореляційний алгоритм тощо.

2. Як виконавчі елементи пристроїв компенсації ехосигналів, як правило, застосовуються лінійні фільтри з кінцевою імпульсною характеристикою. Однак розвиток методів теорії адаптивної фільтрації привели до реалізації ехокомпенсаторів, які використовують альтернативні варіанти виконавчих елементів, такі як: фільтри з нескінченною імпульсною характеристикою та нелінійні фільтри на основі рядів Вольтера.

3. Дослідження питання класифікації алгоритмів, що реалізують кореляційний принцип, показує, що вони можуть бути розглянуті як алгоритми, одержані шляхом перетворення алгоритму Ньютона. Це дозволяє віднести дані алгоритми до одного класу з алгоритмом НМНСК та алгоритмом афінних проєкцій.

### 3 ДОСЛІДЖЕННЯ ТА АНАЛІЗ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ ХАРАКТЕРИСТИК КОРЕЛЯЦІЙНОГО АЛГОРИТМУ

#### 3.1 Аналіз основних факторів, що негативно впливають на функціональні характеристики кореляційного алгоритму

Аналізуючи матеріал попереднього розділу, можна визначити дві групи факторів зниження функціональних характеристик пристроїв компенсації ехосигналів. До першої групи факторів логічно віднести відхилення реальних ехотрактів від прийнятої в рамках вінеровського оцінювання лінійної інерційної стаціонарної моделі ехотракту. До цього класу належать такі фактори як: нелінійні перетворення сигналу в ехотракті, нестационарність ехотракту (параметричні зміни) та адитивні шуми. Основна негативна дія цих факторів полягає у зниженні рівня придушення ехосигналу. До другої групи можна віднести чинники, першопричиною впливу яких є особливості реалізації алгоритму адаптації. До цього класу негативних чинників можна віднести: кореляційні зв'язки в активному сигналі, пам'ять алгоритмів адаптації, паузи в активному сигналі, вплив форми імпульсної характеристики ехотракту на динаміку адаптації. Основний негативний вплив ці фактори надають на динаміку та стабільність збіжності алгоритмів адаптації.

Розглянемо докладніше механізм впливу основних зазначених вище чинників на функціональні характеристики кореляційного алгоритму. Аналізуючи результати представлених раніше теоретичних досліджень кореляційного алгоритму, можна зробити такі висновки. По-перше, апроксимація сигналу  $z_{j,i}$  та використання реального залишкового ехосигналу може негативно впливати на швидкість збіжності кореляційного алгоритму. При цьому вона повинна залежати від пам'яті алгоритму залишкового ехосигналу. По-друге, апроксимація автокореляційної матриці активного сигналу автокореляційною матрицею білого шуму повинна призводити до зниження швидкості та стабільності збіжності алгоритму на автокорельованому сигналі. По-третє, незважаючи на

передбачувану теоретично і показану в [9-11] високу завадостійкість кореляційного алгоритму, він все ж таки відчуває помітний вплив з боку адитивних шумів. По-четверте, практичні дослідження показали помітний вплив пауз в активному сигналі на коректність роботи кореляційного алгоритму.

У реальних каналах зв'язку завжди присутні адитивні шуми, а пауза не означає повну відсутність активного сигналу. У момент дії паузи в тракті прямого напрямку передачі завжди є деякий "фоновий" активний сигнал (шум), який за рівнем, як правило, можна порівняти з адитивним шумом в ехотракті. Абстрагуючись на даному етапі від можливості використання детекторів активного сигналу, можна сказати, що все-таки в момент дії паузи в активному сигналі процес адаптації продовжується. Опускаючи питання наявності шумів квантування під час роботи з такими низькими за рівнем сигналами (умовимося, що вони незначні), можна побачити, що з алгоритму адаптації ці умови еквівалентні адаптації при дії потужного адитивного шуму. Очевидно, спроба адаптації в умовах зустрічного сигналу призводить до флуктуацій загасання в діапазоні порівняно невисоких значень, який залежить від завадостійкості алгоритму адаптації і конкретних обраних налаштувань ехокомпенсатора.

### 3.2 Дослідження завадостійкості

Адитивні шуми характерні для будь-яких реальних ехотрактів. За природою виникнення адитивних шумів можна умовно розділити на три основні категорії. Перша категорія – це шуми підсилювачів, що входять до складу каналу зв'язку. Шуми цієї категорії характеризуються близькими до білого шуму статистичними характеристиками (крім низькочастотних застосувань, де може позначатися рожевий шум). Друга категорія – це шуми квантування сигналів, що також характеризуються близькими до білого шуму статистичними характеристиками. Третя категорія - це різні взаємні впливи між системами передачі: перехідні сигнали в кабельних системах, різного роду наведені на кабельні лінії сигнали (Промислові перешкоди, радіоперешкоди і т.д.) та взаємні впливи радіосистем. Ця

категорія характеризується великою різноманітністю "забарвлених" шумів, у плоть до синусоїдальних сигналів, наприклад у випадку промислових перешкод. Так як статистичні властивості шумів можуть бути дуже різноманітними, має сенс як адитивну перешкоду вибрати наступні сигнали: білий шум, мовний сигнал і синусоїдальний сигнал. Як активний сигнал вибрано мовний сигнал.

Торкаючись питання очікуваних результатів, можна зробити інтуїтивно зрозуміле припущення, що оцінка кореляції залишкового ехосигналу та активного сигналу має забезпечувати високу стійкість до перешкод. Причому завадостійкість кореляційного алгоритму має бути більшою за перешкодостійкість алгоритму НМНСК, який оперує миттєвими значеннями сигналів у процесі адаптації. Структурна схема дослідження представлена на рисунку 3.1:

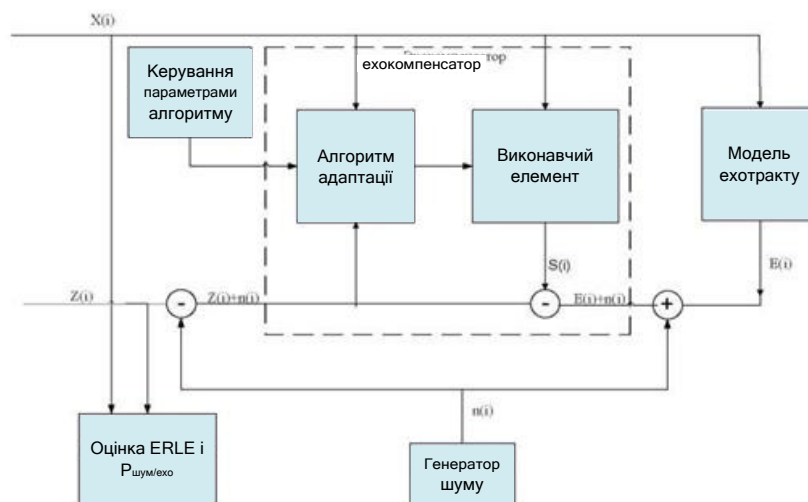


Рисунок 3.1 – Схема дослідження завадостійкості

Для оцінки ефективності роботи ехокомпенсатора за умов наявності адитивних шумів розумно спостерігати рівень адитивного шуму щодо рівня залишкового ехосигналу, з якого видалений адитивний шум. Розрахунок цієї величини проводиться за такою формулою (3.1)

$$p_{\text{шум}}^{\text{ехо}_i} = 10 \log \left( \frac{\sum_{j=0}^L n_{i-j}^2}{\sum_{j=0}^L z_{i-j}^2} \right) \quad (3.1)$$

Очікується, що рівень придушення еха буде схильний значним флуктуаціям, тому розумно запровадити дві оцінки спостережуваної величини. Перша оцінка необхідна розрахунку середнього значення показника. Для цього вибирається рівнем 4000. Друга оцінка розраховується по 256 відлікам, для визначення динаміки величини  $p_{\text{шум/ехо}}$ . Значення результатів вимірювань відповідають мінімальному значенню величин за останні 80000 відліків перед зупинкою програми. Для дослідження впливу адитивних шумів використовується ІХ ехотракту, представлений на рисунку 3.2.

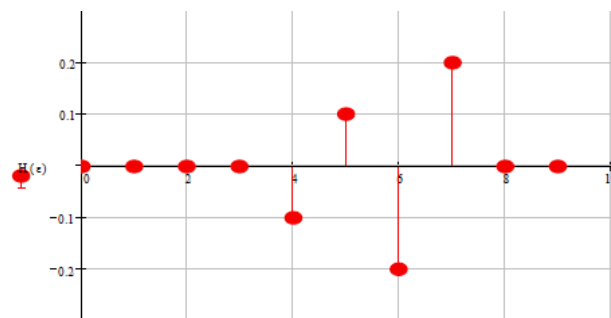


Рисунок 3.2 – Імпульсна характеристика ехотракту

Виконавчий елемент ехокомпенсатора має 8 вагових коефіцієнтів (відводів).

Параметри кореляційного алгоритму:  $M=64$ ,  $p=1000$ .

Параметри НМНСК:  $M=128$ ,  $\xi=0,001$ .

Окремо слід зазначити, що за вибраних значень параметра адаптації швидкість адаптації обох алгоритмів приблизно однакова, що зручно для порівняльного аналізу результатів експериментів. В рамках дослідження впливу адитивних шумів, тестовий сигнал тривалістю – 198 секунд. Частота дискретизації – 8кГц. Кількість відліків  $\approx 1.5 \cdot 10^6$  відліків. Як адитивна перешкода використовується три тестових сигнали: білий шум рівнем – 30 дБ, французька вимова без пауз рівнем – 30 дБ, гармонійний сигнал частотою 300 Гц та рівнем – 30 дБ. Результати експериментів підтвердили теоретичні припущення про досить високу стійкість до перешкод кореляційного алгоритму, а також її залежність від кількості відліків оцінки ВКФ і статистичних характеристик сигналу. Отримані для кореляційного алгоритму залежності показника  $R_{\text{шум/ехо}}$

(усередненого за 4000 відліками) від кількості відліків для оцінки ВКФ представлені на рисунку 3.3. Сімейство графіків відображає різні типи адитивної перешкоди. Для НМНСК таку залежність одержати неможливо.

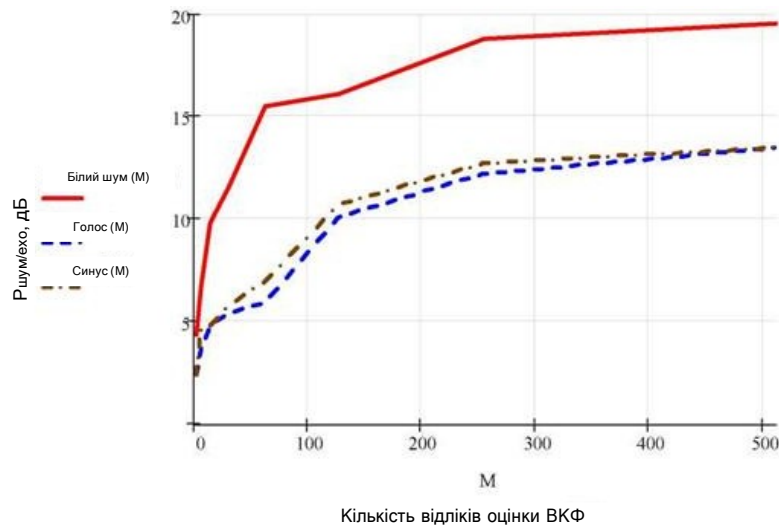


Рисунок 3.3 – Залежність показника  $p_{\text{шум/ехо}}$  від кількості відліків оцінки ВКФ для кореляційного алгоритму

Експерименти для НМНСК показали, що він має нижчу завадостійкість, порівняно з кореляційним алгоритмом. Тим не менш, з вибраним невеликим параметром адаптації ( $\xi = 0.001$ ) НМНСК виявляє помітну стійкість до перешкоди адитивного шуму (див. рис. 4.4). В умовах експерименту з білим шумом середній рівень залишкового ехосигналу виявляється на 12 дБ нижче рівня адитивного шуму. Однак при дії мовного або гармонійного адитивного сигналу показник шум/ехо значно падає. У середньому кореляційний алгоритм з оцінкою ВКФ за 256 відліками показав вигравш 5-7 дБ порівняно з алгоритмом НМНСК. Порівняння середніх показників шум/ехо для досліджуваних алгоритмів представлено рисунку 3.4:

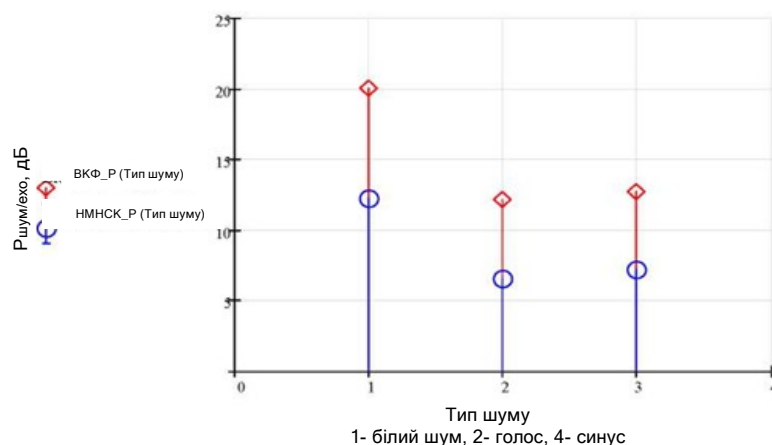


Рисунок 3.4 – Порівняння завадостійкості алгоритму НМНСК та кореляційного алгоритму ( $M = 256$ )

### 3.3 Дослідження впливу нелінійних спотворень ехосигналу

Практично будь-який ехотракт, сформований у реальних телекомунікаційних мережах, вносить нелінійні спотворення, оскільки підсилювальним елементам, природним чином, властива деяка нелінійність ВАХ. Цікавим моментом є виявлення ступеня впливу форми прохідної характеристики нелінійних елементів ехотракту на ступінь впливу нелінійних спотворень. Для виявлення цієї залежності було обрано дві різні прохідні характеристики нелінійного елемента. У першому випадку точка перегину прохідної характеристики лежить посередині динамічного діапазону сигналу (симетрично для негативних та позитивних значень сигналу). У другому випадку точка перегину зміщена ближче до нульового значення сигналу та відповідає одній п'ятій динамічного діапазону. Ехосигнал перед подачею на нелінійний елемент приводився до номінального рівня каналу зворотного напрямку передачі, після чого послаблювався до вихідного рівня. Негативний вплив нелінійних спотворень досліджувався для ехокомпенсаторів на основі кореляційного алгоритму та НМНСК. Для дослідження нелінійних спотворень параметри алгоритмів адаптації підібрані таким чином, щоб їхня швидкість адаптації була приблизно однаковою. Як активний сигнал обраний мовний сигнал, оскільки проблема нелінійних спотворень особливо актуальна для телефонних трактів передачі та акустичних ехотрактів. Для внесення нелінійних спотворень до ехосигналу використовується окремий елемент, що вносить зосереджену нелінійність. Подібний спосіб є найпростішим у реалізації та відповідає нагоді наявності в ехотракті зосередженої



нелінійності [12]. Структурна схема проведення дослідження представлена рисунку 3.6:

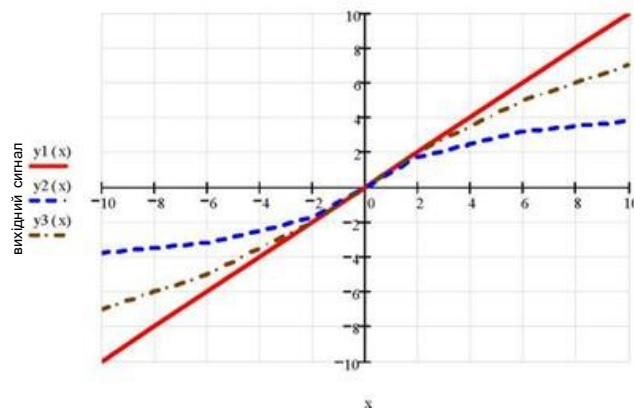
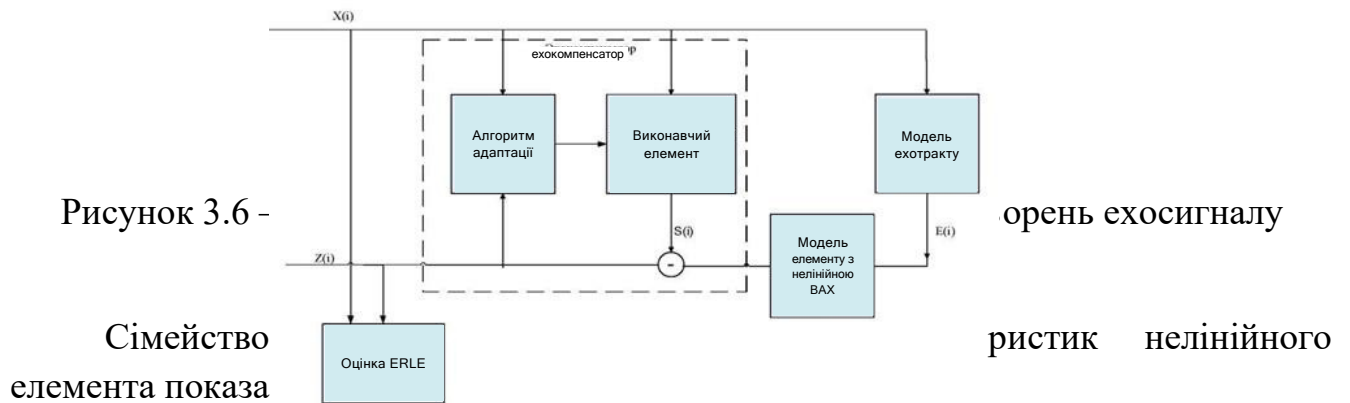


Рисунок 3.7 – Прохідні характеристики нелінійного елемента у відносних одиницях (амплітуда від -10 до +10)

Для оцінки впливу форми прохідної характеристики нелінійного елемента в рамках дослідження застосовуються прохідні характеристики з перегином у двох різних місцях динамічного діапазону (рис. 3.7) Коефіцієнт нелінійних спотворень контролюється за допомогою тестового синуса частотою 1020 Гц та рівнем 0дБ. Розрахунок коефіцієнта нелінійних спотворень проводиться за відомою формулою:

$$K_{\text{НЛ}} = \frac{\sqrt{\sum_{i=2}^{\infty} U_i^2}}{U_1} * 100, \% \quad (3.2)$$

Кількість відводів трансверсального фільтра дорівнює 8-ми. Параметри кореляційного алгоритму:  $M=64$ ,  $p=1000$ . Параметри НМНСК:  $M=128$ ,  $\xi=0.001$ . Тестовий активний сигнал аналогічний тестовому сигналу, який використовується для дослідження впливу адитивних шумів. Результати дослідження представлені у вигляді графіків залежності показника ERLE від коефіцієнта нелінійних спотворень, що вносяться ехотрактом для двох різних прохідних характеристик (ВАХ1, ВАХ2).

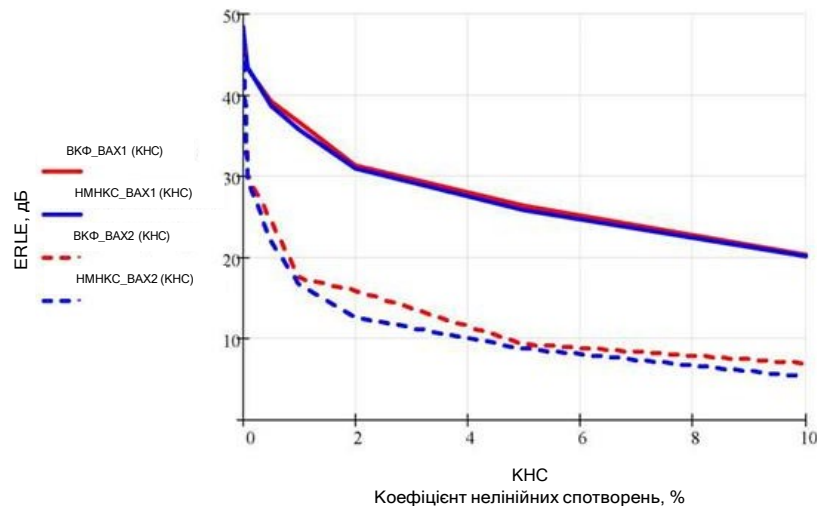


Рисунок 3.8 – Графік залежності ERLE від коефіцієнта нелінійних спотворень ехосигналу для кореляційного алгоритму та НМНСК

Як видно, експерименти показали результат, а саме залежність рівня придушення ехо від коефіцієнта нелінійних спотворень. З іншого боку, цікавішими результатами стала залежність рівня придушення ехосигналу від характеру спотворень. Зокрема, від того де в динамічному діапазоні лежить точка перегину прохідної властивості нелінійного елемента. Цей результат пояснюється тим, що обраний для експериментів мовний сигнал має значний пік фактор, внаслідок чого при зміщенні точки перегину у бік великих сигналів її вплив

швидко знижується. Окремо слід наголосити, що для кореляційного алгоритму і НМНСК істотних відмінностей у впливі НІ не виявлено.

### 3.4 Дослідження впливу параметричних змін ехотракту

Параметричні зміни ехотракту характерні для телефонних мереж. Найбільш поширені джерела параметричних змін в телефонній мережі є застарілі, але ще зустрічаються механічні комутаційні станції. Контакти декадно-крокових та координатних станцій мають нестабільний опір, який може змінюватись під впливом вібрацій та інших механічних впливів. Найчастіше джерелом вібрацій є шукач, що працює, розташований на одному стативі з контактом. Таке явище називається «мерехтіння контакту». Параметричні зміни імпульсної характеристики тракту передачі, викликані рухом шукача, можуть досягати швидкості 10 імпульсів за секунду [13]. З іншого боку, параметричні зміни – характерна проблема акустичних ехотрактів. Ці зміни можуть відбуватися, наприклад, якщо абонент користується гучним зв'язком і при цьому рухається по приміщенню. Особливістю параметричних впливів є те, що механізм їх впливу на пристрої компенсації ехосигналів дуже простий і полягає у розбіжності імпульсних характеристик виконавчого елемента та ехотракту за рахунок зміни ехотракту. Тому єдиним ефектом, який варто очікувати, є зниження загасання, що вноситься. При цьому наявність пам'яті кореляційного алгоритму про залишковий ехосигнал дає підстави вважати, що він зазнаватиме більшого впливу з боку параметричних змін, ніж алгоритм НМНСК. Методика дослідження впливу параметричних змін на роботу ехокомпенсаційних механізмів передбачає зміну одного відліку імпульсної характеристики ехотракту за заданим періодичним лінійним законом (функція типу "пила") або стрибкоподібно (меандр). З метою наочності відображення результатів експериментів, для випадку лінійної зміни відліку ехотракту була введена величина, що відображає збільшення відліку ехотракту  $L$  відліків активного сигналу. Для зосередженої нестационарності вона виглядає так:

$$V_{ET} = \frac{\Delta h_k}{L} \quad (3.3)$$

У цій формулі  $\Delta h_k$  – збільшення змінного відліку,  $L$  – половина періоду часу зміни відліку.

