

Міністерство освіти і науки України  
Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Інфокомунікацій

(повна назва)

Кафедра Інформаційно-мережної інженерії

(повна назва)

## КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

### Пояснювальна записка

Рівень вищої освіти другий (магістерський)

Аналіз і моделювання сигналів в інтересах радіомоніторингу випромінювань  
малопомітних радіолокаційних станцій  
(тема)

Виконав: студент 2 курсу, групи ІМІм-21-1  
Холобок В.І.  
(прізвище, ініціали)

Спеціальність: 172 Телекомунікації та  
радіотехніка  
(код і повна назва спеціальності)

Тип програми: освітньо-професійна  
(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Освітня програма: Інформаційно -мережна  
інженерія  
(повна назва освітньої програми)

Керівник: ст. викладач Калюжний М. М.  
(посада, прізвище, ініціали)

Допускається до захисту

Зав. кафедри \_\_\_\_\_  
(підпис)

Безрук В. М.  
(прізвище, ініціали)

Харків 2022

Не містить відомостей, заборонених  
до відкритого публікування

Студент \_\_\_\_\_ / В.І. Холобок /

Керівник \_\_\_\_\_ / М.М. Калюжний /

Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Інфокомунікацій  
(повна назва)  
Кафедра Інформаційно-мережної інженерії  
(повна назва)  
Рівень вищої освіти другий (магістерський)  
Спеціальність 172 Телекомунікації та радіотехніка  
(код і повна назва)  
Тип програми освітньо-професійна  
(освітньо-професійна або освітньо-наукова)  
Освітня програма Інформаційно-мережна інженерія  
(повна назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедри «ІМІ»  
проф. Безрук В. М.

\_\_\_\_\_ (підпис)

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2021р.

**ЗАВДАННЯ**  
**НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ**

студенту Холобок Владиславу Івановичу  
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Аналіз і моделювання сигналів в інтересах радіомоніторингу випромінювань малопомітних радіолокаційних станцій

затверджена наказом по університету від «21» жовтня 2022р. № 1376 Ст.

2. Термін подання студентом роботи до екзаменаційної комісії 23.12.2022р.

3. Вихідні дані до роботи: Інформація щодо особливостей технології виявлення скритних сигналів на фоні дії особистих шумів прийомних пристроїв, програмне забезпечення, що моделює сукупність сигналів радіоелектронних засобів на вході прийомних пристроїв засобів радіомоніторингу

4. Перелік питань, що потрібно опрацювати в роботі:

4.1. Провести аналіз принципів формування радіосигналів випромінювань радіоелектронних засобів.

4.2. Розробити модель формування сукупності сигналів на вході приймача радіомоніторингу в умовах дії внутрішніх шумів.

4.3. Розробити алгоритм моделювання сукупності сигналів на вході

приймача радіомоніторингу в умовах дії внутрішніх шумів.

4.4. Розробити програмне забезпечення (ПЗ), що дозволяє моделювати сукупність сигналів на вході приймача радіомоніторингу в умовах дії внутрішніх шумів мовою програмування C# із застосуванням технологій об'єктно-орієнтовного програмування (ООП) та використавши платформу WFA (windows form application).

4.5. Провести техніко-економічне обґрунтування .

5. Перелік графічного матеріалу із зазначенням креслень, плакатів, комп'ютерних ілюстрацій: Демонстраційний матеріал у вигляді ppt-презентації: назва та мета роботи, класифікація сигналів, алгоритм моделювання сукупності скритних сигналів, опис архітектури програмного забезпечення і його складових, інтерфейс і результати моделювання сигналів на вході прийомного пристрою засобу радіомоніторингу

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Ознайомлення і уточнення завдання	21.09.2022	Виконано
2	Підбір і вивчення літератури	30.09.2022	Виконано
3	Розробка розділу 1	14.10.2022	Виконано
4	Розробка розділу 2	30.10.2022	Виконано
5	Розробка розділу 3	31.11.2022	Виконано
6	Розробка розділу 4	10.12.2022	Виконано
7	Розроблення техніко-економічного обґрунтування	15.12.2022	Виконано
8	Оформлення кваліфікаційної роботи	17.12.2022	Виконано

Дата видачі завдання \_\_\_\_\_ 15 вересня 2022 року \_\_\_\_\_

Студент \_\_\_\_\_ Холобок В.І.  
(підпис) (прізвище, ініціали)

Керівник роботи \_\_\_\_\_ ст. викладач Калюжний М.М.  
(підпис) (посада, прізвище, ініціали)

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до ДР: 87 с., 38 рис., 13 табл., 23 джерел.

Ключові слова: МАЛОПОМІТНІ РЛС, РІДІОМОНІТОРИНГ, ШИРОКОСМУГОВИЙ СИГНАЛ, МОДУЛЯЦІЯ, МАНІПУЛЯЦІЯ, МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ.

В роботі наведені результати обґрунтування моделі і розробки алгоритму та програмного забезпечення моделювання сукупності широкосмугових сигналів на вході приймача засобу радіомоніторингу з урахуванням внутрішнього шуму. Програмне забезпечення реалізоване як локальний додаток на мові програмування C#. Матеріали роботи містять необхідну інформацію про розроблений продукт: мету та завдання, модель логічного та фізичного проектування, реалізацію і шляхи використання.

## ABSTRACT

Explanatory note to the DR: 87 pp., 38 figures, 13 tables, 23 sources.

Key words: SMALL RADAR, RIDIOMONITORING, SIGNAL, MODULATION, MANIPULATION, MATHEMATICAL MODEL.

The paper presents the results of the substantiation of the model and the development of an algorithm and software for modeling a set of broadband signals at the input of a radio monitoring device receiver, taking into account internal noise. The software is implemented as a local application in the C# programming language. The materials of the work contain the necessary information about the developed product: purpose and task, model of logical and physical design, implementation and ways of use.

## ЗМІСТ

Перелік позначень і скорочень .....	9
Вступ.....	10
1 Аналіз радіосигналів випромінювань радіоелектронних засобів.....	16
1.1 Математичні моделі подання радіосигналів .....	16
1.2 Класифікація радіосигналів .....	17
1.3 Загальна математична модель подання радіосигналів випромінювань сучасних РЕЗ.....	37
1.4 Уточнення вимог до розробки алгоритму і програмного забезпечення	37
Висновки за розділом 1 .....	38
2 Обґрунтування моделі і алгоритму формування сукупності сигналів на вході приймача засобу радіомоніторингу.....	39
2.1 Амплітуда радіосигналу на вході приймача засобу радіомоніторингу. .	39
2.2 Модель формування сукупного сигналу на вході приймача засобу радіомоніторингу.....	42
2.3 Форма збереження вхідних даних для побудови радіосигналів .....	43
2.4 Алгоритм моделювання сукупності радіосигналів на вході приймача засобу радіомоніторингу.....	47
Висновки за розділом 2.....	50
3 Розробка програмного забезпечення моделювання радіосигналів на вході приймача засобу радіомоніторингу .....	52
3.1 Обґрунтування вибору засобів розробки та опис архітектури програмного забезпечення .....	52
3.2 Опис програмного забезпечення створення головного вікна додатку .....	54
3.3 Опис класів програмного додатку .....	56

3.4 Побудова сигналу на вході приймача радіомоніторингу та графіків в програмному додатку.....	57
4 Результати моделювання сигналу на вході приймача засобу радіомоніторингу .....	59
5 Техніко-економічне обґрунтування розробки.....	68
5.1 Обґрунтування доцільності розробки ПЗ.....	68
5.2 Оцінка конкурентоспроможності ПЗ у порівнянні з аналогом.....	69
5.3 Планування комплексу робіт з розробки програмного забезпечення і оцінка трудомісткості робіт .....	70
5.4 Розрахунок проектних витрат на розробку ПЗ.....	73
5.5 Розрахунок витрат на впровадження ПЗ.....	76
5.6 Розрахунок витрат на закупку та впровадження програмного продукту – аналога ПЗ, яке розроблено .....	78
5.7 Розрахунок поточних експлуатаційних витрат ПЗ та його аналога .....	79
5.8 Розрахунок показника економічного ефекту від розробки програмного забезпечення.....	83
5.9 Висновки за розділом 5.....	85
Висновки.....	86
Список джерел інформації.....	88
ДОДАТОК А.....	90

## ПЕРЕЛІК ПОЗНАЧЕНЬ І СКОРОЧЕНЬ

- АКФ – автокореляційна функція  
АЦП – аналогове-цифровий перетворювач  
БС – безперервний сигнал  
ДКБ – дискретний код Баркера  
ДМ – двійкова маніпуляція  
ДС – діаграма спрямованості  
ЕОМ – електронна обчислювальна машина  
МРЛС – малопомітні РЛС  
ПЕОМ – персональна електронна обчислювальна машина  
ПЗ – програмне забезпечення  
ПК – персональний комп'ютер  
ПРБЛ – піковий рівень бокових пелюсток  
ПФН – періодична функція невизначеності  
РЕЗ – радіоелектронні засоби  
РЛС – радіолокаційна система  
СПП – спектральна густина потужності  
ССШ – співвідношення сигнал/шум  
ФАР – фазова антенна решітка  
ФМ – фазова модуляція  
ФМн – фазова маніпуляція  
ЧМ – частотна модуляція  
ЧМн – частотна маніпуляція  
ЧС – частотні стрибки  
ЦАР – цифрова антенна решітка  
ШСС – широкопasmовий сигнал  
LPI – *Low probability of intercept radar* радіолокаційна станція (радар) з низькою імовірністю перехоплення

## ВСТУП

Сучасний світ не можна уявити без застосування радіоелектронних засобів (РЕЗ). Їх використання створило цілі галузі діяльності людства такі як зв'язок, телекомунікація, радіолокація (РЛ) і ін.. Виникнення РЛ було обумовлено нагальною потребою створення ефективних засобів контролю об'єктової обстановки. Метою побудови цих засобів було своєчасне виявлення повітряних літальних апаратів. У середині 30 років ХХ сторіччя такі засоби були створені. Ними стали радіолокаційні системи (РЛС). РЛС (*radar*) – (від англ. *radar* – *radio detection and ranging* – *радіовиявлення та вимірювання відстані*) технічна система, що здійснює виявлення повітряних, морських і наземних об'єктів і визначає їх відстань, швидкість та геометричні параметри відносно свого місця розташування, використовуючи для цього радіохвилі [1]. Робота РЛС заснована на генеруванні та випромінюванні енергії радіохвиль, відбиття її частини від об'єктів за якими ведеться спостереження у зворотному напрямку та подальшим прийманням і обробкою прийомними пристроями РЛС.

У ході другої світової війни (1939 – 1945 рр.) та відразу після її завершення, розробка РЛС проводилась головним чином у напрямку її військового використання. Військові РЛС все ще залишаються головної сферою впровадження РЛ техніки, хоча в останні часи РЛС знайшли своє місце у цивільному житті людства.

Спектр використання РЛ технологій дуже широкий. Починаючи з вимірювання швидкості польоту бейсбольного м'яча до картографування поверхні Венери, від зондування внутрішніх органів людини до глобальної системи позиціонування і так інше.

У теперішній час склалася наступна система класифікації РЛС [2]:

- за походженням радіосигналу, що обробляється РЛС: активні (з активною або пасивною відповіддю), напівактивні, пасивні;
- за діапазоном радіохвиль у якому працює РЛС: декаметрові, метрові, дециметрові, сантиметрові, міліметрові, нанометрові;

- за видом випромінювання: безперервні, імпульсні;
- за кількістю каналів випромінювання/прийому радіохвиль: одноканальні, багатоканальні (з частотним або просторовим розподілом каналів);
- за кількістю координат, що вимірюються: однокоординатні, двохкоординатні, трьохкоординатні;
- за методом дії: заобрійні, надобрійні;
- за місцем базування: наземні, корабельні, літакові, супутникові;
- за мобільністю: переносні, стаціонарні, рухомі, вмонтовані;
- за функціональним призначенням: виявлення, наведення, огляду, цілеуказання, метеорологічні, навігаційні, бокового огляду, попередження про випромінювання, зіткнення;
- за відстанню: понад великої, великої, середньої, малої дії;
- за галуззю застосування – військові, цивільні, наукові, медичні;
- і т. ін..

Розвиток технологій привів до потреби у покращенні параметрів РЛС, за якими є можливість виявити їх роботу. Отримані у другій половині ХХ сторіччя досягнення в галузях інформаційних технологій, обчислювальної техніки, мікросхемотехніки та мікроелектроніки надали новий поштовх розвитку РЛ технологій. Він надав змогу побудувати новий клас РЛС, що мають низьку імовірність власного перехоплення – малопомітних РЛС (МРЛС) у закордонній літературі *LPI-radar (Low Probability of Intercept radar)*.

Для забезпечення зменшення імовірності власного перехоплення, підвищення характеристик виявлення, вимірювання і *роздільної здатності* в технологіях побудови МРЛС використовують низьку спеціальних заходів, які можна умовно поділити на п'ять великих груп, а саме [3]:

1. Використання антен з вузькою діаграмою спрямованості антени, а також з малим *рівнем бокових пелюсток*.
2. Забезпечення випромінювання радіолокаційних імпульсів тільки за необхідністю.

3. Зменшення імпульсної потужності до рівня, що необхідний для досягнення заданої відстані дії.

4. Застосування *широкосмугових сигналів* (ШСС). ШСС мають розширений спектр у порівнянні із гладкими імпульсами завдяки зміні форми обвідної, несучої частоти, фази та періоду випромінювання сигналу.

5. Включення до складу РЛС потужного обчислювального комплексу. Застосування цих заходів призводить до наступних наслідків:

- з'являються труднощі у виявленні сигналів, що випромінюються МРЛС при знаходженні приймача за межами основного пелюстка діаграми спрямованості антени;

- зміна виду сигналу, випромінювання якого суттєво ускладнює вимірювання його параметрів;

- використання внутрішньо-імпульсної модуляції та маніпуляції частоти або фази сигналу робить його схожим на природній шум. Енергія таких сигналів розподіляється досить рівномірно у всій смузі частот із рівнем, що не перевищує потужність власних шумів устаткування радіоприймачів, що зводить імовірність виявлення такого сигналу до зовсім незначних величин. Все це робить LPI-радары малопомітними [3].

Завдяки наявності зазначених властивостей, в останні часи МРЛС все частіше використовують у військовій сфері для забезпечення скритності їх функціонування. Приклади МРЛС закордонного виробництва за матеріалами [1-4] наведено у таблиці 1.1

Таблиця 1.1 – Приклади МРЛС закордонного виробництва

Назва	Призначення	Потужність, Вт	Базування	Держава
SCOUT	огляд, навігація	0,01–1		
VARIANT	огляд	1	Морська	Нідерланди
PILOT	огляд, навігація	0,01–1		

Продовження таблиці 1.1

AN/APQ-181	багатофункціональна	–	Авіаційна	США
AN/APG-81	багатофункціональна	1-2	F-35	
AN/APG-77	багатофункціональна	1-2	Raptor	
AN/APS-147	навігаційна	–	Авіаційна	
PAGE	ППО	20	Наземна	Нідерланди
SQUIRE	оглядова	0,01–1		Нідерланди
EL/M-2140	оглядова	70		Ізраїль
MRSR	ППО			США

Проведений аналіз літератури показав, що перші три групи заходів, які використовуються у технологіях побудови МРЛС, засновані на розвитку теорії та технології побудови антенних систем. Цей напрямок у теорії радіолокації як області науки займає своє окреме місце. Теорії побудови РЛ антенних систем присвячена велика кількість наукових робіт, наприклад [5-9]. Для побудови антенних систем з вузьким променем, а також з малим рівнем бокових пелюсток використовують фазові та цифрові антенні решітки (ФАР та ЦАР). Основною відмінністю таких антенних систем від звичайних антен є відсутність одного потужного передавача. Його роль виконує сукупність малопотужних (елементарних) передавачів, що розміщуються в *апертурі антени*. Робота кожного такого елементарного передавача та їх взаємодія між собою здійснюється під управлінням спеціальних керуючих програм власного обчислювального комплексу МРЛС. Така побудова дозволяє здійснити електронне формування потрібної кількості променів випромінювання у необхідному напрямку та забезпечити їх сканування.

ФАР мають:

- високий коефіцієнт підсилення та низький рівень бокових пелюсток;
- можливість переведення діаграми спрямованості (ДС) випромінювання з однієї цілі на іншу впродовж декількох десятків мікросекунд;
- можливість швидкого формування та зміни ДС під управлінням комп'ютеру;
- довільну зміну режимів огляду та супроводження;
- довільне за потребою зміну часу опромінення цілі;

- можуть забезпечити багатofункціональний режим роботи за рахунок одночасного формування декількох променів;
- високу надійність роботи.

Поряд з цим ФАР та ЦАР на сьогоднішній день притаманні наступні недоліки: область сканування обмежена  $120^\circ$  сектором по азимуту та куту місця; змінюється форма основного променя ДС антени при відхиленні її від нормалі до розкриву антени, що призводить до погіршення точності вимірювання кутових координат; залежність параметрів ДС від частоти випромінювання; досить складна структура систем; висока собівартість.

Зважаючи на властивості антенних систем, що застосовуються у технологіях побудови МРЛС, виявлення LPI-радарів за параметрами їх ДС уявляється задачею з низькою імовірністю розв'язання у найближчі часи.

Більш перспективним напрямком виявлення МРЛС є намагання виявити сигнали, що випромінюють LPI-радары. Як вже було зазначено МРЛС використовують ШСС [1, 10-20].

У 1946 році В. А. Котельников у своїй дисертації вперше сформулював завдання оцінки оптимальних параметрів сигналів на тлі адитивного гаусового шуму і знайшов їх вирішення. Потім він продовжив свої дослідження для детермінованих сигналів із мінімальною та максимальною ймовірностями виявлення [8]. На початку 70 років минулого століття Х. Хармут запропонував підхід до опису ШСС, заснований на уявленні їх функціями Уолша [9]. В основі синтезу ШСС було покладено принцип збільшення бази сигналу шляхом розширення його спектру [1-3,12-16]. Вперше ШСС в СРСР практично були реалізовані в РЛС систем попередження про ракетний напад: заобрійні РЛС виробу 5Н32, 5Н77 в яких використовували лінійно-частотні (ЛЧМ), фазо-кодманіпульовані (ФКМ) та дискретно-частотні сигнали (ДЧС) кодовані кодом Баркера та М-послідовностями; в РЛС протиракетної оборони – надобрійні 5Н86, 5Н90, що використовували ФКМ сигнали кодовані 128 знаковою М-послідовністю; та РЛС протикосмічної оборони [11]. Це стало можливим завдяки

існуванню у цих РЛС антенних систем, побудованих за типом ФАР та наявності у їх складі потужних на той час обчислювальних комплексів, які склалися з декількох *майнфреймів* і спеціалізованих ЕОМ, що здійснювали формування та управління скануванням ДС, формування сигналів випромінювання та обробку прийнятих сигналів.

Забезпечення сумісної роботи розглянутих РЕЗ, вважаючи на важливість задач, що покладені на їх роботу, є на важливішим завданням будь-якої держави. В Україні функцію контролю за використанням радіочастот, що використовують РЕЗ покладено на Державний центр радіочастот. Технічні засоби за допомогою яких здійснюється контроль за використанням радіопростору отримали назву обладнання *радіомоніторингу*.

У переважній кількості джерел, що присвячені синтезу ШСС та їх обробці, вважається, що сигнали на вході пристроїв оптимальної обробки є цілком детермінованими, тобто їх параметри заздалегідь відомі [15-21]. Питання обробки недетермінованих ШСС розкрито недостатньо повно тому, що за існуючими підходами виявлення сигналів на фоні шумів в переважній кількості випадків застосовується механізм *узгодженої фільтрації* [2]. В процесі проведення радіомоніторингу параметри сигналів РЕЗ, що ними випромінюються, априорі невідомі, тобто сигнали, які підлягають виявленню не є детермінованими. Тому **тема кваліфікаційної роботи** пов'язана із моделюванням сигналів РЕЗ на вході приймача *радіомоніторингу* є **актуальною**.

**Об'єктом дослідження** в кваліфікаційній роботі виступає технологія формування і обробки сигналів, що випромінюються сучасними РЕЗ.

**Предметом дослідження** є моделювання широкополосних сигналів від декількох РЕЗ на вході приймача засобу радіомоніторингу на фоні власних шумів.

**Мета роботи** полягає в обґрунтуванні моделі і розробці алгоритму та програмного забезпечення, які дозволяють моделювати сукупність сигналів, що утворюється від випромінювання радіоелектронних засобів на вході прийомного пристрою засобу радіомоніторингу на фоні дії внутрішніх шумів.

# 1 АНАЛІЗ РАДІОСИГНАЛІВ ВИПРОМІНЮВАНЬ РАДІОЕЛЕКТРОННИХ ЗАСОБІВИ

## 1.1 Математичні моделі подання радіосигналів

Сигналом визнається процес зміни фізичної величини (наприклад, температури, тиску повітря, світлового потоку, сили струму, напруги, енергії, потужності тощо), що використовується для передачі інформації [22].

Радіосигнал це сигнал, у якому в якості носія інформації використовуються електромагнітні коливання, частота яких знаходиться у радіодіапазоні. Існує два основних способи подання радіосигналів у залежності від області їх визначення: часовий та частотний [2].

В першому випадку радіосигнал у загальному вигляді подається комплексною функцією  $\dot{S}(t)$ , що характеризує зміну його параметрів у часі [1]:

$$\dot{S}(t) = Ae^{(2\pi f_c t + \varphi)}, \quad (1.1)$$

де  $A$  – амплітуда;

$f_c$  – частота;

$\varphi$  – фаза сигналу.

Використавши, перетворення Ейлера [22] отримаємо інший вид загального математичного уявлення радіосигналу:

$$\dot{S}(t) = A \cos(2\pi f_c t + \varphi) + jA \sin(2\pi f_c t + \varphi) \quad (1.2)$$

Крім звичайного уявлення радіосигналів у часовій області при проведенні аналізу та обробці даних широко використовується опис сигналів функціями частоти, що базується на наступному твердженні: будь-який складний за своєю формою сигнал можна уявити у вигляді суми більш простих сигналів. Приватним виглядом такого уявлення є сума найпростіших гармонійних

коливань, сукупність яких називається частотним спектром сигналу. Для переходу до частотного способу уявлення радіосигналів використовується перетворення Фур'є [22]:

$$\dot{C}(\omega) = 2\pi \int_{-\infty}^{+\infty} \dot{S}(t) e^{-j\omega t} dt \quad (1.3)$$

де  $\omega$  – колова частота сигналу, що пов'язана з лінійною частотою сигналу  $f_c$  відношенням  $\omega = 2\pi f_c$ .

Функція  $\dot{C}(\omega)$  – називається спектральною функцією або спектральною щільністю. Фізичний зміст спектральної функції заключається у наступному: сигнал  $\dot{S}(t)$  у вигляді незкінченного ряду гармонійних складових

з амплітудами  $\frac{|s(\omega)|}{\pi} d\omega$  безперервно заповнює інтервал частот від  $-\infty$  до  $+\infty$

При виборі форми уявлення гармонійних складових такого ряду найбільш поширене використання отримали функції синусу або косинусу. Поряд з цим в останні часи все частіше використовують у якості гармонійних складових функції Уолша [9].

## 1.2 Класифікація радіосигналів

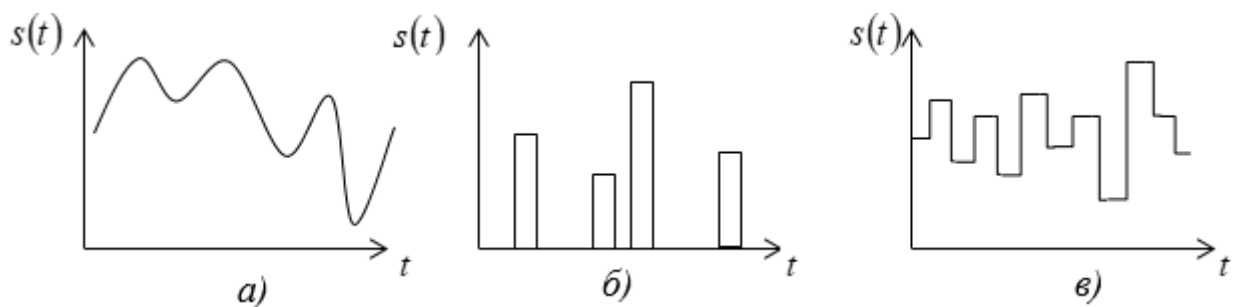
Для досягнення поставленої мети кваліфікаційної роботи необхідно дослідити які радіосигнали випромінюють сучасні РЕЗ. За природою свого походження радіосигнали, що використовують РЕЗ, можна класифікувати за наступними ознаками [20], що наведені на рисунку 1.1.

За визначеністю радіосигнали поділяються на детерміновані та випадкові. Детерміновані радіосигнали це такі сигнали параметри яких заздалегідь відомі. Випадковими вважаються радіосигнали параметри яких заздалегідь невідомі їх значення можуть бути тільки передбачені з деякою ймовірністю.



Рисунок 1.1 – Класифікація радіосигналів

За формою радіосигнали поділяються на аналогові та дискретні. Аналогові радіосигнали мають амплітуду що може приймати будь які значення впродовж всього часу їх існування (рис. 1.2а). До дискретних відносять радіосигнали параметри яких можуть приймати тільки деякі визначені значення як за часом так/або за рівнем (рис. 1.2б та 1.2в).

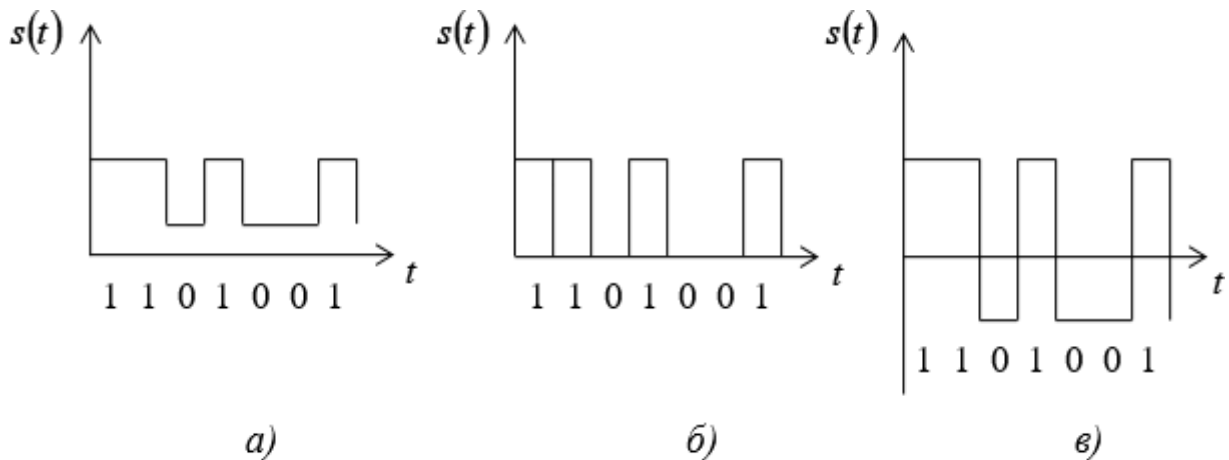


а) аналоговий, б) дискретний у часі, в) дискретний за рівнем

Рисунок 1.2 – Часові діаграми радіосигналів

Приватним випадком дискретних радіосигналів є цифрові радіосигнали які можна уявити послідовністю дискретних цифрових значень. Найбільше поширення у практичному застосуванні отримав подвійний цифровий радіосигнал. Такий сигнал являє собою послідовність зміни одного з параметрів сигналу амплітуди, фази або частоти, на значення логічної одиниці або нуля.