Параметри алгоритмів адаптації підібрані так, щоб їхня швидкість адаптації була приблизно однаковою. Оскільки проблема параметричних змін характерна для телефонних каналів зв'язку, логічно як активний сигнал вибрано мовний сигнал. Структурна схема проведення дослідження представлена рисунку нижче:

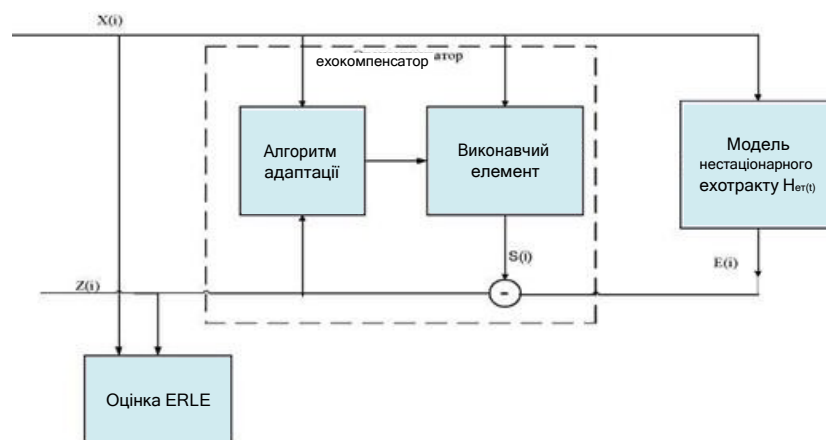


Рисунок 3.9 – Схема дослідження впливу параметричних впливів

Використовувана у дослідженні імпульсна характеристика ехотракту зображено рисунку 3.2. В рамках експериментів змінюється шостий відлік  $I_X$  заданим періодом, який буде обумовлений нижче у результатах експериментів. Зміна періоду, фактично, дозволяє реалізувати різну швидкість зміни ехотракту для випадку безперервних змін та періодичність дії при імпульсних змінах. Типовий графік зміни відліку у разі імпульсних та безперервних змін наведено на рисунку 3.10 (період 1600 відліків):

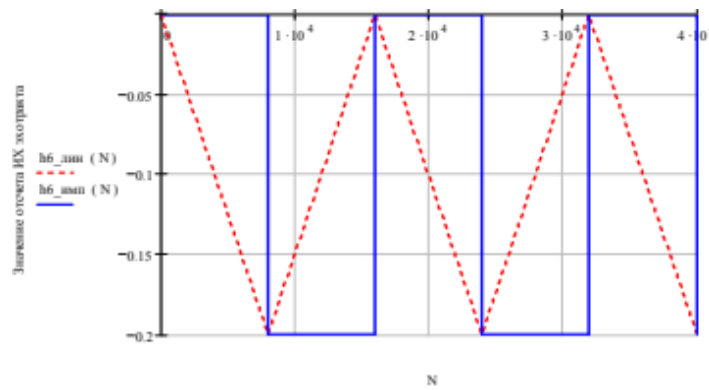


Рисунок 3.10 – Типові закони зміни відліку імпульсної характеристики ехотракту (імпульсні та безперервні зміни)

Для дослідження імпульсних параметричних впливів шостий відлік ІХ ехотракту змінюється з періодом  $72 \cdot 10^4$  відліків (90 секунд при частоті дискретизації 8кГц) від нульового значення до значення -0.2 та навпаки. Так як оцінка рівня придушення ехо у цьому разі не дуже інформативна, то результати наведені у вигляді осцилограми залишкового ехосигналу. Для безперервних параметричних впливів період та амплітуда зміни шостого відліку ІХ обумовлюються окремо. В якості контрольованого параметра виступає рівень придушення ехосигналу. Для найбільш наочного подання результатів при безперервних змінах, слід визначити таке поняття як швидкість зміни ехотракту, яку в рамках цих досліджень можна визначити як збільшення відліку імпульсної характеристики ехотракту за одиницю часу. Підставивши у формулу 3.3 номер зміни відліку отримаємо:

$$V_{ET} = \frac{\Delta h_6}{L} \quad \text{од/відлік} \quad (3.4)$$

Характеристики ехотракту та параметри ехокомпенсатора: кількість відводів трансверсального фільтра дорівнює 8-мі.

Параметри кореляційного алгоритму:  $M = 256$ ,  $p = 1000$ . Параметри НМНСК:  $M = 128$ ,  $\mu = 0.001$ .

Властивості активного сигналу: тестовий активний сигнал аналогічний тестовому сигналу, який використовується для дослідження впливу адитивних шумів. Результати дослідження для кореляційного алгоритму: осцилограма

залишкового ехосигналу при імпульсних впливах представлена на риунку 3.11. Для наочності залишковий ехосигнал посилено на 20 дБ (час у секундах, частота дискретизації 8кГц):

Рисунок 3.11 – Осцилограма залишкового ехосигналу

Результати дослідження для алгоритму НМНСК: осцилограма залишкового ехосигналу при імпульсних впливах представлена рисунку 3.12. Для наочності залишковий ехосигнал посилено на 20 дБ (час за секундами, частота дискретизації 8кГц).

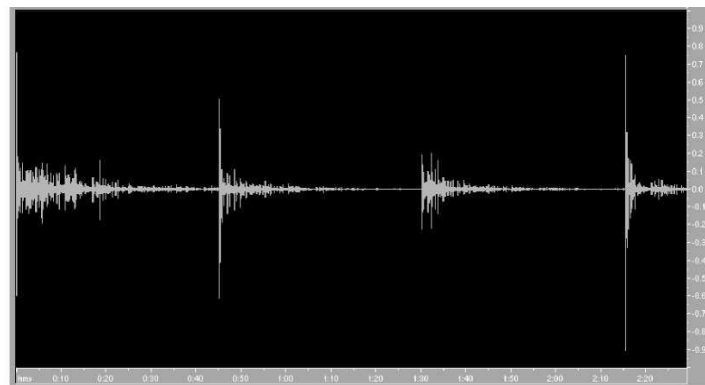


Рисунок 3.12 – Осцилограма залишкового ехосигналу

Для лінійної зміни ехотракту основними результатами стала залежність показника  $ERLE$  від  $V_{ET}$ :

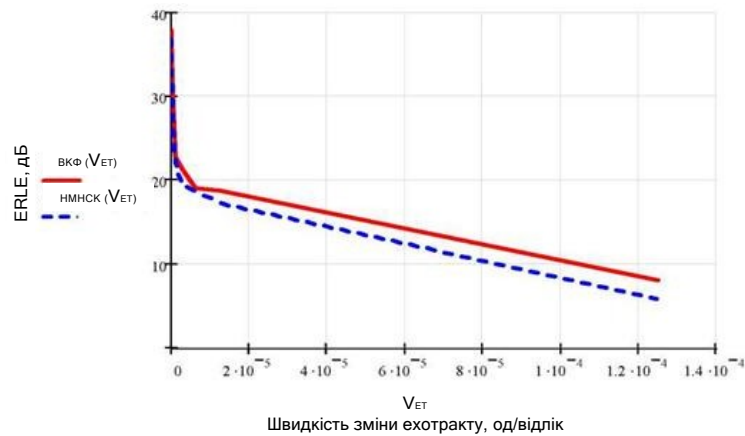


Рисунок 3.13 – Залежність ERLE від швидкості зміни відліку імпульсної характеристики ехотракту для кореляційного алгоритму та НМНСК

Слід зазначити, що при проведенні експерименту значної різниці в негативному впливі імпульсних параметричних впливів для НМНСК і кореляційного алгоритму не спостерігається. Результати експериментів підтверджують інтуїтивно зрозумілу і теоретично обґрунтовану залежність загасання, що вноситься, від швидкості зміни ехотракту. У разі імпульсної зміни ехотракту, ехокомпенсатор змушений налаштуватися на стрибком IX, що змінилося, що призводить до тимчасового підвищення рівня ехосигналу. При безперервних параметричних змін ехокомпенсатор відслідковує зміни імпульсної характеристики, а показник ERLE залежить від співвідношення швидкості адаптації ехокомпенсатора і швидкості зміни ехотракту.

### 3.5 Дослідження впливу статистичних характеристик активного сигналу на збіжність кореляційного алгоритму

Вибір умов проведення дослідження та очікуваної залежності: ігнорування внутрішніх кореляційних зв'язків у активному сигналі дає підстави вважати, що це негативно вплине на збіжності кореляційного алгоритму. Основним очікуваним результатом експериментів є залежність динаміки та стабільності збіжності від статистичних характеристик активного сигналу. З іншого боку, можна зробити припущення, що зі зростанням кількості коефіцієнтів

трансверсального фільтра обумовлена апроксимацією АКМ помилка зростатиме. Це повинно призводити до погіршення збіжності зі зростанням порядку фільтра, в умовах адаптації на автокорельованому сигналі. У межах дослідження впливу властивостей активного сигналу на динаміку адаптації параметри адаптації досліджуваних алгоритмів було підібрано те щоб швидкості збіжності алгоритмів були приблизно однакові. Імпульсна характеристика відповідає рисунку 3.2. В якості активного сигналу використовуються мовний сигнал та білий шум [12].

Схема проведення дослідження представлена на рисунку нижче:

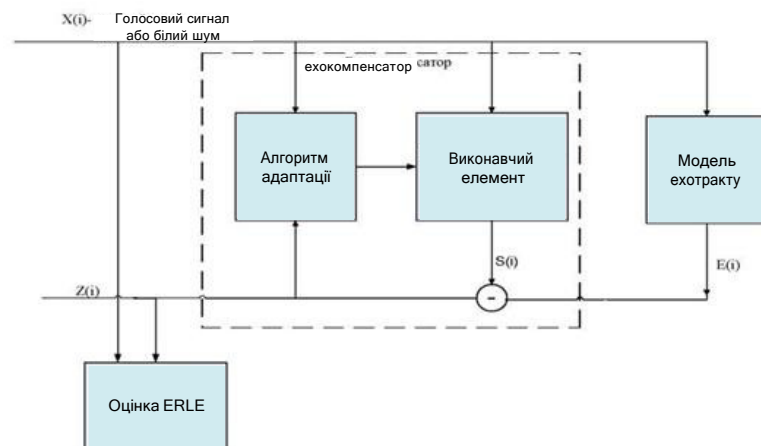


Рисунок 3.14 – Схема дослідження впливу статистичних характеристик активного сигналу

Метою досліджень у цьому розділі є з'ясування залежності динаміки адаптації від властивостей активного сигналу, тому в цьому експерименті спостерігається динаміка показника *ERLE*. Оцінка показника проводиться за 4000 відліків. Характеристики ехотракту та параметри ехокомпенсатора: Імпульсна характеристика ехотракту відповідає рисунку 4.2. Кількість відводів трансверсального фільтра дорівнює 8. Параметри кореляційного алгоритму:  $M=64$ ,  $p=1000$ . Параметри НМНСК:  $M=128$ ,  $\mu=0.001$ .

Властивості активного сигналу: тестовий активний сигнал аналогічний тестовому сигналу, який використовується для дослідження впливу адитивних шумів. В якості тестового шумоподібного сигналу використовується білий шум рівнем -6 дБ. Тривалості сигналів однакові. Для проведення досліджень залежності збіжності від кількості коефіцієнтів фільтра застосовувалася імпульсна



характеристика, зображена рисунку 3.2. Варто наголосити, що ця імпульсна характеристика дуже коротка, тому в умовах експериментів ехокомпенсатор має надмірну кількість відводів (від 1 до 249). Надмірність кількості відведеннь трансверсального фільтра необхідна для наочної демонстрації впливу саме «зайвих» відводів, а не форми і тривалості значної частини імпульсної характеристики ехотракту. Активний сигнал – мовний сигнал. Для кожного дослідженого кількості коефіцієнтів фільтра параметри адаптації обох алгоритмів підбиралися таким чином, щоб швидкість адаптації була якомога більшою. Спроби подальшого збільшення швидкості адаптації призводить до втрати стабільності збіжності.

Таблиця 3.6 – Динаміка адаптації на білому шумі кореляційного алгоритму

Номер ітерації	$0.8 \cdot 10^4$	$1.6 \cdot 10^4$	$2.4 \cdot 10^4$	$3.2 \cdot 10^4$	$4 \cdot 10^4$	$4.8 \cdot 10^4$	$5.6 \cdot 10^4$	$6.4 \cdot 10^4$	$7.2 \cdot 10^4$
ERLE, дБ	7	19.7	36.3	52.6	67.1	69.1	70	69.8	69.9
Номер ітерації	$8 \cdot 10^4$	$8.8 \cdot 10^4$	$9.6 \cdot 10^4$	$10.4 \cdot 10^4$	$11.2 \cdot 10^4$	$12 \cdot 10^4$	$12.8 \cdot 10^4$	$13.6 \cdot 10^4$	$14.4 \cdot 10^4$
ERLE, дБ	69.8	69.8	69.4	69.1	69.6	69.8	69.5	69.7	69.6
Номер ітерації	15.2	16	16.8	17.6	18.4	19.2	20	20.8	21.6
ERLE, дБ	$69.8 \cdot 10^4$	$69.3 \cdot 10^4$	$69.7 \cdot 10^4$	$69.7 \cdot 10^4$	$69.5 \cdot 10^4$	$69.9 \cdot 10^4$	$69.6 \cdot 10^4$	$69.7 \cdot 10^4$	$69.8 \cdot 10^4$

Таблиця 3.8 – Динаміка адаптації на білому шумі алгоритму НМНСК

Номер ітерації	$0.8 \cdot 10^4$	$1.6 \cdot 10^4$	$2.4 \cdot 10^4$	$3.2 \cdot 10^4$	$4 \cdot 10^4$	$4.8 \cdot 10^4$	$5.6 \cdot 10^4$	$6.4 \cdot 10^4$	$7.2 \cdot 10^4$
ERLE, дБ	6.7	19	36.5	53.3	67.6	69.1	65.1	69.8	69.2
Номер ітерації	$8 \cdot 10^4$	$8.8 \cdot 10^4$	$9.6 \cdot 10^4$	$10.4 \cdot 10^4$	$11.2 \cdot 10^4$	$12 \cdot 10^4$	$12.8 \cdot 10^4$	$13.6 \cdot 10^4$	$14.4 \cdot 10^4$
ERLE, дБ	69.8	69.8	69.4	69.6	69.9	69.1	69.4	69.7	69.8
Номер ітерації	$15.2 \cdot 10^4$	$16 \cdot 10^4$	$16.8 \cdot 10^4$	$17.6 \cdot 10^4$	$18.4 \cdot 10^4$	$19.2 \cdot 10^4$	$20 \cdot 10^4$	$20.8 \cdot 10^4$	$21.6 \cdot 10^4$
ERLE, дБ	69.3	69.3	69.5	69.7	69.5	69.4	69.5	69.3	69.9

Результати дослідження динаміки адаптації ехокомпенсаторів на мовному сигналі та білому шумі представлені рисунку 3.15.

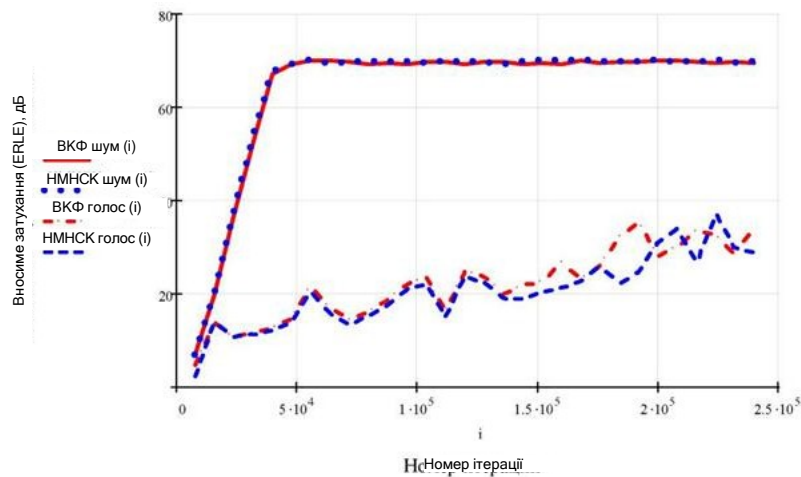


Рисунок 3.15 – Динаміка адаптації на мовному сигналі та білому шумі  
для кореляційного алгоритму та НМНСК

З наведеного графіка видно, що при адаптації на мовному сигналі показник *ERLE* зростає значно повільніше, ніж із адаптації на білому шумі, і супроводжується досить великими пульсаціями. Це цілком узгоджується з очікуваними результатами. Додатково варто відзначити, що динаміка показника *ERLE* багато в чому збігається у обох алгоритмах (при приблизно рівній швидкості адаптації). Дослідження впливу кількості коефіцієнтів трансверсального фільтра на стабільність збіжності алгоритмів адаптації підтвердили очікувану залежність. На малюнку 3.16 наведено типові графіки залежності мінімальної кількості ітерацій для досягнення бажаного *ERLE* та мінімального параметра адаптації, при якому ехокомпенсатор сходиться від кількості відводів фільтра. Канонічна формула для НМНСК показує розташування параметра адаптації в чисельнику, тому з метою наочності уявлення результатів на графіці відображено зворотню величину, тобто для НМНСК  $p_{min}=1/\mu_{max}$ . Для кореляційного алгоритму  $M = 64$ .

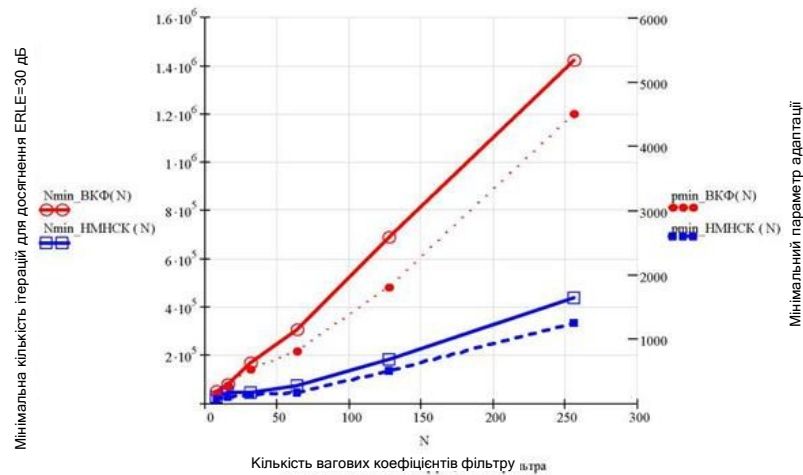


Рисунок 3.16 – Мінімальна кількість ітерацій та мінімальний допустимий параметр адаптації в залежності від кількості ВК фільтра

З рисунка 3.16 видно, що максимально можлива швидкість адаптації залежить від кількості відводів трансверсального фільтра згідно із законом близьким до лінійного. Ще одним цікавим результатом є той факт, що за інших рівних максимальна швидкість адаптації кореляційного алгоритму ( $M = 64$ ) виявилася значно нижчою, ніж при використанні алгоритму НМНСК.

### 3.6 Вплив пауз в активному сигналі на динаміку адаптації

Паузи є природними для мовного сигналу. Тому у якості активного сигналу обрано мовний сигнал. Для посилення ефекту пауз і усунення нівелюючого ефекту досить потужного фонового шуму приміщення, який мав місце при записі тестового сигналу, у обраний раніше активний сигнал додані штучні паузи тривалістю 8000 відліків, які йдуть з інтервалом в 32000 відліків. Для імітації шумів підсилювачів в каналах зв'язку, експерименти проводяться з достатньо невеликим (- 60 дБ) рівнем адитивного шуму в ехотракті і тракті прямого напрямку передачі. Експерименти проводяться без використання детектора активного сигналу у складі ехокомпенсатора [10].

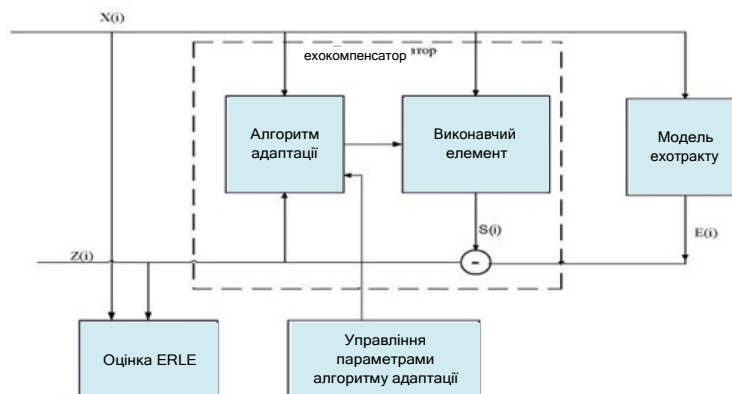


Рисунок 3.17 – Схема дослідження впливу пауз активному сигналі

Як величини для спостереження розумно вибрати показник ERLE відразу після дії паузи, що оцінюється на інтервалі часу тривалістю 800 відліків. Дослідження впливу пауз проводяться тільки для ехокомпенсатора, який використовує кореляційний алгоритм адаптації. Параметри ехокомпенсаторів та характеристики ехотракту: Кількість відводів трансверсального фільтра дорівнює 8. Параметри кореляційного алгоритму:  $M=64$ ,  $p=1000$ . Тестовий сигнал: для експериментів використовується тестовий сигнал, який був описаний при дослідженні впливу адитивного шуму, але з додаванням штучних пауз тривалістю 8000 відліків, які впливають з інтервалом у 40000 відліків. У трактах прямого та зворотного напрямку присутній адитивний шум рівнем -70 дБ.