Часові діаграми подвійного цифрового сигналу у якого здійснюється зміна амплітуди наведені на рисунку 1.3.



a) уніполярний без переходу на 0, б) уніполярний з переходом на 0,  
в) біполярний

Рисунк 1.3 – Часові діаграми цифрового радіосигналу

За існуванням у часі радіосигнали поділяються на дві великі групи: безперервні це ті що існують впродовж всього часу спостереження та імпульсні тобто такі існування яких обмежено деяким проміжком часу.

За складністю радіосигнали можна поділити на прості та складні [20]. В деяких джерелах зустрічається розподіл радіосигналів за ознакою їх складності на вузькосмугові або широкосмугові [21]. До простих сигналів відносять радіосигнали у яких база сигналу  $B$ , тобто добуток ефективної ширини спектру сигналу  $\Delta F$  на його ефективну тривалість  $\Delta T$ , приблизно дорівнює одиниці:

$$B = \Delta F \Delta T \approx 1 \quad (1.4)$$

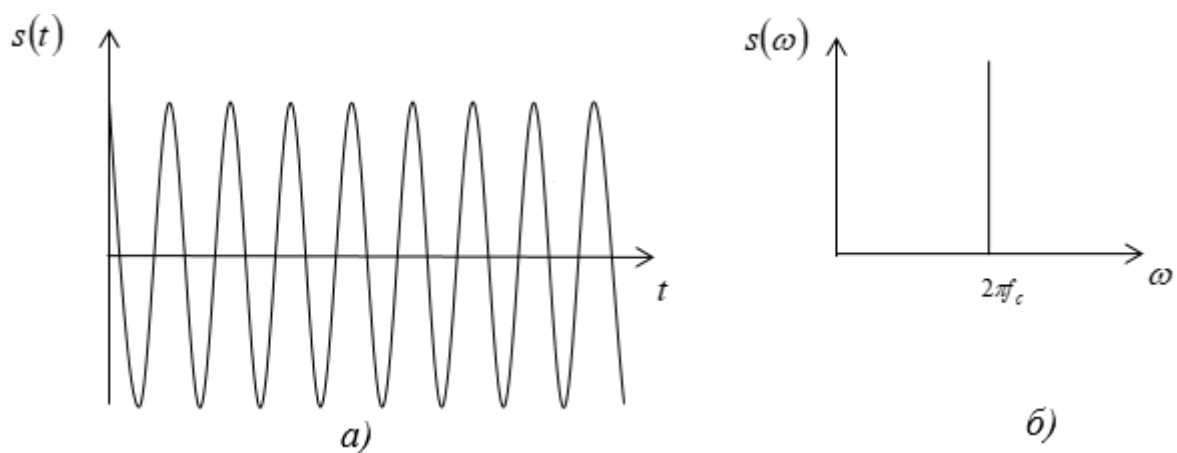
Складними радіосигналами вважають такі сигнали база яких відповідає умові  $B > 1$ . В окремий клас складних сигналів в останні часи виділилися радіосигнали у яких база значно перевищує одиницю  $B \geq 1$ . Такі сигнали отримали назву *широкосмугових сигналів* (ШСС).

### 1.2.1 Прості радіосигнали

Прикладом простого безперервного сигналу може служити гармонійне електромагнітне коливання, що існує впродовж всього часу спостереження та амплітуда якого змінюється за законом косинусу:

$$s(t) = A \cos(2\pi f_c t + \varphi) \quad (1.5)$$

Вигляд діаграм у часовій та частотній області такого сигналу наведено на рисунку 1.4.



*a)* – у часовій області, *б)* – у частотній області (спектр сигналу)

Рисунок 1.4 – Діаграма простого безперервного радіосигналу

Як видно з рис. 1.4, такий сигнал має високу роздільну здатність по частоті, але низькі показники виявлення цілей у часі, тобто РЛС що використовують такий сигнал дуже добре розрізняють цілі по швидкості і не спроможні виявити відстань до них.

#### 1.2.1.1 Радіосигнали з амплітудною модуляцією

Для збільшення роздільної спроможності радіосигналу у часі використовують імпульсні сигнали. Їх отримують шляхом *модуляції* амплітуди безперервного сигналу, це відбувається обмеженням існування радіосигналу у часі. У випадку якщо функція модуляції являє собою прямокутник то амплітуда

такого сигналу може бути записана у вигляді:

$$A(t) = \begin{cases} A, & \text{якщо } t_0 \leq t \leq \tau \\ 0, & \text{якщо } t_0 > t > \tau \end{cases} \quad (1.6)$$

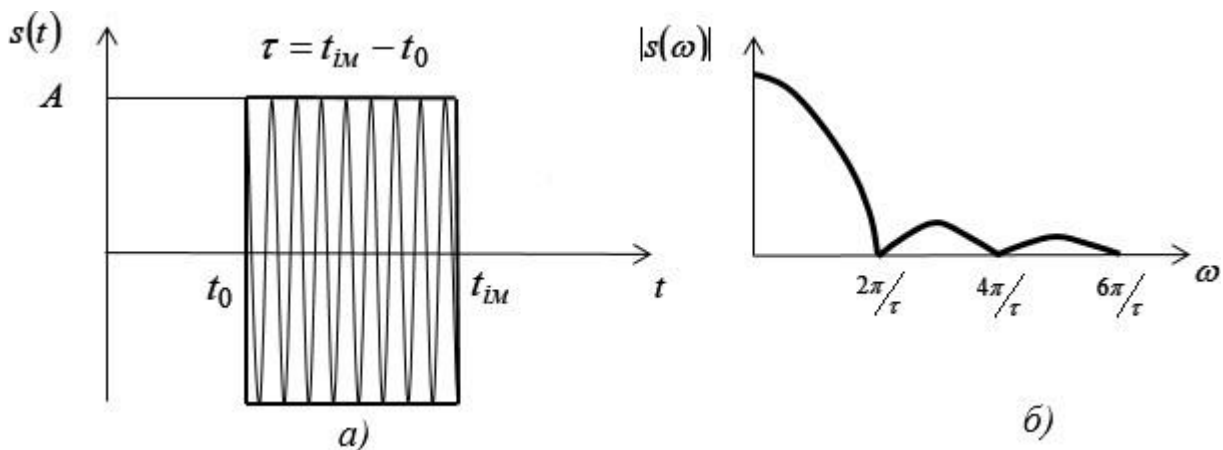
де  $A$  – амплітуда імпульсу;

–  $t_0$  час початку імпульсу;

$t_{im}$  – час кінця імпульсу;

$\tau = t_{im} - t_0$  – тривалість імпульсу.

На рис. 1.5 наведено діаграми такого сигналу, що отримав назву одинокий прямокутний радіоімпульс у часовій та частотній областях.



*a)* – у часовій області, *б)* – у частотній області (спектр сигналу суцільний)

Рисунок 1.5 – Діаграми одинокого імпульсного прямокутного радіосигналу

Аналіз діаграм, що наведені на рис. 1.5, приводить до наступних висновків: у порівнянні з простим безперервним радіосигналом застосування прямокутного радіоімпульсу дозволяє вимірювати відносну відстань до об'єктів. Спираючись на фізичні властивості радіохвиль, зокрема на те, що їх швидкість розповсюдження приблизно дорівнює швидкості розповсюдження світла і обмеження у часі (є початок і кінець сигналу) та з урахуванням того, що сигнал проходить відстань до об'єкту двічі (у прямому напрямку до об'єкта та звідти віддзеркалившись від нього) відносна відстань буде визначатися

формулою [2]

$$D = \frac{ct_3}{2} \quad (1.7)$$

де  $D$  – відносна відстань до об'єкту;

$c \approx 3 * 10^8$  м/с – швидкість розповсюдження світла;

$t_3$  – інтервал часу з моменту випромінювання імпульсу до його приймання.

У якості функції модуляції можуть бути використані кусочно-лінійні (наприклад трикутні), експоненціальні (дзвінкові – імпульс Гауса, двобічна експонента).

Математичний опис трикутної функції модуляції наведено у виразі (1.8), імпульсу Гауса у виразі (1.9) та двобічної експоненти у виразі (1.10).

$$A(t) = \begin{cases} A \left(1 + \frac{t}{\tau/2}\right), & \text{якщо } -\frac{\tau}{2} \leq t \leq 0 \\ A \left(1 - \frac{t}{\tau/2}\right), & \text{якщо } 0 \leq t \leq \frac{\tau}{2} \end{cases} \quad (1.8)$$

$$A(t) = A \exp\left(\left| -t^2 / \sigma^2 \right| \right) \quad (1.9)$$

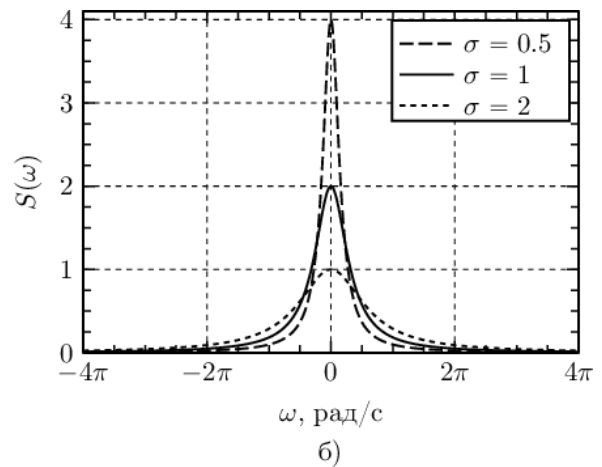
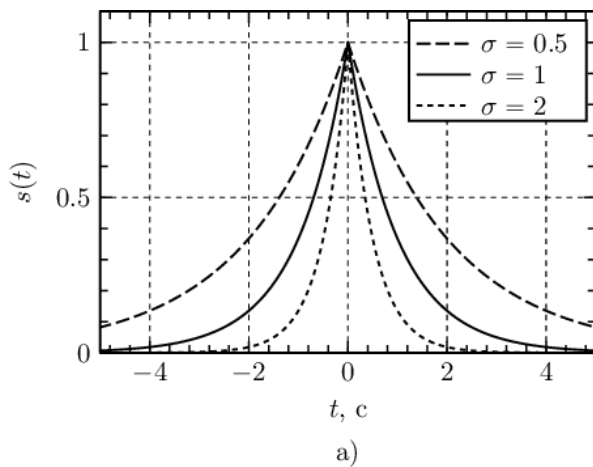
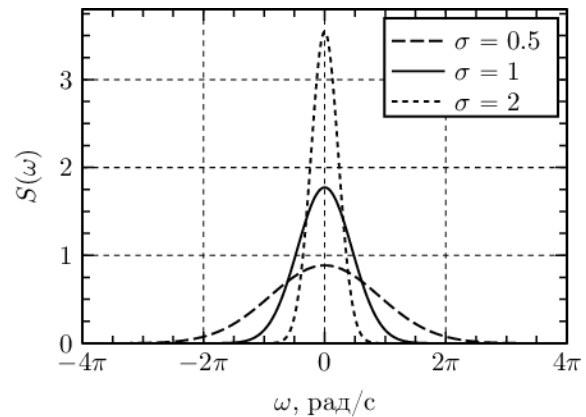
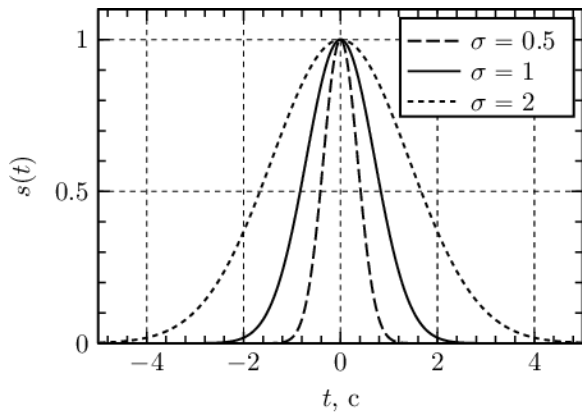
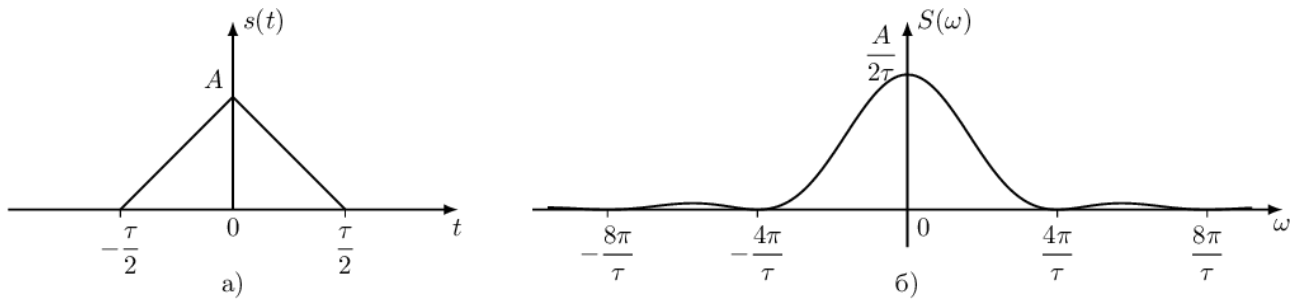
$$A(t) = A \exp\left(\left| -\sigma / |t| \right| \right) \quad (1.10)$$

де  $A$  – амплітуда імпульсу;

$\sigma$  – позитивна константа, що задає ширину імпульсу;

$\tau$  – тривалість імпульсу.

Форми таких імпульсів без радіозаповнення та вигляд їх спектрів наведено на рис. 1.6.



а) у часовій області б) у частотній області 6-1 – трикутна модуляція, 6-2 – дзвінкова (імпульс Гауса), 6-3 – двобічна експонента

Рисунок 1.6 – Вигляд одиноких радіоімпульсів із різними формами амплітудної модуляції

Спираючись на вираз (1.1) математичну модель радіосигналу із амплітудною модуляцією можна записати як:

$$s(t) = A(t)e^{j(2\pi f_c t + \varphi)}, \quad (1.11)$$

де  $A(t)$  – закон зміни амплітуди;

$f_c$  – частота;

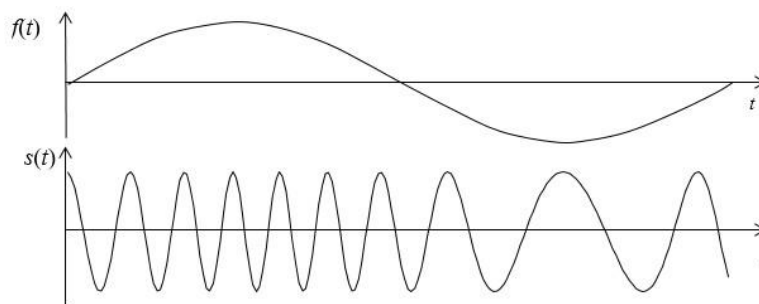
$\varphi$  – фаза сигналу.

Потенціальна точність вимірювання РЛС, що використовує прості радіосигнали визначається: по відстані ефективною шириною спектру, по швидкості тривалістю імпульсу [1].

Для збільшення параметрів точності вимірювання відстані РЛС необхідно збільшувати ширину спектру радіоімпульсу що випромінюється, а для поліпшення виміру швидкості потрібно збільшення тривалістю імпульсу [3]. Для розв'язання такого протиріччя використовують модуляцію частоти сигналу.

### 1.2.1.2 Радіосигнали із частотною модуляцією

При частотній модуляції (ЧМ) миттєві значення сигналу змінюють частоту несучої, залишаючи незмінною її амплітуду. На рис. 1.7 наведено радіосигнал із ЧМ що підкоряється закону синусу з частотою  $\Omega$ .



$s(t)$ ,  $f(t)$  – закон зміни частоти сигналу (моделюючий сигнал)

Рисунок 1.7 – Часові діаграми сигналу із ЧМ

Закон зміни частоти можна записати у наступному вигляді:

$$f(t) = \omega_0 + m_q \Omega \sin(\Omega t), \quad (1.12)$$

де  $m_q = \Delta\omega\Omega$  – коефіцієнт частотного відхилення або глибина частотної модуляції;

$\Delta\omega$  – девіація кутової частоти або максимальне відхилення несучої в один бік від частоти вихідного значення;

$\Omega$  – кутова частота сигналу, що модулює;

$\omega_0$  – середнє значення кутової частоти несучої сигналу.

Девіацією ще називають відносну зміну частоти несучої, що викликана дією модулюючого коливання. Використавши вираз (1.1) математична модель радіосигналу із ЧМ у загальному випадку набуде вигляд:

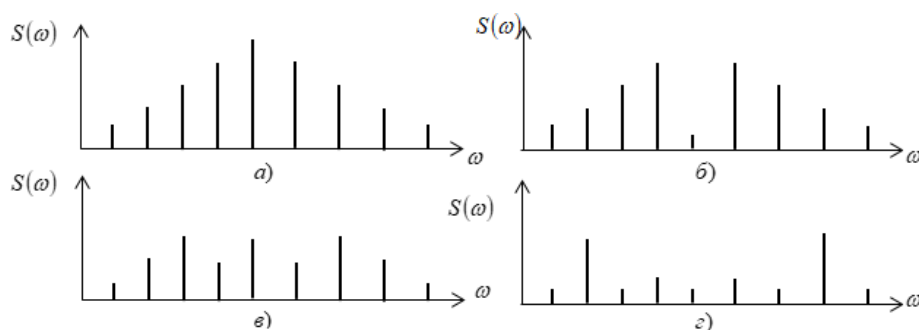
$$s(t) = Ae^{j[2\pi f(t)t + \varphi]}, \quad (1.13)$$

де  $A$  – амплітуда;

$f(t)$  – закон зміни частоти;

$\varphi$  – фаза сигналу.

Приклади спектрів радіосигналів із ЧМ що підкоряється закону синусу із різною глибиною ЧМ наведено на рис. 1.8.



$f(t) = \sin(\Omega t)$  із глибиною модуляції  $a) m_q = 1, b) m_q = 2,5, c) m_q = 4, d)$

$$m_q = 5$$

Рисунок 1.8 – Спектр радіосигналу із ЧМ

Окремим випадком частотної модуляції є лінійна частотна модуляція (ЛЧМ).

Радіосигнали з ЛЧМ отримали широке застосування у РЕЗ, особливо в МРЛС за наявності наступних властивостей. Для сигналу з ЛЧМ характерна простота реалізації. Поза достатньо низької потужності, що передається таким сигналом, його ймовірність перехоплення значно зменшується. Частотна модуляція розповсюджує енергію на велику смугу модуляції, що забезпечує задовільну роздільну здатність по відстані. Спектр потужності безперервного сигналу з частотною модуляцією (ЧМ) є майже прямокутним у смузі модуляції, що створює труднощі для його перехоплення.

Лінійний закон зміни частоти описується наступним виразом [1]:

$$f(t) = f_c - \frac{\Delta F}{2} + \frac{\Delta F}{t_b} t \quad (1.14)$$

де  $0 \leq t \leq t_b$  та 0 для інших значень часу;

$f_c$  – середня частота сигналу;

$\Delta F$  – смуга сигналу що передається;

$t_b$  – період модуляції.

Фаза сигналу що передається

$$\varphi(t) = 2\pi \int_0^t f(t) dt \quad (1.15)$$

Припускаючи, що  $\varphi(0) = 0$  при  $t = 0$

$$\phi_1(t) = 2\pi \left[ \left( f_c - \frac{\Delta F}{2} \right) t + \frac{\Delta F}{2t_m} t^2 \right] \quad (1.16)$$

для  $0 \leq t \leq t_b$ . Тоді, математичний запис комплексного радіосигналу з ЛЧМ набуває вигляд:

$$\hat{S}(t) = A_0 \exp j2\pi \left[ \left( f_c - \frac{\Delta F}{2} \right) t + \frac{\Delta F}{2t_b} t^2 \right], \quad (1.17)$$

де  $f_c$  – середня частота сигналу;

$\Delta F$  – смуга сигналу що передається;

$t_b$  – період модуляції;

$A_0$  – амплітуда сигналу;

$\varphi_0$  – початкова фаза сигналу.

Часова діаграма радіосигналу з ЛЧМ та його спектр наведені на рис. 1.9.

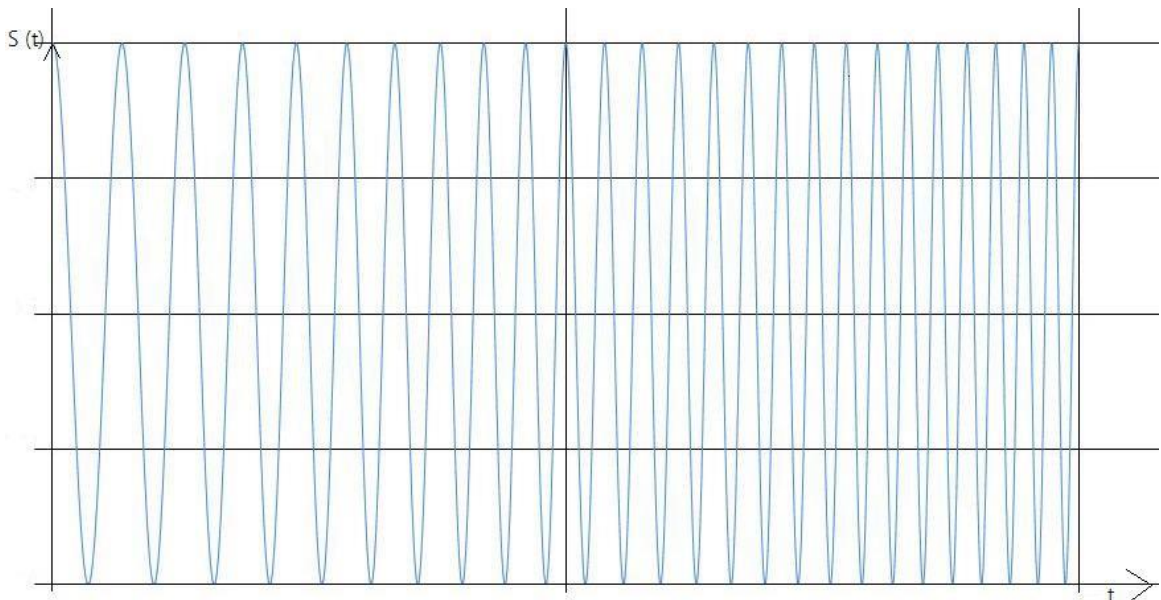


Рисунок 1.9 – Діаграма радіоімпульсу з ЛЧМ що має середню частоту спектру =10 МГц, період модуляції = 3 мс, полоса модуляції = 10 МГц

Поряд з наявними перевагами радіосигналів з ЛЧМ вони мають істотний недолік – висота перших двох пелюсток його автокореляційної функції (АКФ) достатньо велика та складає 0,212 від висоти центрального пелюстка. Таке становище при значних рівнях шумів може привести до помилкового визначення часового положення імпульсу тобто помилки у визначенні відстані [20]. Для усунення такого недоліку використовують фазову модуляцію.

### 1.2.1.3 Радіосигнали із фазовою модуляцією

При фазовій модуляції (ФМ) фаза радіосигналу  $\phi$  змінюється у відповідності з обраним законом модуляції. У якості прикладу, якщо закон зміни фази є гармонійна функція синусу то закон зміни фази набуває вигляд

$$\phi(t) = \phi_0 + \Delta\phi \sin(\Omega t) , \quad (1.18)$$

де  $\Delta\phi$  – коефіцієнт фазового відхилення або глибина фазової модуляції;  
 $\Delta\phi$  – девіація фази або максимальний зсув фази в один бік від початкової фази сигналу  $\phi_0$ ;

$\Omega$  – кутова частота сигналу, що модулює.

Спираючись на вираз (1.1) математичну модель радіосигналу із ФМ можна записати у наступному вигляді:

$$\hat{S}(t) = A e^{j[2\pi f_c t + \phi(t)]} \quad (1.19)$$

де  $A$  – амплітуда;

$f(t)$  – частота;

$\phi(t)$  – закон зміни фази сигналу.

При ФМ змінюється не тільки фаза, але і миттєва частота радіосигналу. Аналогічно при ЧМ змінюється миттєва фаза несучої радіосигналу. Таким чином, ФМ та ЧМ є різновидами кутової модуляції [2].

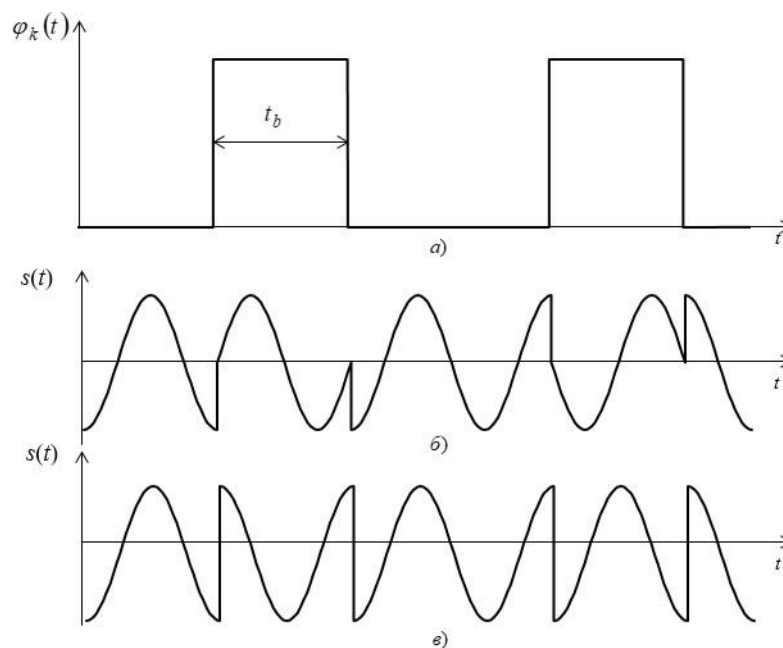
Смуга частот яку займає спектр радіосигналу з ФМ складається з несучої і двох бокових смуг та схожий на спектр радіосигналу з ЧМ з тою різницею, що при ФМ бокові частоти не залежать від частоти закону модуляції, тоді як при ЧМ амплітуда цих частот зменшується зі збільшенням частоти модуляції [23].