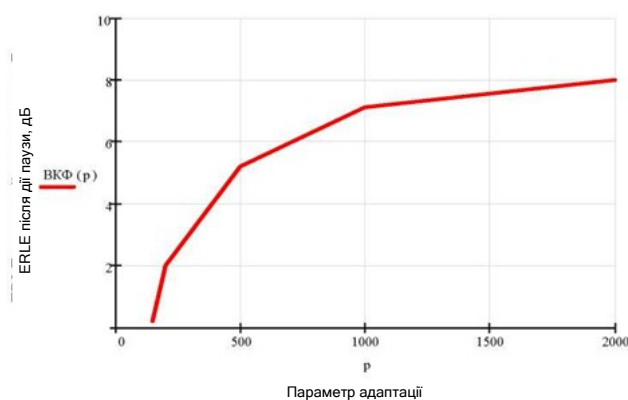


Рисунок 3.18 – Залежність ERLE відразу після паузи від параметра адаптації ( $M=64$ ) для кореляційного алгоритму

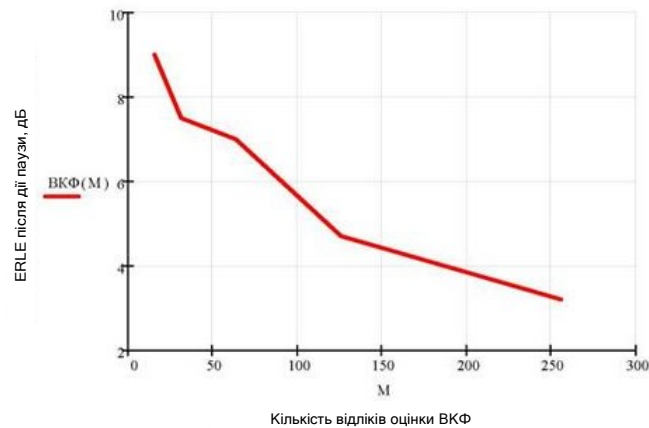


Рисунок 3.19 – Залежність ERLE одразу після дії паузи від часу обчислення ВКФ ( $p = 1000$ ) для кореляційного алгоритму

Як видно, зі зростанням кількості відліків оцінки ВКФ та зменшення параметра адаптації вплив пауз зростає, що цілком співпадає з очікуваними результатами.

### 3.7 Вплив пам'яті про залишковий ехосигнал на динаміку та стабільність збіжності

Кореляційний алгоритм використовує апроксимацію сигналу реальним залишковим ехосигналом. Це призводить до системної помилки оцінки вектора збільшення коефіцієнтів фільтра. Природньо, що зі зростанням кількості відліків, що беруть участь в оцінці ВКФ, помилка, зумовлена апроксимацією, повинна зростати. Тому найбільш очікуваною залежністю є вплив пам'яті кореляційного алгоритму на швидкість його збіжності. Для оцінки швидкості збіжності використовуються такі критерії, як і при дослідженні залежності швидкості збіжності від кількості коефіцієнтів фільтра. Активний сигнал – мовний сигнал.

Дослідження впливу пам'яті рекурсивних алгоритмів адаптації проводилося для алгоритму НМНСК та кореляційного алгоритму. Слід зазначити, що обидва досліджувані алгоритми мають пам'ять про сигнали що використовуються. Алгоритм НМНСК, зважаючи на нормування кроку адаптації на дисперсію

активного сигналу, має пам'ять про цей сигнал, а кореляційний алгоритм, крім цього, має пам'ять про залишковий ехосигнал.

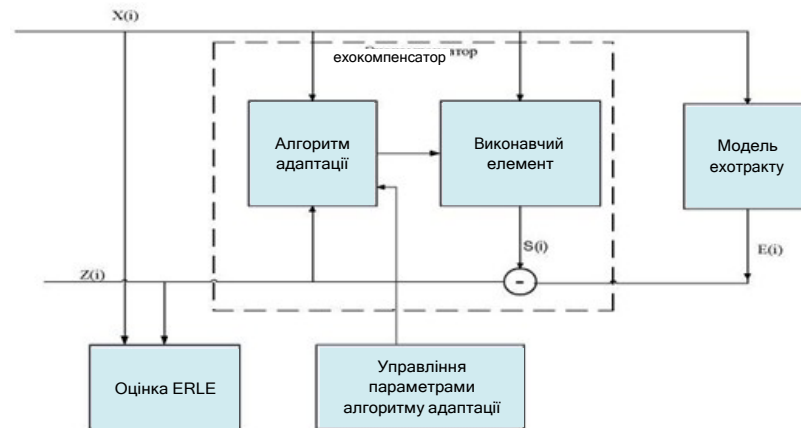


Рисунок 3.20 – Схема дослідження впливу пам'яті алгоритму на стабільність його збіжності

Необхідно визначити вплив пам'яті рекурсивних алгоритмів адаптації на стабільність та максимальну швидкість збіжності механізмів компенсації ехосигналів. Обидва досліджувані алгоритми адаптації мають пам'ять. Алгоритм НМНСК через нормування кроку адаптації на потужність сигналу має пам'ять про сигнал прямого напрямку передачі, а кореляційний алгоритм, крім цього, має пам'ять про залишковий ехосигнал. Таким чином, у цьому пункті, розумно вести пошук мінімального часу адаптації та мінімального параметра адаптації в залежності від часу обчислення цих параметрів при фіксованому кількості відводів трансверсального фільтра.

Характеристики ехотракту та параметри ехокомпенсатора: кількість відводів трансверсального фільтра – 8. Час оцінки ВКФ та дисперсії ( $M$ ) – змінюються. Параметри адаптації ( $\rho$ ,  $\mu$ ) підлягають визначенню. Тестовий активний сигнал аналогічний тестовому сигналу, який використовується для дослідження впливу адитивних шумів.

Результати дослідження представлені рисунку 3.11. Так як канонічна формула для НМНСК має на увазі розташування параметра адаптації в

чисельнику, то з метою наочності подання результатів на графіку відображена зворотна величина, тобто для НМНСК  $\rho_{\text{тП}} = 1/P_{\text{тах}}$  •

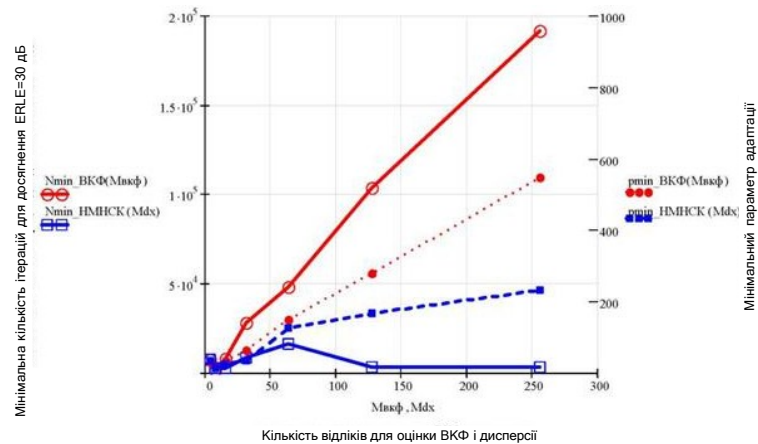


Рисунок 3.21 – Мінімальна кількість ітерацій та мінімальний допустимий параметр адаптації

З даного графіка видно, що мінімально можливий час адаптації (у відліках) та мінімальний допустимий параметр адаптації для кореляційного алгоритму практично лінійно зростають у міру зростання пам'яті алгоритму залишкового ехосигналу. У цей час, для алгоритму НМНСК не простежується чіткої залежності мінімального часу адаптації від пам'яті алгоритму про активний сигнал. При цьому зі зростанням кількості прийнятих до уваги для розрахунку дисперсії відліків активного сигналу дещо зростає мінімальне значення параметра адаптації. На завершення слід зазначити, що у більшості корисних практичних випадків кореляційний алгоритм показує значно меншу швидкість збіжності, ніж алгоритм НМНСК.

### 3.8 Дослідження впливу форми імпульсної характеристики ехотракту на динаміку адаптації

Відповідно до аналізу впливу автокореляційних зв'язків в активному сигналі, крім АКМ сигналу та кількості відводів фільтра, на динаміку адаптації має впливати форма імпульсної характеристики ехотракту. Для дослідження

цього впливу було обрано чотири імпульсні характеристики, які відбиралися за двома критеріями: тривалість значної частини та кількість точок відображення. Так, перша імпульсна характеристика (IX1) – має тривалість 8 відліків і одну точку відображення. Друга (IX2) – тривалість 256 відліків та одну точку відображення. Третя (IX3) – тривалість 256 відліків та чотири точки відображення. Четверта (G.168) – це найбільш складна серед рекомендованих у G.168 імпульсна характеристика. Вона має близько 100 ненульових відліків та загальну тривалість рівну 127 відліків. Рівень ехосигналу завжди приблизно однаковий (різниця не перевищує 2 дБ).

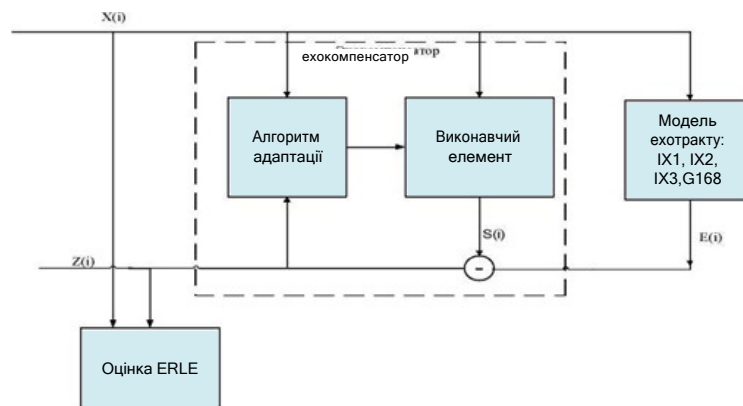


Рисунок 3.22 – Схема дослідження впливу імпульсної форми характеристики ехотракту

Метою досліджень є виявлення залежності динаміки адаптації від форми та тривалості імпульсної характеристики ехотракту. Для досліджень вибрано чотири імпульсні характеристики. Відрізняються ці імпульсні характеристики кількістю точок відображення та максимальною кінцевою затримкою. Для зручності відображення результатів; імпульсні характеристики пронумеровані.

Параметри ехокомпенсаторів. Так як в експерименті передбачається використання ехотрактів з досить великою кінцевою затримкою, то для забезпечення незмінності параметрів алгоритмів адаптації слід використовувати ехокомпенсатор з кількістю відводів дорівнює 256. Такий ехокомпенсатор стабільний при наступних параметрах алгоритмів адаптації (згідно з



дослідженням залежності стабільності збіжності від порядку трансверсального фільтра): Параметри кореляційного алгоритму:  $M = 64$ ,  $p = 4500$ . Параметри НМНСК:  $M = 256$ ,  $\mu = 0.0008$ . Тестовий активний сигнал аналогічний тестовому сигналу, який був використаний для дослідження впливу адитивних шумів. Для дослідження впливу форми короткої імпульсної характеристики, обрані такі реалізації:

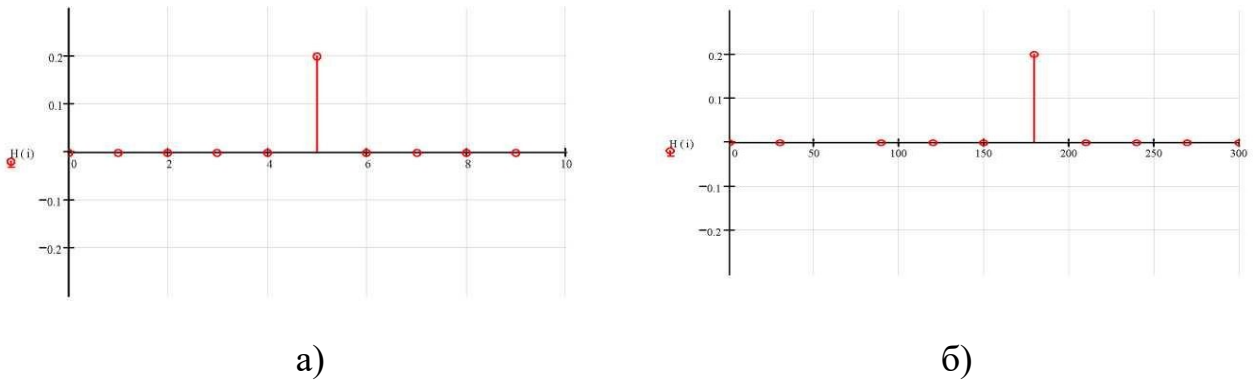


Рисунок 3.23 – а) Коротка імпульсна характеристика з однією точкою відображення; б) Довга імпульсна характеристика з однією точкою відображення.

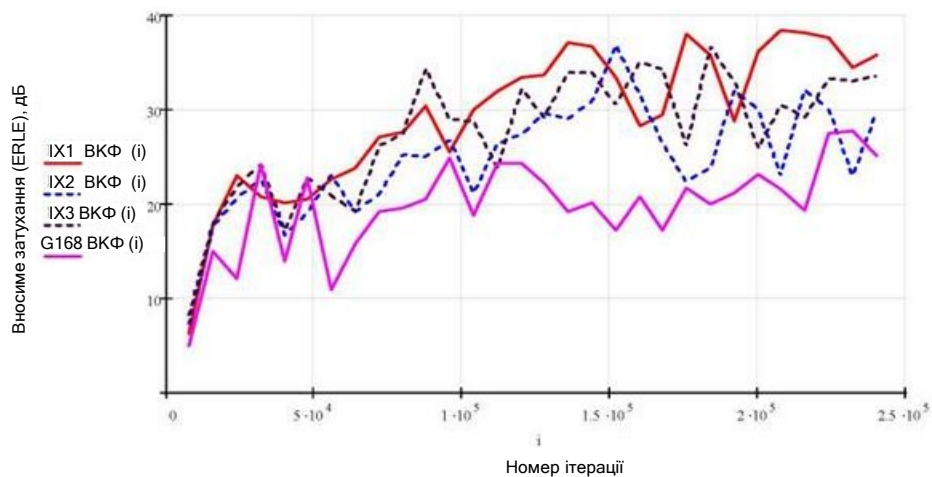


Рисунок 3.27 – Динаміка адаптації кореляційного алгоритму

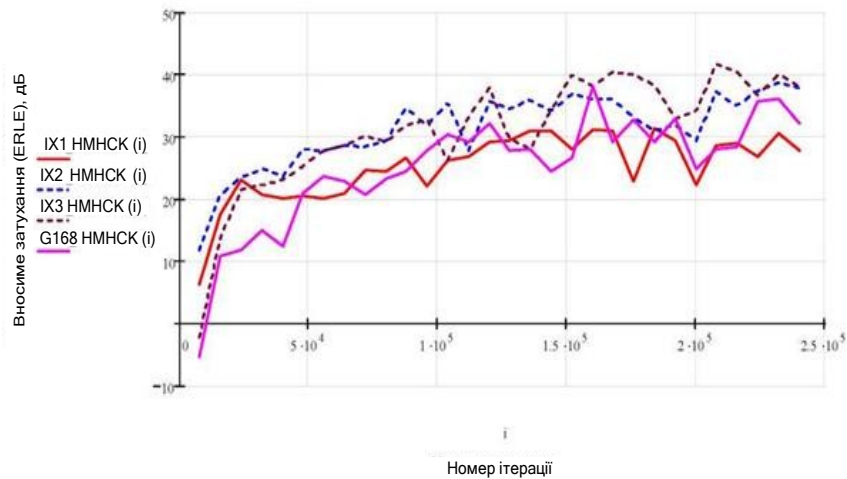


Рисунок 3.28 – Динаміка адаптації алгоритму НМНСК

З рисунків 3.27 і 3.28 видно, що динаміка показника *ERLE* залежить від форми імпульсної характеристики ехотракту, пульсації рівня придушення відлуння всіх чотирьох графіків не повторюються. кореляційного алгоритму простежується більш виражена залежність динаміки від форми імпульсної характеристики ехотракту. У разі складної імпульсної характеристики (згідно з G.168) швидкість адаптації помітно нижча порівняно з відносно простими імпульсними характеристиками.

### 3.9 Висновки до розділу

1. Дослідження показали, що алгоритм НМНСК виявляє суттєву завадостійкість до впливу адитивного шуму. При цьому кореляційний алгоритм має більшу завадостійкість, ніж алгоритм НМНСК. Виграш у стійкості до перешкод залежить від кількості відліків, що беруть участь в оцінці ВКФ для кореляційного алгоритму.

2. Завадостійкість кореляційного алгоритму залежить від часу обчислення ВКФ, параметра адаптації та статистичних характеристик адитивної перешкоди.

3. Вплив нелінійних спотворень в основному проявляється в обмеженні загасання, що вноситься. Ступінь впливу нелінійних спотворень залежить як від коефіцієнта гармонік, а й від особливостей ВАХ нелінійного елемента.

4. У разі безперервних параметричних змін ехотракту ступінь їх впливу визначається співвідношенням швидкості адаптації ехокомпенсатора та швидкості зміни ехотракту.

5. У разі імпульсних параметричних впливів підвищення рівня ехосигналу неминуче. Ступінь негативного впливу імпульсних параметричних впливів залежить від швидкості адаптації ехокомпенсатора.

6. При адаптації на мовному сигналі кореляційний алгоритм у переважній більшості випадків значно поступається швидкості збіжності алгоритму НМНСК.

7. Наявність пауз в активному сигналі призводить до значного зниження показника ERLE після закінчення її дії. Для кореляційного алгоритму ступінь впливу пауз підвищується зі зростанням швидкості адаптації та пам'яті алгоритму про залишковий ехосигнал. Окремо слід підкреслити важливу роль у механізмі впливу пауз адитивних шумів у трактах прямого та зворотного напрямку передачі.

8. Детектор активного сигналу в цілому вирішує проблему впливу пауз, але проблема може виявлятися у разі великої швидкості адаптації.

9. Для обох досліджуваних алгоритмів адаптації простежується вплив форми імпульсної характеристики динаміку адаптації ехокомпенсатора. Але для кореляційного алгоритму цей вплив більш виражений, ніж для НМНСК.

## 4 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ТА АНАЛІЗ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ

Виконання науково-дослідної роботи завжди передбачає отримання певних результатів і вимагає відповідних витрат. Результати виконаної роботи завжди дають нам нові знання, які в подальшому можуть бути використані для удосконалення та/або розробки (побудови) нових, більш продуктивних зразків техніки, процесів та програмного забезпечення.

Дослідження на тему «Компенсаційне придушення ехосигналів в телекомунікаційних каналах зв'язку на основі адаптивного кореляційного алгоритму» може бути віднесено до фундаментальних і пошукових наукових досліджень і спрямоване на вирішення наукових проблем, пов'язаних з практичним застосуванням. Основою таких досліджень є науковий ефект, який виражається в отриманні наукових результатів, які збільшують обсяг знань про природу, техніку та суспільство, які розвивають теоретичну базу в тому чи іншому науковому напрямку, що дозволяє виявити нові закономірності, які можуть використовуватися на практиці.

Для цього випадку виконаємо такі етапи робіт:

- 1) здійснимо проведення наукового аудиту досліджень, тобто встановлення їх наукового рівня та значимості;
- 2) проведемо планування витрат на проведення наукових досліджень;
- 3) здійснимо розрахунок рівня важливості наукового дослідження та перспективності, визначимо ефективність наукових досліджень.

### 4.1 Оцінювання наукового ефекту

Основними ознаками наукового ефекту науково-дослідної роботи є новизна роботи, рівень її теоретичного опрацювання, перспективність, рівень розповсюдження результатів, можливість реалізації. Науковий ефект НДР на тему «Компенсаційне придушення ехосигналів в телекомунікаційних каналах зв'язку

на основі адаптивного кореляційного алгоритму» можна охарактеризувати двома показниками: ступенем наукової новизни та рівнем теоретичного опрацювання.

Значення показників ступеня новизни і рівня теоретичного опрацювання науково-дослідної роботи в балах наведені в табл. 4.1 та 4.2.

Таблиця 4.1 – Показники ступеня новизни науково-дослідної роботи виставлені експертами

Ступінь новизни	Характеристика ступеня новизни	Значення ступеня новизни, бали		
		Експерти (ПІБ, посада)		
		1	2	3
Принципово нова	Робота якісно нова за постановкою задачі і ґрунтується на застосуванні оригінальних методів дослідження. Результати дослідження відкривають новий напрям в даній галузі науки і техніки. Отримані принципово нові факти, закономірності; розроблена нова теорія. Створено принципово новий пристрій, спосіб, метод	0	66	0
Нова	Отримана нова інформація, яка суттєво зменшує невизначеність наявних значень (по-новому або вперше пояснені відомі факти, закономірності, впроваджені нові поняття, розкрита структура змісту). Проведено суттєве вдосконалення, доповнення і уточнення раніше досягнутих результатів	60	0	59
Відносно нова	Робота має елементи новизни в постановці задачі і методах дослідження. Результати дослідження систематизують і узагальнюють наявну інформацію, визначають шляхи подальших досліджень; вперше знайдено зв'язок (або знайдено новий зв'язок) між явищами. В принципі відомі положення розповсюджені на велику кількість об'єктів, в результаті чого знайдено ефективне рішення. Розроблені більш прості способи для досягнення відомих результатів. Проведена часткова раціональна модифікація (з ознаками новизни)	0	0	0
Традиційна	Робота виконана за традиційною методикою. Результати дослідження мають інформаційний характер. Підтверджені або поставлені під сумнів відомі факти та твердження, які потребують перевірки. Знайдено новий варіант рішення, який не дає суттєвих переваг в порівнянні з існуючим	0	0	0
Не нова	Отримано результат, який раніше зафіксований в інформаційному полі, та не був відомий авторам	0	0	0
<b>Середнє значення балів експертів</b>		<b>61,7</b>		

Згідно отриманого середнього значення балів експертів ступінь новизни характеризується як принципово нова, тобто робота якісно нова за постановкою задачі і ґрунтується на застосуванні оригінальних методів дослідження.