## 1.2.2 Складні радіосигнали

Для підвищення потенційних характеристик виявлення РЛС, забезпечення електромагнітної сумісності роботи РЕЗ, прихованості їх роботи, розширення пропускної спроможності каналів передачі даних, підвищення завадозахищеності використовують складні радіосигнали. Такі сигнали отримують шляхом використання складних функцій модуляції простих сигналів. Якщо функція, що використовується для модуляції має дискретний характер то таку модуляцію вважають маніпуляцією [2].

### 1.2.2.1 Радіосигнали з фазовою маніпуляцією

Сенс фазової маніпуляції (ФМн) полягає у наступному: фаза несучої радіосигналу змінюється стрибком у момент стрибка функції, що використовується для маніпуляції значення фази. Діаграми радіосигналу з ФМн наведені на рис. 1.10.



*a)* дискретна функція маніпуляції фази, *б)* радіосигнал у якого стрибки фази здійснюються на  $90^\circ$  *в)* радіосигнал у якого стрибки фази здійснюються на  $180^\circ$

Рисунок 1.10 – Діаграми функції маніпуляції фази та радіосигналів з ФМн

Зазвичай для маніпуляції використовується деякий періодичний закон

зміни фази. У деяких джерелах такий закон називають кодовим періодом [1]. Впродовж кодового періоду фаза сигналу змінюється  $N_c$  разів, на фазу  $\varphi_k$  кожні  $t_b$  секунд у відповідності зі специфічною кодовою послідовністю. Величина  $t_b$  це період зміни підкоду.

Інтервал  $t_b$  має назву внутрішній період кодової послідовності (ВП КП). Загальний період коду складає

$$T = N_c t_b \text{ сек}, \quad (1.20)$$

та має швидкість зміни коду

$$R_c = 1 / N_c t_b \text{ сек}^{-1}. \quad (1.21)$$

У випадку використання ФМн сигнал передавача може бути представлено виразом

$$s(t) = \sum_{k=1} s_k |t - (k - 1)t_b| \quad (1.22)$$

для  $0 \leq t \leq T$  та нулю зовні інтервалу. Комплексна огибаюча  $s_k$  такого сигналу

$$\dot{S}_k(t) = A e^{j\phi_k(t)} \quad (1.23)$$

для  $0 \leq t \leq t_b$  та нулю поза інтервалом. Для РЛС що використовують ФНм загальний діапазон фазового кодування радіосигналу складає

$$\Delta R = \frac{c t_b}{2}, \quad (1.24)$$

та діапазон однозначного виявлення

$$R_u = \frac{cT}{2} = \frac{cN_c t_b}{2} \quad (1.25)$$

де  $c \approx 3 * 10^8$  м/с – швидкість розповсюдження світла.

Якщо  $N_c$  це кількість циклів стрибків фази несучої частоти у кодовій послідовності то ширина смуги сигналу, що випромінюється складає [1]

$$\Delta F = f_c / N_c = 1/t_b . \quad (1.26)$$

Таким чином складні радіосигнали із ФМн мають більш високі роздільні спроможності у порівнянні з простими сигналами.

### 1.2.2.2 Радіосигнали з фазовою маніпуляцією кодом Баркера

Найбільш поширене використання у якості періодичного дискретного закону зміни фази отримав дискретний код Баркера (ДКБ) кінцевої довжини із постійною амплітудою у якого фаза приймає значення  $0^\circ$  або  $180^\circ$  [1].

Інакше, ДКБ – це код кінцевої довжини  $A = [a_0, a_1, \dots, a_i, \dots, a_n]$ , (де  $a_i$  – нормовані комплексні амплітуди імпульсів, що створюють радіосигнал із ФМн) який містить елементи +1 або -1 тривалості  $n \geq 2$  такої, що коефіцієнти автокореляції цього коду

$$r_k = \sum_{j=1}^{n-k} a_j a_{j-k} \quad (1.27)$$

задовольняють умові  $|r_k| \leq 1$  для  $k \neq 0$  та  $r_{-k} = r_k$ .

ДКБ відомий тільки для довжини коду  $n = 2, 3, 4, 5, 7, 11, 13$ .

Для прикладу в таблиці 1.2 наведено дев'ять послідовностей ДКБ.

Таблиця 1.2 – Приклади послідовності дискретного коду Баркера

Довжина коду	2	2	3	4	4	5	7	11	13
Елементи коду	-+	+ -	++-	+++ -	++++ -	++++ - +	++++ - - + -	++++ - - - + - - + -	++++ + - - - - + - - + -

У якості прикладу на рис. 1.11 наведено закон зміни фази, що закодована ДКБ довжина якого становить 5 елементів та її АКФ рис. 1.12.

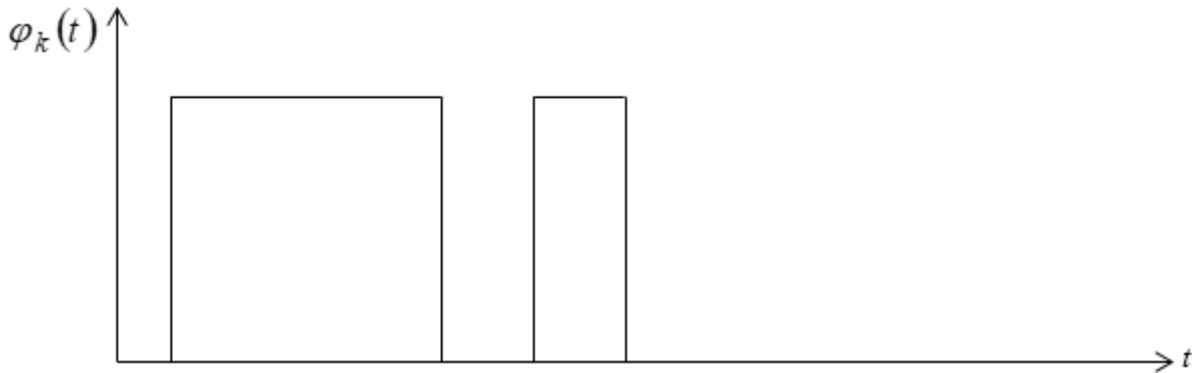


Рисунок 1.11 – Функція модуляції фази, що закодована ДКБ довжиною 5 елементів

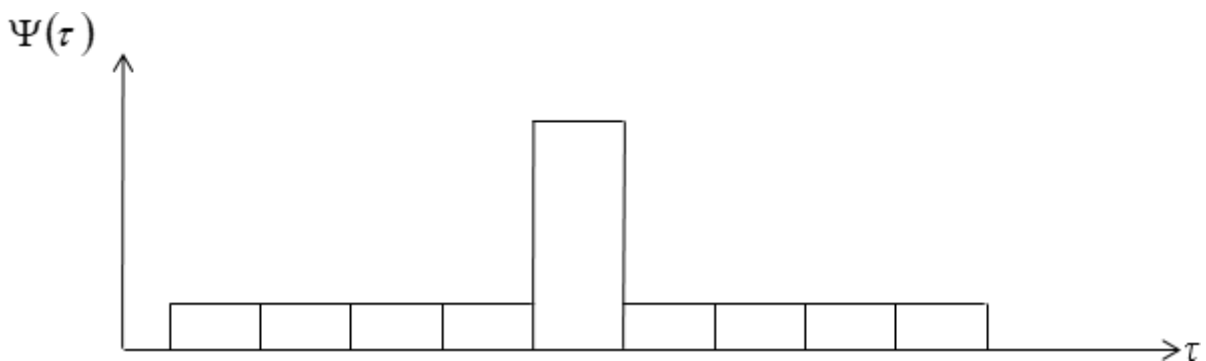


Рисунок 1.12 – АКФ ДКБ довжиною 5

АКФ радіосигналів із ФМн ДКБ має рівень бокових пелюсток не більше  $\frac{1}{n}$ , відносно рівня головного пелюстка [2].

### 1.2.2.3 Радіосигнали з фазовою маніпуляцією, що закодована M-послідовністю

За необхідності побудови періодичного дискретного закону зміни фази більшої довжини чим ДКБ у переважній кількості випадків [19] використовують M-послідовності або послідовності максимальної довжини (*англ. Maximum length*

*sequence*, MLS). Як правило, використовуються двійкові  $M$ -послідовності, члени яких є числами 1 або 0 [2].

$M$ -послідовності створюються за допомогою регістрів зсуву з лінійним зворотнім зв'язком. Система створення  $M$ -послідовності з таким регістром, що має довжину 4, зображена на рис. 1.13.

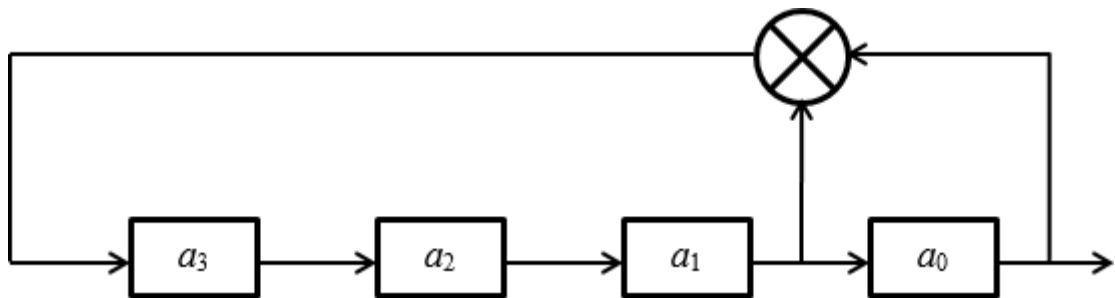


Рисунок 1.13 – Регістр зсуву зі зворотнім зв'язком що використовується для побудови  $M$ -послідовності

Створення  $M$ -послідовності можна математично виразити наступним рекурентним співвідношенням:

$$a_k[i + 1] = \begin{cases} a_0[i-1] + a_1[i], & k=3 \\ a_k, & 0 \leq k \leq 3 \end{cases} \quad (1.28)$$

де  $i$  – індекс часу;

$k$  – позиція біту в регістрі;

$a +$  – означає додавання за модулем 2.

$M$ -послідовності періодичні і регістр зсуву проходить в циклі через кожне можливе двійкове значення (за винятком нульового вектора), регістри можуть бути ініціалізовані будь-яким початковим значенням (станом), за винятком нульового.

$M$ -послідовності мають такі властивості [18]:

- $M$ -послідовності є періодичними з періодом  $N = 2^i - 1$ ;
- на протязі одного періоду  $M$ -послідовності кількість символів, які приймають значення одиниця, на одиницю більша, ніж кількість символів, які приймають значення нуль;

- будь-які комбінації символів довжини  $i$  на довжині одного періоду  $M$ -послідовності за винятком комбінації з  $i$  нулів зустрічаються не більше одного разу. Комбінація з  $i$  нулів заборонена, оскільки на її основі може генеруватися лише послідовність з одних нулів;
- сума по модулю 2 будь-якої  $M$ -послідовності з її довільним циклічним зсувом також є  $M$ -послідовністю;
- періодична АКФ будь-якої  $M$ -послідовності має постійний рівень бічних пелюсток, що дорівнює  $1/N$ .

Зовнішній вигляд АКФ  $M$ -послідовності такий як і у ДКБ.

### 1.2.3 Радіосигнали з частотною маніпуляцією

Частотна маніпуляція (ЧМн, *англ. Frequency Shift Keying (FSK)*) – вид модуляції, при якій стрибком змінюється частота радіосигналу в залежності від значень символів інформаційної послідовності. Радіосигнали з ЧМн досить завадостійкі, оскільки завади спотворюють в основному амплітуду, а не частоту сигналу.

У РЕЗ, що використовують радіосигнали з ЧМн частота сигналу який передається  $f(t)$  обирається із частотної послідовності  $\{f_1, f_2, \dots, f_{N_F}\}$ , що доступні для випромінювання у визначені часові інтервали  $\{t_1, t_2, \dots, t_{N_F}\}$ . Кожна частота застосовується тільки один раз у межах кодового періоду. Вираз для комплексного радіосигналу з ЧМн має вигляд:

$$\dot{s}(t) = A \cdot e^{jf(t)}. \quad (1.29)$$

Радіосигнал, що передається має  $N_F$  частот у смузі  $\Delta F = \max|f_j - f_i|$ , де  $i, j \in [1 \dots N_F]$  та випромінювання кожної частоти триває  $t_b$  секунд.

### 1.2.3.1 Радіосигнали з частотною маніпуляцією та безперервною фазою

У якості ЧМн дуже часто використовують ЧМн з безперервною фазою (БФ). При такій маніпуляції частоти фаза радіосигналу є безперервною (без розривів, стрибків), а частота сигналу змінюється стрибком у момент з'явлення чергового елементу двійкової кодової послідовності маніпуляції.

Послідовність двійкових символів коду маніпуляції ЧМн з БФ має вигляд:

$$u(t) \sum_{k=0}^{N-1} \theta(t - kt_b) u_k \quad (1.30)$$

де  $\theta(t - kt_b) = 1$ , при  $kt_b \leq t \leq (k+1)t_b$  та 0 поза межами цього інтервалу  $u_k$  – двійковий символ, що приймає значення 1, яке відповідає біту «1» або «-1», яке відповідає біту «0» на інтервалі  $[kt_b, (k+1)t_b]$ ;

$t_b$  – тривалість біта.