Таблиця 4.2 – Показники рівня теоретичного опрацювання науково-дослідної роботи виставлені експертами

Характеристика рівня теоретичного опрацювання	Значення показника рівня теоретичного опрацювання, бали		
	Експерт (ПШБ, посада)		
	1	2	3
Відкриття закону, розробка теорії	0	0	0
Глибоке опрацювання проблеми: багатоаспектний аналіз зв'язків, взаємозалежності між фактами з наявністю пояснень, наукової систематизації з побудовою евристичної моделі або комплексного прогнозу	62	64	61
Розробка способу (алгоритму, програми), пристрою, отримання нової речовини	0	0	0
Елементарний аналіз зв'язків між фактами та наявною гіпотезою, класифікація, практичні рекомендації для окремого випадку тощо	0	0	0
Опис окремих елементарних фактів, викладення досвіду, результатів спостережень, вимірювань тощо	0	0	0
<b>Середнє значення балів експертів</b>	<b>62,3</b>		

Згідно отриманого середнього значення балів експертів рівень теоретичного опрацювання науково-дослідної роботи характеризується як глибоке опрацювання проблеми: багатоаспектний аналіз зв'язків, взаємозалежності між фактами з наявністю пояснень, наукової систематизації з побудовою евристичної моделі або комплексного прогнозу.

Показник, який характеризує рівень наукового ефекту, визначаємо за формулою [14]:

$$E_{\text{нау}} = 0,6 \cdot k_{\text{нов}} + 0,4 \cdot k_{\text{теор}}, \quad (4.1)$$

де  $k_{нов}$ ,  $k_{теор}$  – показники ступеня новизни та рівня теоретичного опрацювання науково-дослідної роботи,  $k_{нов} = 61,7$ ,  $k_{теор} = 62,3$  балів;

0,6 та 0,4 – питома вага (значимість) показників ступеня новизни та рівня теоретичного опрацювання науково-дослідної роботи.

$$E_{нау} = 0,6 \cdot k_{нов} + 0,4 \cdot k_{теор} = 0,6 \cdot 61,7 + 0,4 \cdot 62,33 = 61,93 \text{ балів.}$$

Визначення характеристики показника  $E_{нау}$  проводиться на основі висновків експертів виходячи з граничних значень, які наведені в табл. 4.3.

Таблиця 4.3 – Граничні значення показника наукового ефекту

Досягнутий рівень показника	Кількість балів
Високий	70...100
Середній	50...69
Достатній	15...49
Низький (помилкові дослідження)	1...14

Відповідно до визначеного рівня наукового ефекту проведеної науково-дослідної роботи на тему «Компенсаційне придушення ехосигналів в телекомунікаційних каналах зв'язку на основі адаптивного кореляційного алгоритму», даний рівень становить 61,93 балів і відповідає статусу - середній рівень. Тобто у даному випадку можна вести мову про потенційну фактичну ефективність науково-дослідної роботи.

#### 4.2 Розрахунок витрат на здійснення науково-дослідної роботи

Витрати, пов'язані з проведенням науково-дослідної роботи на тему «Компенсаційне придушення ехосигналів в телекомунікаційних каналах зв'язку на основі адаптивного кореляційного алгоритму», під час планування, обліку і калькулювання собівартості науково-дослідної роботи групуємо за відповідними статтями.

#### 4.2.1 Витрати на оплату праці

До статті «Витрати на оплату праці» належать витрати на виплату основної та додаткової заробітної плати керівникам відділів, лабораторій, секторів і груп, науковим, інженерно-технічним працівникам, конструкторам, технологам, креслярам, копіювальникам, лаборантам, робітникам, студентам, аспірантам та іншим працівникам, безпосередньо зайнятим виконанням конкретної теми, обчисленої за посадовими окладами, відрядними розцінками, тарифними ставками згідно з чинними в організаціях системами оплати праці.

##### Основна заробітна плата дослідників

Витрати на основну заробітну плату дослідників ( $Z_o$ ) розраховуємо у відповідності до посадових окладів працівників, за формулою [14]:

$$Z_o = \sum_{i=1}^k \frac{M_{ni} \cdot t_i}{T_p}, \quad (4.2)$$

де  $k$  – кількість посад дослідників залучених до процесу досліджень;

$M_{ni}$  – місячний посадовий оклад конкретного дослідника, грн;

$t_i$  – число днів роботи конкретного дослідника, дн.;

$T_p$  – середнє число робочих днів в місяці,  $T_p=21$  дні.

$$Z_o = 13200,00 \cdot 24 / 21 = 15085,71 \text{ грн.}$$

Проведені розрахунки зведемо до таблиці.

Таблиця 4.4 – Витрати на заробітну плату дослідників

Найменування посади	Місячний посадовий оклад, грн	Оплата за робочий день, грн	Число днів роботи	Витрати на заробітну плату, грн
1. Керівник проекту	13200,00	628,57	24	15085,71
2. Ст. науковий співробітник	12850,00	611,90	21	12850,00
3. Інженер розробник телекомунікаційних систем	11550,00	550,00	21	11550,00
4. Лаборант	6750,00	321,43	18	5785,71
5. Інженер-програміст програмно-конфігурованої мережі	11500,00	547,62	15	8214,29
6. Технік	6950,00	330,95	18	5957,14
Всього				59442,86

Основна заробітна плата робітників



Витрати на основну заробітну плату робітників ( $Z_p$ ) за відповідними найменуваннями робіт НДР на тему «Компенсаційне придушення ехосигналів в телекомунікаційних каналах зв'язку на основі адаптивного кореляційного алгоритму» розраховуємо за формулою:

$$Z_p = \sum_{i=1}^n C_i \cdot t_i, \quad (4.3)$$

де  $C_i$  – погодинна тарифна ставка робітника відповідного розряду, за виконану відповідну роботу, грн/год;

$t_i$  – час роботи робітника при виконанні визначеної роботи, год.

Погодинну тарифну ставку робітника відповідного розряду  $C_i$  можна визначити за формулою:

$$C_i = \frac{M_M \cdot K_i \cdot K_c}{T_p \cdot t_{зм}}, \quad (4.4)$$

де  $M_M$  – розмір прожиткового мінімуму працездатної особи, або мінімальної місячної заробітної плати (в залежності від діючого законодавства), приймемо  $M_M=6700,00$  грн;

$K_i$  – коефіцієнт міжкваліфікаційного співвідношення для встановлення тарифної ставки робітнику відповідного розряду (табл. Б.2, додаток Б) [14];

$K_c$  – мінімальний коефіцієнт співвідношень місячних тарифних ставок робітників першого розряду з нормальними умовами праці виробничих об'єднань і підприємств до законодавчо встановленого розміру мінімальної заробітної плати.

$T_p$  – середнє число робочих днів в місяці, приблизно  $T_p = 21$  дн;

$t_{зм}$  – тривалість зміни, год.

$$C_i = 6700,00 \cdot 1,35 \cdot 1,65 / (21 \cdot 8) = 88,83 \text{ грн.}$$

$$Z_{p1} = 88,83 \cdot 12,00 = 1066,02 \text{ грн.}$$

Таблиця 4.5 – Величина витрат на основну заробітну плату робітників

Найменування робіт	Тривалість роботи, год	Розряд роботи	Тарифний коефіцієнт	Погодинна тарифна ставка, грн	Величина оплати на робітника грн
1. Організація робочого місця розробника	12,00	3	1,35	88,83	1066,02
2. Інсталяція програмного забезпечення моделювання процесів в телекомунікаційних каналах зв'язку на основі адаптивного кореляційного алгоритму	16,00	5	1,70	111,87	1789,86
3. Організація експерименту з компенсаційного придушення ехосигналів	24,00	5	1,70	111,87	2684,79
4. Формування бази даних дослідження	24,00	3	1,35	88,83	2132,04
5. Розміщення обладнання	8,00	4	1,50	98,71	789,64
Всього					8462,34

Додаткова заробітна плата дослідників та робітників

Додаткову заробітну плату розраховуємо як 10 ... 12% від суми основної заробітної плати дослідників та робітників за формулою:

$$Z_{\text{дод}} = (Z_o + Z_p) \cdot \frac{H_{\text{дод}}}{100\%}, \quad (4.5)$$

де  $H_{\text{дод}}$  – норма нарахування додаткової заробітної плати. Прийmemo 11%.

$$Z_{\text{дод}} = (59442,86 + 8462,34) \cdot 11 / 100\% = 7469,57 \text{ грн.}$$

#### 4.2.2 Відрахування на соціальні заходи

Нарахування на заробітну плату дослідників та робітників розраховуємо як 22% від суми основної та додаткової заробітної плати дослідників і робітників за формулою:

$$Z_n = (Z_o + Z_p + Z_{\text{дод}}) \cdot \frac{H_{\text{zn}}}{100\%} \quad (4.6)$$

де  $H_{zn}$  – норма нарахування на заробітну плату. Приймаємо 22%.

$$Z_n = (59442,86 + 8462,34 + 7469,57) \cdot 22 / 100\% = 16582,45 \text{ грн.}$$

#### 4.2.3 Сировина та матеріали

До статті «Сировина та матеріали» належать витрати на сировину, основні та допоміжні матеріали, інструменти, пристрої та інші засоби і предмети праці, які придбані у сторонніх підприємств, установ і організацій та витрачені на проведення досліджень за темою «Компенсаційне придушення ехосигналів в телекомунікаційних каналах зв'язку на основі адаптивного кореляційного алгоритму».

Витрати на матеріали на даному етапі проведення досліджень в основному пов'язані з використанням моделей елементів та моделювання роботи і досліджень за допомогою комп'ютерної техніки та створення експериментальних математичних моделей або програмного забезпечення, тому дані витрати формуються на основі витратних матеріалів характерних для офісних робіт.

Витрати на матеріали ( $M$ ), у вартісному вираженні розраховуються окремо по кожному виду матеріалів за формулою:

$$M = \sum_{j=1}^n H_j \cdot C_j \cdot K_j - \sum_{j=1}^n B_j \cdot C_{ej}, \quad (4.7)$$

де  $H_j$  – норма витрат матеріалу  $j$ -го найменування, кг;

$n$  – кількість видів матеріалів;

$C_j$  – вартість матеріалу  $j$ -го найменування, грн/кг;

$K_j$  – коефіцієнт транспортних витрат, ( $K_j = 1,1 \dots 1,15$ );

$B_j$  – маса відходів  $j$ -го найменування, кг;

$C_{ej}$  – вартість відходів  $j$ -го найменування, грн/кг.

$$M_1 = 4,00 \cdot 289,00 \cdot 1,11 - 0,000 \cdot 0,00 = 1283,16 \text{ грн.}$$

Проведені розрахунки зведемо до таблиці.

Таблиця 4.6 – Витрати на матеріали

Найменування матеріалу, марка, тип, сорт	Ціна за 1 кг, грн	Норма витрат, кг	Величина відходів, кг	Ціна відходів, грн/кг	Вартість витраченого матеріалу, грн
Папір офісний А4	289,00	4,00	-	-	1283,16
Папір для записів А5	160,00	4,00	-	-	710,40
Диск оптичний (CD-R)	22,00	4,00	-	-	97,68
Органайзер офісний	150,00	4,00	-	-	666,00
Канцелярське приладдя	230,00	4,00	-	-	1021,20
Картридж змінний Canon	910,00	2,00	-	-	2020,20
FLASH-пам'ять 64G	660,00	1,00	-	-	732,60
Всього					6531,24

#### 4.2.4 Розрахунок витрат на комплектуючі

Витрати на комплектуючі ( $K_6$ ), які використовують при проведенні НДР на тему «Компенсаційне придушення ехосигналів в телекомунікаційних каналах зв'язку на основі адаптивного кореляційного алгоритму», розраховуємо, згідно з їхньою номенклатурою, за формулою:

$$K_6 = \sum_{j=1}^n H_j \cdot C_j \cdot K_j \quad (4.8)$$

де  $H_j$  – кількість комплектуючих  $j$ -го виду, шт.;

$C_j$  – покупна ціна комплектуючих  $j$ -го виду, грн;

$K_j$  – коефіцієнт транспортних витрат, ( $K_j = 1,1 \dots 1,15$ ).

$$K_6 = 1 \cdot 5680,00 \cdot 1,11 = 6304,80 \text{ грн.}$$

Проведені розрахунки зведемо до таблиці.

Таблиця 4.7 – Витрати на комплектуючі

Найменування комплектуючих	Кількість, шт.	Ціна за штуку, грн	Сума, грн
Джерело сигналу каналу зв'язку	1	5680,00	6304,80
Кодер	1	3250,00	3607,50
Модулятор	1	4685,00	5200,35
Передавач сигналу каналу зв'язку	1	3680,00	4084,80
Приймач сигналу каналу зв'язку	1	4900,00	5439,00
Демодулятор	1	4300,00	4773,00
Декодер	1	3500,00	3885,00
Імітатор отримувача інформації	1	2600,00	2886,00
Програмно-корегований імітатор мережі	1	6500,00	7215,00
Всього			43395,45

#### 4.2.5 Спецустаткування для наукових (експериментальних) робіт

До статті «Спецустаткування для наукових (експериментальних) робіт» належать витрати на виготовлення та придбання спецустаткування необхідного для проведення досліджень, також витрати на їх проектування, виготовлення, транспортування, монтаж та встановлення.

Балансову вартість спецустаткування розраховуємо за формулою:

$$B_{\text{спец}} = \sum_{i=1}^k C_i \cdot C_{\text{пр.і}} \cdot K_i, \quad (4.9)$$

де  $C_i$  – ціна придбання одиниці спецустаткування даного виду, марки, грн;

$C_{\text{пр.і}}$  – кількість одиниць устаткування відповідного найменування, які придбані для проведення досліджень, шт.;

$K_i$  – коефіцієнт, що враховує доставку, монтаж, налагодження устаткування тощо, ( $K_i = 1, 10 \dots 1, 12$ );

$k$  – кількість найменувань устаткування.

$$B_{\text{спец}} = 13250,00 \cdot 1 \cdot 1,11 = 14707,50 \text{ грн.}$$

Отримані результати зведемо до таблиці:

Таблиця 4.8 – Витрати на придбання спецустаткування по кожному виду

Найменування устаткування	Кількість, шт	Ціна за одиницю, грн	Вартість, грн
---------------------------	---------------	----------------------	---------------

Термінал (імітатор навантаження)	1	13250,00	14707,50
Термінал (імітатор приймача)	1	6800,00	7548,00
Генератор завад	1	9560,00	10611,60
Всього			32867,10

#### 4.2.6 Програмне забезпечення для наукових (експериментальних) робіт

До статті «Програмне забезпечення для наукових (експериментальних) робіт» належать витрати на розробку та придбання спеціальних програмних засобів і програмного забезпечення, (програм, алгоритмів, баз даних) необхідних для проведення досліджень, також витрати на їх проектування, формування та встановлення.

Балансову вартість програмного забезпечення розраховуємо за формулою:

$$B_{npz} = \sum_{i=1}^k C_{inprz} \cdot C_{npz.i} \cdot K_i, \quad (4.10)$$

де  $C_{inprz}$  – ціна придбання одиниці програмного засобу даного виду, грн;

$C_{npz.i}$  – кількість одиниць програмного забезпечення відповідного найменування, які придбані для проведення досліджень, шт.;

$K_i$  – коефіцієнт, що враховує інсталяцію, налагодження програмного засобу тощо, ( $K_i = 1, 10 \dots 1, 12$ );

$k$  – кількість найменувань програмних засобів.

$$B_{npz} = 8430,00 \cdot 1 \cdot 1,1 = 9273,00 \text{ грн.}$$

Отримані результати зведемо до таблиці:

Таблиця 4.9 – Витрати на придбання програмних засобів по кожному виду

Найменування програмного засобу	Кількість, шт	Ціна за одиницю, грн	Вартість, грн
ОС Windows	1	8430,00	9273,00
Прикладний пакет Microsoft Office	1	7850,00	8635,00
Пакет Visual System Simulator	1	6100,00	6710,00
Пакет Microwave Office	1	6900,00	7590,00
Пакет Matlab 2020	1	5860,00	6446,00
Всього			38654,00

#### 4.2.7 Амортизація обладнання, програмних засобів та приміщень

В спрощеному вигляді амортизаційні відрахування по кожному виду обладнання, приміщень та програмному забезпеченню тощо, розраховуємо з використанням прямолінійного методу амортизації за формулою:

$$A_{обл} = \frac{Ц_б}{T_г} \cdot \frac{t_{вик}}{12}, \quad (4.11)$$

де  $Ц_б$  – балансова вартість обладнання, програмних засобів, приміщень тощо, які використовувались для проведення досліджень, грн;

$t_{вик}$  – термін використання обладнання, програмних засобів, приміщень під час досліджень, місяців;

$T_г$  – строк корисного використання обладнання, програмних засобів, приміщень тощо, років.

$$A_{обл} = (23850,00 \cdot 2) / (4 \cdot 12) = 993,75 \text{ грн.}$$

Проведені розрахунки зведемо до таблиці.

Таблиця 4.10 – Амортизаційні відрахування по кожному виду обладнання

Найменування обладнання	Балансова вартість, грн	Строк корисного використання, років	Термін використання обладнання, місяців	Амортизаційні відрахування, грн
Комп'ютеризований програмно-аналітичний комплекс	23850,00	4	2	993,75
Метрологічний комплекс	11320,00	4	2	471,67
Програмне забезпечення підтримки мереж	15320,00	4	2	638,33
Місце оператора спеціалізоване	9565,00	6	2	265,69
Офісна оргтехніка	12505,00	6	2	347,36
Дослідницька лабораторія	375000,00	25	2	2500,00
Всього				5216,81

## 4.2.8 Паливо та енергія для науково-виробничих цілей

Витрати на силову електроенергію ( $B_e$ ) розраховуємо за формулою:

$$B_e = \sum_{i=1}^n \frac{W_{yi} \cdot t_i \cdot C_e \cdot K_{eni}}{\eta_i}, \quad (4.12)$$

де  $W_{yi}$  – встановлена потужність обладнання на визначеному етапі розробки, кВт;

$t_i$  – тривалість роботи обладнання на етапі дослідження, год;

$C_e$  – вартість 1 кВт-години електроенергії, грн; (вартість електроенергії визначається за даними енергопостачальної компанії), прийmemo  $C_e = 6,12$  грн;

$K_{eni}$  – коефіцієнт, що враховує використання потужності,  $K_{eni} < 1$ ;

$\eta_i$  – коефіцієнт корисної дії обладнання,  $\eta_i < 1$ .

$$B_e = 0,12 \cdot 80,0 \cdot 6,12 \cdot 0,95 / 0,97 = 58,75 \text{ грн.}$$

Проведені розрахунки зведемо до таблиці.

Таблиця 4.11 – Витрати на електроенергію

Найменування обладнання	Встановлена потужність, кВт	Тривалість роботи, год	Сума, грн
Джерело сигналу каналу зв'язку	0,12	80,0	58,75
Кодер	0,01	80,0	4,90
Модулятор	0,02	80,0	9,79
Передавач сигналу каналу зв'язку	0,02	80,0	9,79
Приймач сигналу каналу зв'язку	0,02	80,0	9,79
Демодулятор	0,05	80,0	24,48
Декодер	0,03	80,0	14,69
Генератор завад	0,12	80,0	58,75
Комп'ютеризований програмно-аналітичний комплекс	0,56	180,0	616,90
Метрологічний комплекс	0,42	120,0	308,45
Всього			1116,29



#### 4.2.9 Службові відрядження

До статті «Службові відрядження» дослідної роботи на тему «Компенсаційне придушення ехосигналів в телекомунікаційних каналах зв'язку на основі адаптивного кореляційного алгоритму» належать витрати на відрядження штатних працівників, працівників організацій, які працюють за договорами цивільно-правового характеру, аспірантів, зайнятих розробленням досліджень, відрядження, пов'язані з проведенням випробувань машин та приладів, а також витрати на відрядження на наукові з'їзди, конференції, наради, пов'язані з виконанням конкретних досліджень.

Витрати за статтею «Службові відрядження» розраховуємо як 20...25% від суми основної заробітної плати дослідників та робітників за формулою:

$$B_{cv} = (Z_o + Z_p) \cdot \frac{H_{cv}}{100\%}, \quad (4.13)$$

де  $H_{cv}$  – норма нарахування за статтею «Службові відрядження», прийmemo  $H_{cv} = 20\%$ .

$$B_{cv} = (59442,86 + 8462,34) \cdot 20 / 100\% = 13581,04 \text{ грн.}$$

#### 4.2.10 Витрати на роботи, які виконують сторонні підприємства, установи і організації

Витрати за статтею «Витрати на роботи, які виконують сторонні підприємства, установи і організації» розраховуємо як 30...45% від суми основної заробітної плати дослідників та робітників за формулою:

$$B_{cn} = (Z_o + Z_p) \cdot \frac{H_{cn}}{100\%}, \quad (4.14)$$

де  $H_{cn}$  – норма нарахування за статтею «Витрати на роботи, які виконують сторонні підприємства, установи і організації», прийmemo  $H_{cn} = 45\%$ .

$$B_{cn} = (59442,86 + 8462,34) \cdot 45 / 100\% = 30557,34 \text{ грн.}$$

#### 4.2.11 Інші витрати

До статті «Інші витрати» належать витрати, які не знайшли відображення у зазначених статтях витрат і можуть бути віднесені безпосередньо на собівартість досліджень за прямими ознаками.

Витрати за статтею «Інші витрати» розраховуємо як 50...100% від суми основної заробітної плати дослідників та робітників за формулою:

$$I = (Z_o + Z_p) \cdot \frac{H_{ib}}{100\%}, \quad (4.15)$$

де  $H_{ib}$  – норма нарахування за статтею «Інші витрати», прийmemo  $H_{ib} = 60\%$ .

$$I = (59442,86 + 8462,34) \cdot 60 / 100\% = 40743,12 \text{ грн.}$$

#### 4.2.12 Накладні (загальновиробничі) витрати

До статті «Накладні (загальновиробничі) витрати» належать: витрати, пов'язані з управлінням організацією; витрати на винахідництво та раціоналізацію; витрати на підготовку (перепідготовку) та навчання кадрів; витрати, пов'язані з набором робочої сили; витрати на оплату послуг банків; витрати, пов'язані з освоєнням виробництва продукції; витрати на науково-технічну інформацію та рекламу та ін.

Витрати за статтею «Накладні (загальновиробничі) витрати» розраховуємо як 100...150% від суми основної заробітної плати дослідників та робітників за формулою:

$$B_{нзв} = (Z_o + Z_p) \cdot \frac{H_{нзв}}{100\%}, \quad (4.16)$$

де  $H_{нзв}$  – норма нарахування за статтею «Накладні (загальновиробничі) витрати», прийmemo  $H_{нзв} = 125\%$ .

$$B_{нзв} = (59442,86 + 8462,34) \cdot 125 / 100\% = 84881,50 \text{ грн.}$$

Витрати на проведення науково-дослідної роботи на тему «Компенсаційне придушення ехосигналів в телекомунікаційних каналах зв'язку на основі адаптивного кореляційного алгоритму» розраховуємо як суму всіх попередніх статей витрат за формулою:

$$B_{заг} = Z_o + Z_p + Z_{доо} + Z_n + M + K_v + B_{спец} + B_{прз} + A_{обл} + B_e + B_{св} + B_{сп} + I_v + B_{нзв}. \quad (4.17)$$

$$B_{заг} = 59442,86 + 8462,34 + 7469,57 + 16582,44897 + 6531,24 + 43395,45 + 32867,10 + 38654,00 + 5216,81 + 1116,29 + 13581,04 + 30557,34 + 40743,12 + 84881,50 = 389501,09 \text{ грн.}$$

Загальні витрати  $3B$  на завершення науково-дослідної (науково-технічної) роботи та оформлення її результатів розраховується за формулою:

$$3B = \frac{B_{заг}}{\eta}, \quad (4.18)$$

де  $\eta$  - коефіцієнт, який характеризує етап (стадію) виконання науково-дослідної роботи, прийmemo  $\eta = 0,85$ .

$$3B = 389501,09 / 0,85 = 458236,58 \text{ грн.}$$

#### 4.3 Оцінювання важливості та наукової значимості науково-дослідної роботи

Оцінювання та доведення ефективності виконання науково-дослідної роботи фундаментального чи пошукового характеру є достатньо складним процесом і часто базується на експертних оцінках, тому має вірогідний характер.

Для обґрунтування доцільності виконання науково-дослідної роботи на тему «Компенсаційне придушення ехосигналів в телекомунікаційних каналах зв'язку на основі адаптивного кореляційного алгоритму» використовується спеціальний комплексний показник, що враховує важливість, результативність роботи, можливість впровадження її результатів у виробництво, величину витрат на роботу.

Комплексний показник  $K_p$  рівня науково-дослідної роботи може бути розрахований за формулою:

$$K_p = \frac{I^n \cdot T_c \cdot R}{B \cdot t}, \quad (4.19)$$

де  $I$  – коефіцієнт важливості роботи. Прийmemo  $I = 4$ ;

$n$  – коефіцієнт використання результатів роботи;  $n = 0$ , коли результати роботи не будуть використовуватись;  $n = 1$ , коли результати роботи будуть використовуватись частково;  $n = 2$ , коли результати роботи будуть використовуватись в дослідно-конструкторських розробках;  $n = 3$ , коли результати можуть використовуватись навіть без проведення дослідно-конструкторських розробок. Прийmemo  $n = 2$ ;

$T_c$  – коефіцієнт складності роботи. Прийmemo  $T_c = 3$ ;

$R$  – коефіцієнт результативності роботи; якщо результати роботи плануються вище відомих, то  $R = 4$ ; якщо результати роботи відповідають відомому рівню, то  $R = 3$ ; якщо нижче відомих результатів, то  $R = 1$ . Прийmemo  $R = 4$ ;

$B$  – вартість науково-дослідної роботи, тис. грн. Прийmemo  $B = 458236,58$  грн;

$t$  – час проведення дослідження. Прийmemo  $t = 0,17$  років, (2 міс.).

Визначення показників  $I$ ,  $n$ ,  $T_c$ ,  $R$ ,  $B$ ,  $t$  здійснюється експертним шляхом або на основі нормативів [14].

$$K_p = \frac{I^n \cdot T_c \cdot R}{B \cdot t} = 4^2 \cdot 3 \cdot 4 / 458,2 \cdot 0,17 = 2,51.$$

Якщо  $K_p > 1$ , то науково-дослідну роботу на тему «Компенсаційне придушення ехосигналів в телекомунікаційних каналах зв'язку на основі адаптивного кореляційного алгоритму» можна вважати ефективною з високим науковим, технічним і економічним рівнем.

#### 4.4 Висновок до розділу

Витрати на проведення науково-дослідної роботи на тему «Компенсаційне придушення ехосигналів в телекомунікаційних каналах зв'язку на основі адаптивного кореляційного алгоритму» складають 458236,58 грн. Відповідно до проведеного аналізу та розрахунків рівень науково-економічного ефекту проведеної науково-дослідної роботи на тему «Компенсаційне придушення ехосигналів в телекомунікаційних каналах зв'язку на основі адаптивного кореляційного алгоритму» є середній, а дослідження актуальними, рівень доцільності виконання науково-дослідної роботи  $K_p > 1$ , що свідчить про потенційну ефективність з високим науковим, технічним і економічним рівнем.

## 5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

Усім імовірним виробничим аваріям і травмам можна й потрібно запобігати. Для цього необхідно подбати про створення на підприємстві належних і безпечних умов праці.

Охорона праці — це система правових, соціально-економічних, організаційно-технічних, санітарно-гігієнічних і лікувально-профілактичних заходів та засобів, спрямованих на збереження життя, здоров'я і працездатності людини у процесі трудової діяльності (ст. 1 Закону України «Про охорону праці»).

Складові (напрями) охорони праці регламентуються відповідними нормативними документами або системою нормативних документів. Наприклад, правові питання — Кодексом законів про працю; санітарно-гігієнічні та лікувально-профілактичні — санітарними нормами і правилами (нормативні документи мають шифр ДСН, ДСанПіН, ДСП тощо); організаційно-технічні — нормативні документи мають шифр НПАОП, державні (національні) стандарти України (нормативні документи мають шифр ДСТУ, ГОСТ, ДБН тощо) та технічні регламенти безпеки; соціально-економічні — закони, постанови Кабінету Міністрів України тощо.

«Повне або часткове копіювання будь-яких матеріалів сайту, цитування, публікація їх анотованих оглядів допускаються лише за письмового дозволу редакції сайту Служба охорони праці

Розробка компенсаційного придушення ехосигналів в телекомунікаційних каналах зв'язку на основі адаптивного кореляційного алгоритму відбувається в приміщенні, яке обладнане комп'ютеризованими робочими місцями. На розробника, згідно ГОСТ 12.0.003-74 [15], можуть мати вплив такі небезпечні та шкідливі виробничі фактори:

1. Фізичні: підвищена запиленість та загазованість повітря робочої зони; підвищений рівень шуму на робочому місці; підвищена чи понижена вологість

повітря; підвищений рівень статичної електрики; підвищений рівень електромагнітного випромінювання; недостатня освітленість робочої зони.

2. Психофізіологічні: розумове перевантаження; перенапруга аналізаторів; статичне перевантаження.

Відповідно до визначених факторів формуємо рішення щодо безпечного виконання роботи під час розробки

## 5.1 Технічні рішення з безпечного виконання робіт

### 5.1.1 Вимоги безпеки під час роботи з екранними пристроями (ПК)

Робочі місця з ПК розміщуються на відстані не менше 1 м від стін зі світловими прорізами.

Відстань між бічними поверхнями моніторів має бути не меншою за 1,2 м.

Відстань між тильною поверхнею одного монітора та екраном іншого не повинна бути меншою 2,5 м.

Прохід між рядами робочих місць має бути не меншим 1 м.

Висота робочої поверхні столу для монітора має бути в межах 680–800 мм, а ширина –забезпечувати можливість виконання операцій в зоні досяжності моторного поля. Рекомендовані розміри столу: висота –725 мм, ширина –600–1400 мм, глибина –800–1000 мм.

Екран монітора та клавіатура мають розташовуватися на оптимальній відстані від очей користувача, але не ближче 600 мм, з урахуванням розміру алфавітно-цифрових знаків та символів (таблиця 5.1).

Таблиця 5.1 Відстань від екрана до ока працівника

Розмір екрану по діагоналі	Відстань від екрана до ока працівник, мм
35/38 см	600-700
43 см	700-800
48 см	800-900
53 см	900-1000

### 5.1.2 Електробезпека

Для забезпечення електробезпеки застосовують окремо або у поєднанні один з іншим наступні технічні способи та засоби: захисне заземлення, занулення.

Захисним заземленням називається навмисний електричний контакт із землею або її еквівалентом металевих не струмоведучих частин, які можуть опинитися під напругою при замиканні на корпус та через інші причини. Завдання захисного заземлення – усунення небезпеки ураження струмом у випадку доторкання до корпусу та інших струмоведучих металевих частин електроустановки, що опинилися під напругою. Захисне заземлення застосовують у трифазних мережах з ізольованою нейтраллю.

Принцип дії захисного заземлення – зменшення напруги між корпусом, що опинився під напругою, та землею до безпечно значення. У якості провідників заземлення дозволяється використовувати різні металеві конструкції: ферми, шахти ліфтів, підйомників, сталеві труби електропроводок, відкрито прокладені стаціонарні трубопроводи різного призначення (крім трубопроводів горючих та вибухонебезпечних газів, каналізації і центрального опалення).

Зануленням називається навмисне електричне з'єднання з нульовим захисним провідником металевих не струмоведучих частин, які можуть опинитися під напругою внаслідок замикання на корпус та через інші причини. Завдання занулення – усунення небезпеки ураження струмом у випадку контакту з корпусом та іншими не струмоведучими металевими частинами електроустановки, що опинилися під напругою внаслідок замикання на корпус. Вирішується це завдання швидким вимкненням пошкодженої електроустановки із мережі. Принцип дії занулення – перетворення замикання на корпус в однофазне коротке замикання (тобто замикання між фазними та нульовими проводами) з метою викликати більший струм, здатний забезпечити спрацювання захисту і цим самим автоматично вимкнути пошкоджену установку із мережі живлення. Таким захистом можуть бути плавкі запобіжники, магнітні пускачі з тепловим захистом, контактори у поєднанні з тепловими реле, автомати, що здійснюють захист одночасно від струмів короткого замикання та від перевантаження.



Класифікація приміщень за категоріями електробезпеки залежно від мікроклімату виробничих будівель. Допустимими визнаються умови праці у будівлях, де відносна вологість повітря не перевищує 60%, температура повітря не перевищує 35 °С, а пил та хімічно агресивне середовище – відсутні. За таких умов праці мікроклімат вважається сухим. Вологими називаються умови роботи, де відносна вологість повітря становить від 60% до 75%. Сирі – це такі умови, які характеризуються відносною вологістю повітря в будівлі більшою за 75%. Особливо сирі умови – це умови, із майже сто відсотковою відносною вологістю повітря. Гарячими умовами праці є становище, при якому температура повітря перевищує 35 °С. Запиленими визнаються умови, при яких виділяється велика кількість виробничого пилу, внаслідок чого він може залишатись на зовнішніх поверхнях або навіть проникати у середину обладнання чи апаратів. До умов праці з хімічно активним середовищем відносять умови, при яких у повітрі протягом тривалого часу залишаються гази або краплі рідин, які негативно впливають на ізолюючі властивості і струмопровідні елементи електричних інструментів.

Для дотримання електробезпеки потрібно слідкувати, щоб усі електропристрої були заземлені, всі розетки були марковані та дотримувались в приміщенні відповідних мікрокліматичних умов.

## 5.2 Технічні рішення з гігієни праці та виробничої санітарії

### 5.2.1 Мікроклімат

Згідно ДСН 3.3.6.042-99 «Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень» [16] мікроклімат виробничих приміщень – умови внутрішнього середовища цих приміщень, що впливають на тепловий обмін працюючих з оточенням шляхом конвекції, кондукції, теплового випромінювання та випаровування вологи. Ці умови визначаються поєднанням температури, відносної вологості та швидкості руху повітря, температури оточуючих людину поверхонь та інтенсивністю теплового (інфрачервоного) опромінення.

Мікроклімат виробничих приміщень нормується в залежності від теплових характеристик виробничого приміщення, категорії робіт по важкості і періоду року.

Робота розробника відноситься до категорії 1а [16].

Допустимі параметри мікроклімату для категорії 1а наведені в табл. 5.2.

Таблиця 5.2 – Параметри мікроклімату

Період року	Допустимі		
	t, °C	W, %	V, м/с
Теплий	22-28	55	0,1-0,2
Холодний	21-25	75	0,1

Для забезпечення необхідних за нормативами параметрів мікроклімату в приміщенні передбачено парова система опалення та система припливно-втяжної вентиляції. Раз за зміну здійснюється вологе прибирання та за необхідності – провітрювання через вікна та двері.

### 5.2.2 Склад повітря робочої зони

При виконанні даного виду робіт немає небезпеки виділення шкідливих речовин у повітря, але потрібен контроль за складом повітря робочої зони та при збільшенні допустимих норм проводити заходи, щодо усунення надлишку шкідливих речовин.

Для забезпечення складу повітря робочої зони передбачені наступні рішення:

- застосування пиловідсмоктуючих агрегатів з рукавними фільтрами, які встановлені безпосередньо на ділянках біля обладнання із яких очищене повітря поступає у виробниче приміщення;
- необхідно проводити контроль за ГДК шкідливих речовин у приміщенні;
- застосовувати природну вентиляцію: організовану і неорганізовану.

### 5.2.3 Виробниче освітлення

Відповідно до ДБН В.2.5-28:2018 [17] Система природного освітлення відноситься до бокової. Характеристика зорових робіт – середньої точності.

Норми освітленості при штучному освітленні та КПО (для Шпоєса світлового клімату) при природному та сумісному освітленні зазначені у таблиці 5.3.

Таблиця 5.3 - Норми освітленості в приміщенні

Характеристика зорової роботи	Найменший розмір об'єкта розрізювання	Розряд зорової роботи	Підрозряд зорової роботи	Контраст об'єкта розрізнення з фоном	Характеристика фона	Освітленість, лк		КПО, %			
						Штучне освітлення		Природне освітлення		Сумісне освітлення	
						Комбіноване	Загальне	Верхнє або верхнє	Бокове	Верхнє або верхнє і бокове	Бокове
Середньої точності	Від 0,5 до 1,0	IV	б	середній	середній	200	500	4	1,5	2,4	0,9

При експлуатації штучного освітлення здійснюється контроль за рівнем напруги освітлювальної мережі, своєчасна заміна перегорілих ламп, забезпечується чистота повітря у приміщенні.

Для забезпечення достатнього освітлення слід максимально використовувати бічне природного освітлення, систематично очищувати скло від бруду та систематично замінювати перегорілі лампи.

### 5.2.4 Виробничий шум

Стандартного визначення поняття шуму немає. З гігієнічної точки зору під шумом розуміють несприятливе поєднання різних за частотою і силою звуків, які впливають на організм людини, заважаючи працювати і відпочивати.

За фізичною сутністю шум — це механічне коливання частот пружного середовища, що виникає під дією будь-якої збуджуючої сили. При цьому звуком називають регулярні періодичні коливання, шумом — неперіодичні, випадкові коливальні процеси.

Звук або шум виникає при механічних коливаннях у твердих, рідких та газоподібних середовищах. Звуки, що передаються будівельними конструкціями, називаються структурними, а ті що поширюються у повітряному середовищі, прийнято називати повітряним шумом. Будь-який небажаний звук називають шумом. Шум шкідливий для здоров'я, зменшує працездатність, підвищує рівень небезпеки. Тому необхідно передбачати заходи захисту від шуму. А для цього потрібно володіти відповідними знаннями. Як правило, шум нас дратує: заважає працювати, відпочивати, думати. Але шум може впливати і позитивно. Такий вплив на людину чинить, наприклад, шелест листя дерев, помірний стукіт дощових крапель, рокіт морського прибою. Позитивний вплив спокійної приємної музики відомий з давніх часів. Тому різноманітні оздоровчі процедури супроводжуються спокійною симфонічною або блюзовою музикою.

Нормативним документом, який регламентує рівні шуму для різних категорій робочих місць службових приміщень, є ДСН 3.3.6.037-99 [18]. За цими нормами рівень шуму не може перевищувати 65 Дб.

Існують такі способи боротьби з шумом механічного походження та вібрацією:

- зменшення шуму та вібрації безпосередньо в джерелах їх виникнення, застосовуючи обладнання, що не утворює шуму, замінюючи ударні технологічні процеси безударними, застосовуючи деталі із матеріалів з високим коефіцієнтом внутрішнього тертя (пластмаса, гума, деревина та ін), підшипники ковзання замість кочення, косозубі та шевронні зубчасті

передачі замість прямозубих, проводячи своєчасне обслуговування та ремонт елементів, що створюють шум та ін.;

- зменшення шуму та вібрації на шляхах їх розповсюдження заходами звуко- та віброізоляції, а також вібро- та звукопоглинання;

- зменшення шкідливої дії шуму та вібрації, застосовуючи індивідуальні засоби захисту та запроваджуючи раціональні режими праці та відпочинку.

Одним з найпростіших та економічно доцільних способів зниження шуму є застосування методів звукоізоляції та звукопоглинання.

### 5.2.5. Електромагнітні випромінювання

Ступінь впливу електромагнітних полів на організм людини залежить від діапазону частот, інтенсивності та тривалості дії, характеру випромінювання (неперервне чи модульоване), розміру опромінюваної поверхні тіла, індивідуальних особливостей організму.

ЕМП можуть викликати біологічні та функціональні несприятливі ефекти в організмі людини. Функціональні ефекти проявляються у передчасній втомлюваності, частих болях голови, погіршення сну, порушення ЦНС, порушення серцево-судинної системи. Присистематичному опроміненні ЕМП спостерігаються перепади кров'яного тиску, сповільнення пульсу, нервово-психічні захворювання, деякі атрофічні явища. Сучасні дослідження вказують на те, що радіочастотне випромінювання, впливаючи на ЦНС, є вагомим чинником.

Умови праці при дії неіонізуючих електромагнітних полів та випромінювань відповідають 3 класу шкідливості при перевищенні на робочих місцях ГДР, що встановлені для відповідного часу дії, з урахуванням значень енергетичних експозицій в тих діапазонах частот, де вони нормуються, і 4 класу - при перевищенні максимальних ГДР для короткочасної дії. При одночасній дії на працівників неіонізуючих електромагнітних полів та випромінювань, що створюються декількома джерелами, які працюють у різних нормованих частотних діапазонах, клас умов праці на робочому місці встановлюється за фактором, що отримав найбільший ступінь шкідливості. При цьому, якщо

виявлено перевищення ГДР у двох і більше нормованих частотних діапазонах, ступінь шкідливості збільшується на одну одиницю [19].

Таблиця 5.4 – Класи умов праці при дії неіонізуючих електромагнітних випромінювань (перевищення ГДР, разів)

Показник виробничого середовища	Класи умов праці					
	допустимий – 2	шкідливий – 3				небезпечний – 4
		1 ступінь	2 ступінь	3 ступінь	4 ступінь	
Постійне магнітне поле**	$\leq$ ГДР*	$\leq 5$	$\leq 10$	$\leq 50$	$\geq 100$	-
Електростатичне поле***	$\leq$ ГДР*	$\leq 3$	$\leq 5$	$\leq 10$	$> 10$	-
Електричні поля промислової частоти (50 Гц)**	$\leq$ ГДР*	$\leq 3$	$\leq 5$	$\leq 10$	$> 10$	$> 40$
Магнітні поля промислової частоти (50 Гц)**	$\leq$ ГДР*	$\leq 5$	$\leq 10$	$\leq 50$	$> 50$	-
Електромагнітні поля радіочастотного діапазону**: 0,001-0,01 МГц	$\leq$ ГДР*	$\leq 3$	$\leq 5$	$\leq 10$	$> 10$	-
0,01-0,06 МГц	$\leq$ ГДР*	$\leq 3$	$\leq 5$	$\leq 10$	$> 10$	-
0,06-3,0 МГц	$\leq$ ГДР*	$\leq 3$	$\leq 5$	$\leq 10$	$> 10$	-
3,0-30,0 МГц	$\leq$ ГДР*	$\leq 3$	$\leq 5$	$\leq 10$	$> 10$	-
30,0-300,0 МГц	$\leq$ ГДР*	$\leq 3$	$\leq 5$	$\leq 10$	$> 10$	$> 100$ ****
300,0 МГц - 300,0 ГГц	$\leq$ ГДР*	$\leq 3$	$\leq 5$	$\leq 10$	$> 10$	$> 100$ ****
Імпульсні ЕМП в діапазоні частот 0-1000 МГц	$\leq$ ГДР*	$\leq 3$	$\leq 5$	$\leq 10$	$> 10$	$> 100$ ****

\* Значення ГДР, з якими порівнюються вимірювані на робочих місцях величини ЕМП, визначаються залежно від тривалості дії фактора протягом робочого дня.

\*\* Відповідно до ДСН 3.3.6.096-2002.

\*\*\* Відповідно до «Санитарно-гигиенических норм допустимой напряженности электростатического поля», затверджених заступником Головного державного санітарного лікаря СРСР від 10 жовтня 1977 року № 1757-77, та ГОСТ 12.1.045-84 «Электростатические поля. Допустимые уровни на рабочих местах и требования к проведению контроля».

\*\*\*\* Перевищення максимального значення ГДР за ДСН 3.3.6.096-2002.

Для запобігання шкідливого впливу ЕМП застосовуються організаційні заходи колективного захисту від ЕМП:

- розміщення об'єктів, які випромінюють ЕМП таким чином, щоб звести до мінімуму можливе опромінення людей;
- «захист часом» - перебування персоналу в зоні дії ЕМП обмежується мінімально необхідним для проведення робіт часом;
- «захист відстанню» - віддалення робочих місць на максимально допустиму відстань від джерел ЕМП;
- «захист кількістю» - потужність джерел випромінювання повинна бути мінімально необхідною;
- виділення зон ЕМП відповідними знаками безпеки;
- проведення дозиметричного контролю.