Математичний вираз який описує радіосигнал з ЧМн БФ на інтервалі  $[kt_b, (k+1)t_b]$  має вид:

$$s(t) = A_0 \exp \left( 2\pi f_0 t + u_k \frac{\pi h}{t_b} (t - kt_b) + \pi h \sum_{i=0}^{k-1} u_i \right) \quad (1.31)$$

де  $f_0$  несуча частота;

$h = \Delta f t_b$  – індекс модуляції;

де  $\Delta f = (f_{\text{лог.1}} - f_{\text{лог.0}})$  – різниця частот сигналів, що відповідають різним бітам:

$$f_{\text{лог.0}} = f_0 - \frac{h}{2t_b}, \quad f_{\text{лог.1}} = f_0 + \frac{h}{2t_b}. \quad (1.32)$$

### 1.2.3.2 Радіосигнали з частотною маніпуляцією, що закодована кодами Костаса

Для збільшення роздільної спроможності радіосигналів кодової послідовності обирають із наступних міркувань: забезпечення низького рівня

бокових пелюсток та вузького головного піку функції невизначеності [2].

Яскравим представником такої послідовності є коди що отримані на підставі масивів Костаса [2]. Масив Костаса можна розглядати як геометричний набір з  $n$  точок, що знаходяться у клітинах шахової дошки розміру  $n \times n$  таким чином, що кожна строчка або стовбець містять тільки одну точку, при цьому всі  $n(n-1)/2$  між кожній парою точок були різні. Інакше код Костаса  $\{f_1, f_2, \dots, f_{N_F}\}$  це таке розміщення цілих  $\{1, \dots, N_F\}$ , яке задовольняє умові

$$f_{k+i} - f_k \neq f_{j+i} - f_j, \quad (1.33)$$

для кожних  $i, j$  таких що  $1 \leq k < i < i + j \leq N_F$ .

На теперішній час невідомі масиви Костаса для всіх розмірів. Самі маленькі розміри для яких масиви невідомі  $32 \times 32$  и  $33 \times 33$ .

Приклади масивів Костаса для  $n = 4$

$\{1,2,4,3\}$   $\{1,3,4,2\}$   $\{1,4,2,3\}$   $\{2,1,3,4\}$   $\{2,3,1,4\}$   $\{2,4,3,1\}$   $\{3,1,2,4\}$   $\{3,2,4,1\}$   
 $\{3,4,2,1\}$   $\{4,1,3,2\}$   $\{4,2,1,3\}$   $\{4,3,1,2\}$

та  $n = 5$

$\{1,3,4,2,5\}$   $\{1,4,2,3,5\}$   $\{1,4,3,5,2\}$   $\{1,4,5,3,2\}$   $\{1,5,3,2,4\}$   $\{1,5,4,2,3\}$   
 $\{2,1,4,5,3\}$   $\{2,1,5,3,4\}$   $\{2,3,1,5,4\}$   $\{2,3,5,1,4\}$   $\{2,3,5,4,1\}$   $\{2,4,1,5,3\}$   $\{2,4,3,1,5\}$   
 $\{2,5,1,3,4\}$   $\{2,5,3,4,1\}$   $\{2,5,4,1,3\}$   $\{3,1,2,5,4\}$   $\{3,1,4,5,2\}$   $\{3,1,5,2,4\}$   $\{3,2,4,5,1\}$   
 $\{3,4,2,1,5\}$   $\{3,5,1,4,2\}$   $\{3,5,2,1,4\}$   $\{3,5,4,1,2\}$   $\{4,1,2,5,3\}$   $\{4,1,3,2,5\}$   $\{4,1,5,3,2\}$   
 $\{4,2,3,5,1\}$   $\{4,2,5,1,3\}$   $\{4,3,1,2,5\}$   $\{4,3,1,5,2\}$   $\{4,3,5,1,2\}$   $\{4,5,1,3,2\}$   $\{4,5,2,1,3\}$   
 $\{5,1,2,4,3\}$   $\{5,1,3,4,2\}$   $\{5,2,1,3,4\}$   $\{5,2,3,1,4\}$   $\{5,2,4,3,1\}$   $\{5,3,2,4,1\}$ .

### 1.3 Загальна математична модель подання радіосигналів випромінювань сучасних РЕЗ

Підводячи підсумки проведеного, аналізу технологій формування радіосигналів, що випромінюються сучасними РЕЗ та порівнявши вирази що описують радіосигнали (1.11) – з амплітудною модуляцією, (1.13) – з ЧМ, (1.19) – з ФМ, (1.23) – з ФМн та (1.29) – з ЧМн можна записати універсальний вираз для радіосигналу:

$$\dot{S}(t) = A(t) \exp j[2\pi f(t)t + \varphi(t)] \quad (1.34)$$

де  $A(t)$  – закон модуляції амплітуди;

$f(t)$  – закон модуляції/маніпуляції частоти;

$\varphi(t)$  – закон модуляції/маніпуляції фази радіосигналу.

Така математична модель подання радіосигналів випромінювань сучасних РЕЗ створює підґрунтя для побудови методики що дозволяє моделювати сукупний сигнал, який утворюється на вході прийомного пристрою засобу радіомоніторингу.

### 1.4 Уточнення вимог до розробки алгоритму і програмного забезпечення

Розглянувши принцип формування сукупності сигналів на вході приймача засобу радіомоніторингу та враховуючи завдання кваліфікаційної роботи були уточнені вимоги до розробки алгоритму та програмного забезпечення.

Необхідно розробити алгоритм і програмне забезпечення, що дозволяє моделювати на фоні власних шумів сукупність сигналів, які утворюються від випромінювання радіоелектронних засобів. Змодельований сукупний сигнал повинен відображатись у вигляді графіку у часовому просторі. Необхідно розробити структуру файлів для збереження вхідної інформації щодо параметрів сигналів, яка буде оброблена в ході виконання програми для формування сукупного сигналу, інтерфейс у якому буде надана можливість обрати потрібну кількість радіосигналів та визначити їх типи шляхом обрання

потрібної форми збереження вхідних даних про них.

Результатом розробки має стати програмний додаток з інтерфейсом користувача, що здійснює взаємодію з файловою системою для вибору файлів з параметрами сигналів, які з'являються на вході приймача засобу радіомоніторингу, проводить розрахунок сукупного сигналу на фоні власних шумів та виводить на екран результати розрахунків у графічному вигляді із можливістю настроювання вікна перегляду графіків.

### **Висновки за розділом 1**

Розгляд класифікації радіосигналів випромінювань РЕЗ показав, що у більшій кількості випадків спостерігається тенденція застосування ШСС у роботі сучасних РЕЗ.

Проведений аналіз технологій формування радіосигналів довів, що незважаючи на їх різноманіття усі сигнали можна уявити єдиною математичною моделлю (1.34).

Визначені вимоги до розробки алгоритму та програмного забезпечення, яке буде моделювати окремі сигнали та формувати сукупність сигналів на вході приймача засобу радіомоніторингу.

Таким чином вирішено перші два завдання кваліфікаційної роботи.

## 2 ОБГРУНТУВАННЯ МОДЕЛІ І АЛГОРИТМУ ФОРМУВАННЯ СИГНАЛУ НА ВХОДІ ПРИЙМАЧА ЗАСОБУ РАДІОМОНІТОРИНГУ

### 2.1 Амплітуда радіосигналу на вході приймача засобу радіомоніторингу

Для моделювання радіосигналів, що описуються виразом (1.34) необхідно розглянути фізику процесу їх розповсюдження від джерел випромінювання, які представлені сучасними РЕЗ до приймача радіомоніторингу. Розглянемо ситуацію яка зустрічається у повсякденні при проведенні радіомоніторингу. У деякій точці простору працює засіб радіомоніторингу. В той же час у цьому ж просторі присутні деякі об'єкти РЕЗ, що здійснюють випромінювання. Припустимо що таких об'єктів тільки два №1 та №2 і вони знаходяться на відстані від устаткування радіомоніторингу  $R_1$  та  $R_2$  відповідно рис 2.1.

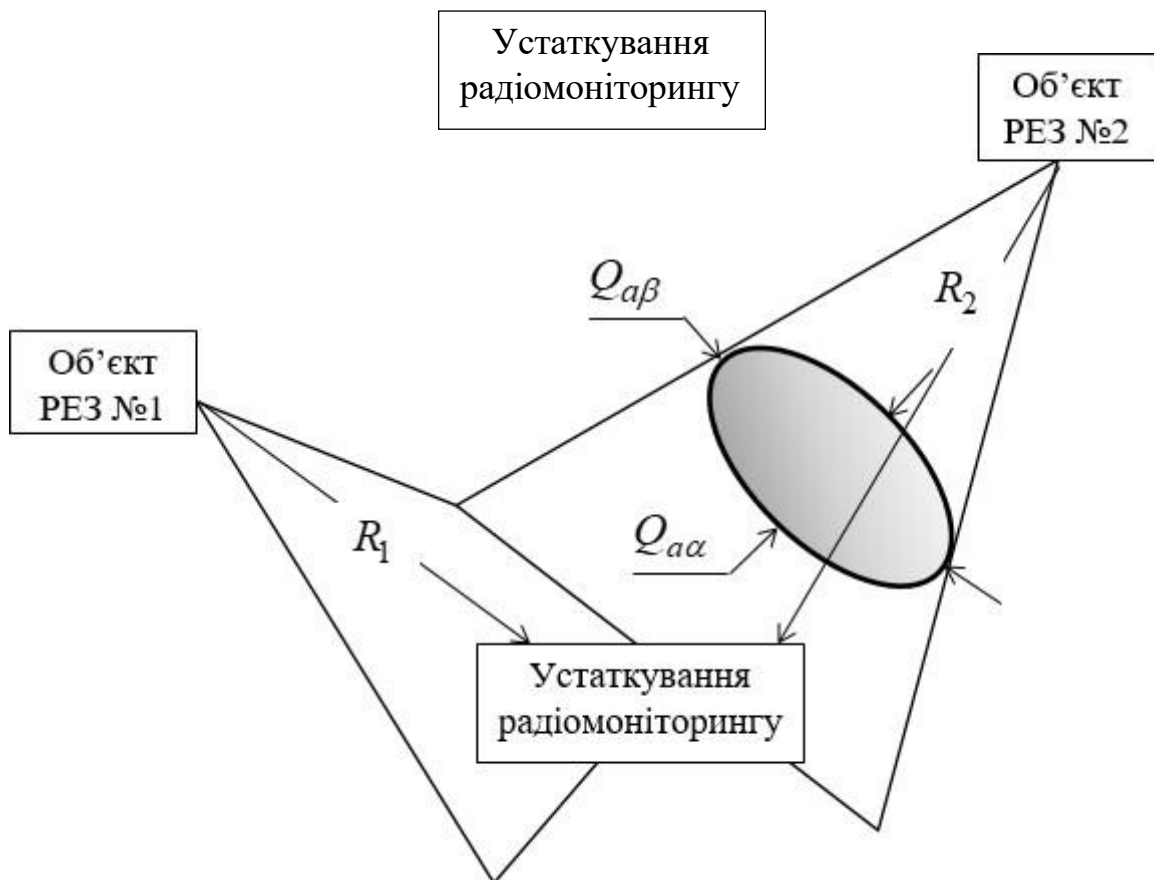


Рисунок 2.1 – Процес радіомоніторингу

Ставиться питання, якщо об'єкти №1 та №2 випромінюють однакові сигнали і відстані до цих об'єктів не рівні між собою  $R_1 \neq R_2$  то чим будуть відрізнятися радіосигнали, що приймаються приймальним пристроєм засобу радіомоніторингу?

З курсу фізики [3] відомо, що відстань до об'єкту випромінювання не впливає на частоту та фазу радіосигналу. Змінюється лише його потужність через наявність ефекту затухання радіохвиль, яке здійснює середовище розповсюдження, та площа поверхні на якій здійснюється його прийом. Тому будемо розглядати залежність потужності радіосигналу від відстані до об'єкта що його випромінює.

Антенa передавача РЕЗ не тільки випромінює радіохвилі, але і концентрує потужність потоку в потрібному напрямку. Ця функція антени характеризується коефіцієнтом її підсилення  $G_a$ . Опосередковано це значення пов'язано із шириною ДС антени  $Q_a$ , або її коефіцієнтом спрямованої дії (КСД), а також коефіцієнтом корисної дії (ККД)  $\eta$ , що відображує величину втрат у лінії передачі та коефіцієнтом використання поверхні антенної конструкції.

Кількість енергії, що перехоплена антеною приймального пристрою, залежить від площі приймальної антени  $S_a$ , яка у свою чергу пов'язана із коефіцієнтом підсилення та довжиною радіохвилі  $\lambda$ . Довжину хвилі враховують тому що на більш короткій хвилі можна отримати більший коефіцієнт підсилення, хоча спроможність перехоплення залишиться незмінною [3]. Означені характеристики пов'язані між собою наступними відносинами [6]

$$КСД = 360^\circ \cdot 360^\circ / (Q_{a\alpha} Q_{a\beta}), G_a = ККД \eta, S_a = G_a \lambda^2 / 4\pi, \quad (2.1)$$

де  $Q_{a\alpha}$  – кутовий розмір одиниці площі у азимутальній площині;

$Q_{a\beta}$  – кутовий розмір одиниці площі у кутомісцевій площині.

Важливим показником є щільність потоку потужності  $\gamma$ , який показує скільки потужності радіохвилі потрапляє на одиницю площі сфери випромінювання [7].

Якщо антена не має спрямованості то її уявляють точковим випромінювачем, що випромінює сферичні радіохвилі. На відстані  $R$  від такого випромінювача потужність сигналу передавача  $P_{\Pi}$  в антені ділиться на всю площу сфери  $S_{сф} = 4\pi R^2$ . Тому на одиницю площі сфери доводиться щільність потоку потужності  $\gamma_{\Pi} = P_{\Pi} / 4\pi R^2$ . Якщо антена має відомий коефіцієнт підсилення  $G_a$  то щільність потоку міцності збільшується у  $G_a$  разів

$$\gamma_{\Pi} = \frac{P_{\Pi} G_{\Pi}}{4\pi R^2} \quad (2.2)$$

Антенa приймача перехоплює частину потоку і у ній з'являється потужність сигналу, що приймається

$$P_{\Pi p} = \gamma_{\Pi} S_{a\Pi p} \quad (2.3)$$

де  $S_{a\Pi p}$  – площа приймальної антени.

Враховуючи вирази (2.1) є можливість розрахувати потужність радіосигналу що приймається із врахуванням залежності площі приймальної антени від коефіцієнту підсилення

$$P_{\Pi p} = \frac{S_{a\Pi p} P_{\Pi} G_{a\Pi}}{4\pi R^2} = \frac{S_{a\Pi p} P_{\Pi} G_{a\Pi} G_{a\Pi p} \lambda^2}{2(4\pi R^2)} \quad (2.4)$$

Вираз (2.4) має назву основного рівняння відстані зв'язку [3]. У процесі проведення радіомоніторингу значення  $S_{a\Pi p}, G_{a\Pi p}, \lambda$  – визначаються

характеристиками обладнання радіомоніторингу,  $P_{\Pi}, G_{a\Pi}$  – властивостями РЕЗ що підлягають моделюванню.

Амплітуда радіосигналу  $A(t)$  у виразі (1.34) прямо-пропорційна його потужності [2]. Тому задавши значення відстані джерел випромінювання отримаємо можливість визначити значення амплітуди  $A(t)$  радіосигналів на вході приймача радіомоніторингу. Поряд з цим, визначивши закон модуляції/маніпуляції фази  $\varphi(t)$  або частоти  $f(t)$  отримаємо всі необхідні параметри для моделювання підсумкового радіосигналу на вході приймача радіомоніторингу.

## 2.2 Модель формування сукупного сигналу на вході приймача засобу радіомоніторингу

Розповсюдження радіосигналів являє собою процес коливання електромагнітної енергії тобто зміну у просторі електричного і магнітного полів [3]. Таким чином розповсюдження радіосигналів можна розглядати з точки зору теорії коливань. В основі сучасної теорії коливань знаходиться принцип суперпозиції (накладення) хвиль. Його зміст полягає в наступному: у лінійних середовищах хвилі, що збуджені незалежними джерелами розповсюджуються незалежно одна від одної, тобто хвиля не змінює властивостей середовища, а інші хвилі розповсюджуються так ніби іншої хвилі не існує [16]. Це дозволяє обчислити дію підсумкової хвилі як суму дії енергії всіх хвиль, що знаходяться у даний момент часу у визначеній точці простору.

$$\dot{S}(t) = \dot{s}_1(t) + \dot{s}_2(t) + \dots + \dot{s}_n(t) + \dots + \dot{s}_N(t) \quad (2.5)$$

де  $\dot{S}(t)$  – сукупний сигнал;

$\dot{s}_n(t)$  – сигнал, що випромінює  $n$ -ий РЕЗ;

$N$  – кількість об'єктів РЕЗ.

Тобто для знаходження сигналу на вході приймача засобу радіомоніторингу потрібно скласти енергію всіх радіосигналів, що присутні у даний момент часу на вході антени приймача на фоні власних радіошумів. З урахуванням цього вираз (2.5) набуде вигляд

$$\dot{S}(t) = \dot{s}_1(t) + \dot{s}_2(t) + \dots + \dot{s}_n(t) + \dots + \dot{s}_N(t) + noise(t) \quad (2.6)$$

де  $noise(t)$  – миттєве значення особистого шуму у момент часу  $t$ .

### 2.3 Форма збереження вхідних даних для побудови радіосигналів

Для моделювання радіосигналу на вході приймача засобу радіомоніторингу необхідно по-перше мати такі сигнали. Як було розглянуто у розділі 1 радіосигнали можуть бути описані виразом (1.34). Без втрати загальності із врахуванням виразу (1.2) можна розглядати тільки дійсну частину сигналу  $s(t)$ . Тоді вираз (1.34) набуде вигляд:

$$s(t) = A(t) \cos[2\pi f(t)t + \varphi(t)] \quad (2.7)$$

Для моделювання радіосигналів на ПЕОМ за виразом (2.7) потрібно мати їх вхідні дані у вигляді значень зміни у часі амплітуди  $A(t)$  фази  $\varphi(t)$  та частоти  $f(t)$ . У якості прикладу будемо розглядати.

Процес моделювання сигналу на вході приймача засобу радіомоніторингу з урахуванням дії власних шумів можна представити у вигляді контекстної діаграми IDEF0 (рис. 2.2).

IDEF0 – методологія функціонального моделювання та графічна нотація, призначена для формалізації і опису бізнес-процесів. Контекстна діаграма, будучи вершиною деревовидної структури діаграми, показує призначення системи (основну функцію) і її взаємодію з зовнішнім середовищем.

Вхідними даними процесу моделювання сигналу на вході приймача радіомоніторингу з урахуванням дії особистого шуму є значення кількості сигналів на вході та їх параметри. Модель обробки окремого сигналу та модель формування і обробки сукупного сигналу є управляючою інформацією. Механізмом управління даного процесу виступають програміст та користувач. Вихідною інформацією процесу є діаграма сформованого сукупного сигналу на вході приймача радіомоніторингу з урахуванням дії власного шуму.



Рисунок 2.2 – Контекстна діаграма моделювання сигналу

Основний процес складається з 6-ти підпроцесів, представлених на діаграмі декомпозиції (рис. 2.3):

- зчитування даних. На вхід подаються параметри приймаємих обладнанням радіомоніторингу сигналів та їх кількість і в результаті виконання підпроцесу отримані дані записуються в змінні програми;
- обробка зчитаних даних та визначення типу сигналу. На вхід подаються змінні програми з зчитаними даними сигналу, а на виході отримуємо сформований на підставі отриманих даних об'єкт визначеного типу сигналу;
- формування моментів сигналу. Спираючись на модель обробки, поданого на вхід об'єкту визначеного типу сигналу, на виході отримуємо сформовану послідовність моментів сигналу;

- формування послідовності сигналів з урахуванням затримки та періоду повторення. Отримані на вході дані сигналу та послідовність його моментів обробляються згідно моделі формування сигналу, в результаті чого розраховується затримка та період повторення сигналу для отримання на виході послідовності моментів сигналу довжиною вікна перегляду діаграми;
- складання сформованих послідовностей та додавання шуму. На вході отримуємо послідовності приймаємих сигналів з урахуванням затримки та періоду їх повторення і розраховуємо числову послідовність природного шуму, яка додається до підсумкового сигналу. На виході отримуємо змодельований сигнал з урахуванням дії особистого шуму;
- зображення діаграми підсумкового сигналу. На підставі отриманого на вході змодельованого сигналу з урахуванням дії особистого шуму на виході формується його діаграма.

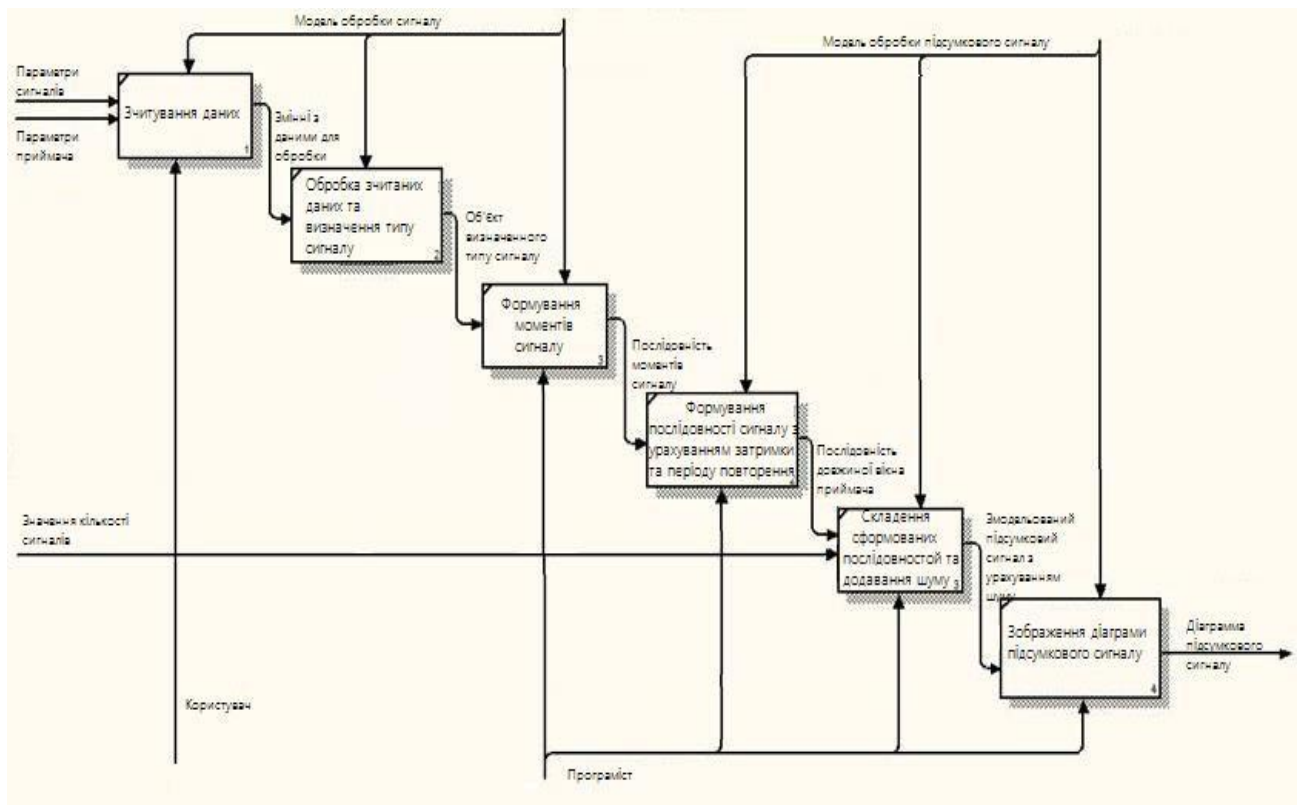


Рисунок 2.3 – Декомпозиція контекстної діаграми моделювання сигналу

Вхідні дані сигналу пропонується зберігати у окремому файлі текстового формату оскільки він може бути оброблений більшістю програм що призначені

для роботи з текстом. В цьому файлі пропонується зберігати загальну інформацію про радіосигнал, що випромінює конкретний об'єкт РЕЗ та значення функції його модуляції/маніпуляції. Структура файлу для зберігання основних параметрів радіосигналу наведена у табл. 2.1.

Таблиця 2.1 – Структура файлу для зберігання параметрів радіосигналу

№ рядка	Зміст даних	Значення
0	Назва об'єкту, що випромінює радіосигнал	Бортова РЛС бічного огляду літака F-22
1	Вид сигналу (ЛЧМ/ФМн/ЧМн)	ЛЧМ
2	Кількість імпульсів $N_c$ у радіосигналі (для ЛЧМ 0)	5 (для ЛЧМ 0)
3	Тривалість імпульсу (для ЛЧМ тривалість радіосигналу) $t_b$ , сек	0,000001
4	Несуча частота сигналу (для ЧМн усереднена частота) $f_c$ , Гц	11 200 000 000 000
5	Коефіцієнт підсилення антени $G_{aП}$	100 000
6	Потужність $P_{П}$ , Вт	0,2
7	Період повторення радіосигналів $T$ , сек	0,0013
8	Відстань на якій знаходиться об'єкт РЕЗ, що випромінює, від який сигнал від приймача, $R$ м	100000
9	Для ФМн фаза [Гц×с], для ЧМн частота [рад] 1-го імпульсу, для ЛЧМ девіація частоти [Гц]	0
10	Для ФМн фаза [Гц ×с], для ЧМн частота [рад] 2-го імпульсу	0
11	Для ФМн фаза [Гц ×с], для ЧМн частота [рад] 3-го імпульсу	0
12	Для ФМн фаза [Гц ×с], для ЧМн частота [рад] 4-го імпульсу	0
13	Для ФМн фаза [Гц ×с], для ЧМн частота [рад] 5-го імпульсу	

У перших шести рядках цього файлу міститься інформація про назву об'єкту випромінювання сигналу, вид сигналу, кількість імпульсів маніпуляції  $N_c$ , тривалість імпульсу  $t_b$  у [с], частота сигналу  $f_c$  у [Гц], коефіцієнт підсилення антени РЕЗ  $G_{aП}$ , потужність випромінювання  $P_c$  у [Вт] період повторення радіосигналу  $T$  у [с], значення девіації частоти для ЛЧМ сигналу. В

останніх рядках знаходиться інформація про початкову фазу для ФМн або частоту для ЧМн кожного імпульсу в радіосигналі.