#### 5.2.6 Психофізіологічні фактори

Важкість та напруженість трудового процесу визначаються та оцінюються за показниками, що наведені в таблиці 5.5.

Важкість та напруженість праці визначаються за основними та допоміжними показниками, що є характерними для конкретного робочого місця.

Основними показниками важкості праці є: фізичне динамічне навантаження, стереотипні робочі рухи, статичне навантаження, переміщення у просторі.

Основними показниками напруженості праці є: тривалість зосередження уваги або щільність сигналів, ступінь ризику для власного життя та життя інших осіб або ступінь відповідальності за життя інших осіб, змінність при роботі виключно в нічну зміну.

Гігієнічна оцінка важкості та напруженості праці проводиться шляхом додавання відношень виміряних або розрахованих показників до їх допустимих рівнів, помножених на коефіцієнт значимості показника (1,0 - для основних показників, 0,15 - для допоміжних).

Клас та ступінь важкості й напруженості праці визначаються відповідно до розрахованих балів (сума відношень основних та допоміжних показників до їх нормативних рівнів, помножених на відповідний коефіцієнт) згідно з табл. 5.5.

Найвищій клас та ступінь за факторами «важкість» або «напруженість» трудового процесу - 3 клас, 3 ступінь (особливо важка або особливо напружена праця) [16].

Таблиця 5.5 - Класи умов праці за показниками напруженості праці

№ з/п	Показники напруженості трудового процесу	Класи умов праці			
		оптимальний (напруженість праці легкого ступеня)	допустимий (напруженість праці середнього ступеня)	шкідливий (напружена праця)	
		1	2	3.1	3.2
1	2	3	4	5	6
1*	Інтелектуальні навантаження				
1.1	Зміст роботи	Відсутність необхідності прийняття рішення	Рішення простих альтернативних завдань згідно з інструкцією	Рішення складних завдань вибором за алгоритмом (робота за серією інструкцій)	Евристична (творча) діяльність, що вимагає вирішення складних завдань за відсутності алгоритму; особисте керівництво в складних ситуаціях
1.2	Сприймання сигналів (інформації) та їх оцінка	Сприймання сигналів, але немає потреби в корекції дій	Сприймання сигналів з наступною корекцією дій та операцій	Сприймання сигналів з наступним порівнянням фактичних значень параметрів з їх номінальними значеннями. Заключна оцінка фактичних значень параметрів	Сприймання сигналів з наступною комплексною оцінкою зв'язаних параметрів. Комплексна оцінка швидкості виробничої діяльності
1.3	Розподіл функцій за ступенем складності завдання	Обробка та виконання завдань	Обробка, виконання завдань та його перевірка	Обробка, перевірка і контроль за виконанням завдання	Контроль та попередня робота з розподілу



1.4	Характер виконуваної роботи	Робота за індивідуальним планом	Робота за встановленим графіком з можливим його коригуванням під час діяльності	Робота в умовах дефіциту часу	авдань інших особам Робота в умовах дефіциту часу та інформації з підвищеною відповідальністю за кінцевий результат
2	Сенсорні навантаження	-	-	-	-
2.1	Тривалість зосередження уваги (в % від часу зміни)	До 50	51-75	Більше 75	-
2.2	Щільність сигналів (світлових, звукових) та повідомлень в середньому за 1 годину роботи	До 150	151-300	Більше 300	-
2.3	Навантаження на зоровий аналізатор	-	-	-	-
2.3.1	Розмір об'єктів розрізнення (при відстані від очей працюючого до об'єктів розрізнення не більше 0,5 м), мм, % часу зміни	Більше 5 мм 100% часу	5,0-1,1 мм більше 50% часу; 1,0-0,3 мм до 50 % часу; менше 0,3 мм до 25% часу	1,0-0,3 мм більше 50% часу; менше 0,3 мм 25-50% часу	Менше 0,3 мм більше 50% часу, у тому числі використання оптичних приладів
2.3.2	Спостереження за екранами відеотерміналів, годин на зміну	До 2	До 4	> 4,1-6	Більше 6
2.4	Навантаження на слуховий аналізатор (при виробничій необхідності прийняття мови чи диференціювання сигналів)	Розбірливість слів та сигналів від 100% до 90%	Розбірливість слів та сигналів від 90% до 70%	Розбірливість слів та сигналів від 50% до 70%	Розбірливість слів та сигналів менше 50%
2.5	Навантаження на голосовий апарат, сумарна кількість годин, знапруження голосового апарату протягом	До 16	Від 16 до 20	Від 20 до 25	Більше 25

	ижня				
3	Емоційне навантаження	-	-	-	-
3.1	Ступінь відповідальності за результати своєї діяльності. Значущість помилок	Є відповідальним за виконання окремих елементів завдання. Вимагає додаткових зусиль з боку працівника	Є відповідальним за функціональну якість допоміжних робіт (завдань). Вимагає додаткових зусиль з боку керівництва (бригадира, майстратощо)	Є відповідальним за функціональну якість основної роботи (завдання). Вимагає виправлень за рахунок додаткових зусиль з боку колективу (групи, бригади тощо)	Є відповідальним за функціональну якість кінцевої продукції, роботи, завдання. Неправильне рішення можуть призвести до пошкодження обладнання, зупинки технологічного процесу, можливої небезпеки для життя
3.2	Ступінь ризику для власного життя та життя інших осіб	Виключений	-	-	Вірогідний
3.3	Ступінь відповідальності за безпеку інших осіб	Виключений	-	Є відповідальним за безпеку	-
4	Монотонність навантажень	-	-	-	-
4.1	Кількість елементів (приймів), необхідних для реалізації простого завдання або в операціях, які повторюються багаторазово	Більше 10	10-6	5-2	-
4.2	Тривалість виконання простих виробничих завдань чи операцій, що повторюються, с	Більше 100	100-25	24-2	-
4.3	Монотонність виробничої обстановки, час	Менше 75	76-90	91-95	-

	пасивного спостереження за технологічним процесом в % від часу зміни				
5	Режим праці	-	-	-	-
5.1	Тривалість робочого дня, год.	6 або 7	8	Більше 8	-
5.2	Змінність роботи	Однозмінна робота (без нічної зміни)	Двозмінна робота (без нічної зміни)	Тризмінна робота (з роботою в нічну зміну)	Нерегулярна змінність роботи в нічний час, робота виключно в нічну зміну*

Згідно з наведеними даними таблиці 4 при плануванні розпорядку робочого дня і навантаження на працівника потрібно враховувати всі умови оптимальних умов праці.

### 5.3 Режими радіаційного захисту

У випадку виявлення радіоактивного забруднення місцевості можуть запроваджуватися режими радіаційного захисту, тобто порядок застосування засобів і способів захисту людей, який дає змогу максимально зменшити можливі дози опромінення і вибрати найбільш доцільний порядок дій у зонах радіоактивного забруднення.

Введення режиму радіаційного захисту передбачає наступну послідовність впровадження тимчасових режимів радіаційного захисту населення.

Тимчасовий режим № 1 впроваджується у випадку, якщо потужність дози випромінювання складає 0,1 - 0,3 мрад/ год. У цьому випадку виконуються такі заходи: укриття дітей, герметизація приміщень, укриття та пакування продуктів харчування; обмеження перебування на відкритому повітрі непрацюючого

населення; обладнання санітарних бар'єрів на входах у квартири та будинки приватного сектора.

Тимчасовий режим № 2 впроваджується при потужності дози випромінювання на місцевості в межах 0,3 - 1,5 мрад/ год. При введенні цього режиму виконуються наступні заходи: виконуються заходи тимчасового режиму № 1; проводиться йодна профілактика дітей; обмежується перебування на відкритому повітрі населення; обладнуються санітарні бар'єри на сходах багатоповерхових будинків.

Тимчасовий режим № 3 впроваджується при визначенні потужності дози випромінювання на місцевості 1,5 - 15 мрад/ год. При цьому виконуються заходи, які передбачені тимчасовими режимами № 1, 2; проводиться йодна профілактика всього населення; часткова евакуація населення (дітей, хворих і вагітних жінок).

Тимчасовий режим № 4 впроваджується при визначенні потужності дози випромінювання в межах від 15,1 до 100 мрад/ год. За таких умов виконуються заходи, передбачені режимами № 1, 2, 3; проводиться укриття населення, крім контингенту, задіяного в аварійно-рятувальних та інших невідкладних роботах.

Тимчасовий режим № 5 впроваджується при потужності дози випромінювання, яка перевищує 100 мрад/ год. З введенням цього режиму організовується і проводиться повна евакуація населення в безпечні (у радіаційному відношенні) райони.

Заходи щодо укриття людей організовуються з використанням ЗС, приміщень підвального типу, які пристосовані до укриття, якщо протягом двох тижнів, після початку радіаційного забруднення, сукупна очікувана доза опромінення може досягати 5 мЗв (0,5 бер).

Тимчасова евакуація людей проводиться, якщо протягом двох тижнів ефективна доза опромінення може досягти 50 мЗв (5 бер).

Йодна профілактика застосовується у випадку, коли поглинута доза опромінення щитовидної залози від накопичення в ній радіоактивних ізотопів йоду може перевищувати 50 мГр (5 рад).

Режими радіаційного захисту вводяться в дію: для захисту населення – рішенням начальника ЦЗ області (міста) та начальником ЦЗ району; для захисту працівників об'єктів – рішенням начальників ЦЗ об'єктів.

Режими радіаційного захисту запроваджуються за конкретними рівнями радіації, які визначаються за допомогою дозиметричних приладів на території області (міста), району або підприємства. При з'ясуванні, що на території міста, району неоднаковий рівень радіації, режим встановлюється за максимальним рівнем радіації.

#### 5.4 Висновки до розділу

В результаті виконання цього розділу було опрацьовано такі питання охорони праці, як технічні рішення стосовно: гігієни праці та виробничої санітарії. Причини виникнення, дія на організм людини та нормування небезпечних та шкідливих факторів у приміщенні.

## ВИСНОВКИ

Основні результати роботи полягають у наступному:

1. Проведено аналіз кореляційного принципу адаптації. В рамках цього аналізу розглянуто системи математичних виразів, що описують процеси адаптації кореляційного алгоритму та алгоритму МКВС, та встановлений їх математичний зв'язок з основними положеннями вінерівського оптимального оцінювання.

2. Проведено дослідження кореляційного алгоритму, які виявили емпіричні залежності його функціональних характеристик від параметрів алгоритму, статистичних характеристик активного сигналу, статистичних властивостей адитивних перешкод, форми імпульсної характеристики ехотракту, нелінійних спотворень ехосигналу тощо.

3. Розроблено новий алгоритм адаптації пристроїв компенсації ехосигналів, який отримав у роботі назву "мінімальна кореляція віртуальних сигналів" (МКВС). Алгоритм має високу швидкість збіжності та характеризується стабільністю та завадостійкістю.

4. Розроблено допоміжний метод зниження впливу пауз в активному сигналі на динаміку адаптації кореляційних алгоритмів. Спільні випробування МКВС та даного методу показали високу ефективність останнього. Підсумковий алгоритм залишається нечутливим до пауз в активному сигналі навіть за максимальних швидкостях адаптації.

5. Розроблено допоміжний метод підвищення завадостійкості алгоритмів, які реалізують кореляційний принцип. Спільне дослідження запропонованого методу та МКВС показали значне підвищення завадостійкості при контрольованому зниженні швидкості адаптації. З обраними в рамках дослідження параметрами, згасання, що вноситься, підвищилося на 12 дБ.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Основи теорії телекомунікацій: підручник / О.В. Корнейко, О.В. Кувшинов, О.П. Лежнюк [та ін.]; за заг. ред. М.Ю. Ільченка. – К.: Видавництво ІСЗЗІ НТУУ «КПІ», 2010. – 786 с.
2. Островерхов М. Я. Системи і методи ідентифікації електротехнічних об'єктів / М. Я. Островерхов, А. М. Сільвестров, О. М. Скринник. – Київ: Національний авіаційний університет, 2016. – 324 с.
3. Бідюк П. І. Методи прогнозування / П. І. Бідюк, О. С. Меньяйленко, О. В. Половцев. – Луганськ : «Альма-матер», 2008. – 305 с.
4. Чучупал В.Я., Чичагов А.В., Маковкин К.А. Цифровая фильтрация зашумлённых речевых сигналов. – М.: ВЦ РАН, 1998. – 52 с.
5. Скляр Б. Цифровая связь. Теоретические основы и применение / Бернард Скляр ; [пер. с англ.]. – М.: Изд. Дом “Вильямс”, 2003. – 1104с.
6. Капустин, С.В. Исследование принципов и разработка методов косвенной интегральной оценки качества телефонной передачи: Диссерт. на соискание уч. степени к.т.н. — Москва: МТУСИ, 2009. — 149 с.
7. Benesty, J. An optimized NLMS algorithm for system identification / J. Benesty, S. Ciochina, C. Paleologu // *Signal Processing* – 2016. –Vol. 118 . –P. 115-121
8. Hassibi, B. N 1 optimality of the LMS algorithm / B. Hassibi, A.H. Sayed, T. Kailath // *IEEE Trans. Signal Processing* – 1996. – Vol. 44. –№2 – P. 267–280.
9. Шаврин, С.С. Развитие теории и техники подавления эффекта электрического эха в телекоммуникациях: Диссерт. на соискание уч. степени д.т.н.: 05.12.13 / Шаврин Сергей Сергеевич. — Москва: МТУСИ, 2009. — 340 с.
10. Rupp, M. Digital signal processing handbook, Chapter 20 "Robustness issues in adaptive filtering"/ M. Rupp, A. Sayed – CRC Press LLC – 1999.
11. Айфичер, Э. Цифровая обработка сигналов: Пер. с англ. / Э. Айфичер, Б. Джерви.с – М.: Вильямс, 2004. — 992 с.
12. Sayed, A.H. Adaptive filters / A.H. Sayed — Hoboken, New Jersey, US: John Wiley and Sons, Inc., 2008. — 785 p.
13. Sondhi, M.M. An adaptive echo canceller / M.M. Sondhi // *Bell Syst. Tech.*

J., – 1967– Vol. 46. – P. 497-511.

14. Література: Методичні вказівки до виконання економічної частини магістерських кваліфікаційних робіт / Уклад. : В. О. Козловський, О. Й. Лесько, В. В. Кавецький. – Вінниця : ВНТУ, 2021. – 42 с.

15. ГОСТ 12.0.003-74 ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация.

16. Правила улаштування електроустановок - [Електронний ресурс] - Режим доступу: <http://www.energiy.com.ua/PUE.html>

17. ДСН 3.3.6.042-99 Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень. - [Електронний ресурс] - Режим доступу: <http://mozdocs.kiev.ua/view.php?id=1972>

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](http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=79885)

19. 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>

20. 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](http://online.budstandart.com/ua/catalog/topiccatalogua/labor-protection/14._nakazy_ta_rozpor_183575/248+58074-detail.html)



## ДОДАТКИ

Додаток А

(обов'язковий)

ВНТУ

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав.кафедри ІКСТ ВНТУ,

докт. техн. наук, професор

В.М. Кичак

“ \_ ” \_\_\_\_\_ 2022 р.

### **ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ**

на виконання магістерської кваліфікаційної роботи

**КОМПЕНСАЦІЙНЕ ПРИДУШЕННЯ СИГНАЛІВ ВІДЛУННЯ В  
ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ КАНАЛАХ ЗВ'ЯЗКУ НА ОСНОВІ АДАПТИВНОГО  
КОРЕЛЯЦІЙНОГО АЛГОРИТМУ  
08-34.МКР.007.00.000 ТЗ**

Керівник роботи

к.т.н., доцент кафедри ІКСТ ВНТУ

Воловик А.Ю.

Виконавець: ст. гр. ТКС-21м

Сеньчуков В.І.

Вінниця-2022

## 1 ПІДСТАВА ДЛЯ ВИКОНАННЯ РОБОТИ

Робота проводиться на підставі наказу ректора по Вінницькому національному технічному університету від “14” 09 2022 року № 203 та індивідуального завдання на магістерську кваліфікаційну роботу.

Дата початку роботи: 01.09.2022 р.

Дата закінчення: 19.12.2022 р.

## 2 МЕТА І ПРИЗНАЧЕННЯ МКР

*Метою* цієї роботи є дослідження новітніх алгоритмів реалізації кореляційного принципу придушення ехосигналів, що мають високі функціональні характеристики, а саме швидку і стабільну збіжність і високу стійкість до завад, враховуючи здатність адаптивного налаштування на фоні зустрічного сигналу.

*Задачами* магістерської кваліфікаційної роботи є:

- розробка технічного завдання;
- математичний аналіз загальних положень теорії оптимального вінеровського оцінювання (Рівняння Вінера) та процесів, що описують процес адаптації алгоритмів побудованих за кореляційним принципом;
- дослідження функціональних характеристик алгоритмів адаптації, що реалізують кореляційний принцип адаптації;
- аналіз механізмів впливу основної групи факторів, що здійснюють негативний вплив на функціональні характеристики алгоритмів, які реалізують кореляційний принцип;
- аналіз методів, що дозволяють покращити функціональні характеристики алгоритмів, побудованих на кореляційному принципі адаптації;
- дослідження ефективності алгоритмів адаптації, що реалізують кореляційний принцип та оцінка можливих областей їх застосування.

*Об'єктом дослідження* процеси перетворення електричних сигналів у телекомунікаційних каналах зв'язку, призначених для передачі інформаційних повідомлень за умови присутності відбитих ехосигналів та дії супутніх випадкових збурень..

*Предметом дослідження* спеціальні, цифрові методи обробки електричних сигналів у телекомунікаційних мережах, що сприяють розробці завадостійких, швидкодіючих, зі стабільною збіжністю алгоритмів ехокомпенсації сигналів.

*Основними завданнями роботи є:*

- техніко-економічне обґрунтування доцільності даної розробки;
- дослідження новітніх алгоритмів реалізації кореляційного принципу придушення ехосигналів, що володіють високими функціональними характеристиками, тобто швидкою й стабільною збіжністю й високою завадостійкістю, включаючи здатність адаптивного настроювання на тлі сигналу зустрічного напрямку;
- аналіз методів, що дозволяють покращити функціональні характеристики алгоритмів, побудованих на кореляційному принципі адаптації;
- дослідження ефективності розроблених методів та оцінка можливих областей їх застосування.
- аналіз економічної ефективності проведеної розробки;
- дослідження питань безпеки життєдіяльності.

Дослідження виконані в ході виконання роботи дозволять визначити найбільш завадостійкий, стабільний і швидкий алгоритм, що реалізують кореляційний принцип адаптації пристроїв компенсації ехосигналів, що, в свою чергу, являє собою актуальну задачу в рамках в низки прикладних завдань і дозволяє розв'язати протиріччя між підвищенням завадостійкості алгоритмів ехокомпенсації та їх швидкодією.

### 3 ВИХІДНІ ДАНІ ДЛЯ ПРОВЕДЕННЯ МКР

Список використаних джерел розробки:

- 3.1 Скляр Б. Цифровая связь. Теоретические основы и применение / Бернард Скляр ; [пер. с англ]. – М.: Изд. Дом “Вильямс”, 2003. – 1104с.
- 3.2 Hänsler E., Schmidt G. Topics in Acoustic Echo and Noise Control: Selected Methods for the Cancellation of Acoustical Echoes, the Reduction of

Background Noise, and Speech Processing (Signals and Communication Technology).

Springer ;2006 th edition( May8 ,2006(, 661 p.-

3.3 Muzahid A.A. Efficient adaptive filtering algorithms for acoustic echo cancellation: New approaches for AEC in full-duplex channel. LAP LAMBERT Academic Publishing (August 21, 2019) 68p

3.4 Айфичер, Э. Цифровая обработка сигналов: Пер. с англ. / Э. Айфичер, Б. Джервис. – М.: Вильямс, 2004. — 992 с.

3.5 Положення про кваліфікаційні роботи на другому (магістерському) рівні вищої освіти у Вінницькому національному технічному університеті / Уклад. А. О. Семенов, Л. П. Громова, Т.В. Макарова, Сердюк О.В. – Вінниця: ВНТУ, 2021 – 60 с.

3.6 Кухарчук В.В., Ігнатенко О.Г., Обертюх Р.Р. Методичні вказівки до оформлення дипломних проектів (робіт) для студентів всіх спеціальностей.- В.: ВДТУ, 2002.

3.7 Козловський В.О. Техніко-економічні обґрунтування та економічні розрахунки в дипломних проектах та роботах. Навчальний посібник. – В.: ВДТУ, 2003.

3.8 ДСТУ 3008-2015. Інформація та документація, звіти у сфері науки і техніки.- К.: ДП «УкрНДНЦ», 2016.

3.9 Бортник Г.Г., Васильківський М.В. Методичні вказівки до підготовки магістерських кваліфікаційних робіт для студентів спеціальності «Телекомунікації та радіотехніка» усіх форм навчання.-Вінниця:ВНТУ, 2018.-50с.

#### 4 ВИКОНАВЕЦЬ

Вінницький національний технічний університет, кафедра інфокомунікаційних систем і технологій, студент групи ТКС-21м Сеньчуков В.І.

## 5 ВИМОГИ ДО ВИКОНАННЯ МКР

Пропонується виконати дослідження методів адаптивної ехокомпенсації сигналів на основі кореляційного принципу за критерієм завадозахищеність–швидкодія.

Технічні вимоги, яким повинна відповідати розробка, наступні:

- максимальна завадозахищеність алгоритму компенсації ехосигналів;
- максимальна швидкодія компенсатора ехосигналів;
- мінімальний вплив ефекту електричного еха на комфортність телефонної розмови;
- у якості виконавчих елементів пристроїв компенсації ехосигналів використали лінійні фільтри з кінцевою і нескінченною імпульсним характеристиками;
- рівень відношення залишковий ехосигнал/адитивний шум – 12 дБ;
- частота тестового синусоїдального сигналу – 300 Гц, 1020 Гц;
- рівень тестового синусоїдального сигналу – 0 дБ;
- тривалість тестового сигналу – 198с;
- частота дискретизації тестового сигналу – 8кГц;
- рівень білого шуму – -30 дБ.

При дослідженні схем та алгоритмів адаптивної ехокомпенсації на основі кореляційного принципу слід максимально використовувати загально визнані САПР.

## 6 ЕТАПИ МКР І ТЕРМІНИ ЇХ ВИКОНАННЯ

№	Назва та зміст етапу	Термін виконання		Очікувані результати	Звітна документація
		початок	закінчення		
1.	Розробка технічного завдання (ТЗ)	01.09.2022р.	12.09.2022р.	Розроблене ТЗ	Додаток А
2.	Актуальність задачі компенсації ехосигналів у телекомунікаційних системах зв'язку	20.09.2022р.	07.10.2022р.	Проведений аналіз	Вступ Розділ 1
3.	Алгоритми адаптивної фільтрації у техніці компенсації ехосигналів	08.10.2022р.	28.10.2022р.	Визначений найкращий метод	Розділ 2
4.	Дослідження та аналіз функціональних характеристик кореляційного алгоритму	29.10.2022р.	18.11.2022р.	Характеристики і параметри	Розділ 3
5.	Техніко-економічне обґрунтування та аналіз економічної ефективності	19.11.2022р.	25.11.2022р.	Економічна частина МКР	Розділ 4
6.	Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	26.11.2022р.	02.12.2022р.	Частина ОТ та БНС	Розділ 5
7.	Оформлення пояснювальної записки (ПЗ) та графічної частини	03.12.2022р.	09.12.2022р.	Оформлена документація	ПЗ та графічна частина
8.	Нормоконтроль, попередній захист, опонування МКР	12.12. 2022р.	14.12.2022р.	Позитивні відзиви	Відгуки
9.	Захист МКР ЕК		19.12.2022р.	Позитивний захист	Протокол ЕК

## 7 ОЧІКУВАНІ РЕЗУЛЬТАТИ ТА ПОРЯДОК РЕАЛІЗАЦІЇ МКР

В результаті виконання роботи будуть досліджені і визначені:

- структура ехокомпенсатора електричних сигналів;

- схема ехокомпенсатора із застосуванням методу підвищення завадостійкості;
- схеми проведення експерименту й результати дослідження функціональних характеристик кореляційного алгоритму;
- економічна частина МКР;
- розділ ОП та БНС;
- рекомендації щодо подальшого використання дослідженого алгоритму.

Результати, отримані в процесі виконання даної роботи, будуть впроваджені в галузі телекомунікацій:

- ПАТ “Укртелеком” шляхом впровадження нових методів компенсації ехосигналів в телекомунікаційних лініях сільського зв’язку та покращення якісних характеристик конференцзв’язку;

- Регіональний Центр експлуатації телекомунікаційної мережі України шляхом впровадження швидкодіючих, адаптивних алгоритмів ехокомпенсації широкосмугових каналів передачі інформації;

Очікуваний техніко-економічний ефект. При впровадженні результатів досліджень очікується підвищення якості відтворення акустичних сигналів на приймальній абонетській стороні.

## 8 МАТЕРІАЛИ, ЯКІ ПОДАЮТЬ ПІСЛЯ ЗАКІНЧЕННЯ РОБОТИ ТА ПІД ЧАС ЕТАПІВ

За результатами виконання МКР до ЕК подаються пояснювальна записка, графічна частина МКР, відзив і рецензія.

## 9 ПОРЯДОК ПРИЙМАННЯ МКР ТА ЇЇ ЕТАПІВ

Поетапно результати виконання МКР розглядаються керівником роботи та обговорюються на засіданні кафедри.

Захист магістерської кваліфікаційної роботи відбувається на відкритому засіданні ЕК.



## 10 ВИМОГИ ДО РОЗРОБЛЮВАНОЇ ДОКУМЕНТАЦІЇ

Документація, що розробляється в процесі виконання досліджень повинна містити:

- техніко-економічне обґрунтування розробки;
- схеми проведення досліджень;
- результати дослідження функціональних характеристик кореляційного алгоритму;
- порівняльний аналіз функціональних характеристик різних типів ехокомпенсаторних схем;
- економічну частину та розділ БЖД і ЦЗ;
- рекомендації щодо подальшого використання досліджених алгоритмів.

## 11 ВИМОГИ ЩОДО ТЕХНІЧНОГО ЗАХИСТУ ІНФОРМАЦІЇ З ОБМЕЖЕНИМ ДОСТУПОМ

У зв'язку з тим, що інформація не є конфіденційною, заходи з її технічного захисту не передбачаються.

Додаток Б

(обов'язковий)

Протокол перевірки кваліфікаційної роботи  
на наявність текстових запозичень

ПРОТОКОЛ  
ПЕРЕВІРКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ  
НА НАЯВНІСТЬ ТЕКСТОВИХ ЗАПОЗИЧЕНЬ

за роботи: Компенсаційне придушення сигналів відлуння в каналах зв'язку  
знові адаптивного кореляційного алгоритму

роботи: Магістерська кваліфікаційна робота  
(БДР, МКР)

відділ кафедра інфокомунікаційних систем і технологій, факультет  
магістерських електронних систем  
(кафедра, факультет)

Показники звіту подібності Unichesk

впевненість 100% Схожість 0%


звіту подібності (відмітити потрібне):

. Запозичення, виявлені у роботі, оформлені коректно і не містять ознак плагіату.

Виявлені у роботі запозичення не мають ознак плагіату, але їх надмірна кількість сумніви щодо цінності роботи і відсутності самостійності її виконання автором. Правити на розгляд експертної комісії кафедри.

Виявлені у роботі запозичення є недобросовісними і мають ознаки плагіату та/або стягаються навмисні спотворення тексту, що вказують на спроби приховування відомих запозичень.

відповідальна за перевірку

  
(підпис)

Васильківський М.В.  
(прізвище, ініціали)

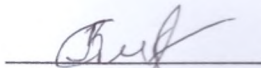
зачитаний з повним звітом, який був згенерований системою Unichesk щодо

роботи

  
(підпис)

Сеньчуков В.І.  
(прізвище, ініціали)

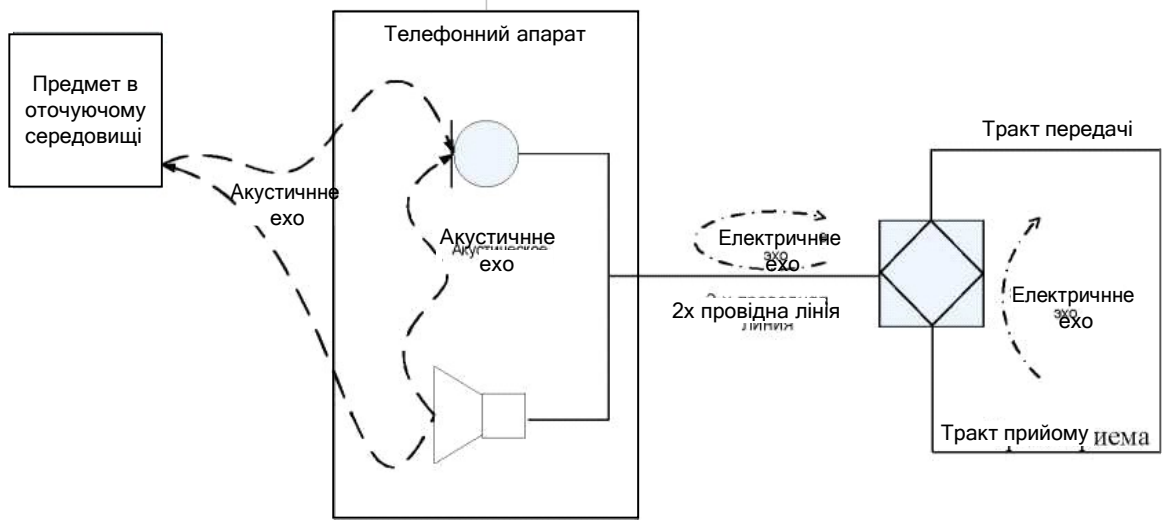
роботи

  
(підпис)

Воловик А.Ю.  
(прізвище, ініціали)

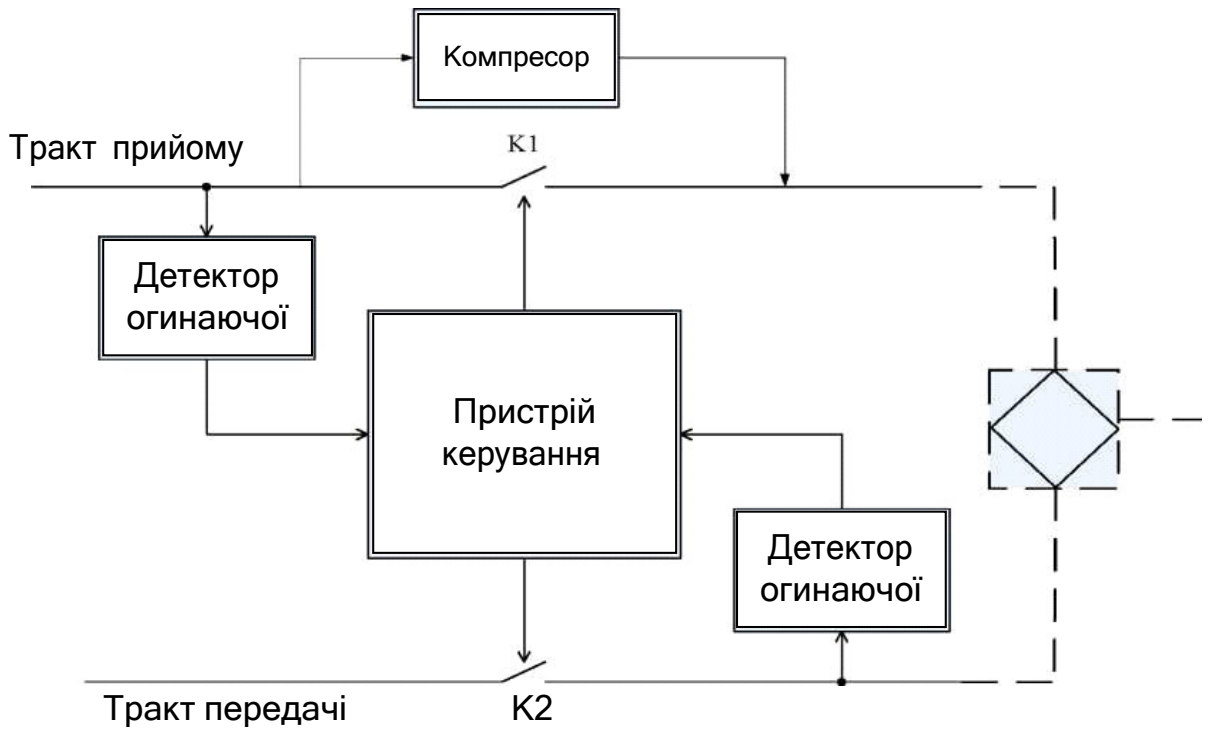
## Додаток В

Причини виникнення ехосигналів у телефонних трактах передачі



## Додаток Г

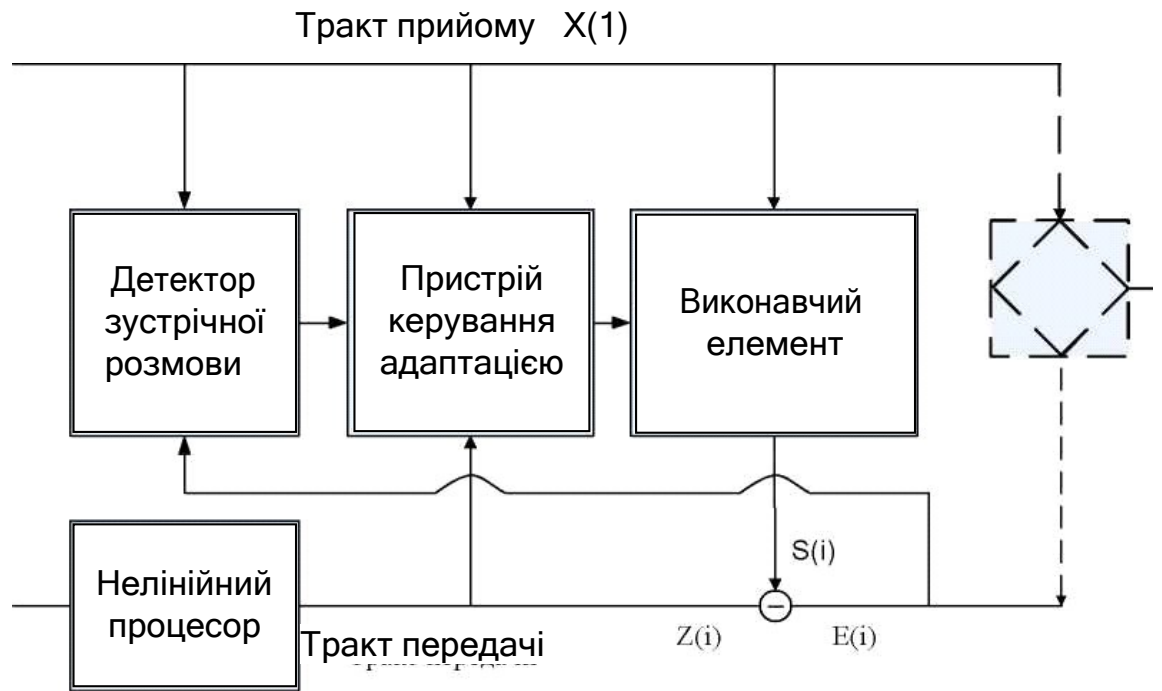
Спрощена структурна схема ехогзагороджувача



## Додаток Д

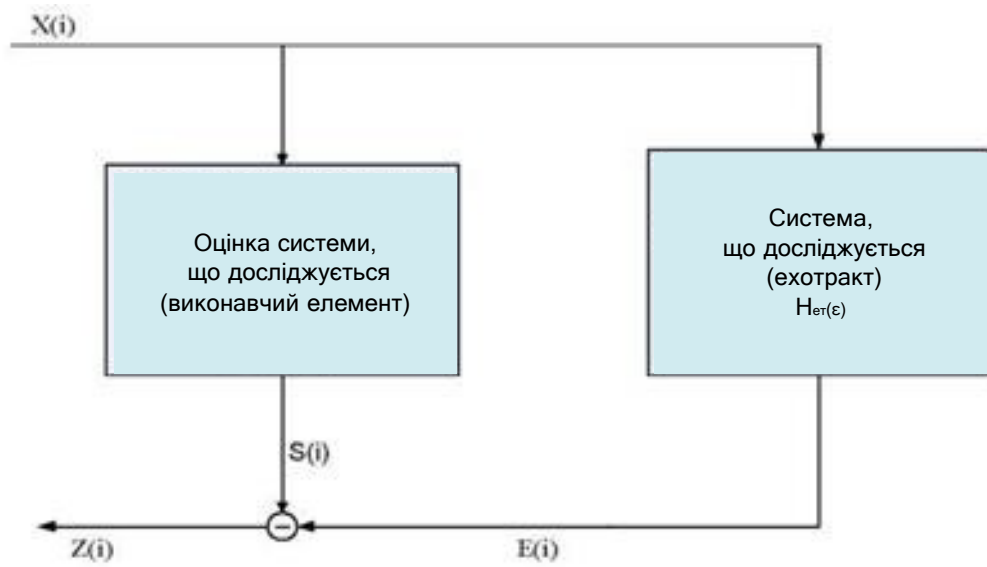
Спрощена структурна схема ехокомпенсатора





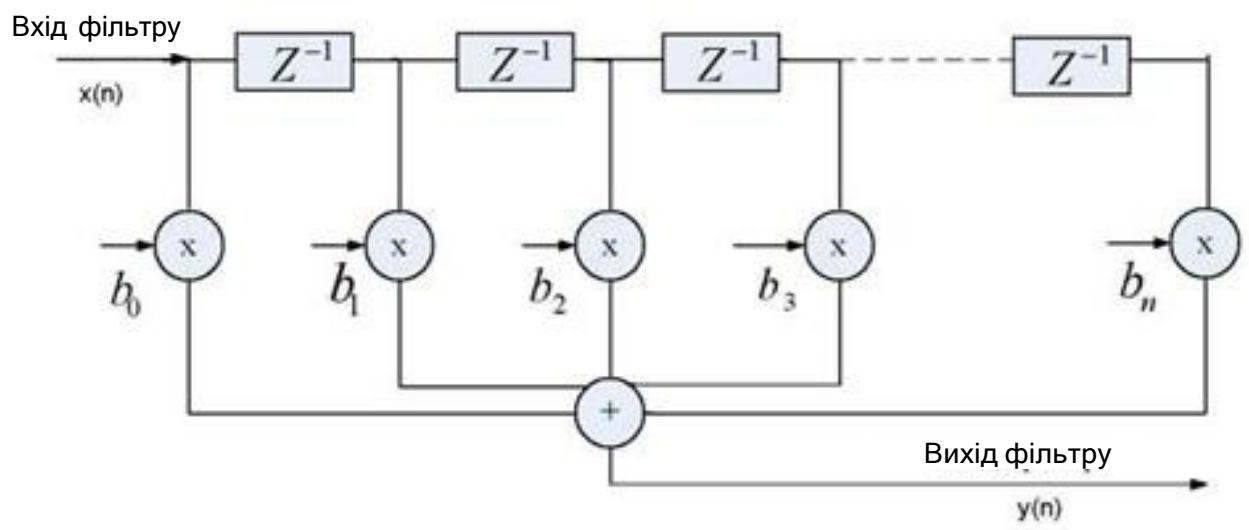
## Додаток Е

Система ехотракт-виконавчий елемент



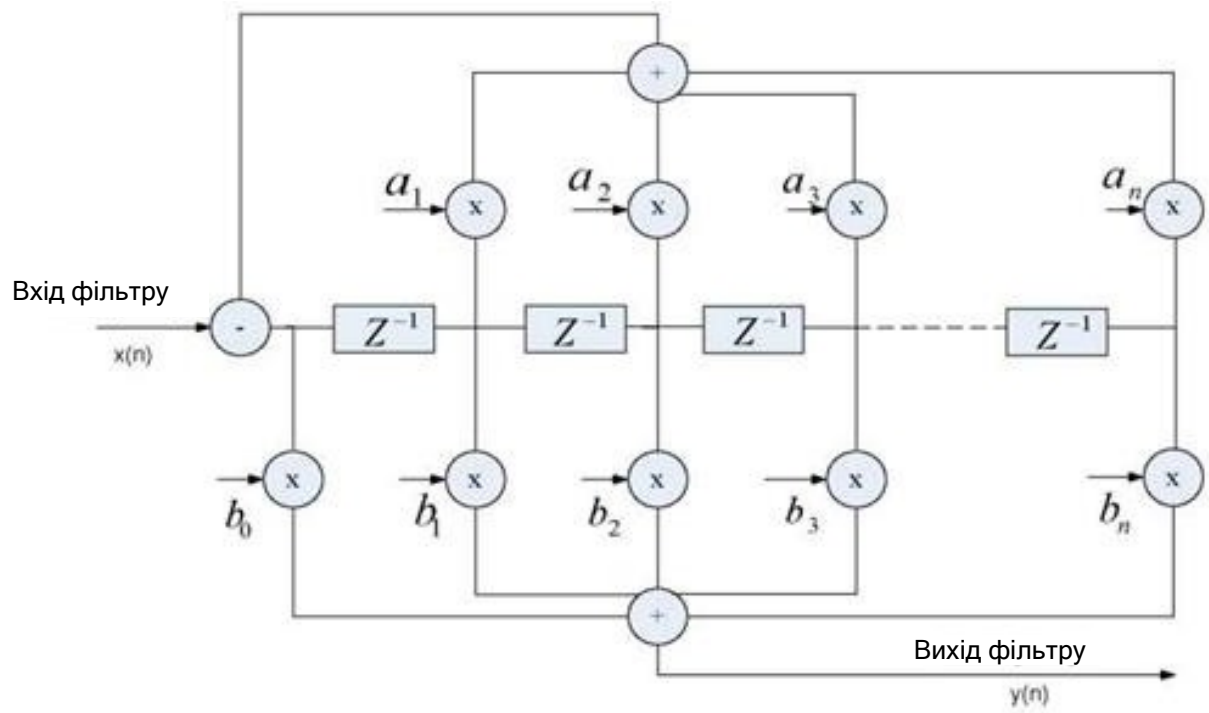
## Додаток Ж

Фільтр із кінцевою імпульсною характеристикою



## Додаток 3

Фільтр із нескінченною імпульсною характеристикою



## Додаток К

Дослідження завадостійкості



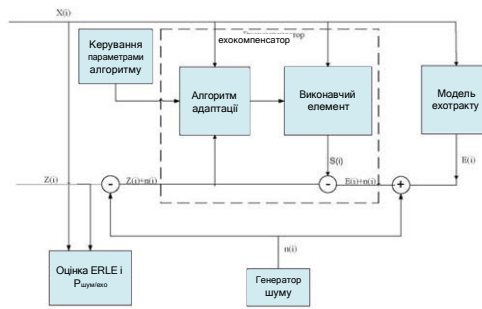
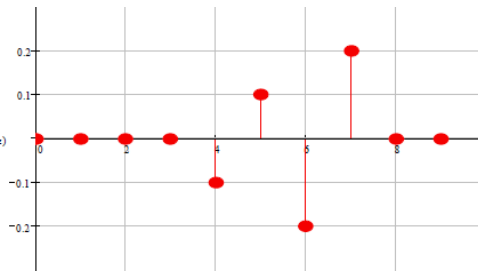
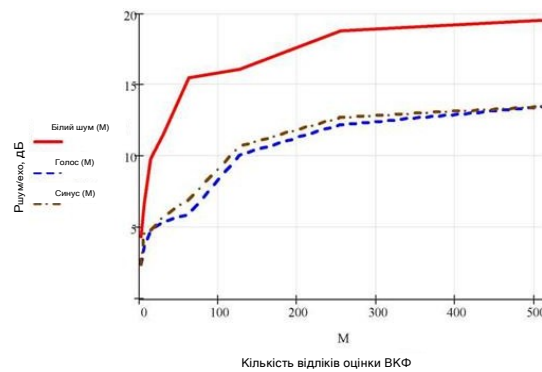


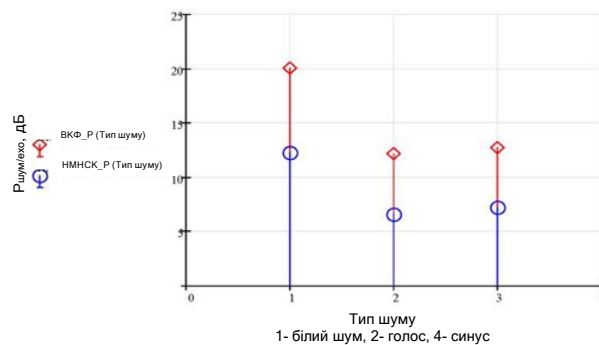
Схема дослідження завадостійкості



Імпульсна характеристика ехограду



Залежність показника  $p_{шум/ехо}$  від кількості відліків оцінки ВКФ для кореляційного алгоритму



Порівняння завадостійкості алгоритму НМНСК та кореляційного алгоритму ( $M = 256$ )

## Додаток Л

Дослідження впливу нелінійних спотворень ехосигналу

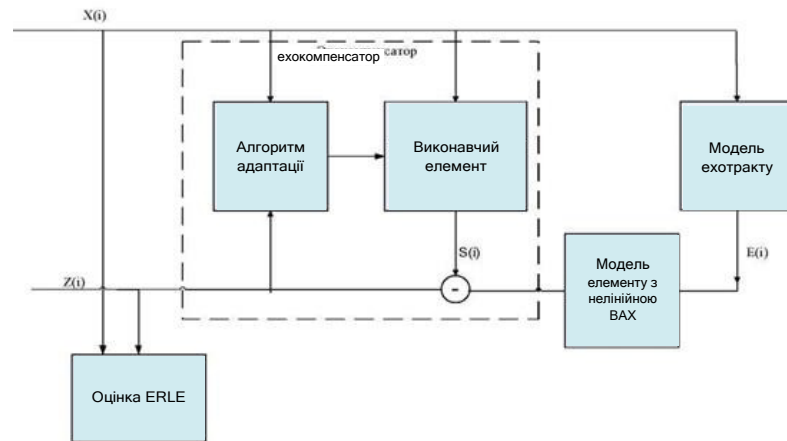
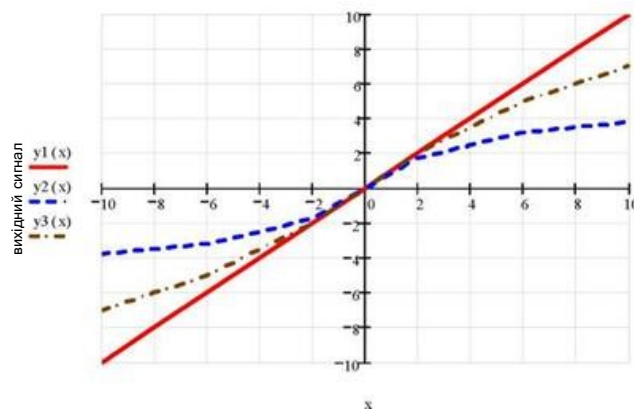
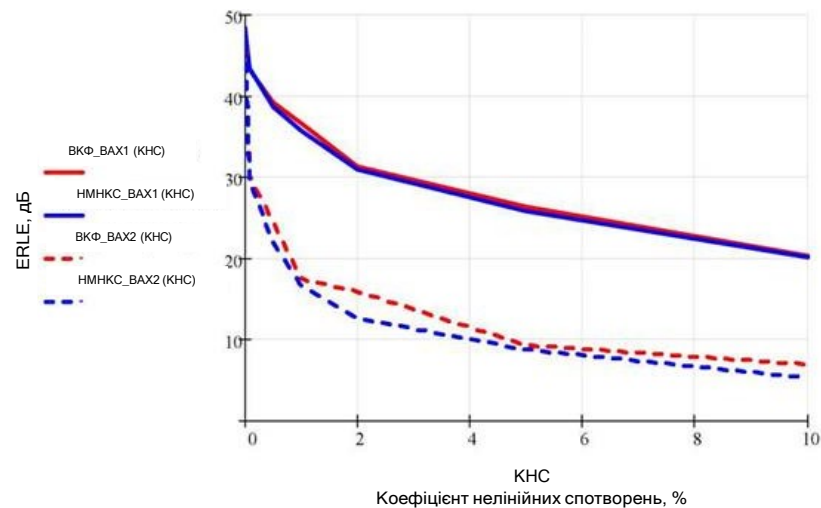


Схема дослідження впливу нелінійних спотворень ехосигналу



Прохідні характеристики нелінійного елемента у відносних одиницях  
(амплітуда від -10 до +10)



Графік залежності ERLE від коефіцієнта нелінійних спотворень ехосигналу для  
кореляційного алгоритму та НМНСК

## Додаток М

Дослідження впливу параметричних змін ехотракту

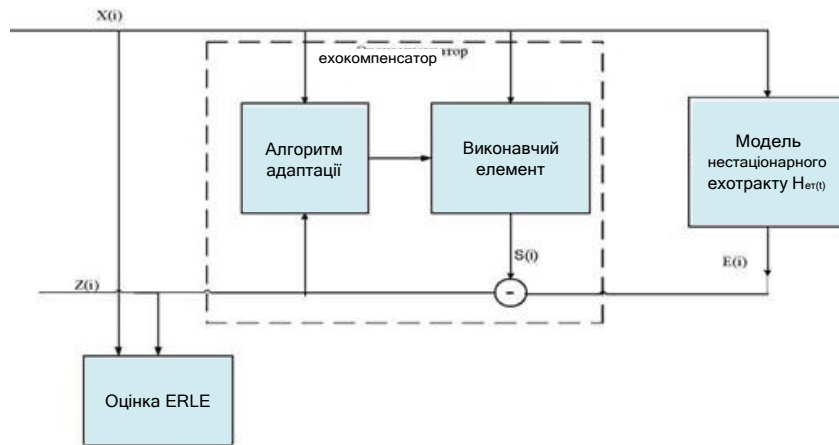
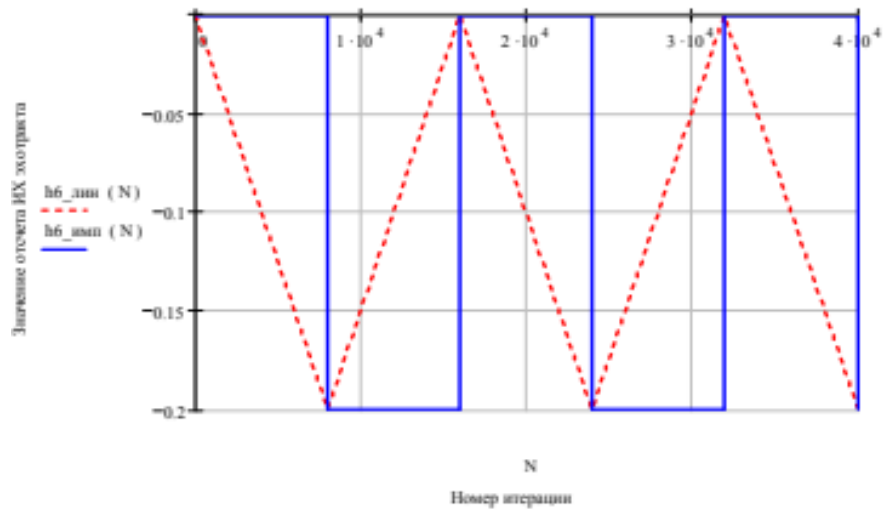
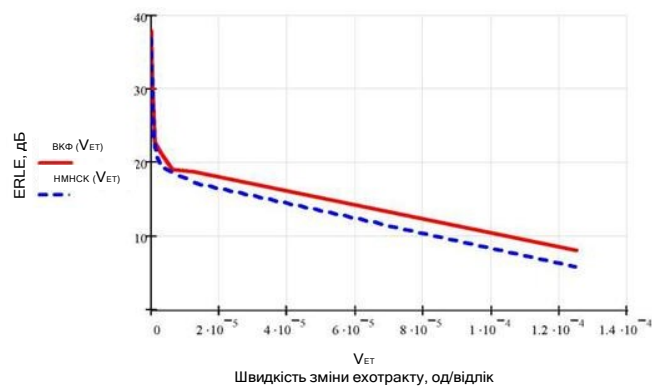


Схема дослідження впливу параметричних впливів



Типові закони зміни відліку імпульсної характеристики ехотракту (імпульсні та безперервні зміни)



Залежність ERLE від швидкості зміни відліку імпульсної характеристики ехотракту для кореляційного алгоритму та НМНСК

## Додаток Н

Дослідження впливу статистичних характеристик активного сигналу  
на збіжність кореляційного алгоритму

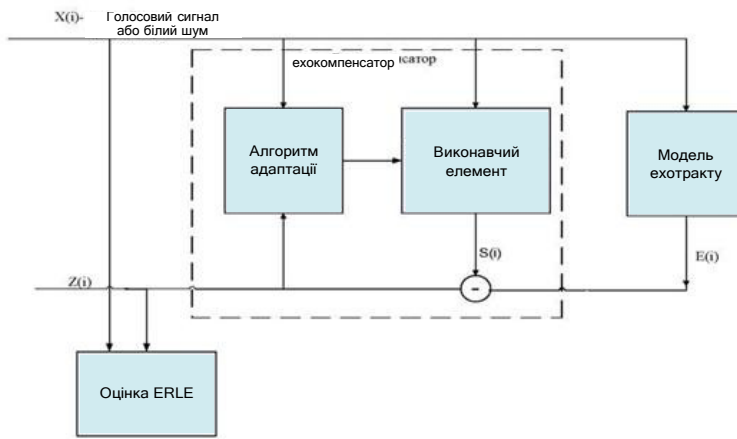
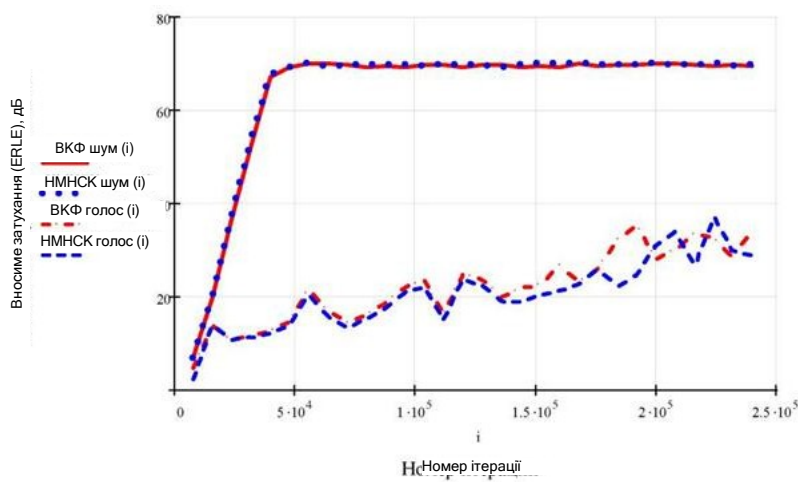
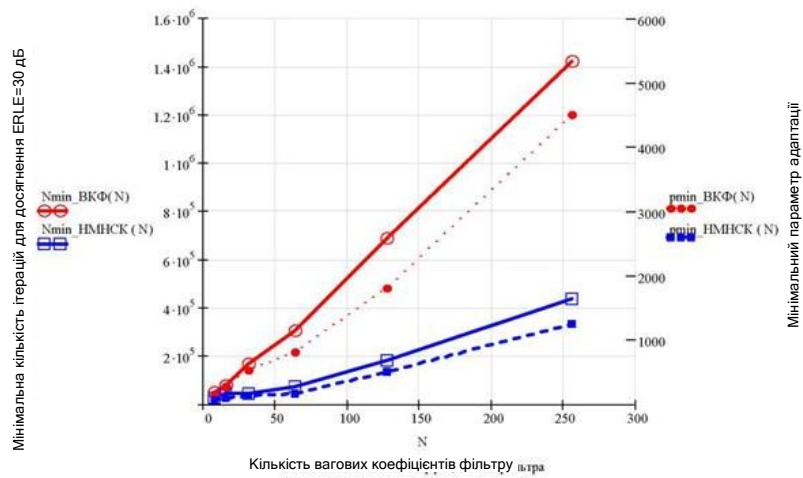


Схема дослідження впливу статистичних характеристик активного сигналу



Динаміка адаптації на мовному сигналі та білому шумі для кореляційного алгоритму та НМНСК



Мінімальна кількість ітерацій та мінімальний допустимий параметр адаптації в залежності від кількості ВК фільтра

## Додаток П

Вплив пауз в активному сигналі на динаміку адаптації



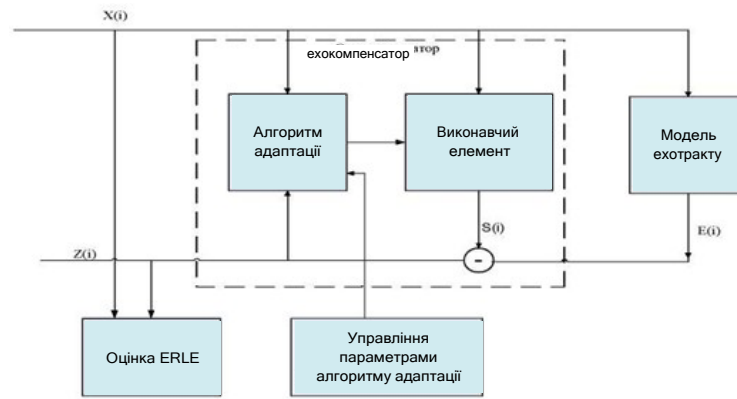
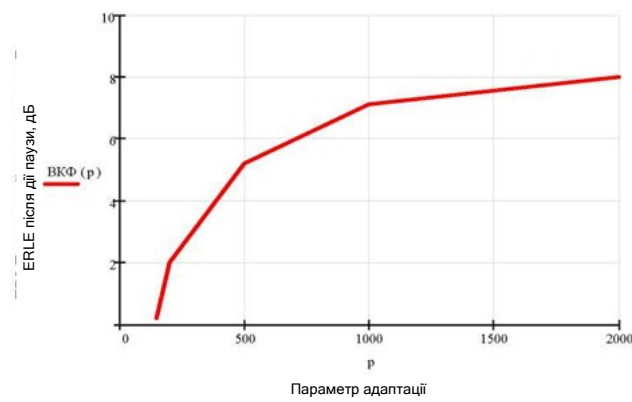
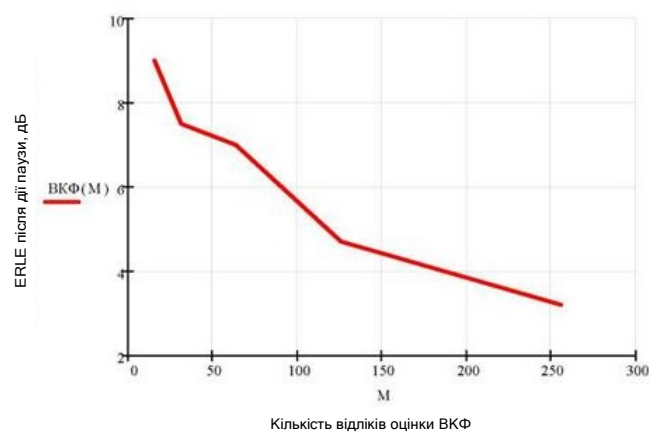


Схема дослідження впливу пауз активному сигналі



Залежність ERLE відразу після паузи від параметра адаптації ( $M = 64$ ) для кореляційного алгоритму



Залежність ERLE одразу після дії паузи від часу обчислення ВКФ ( $p = 1000$ ) для кореляційного алгоритму

## Додаток Р

Вплив пам'яті про залишковий ехосигнал на динаміку  
та стабільність збіжності

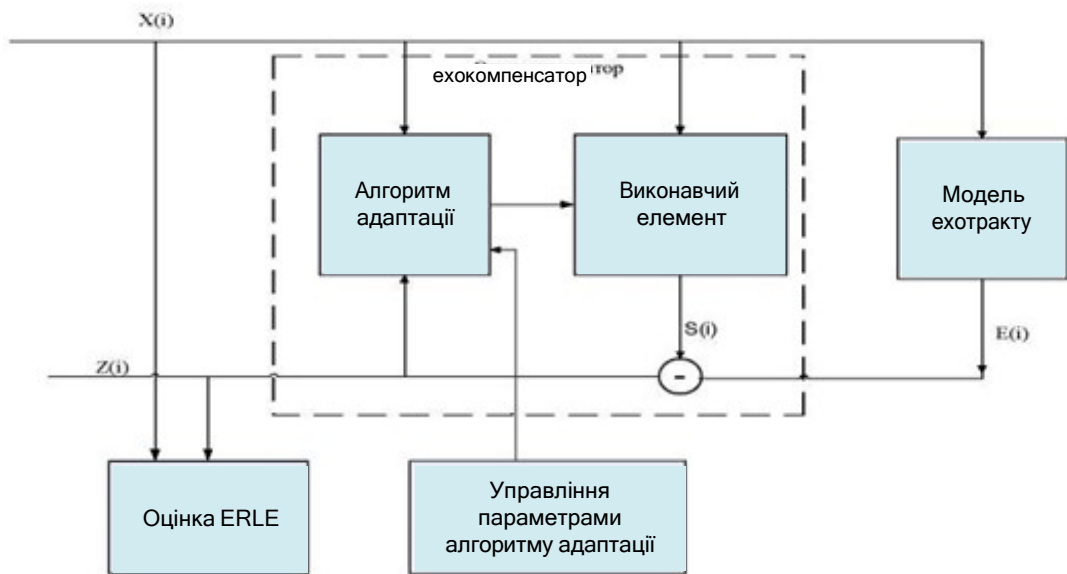
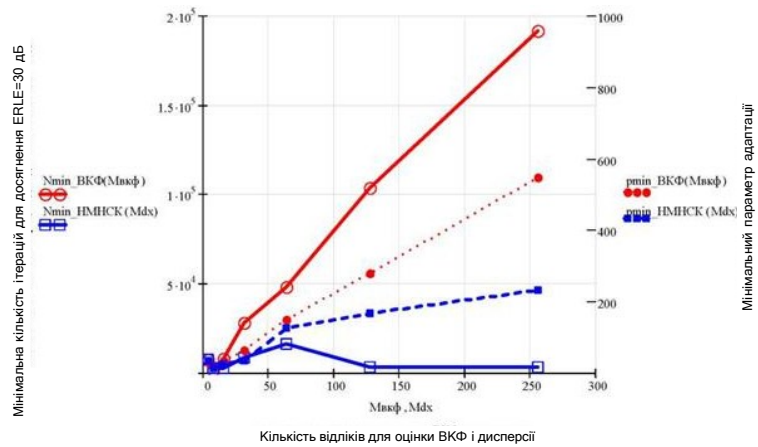


Схема дослідження впливу пам'яті алгоритму на стабільність його збіжності



Мінімальна кількість ітерацій та мінімальний допустимий параметр адаптації

## Додаток С

Дослідження впливу форми імпульсної характеристики ехотракту  
на динаміку адаптації

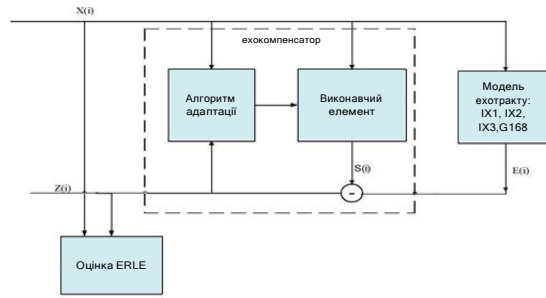
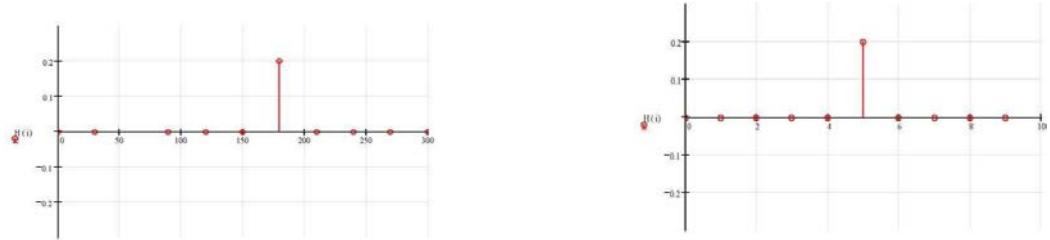


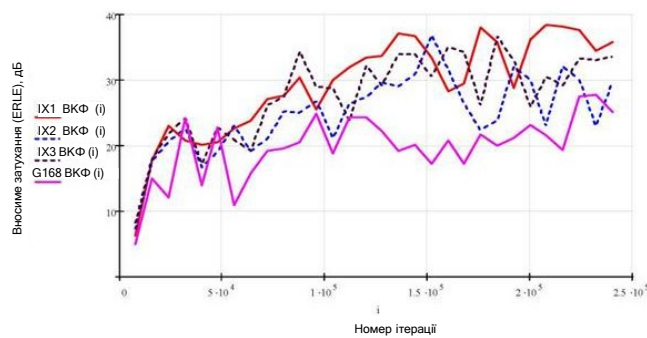
Схема дослідження впливу імпульсної форми характеристики ехотракту



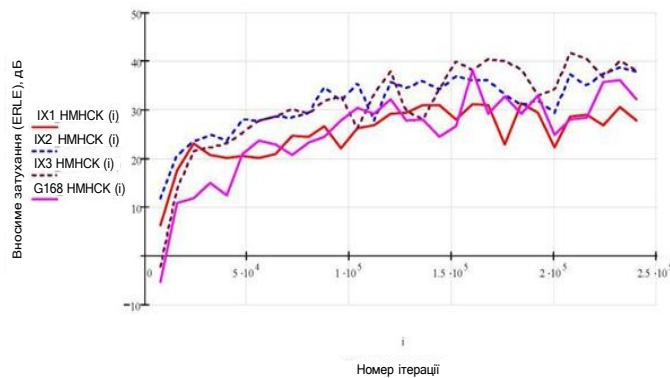
а)

б)

а) Коротка імпульсна характеристика з однією точкою відображення; б) Довга імпульсна характеристика з однією точкою відображення.



Динаміка адаптації кореляційного алгоритму



Динаміка адаптації алгоритму НМНСК