## 2.4 Алгоритм моделювання сукупності радіосигналів на вході приймача засобу радіомоніторингу

Схему алгоритму моделювання суміші радіосигналів на вході приймача засобу радіомоніторингу побудуємо за блоковою структурою.

Перший блок алгоритму створює інтерфейс роботи ПЗ у вигляді стандартного вікна. В цьому вікні користувач має можливість формувати радіоелектронну обстановку у якій проводиться моніторинг. Для цього користувачу надана можливість визначити фіксовану кількість РЕЗ  $K_{РЕЗ}$ , максимально можна обрати 4 РЕЗ. Після визначення кількості РЕЗ у вікні інтерфейсу повинна з'явитись відповідна кількість компонентів для вибору файлів, які містять вхідні параметри сигналів для обробки. Вибір файлів здійснюється шляхом взаємодії користувача з файловою системою ПК. Після вибору файлу у відповідному компоненті користувачеві демонструється назва визначеного файлу із зазначенням повного шляху до нього. Для опису можливостей, які надаватиме розроблене ПЗ кінцевому користувачеві створено діаграму варіантів використання(рис. 2.4).

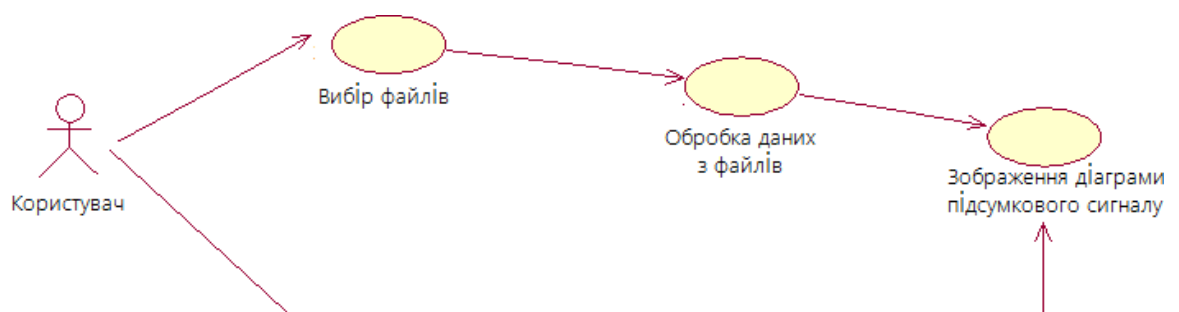


Рисунок 2.4 – Діаграма варіантів використання

У вікні інтерфейсу розміщено компонент для відображення часових діаграм сигналу. Користувачу надається можливість вводу начального та кінцевого відліку показу графіку у вікні.

Далі користувачу надається можливість здійснити моделювання сигналу без шуму та з його урахуванням натискаючи кнопки управління. При моделюванні із урахуванням шуму передбачена можливість введення відношення сигнал/шум у безрозмірному вигляді.

При натисканні на кнопку моделювання підсумкового сигналу спрацьовує другий блок алгоритму. У цьому блоці здійснюється зчитування інформації з обраних файлів та присвоєння її відповідним змінним програми що наведені у табл. 2.2.

Таблиця 2.2 – Змінні програми

№ п/п	Змінна	Призначення
1	$k$	змінна перебирання у циклі по кількості РЕЗ
2	$K$	завдана кількість РЕЗ
3	$t$	змінна перебирання у циклах по часу
4	$SAPR$	змінна для збереження значення геометричної площі приймальної антени [ $m^2$ ]
5	$GAPR$	змінна для збереження коефіцієнту підсилення приймальної антени
6	$lambda$	Робоча довжина хвилі приймача [м]
7	$f_{\delta}$	Частота роботи аналогове-цифрового перетворювача приймача радіомоніторингу [Гц]
8	$OKNO = 2f_{\delta}\Delta T$	Кількості відліків часу що знаходяться у вікні перегляду, де $f_{\delta}$ – частота роботи аналогове-цифрового перетворювача приймача радіомоніторингу [Гц], $\Delta T$ – розмір вікна перегляду радіоелектроної обстановки [с]
9	$PR$	Змінна для збереження ознаки модуляції радіосигналу $k$ -го РЕЗ
10	$P$	Змінна для збереження потужності передавача $k$ -го РЕЗ [Вт]
11	$G$	Змінна для збереження коефіцієнту підсилення антени $k$ -го РЕЗ
12	$Fc$	Змінна для збереження середньої частоти радіосигналу $k$ -го РЕЗ
13	$R$	Змінна для збереження відстані до $k$ -го РЕЗ [м]

## Продовження таблиці 2.2

14	$\tau$	Змінна для збереження затримки радіоімпульсів $k$ -го РЕЗ [відлік] $\tau[k] = 2 f_{\delta} R[k] c$ , де $c = 3 \cdot 10^8$ – швидкість розповсюдження радіоімпульсів
15	$T$	Змінна для збереження значення періоду повторення радіосигналів $k$ -го РЕЗ [с]
16	$tb$	Змінна для збереження значення тривалості імпульсу у радіосигналі $k$ -го РЕЗ [с]
17	$N$	Змінна для збереження кількості імпульсів у радіосигналі $k$ -го РЕЗ [с]
18	$\Phi[0..K-1, N[k]]$	Колекція фаз імпульсів у радіосигналі $k$ -го РЕЗ [с], якщо вид сигналу ФМн
19	$F[0..K-1, N[k]]$	колекція частот імпульсів у радіосигналі $k$ -го РЕЗ [с], якщо вид сигналу ЧМн
20	$signal[0..K-1, 0..tb[k]*N[k]*2*f_{\delta}-1]$	колекція елементами якої є радіосигнал $k$ -го РЕЗ, де $tb[k]*N[k]*2*f_{\delta}$ – кількість відліків у радіосигналі $k$ -го РЕЗ
21	$NumSign$	змінна призначена для збереження значення кількості періодів що потрапили у вікно спостереження приймача радіомоніторингу
22	$time\_betwin\_signal$	змінна призначена для збереження значення інтервалу часу від кінця попереднього сигналу до початку наступного (час коли сигнал відсутній)
23	$Delay$	змінна призначена для збереження значення затримки сигналу (час розповсюдження від джерела до приймача)
24	$noise[0..okno-1]$	колекція елементами якої є миттєві значення шуму, визначені помноженням випадкового дійсного числа в діапазоні від 0 до 1 на відношення сигнал/шум
25	$S[0..K-1, 0..OKNO-1]$	колекція елементами якої є значення радіосигналів, що з'явилися у вікні перегляду приймача радіомоніторингу
26	$mas$	службова колекція призначена для буферних розрахунків
27	$SUM[0..OKNO-1]$	колекція елементами якої є значення радіосигналу, на вході приймача радіомоніторингу

Також у цьому блоці задаються параметри приймача радіомоніторингу: геометрична площа приймальної антени  $S_{aПр}$  у  $[м^2]$ , коефіцієнт підсилення приймальної антени  $G_{aПр}$ , робоча довжина хвилі приймача  $\lambda$  у  $[м]$ ,  $\Delta T$  – розмір

вікна перегляду радіоелектронної обстановки [с] та частота роботи аналогово-цифрового перетворювача  $f_0$ , що визначає кількість відліків у секунду (або частоту дискретизації за теоремою Котельникова [8]).

Спираючись на те, що для кожного виду сигналу існують загальні параметри та для оптимальної роботи програми і захисту програмного коду при розробці доцільно задіяти методологію об'єктно-орієнтовного програмування (ООП). У основному блоці алгоритму визначені:

- базовий клас у якому здійснюється зчитування загальних даних про радіосигнал із обраних файлів та формування відповідної послідовності радіосигналів із розрахунком їх затримки, амплітуди та періоду повторення;
- нащадки базового класу у яких здійснюється зчитування спеціальних даних (що не є загальними для всіх типів сигналів, наприклад девіація для ЛЧМ, кодові послідовності зміни фази для ФКМн, частоти для ЧМн) про радіосигнал та проводиться формування колекції миттєвих значень відповідного типу поодинокого радіосигналу;
- клас для формування колекції миттєвих значень шуму із врахуванням завданого співвідношення сигнал/шум, та остаточного сигналу.

Таким чином при розробці алгоритму задіяні основні принципи ООП, такі як поліморфізм, наслідування та інкапсуляція.

У третьому блоці алгоритму визначено клас у якому здійснюється формування завдання параметрів відображення діаграми отриманого сигналу із врахуванням діапазону його перегляду у часі в компоненті відображення діаграми.

## **Висновки за розділом 2**

В ході розробки другого розділу було сформовано остаточну модель формування та алгоритм моделювання радіосигналів на вході приймача засобу радіомоніторингу. Таким чином було виконане третє завдання кваліфікаційної роботи.

На основі наведеного у розділі матеріалу отримано все необхідне для розв'язання основного завдання щодо розробки програмного забезпечення, яке буде моделювати сигнал на вході приймача засобу радіомоніторингу з урахування дії власного шуму. В процесі розробки програмного коду доцільним буде застосування технологій об'єктно-орієнтовного програмування (ООП).

### 3 РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ МОДЕЛЮВАННЯ СИГНАЛІВ НА ВХОДІ ПРИЙМАЧА ЗАСОБУ РАДІОМОНІТОРИНГУ

#### 3.1 Обґрунтування вибору засобів розробки та опис архітектури програмного забезпечення

Для реалізації розробленого у розділі 2 алгоритму моделювання сукупності сигналів на вході приймача радіомоніторингу з урахуванням дії внутрішнього шуму створено програмне забезпечення (ПЗ) у вигляді локального додатку. Локальний додаток – являє собою клієнтське програмне забезпечення, що реалізоване на платформі інтерфейсу Windows Forms. Додаток інсталюється на робочу станцію користувача і запускається локально, або віддалено. Допускається варіант запуску додатка з використанням введення URL (*англ. Uniform Resource Locator* – єдиний вказівник на ресурс) адреси його знаходження в браузері.

Розроблене ПЗ додатку має композитну структуру. На рис. 3.1 наведена діаграма кооперації, що відображує взаємодію між частинами створеного ПЗ додатку.

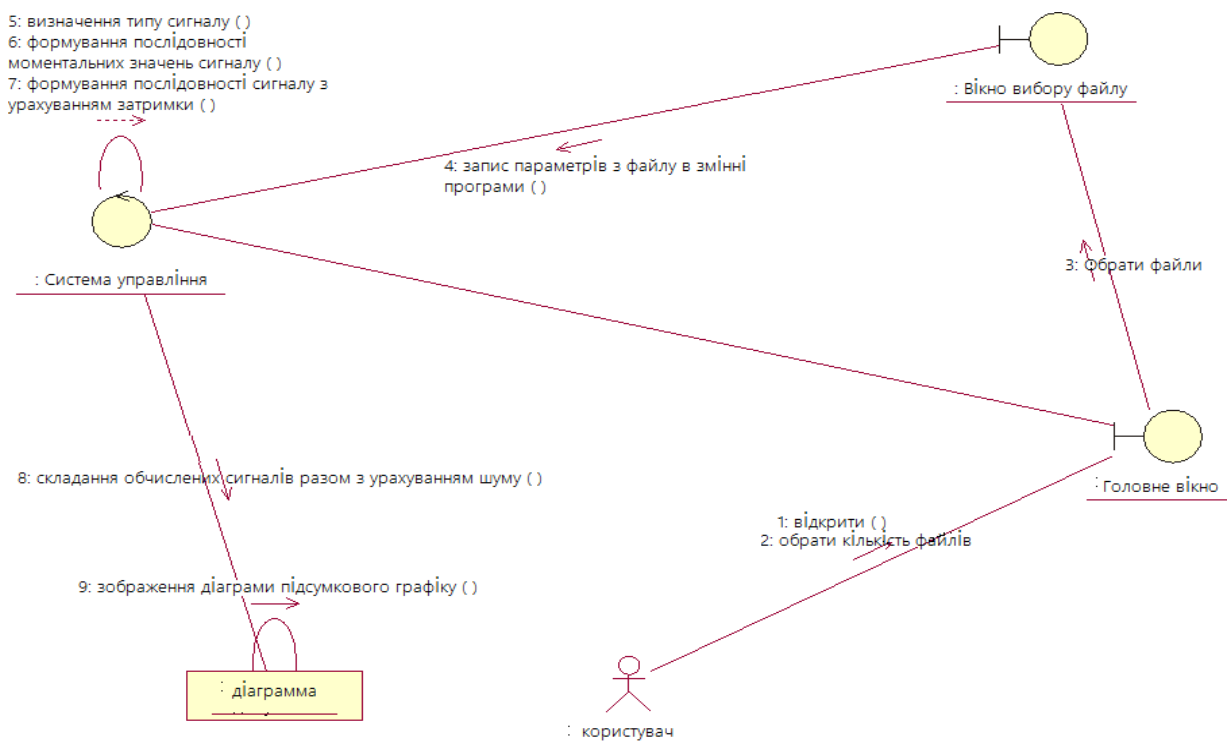


Рисунок 3.1 – Діаграма кооперації

Як показано на рис. 3.1 кінцевий користувач здійснює взаємодію з файловою системою ПК за допомогою головного вікна ПЗ та вікна вибору файлів. Тому доречним було створення саме локального додатку при розробці ПЗ для забезпечення захисту особистих даних, що обробляються в процесі роботи додатку.

Для відображення взаємодії об'єктів ПЗ, що впорядковані у часі побудована діаграма послідовності від якої наведено на рис. 3.2.

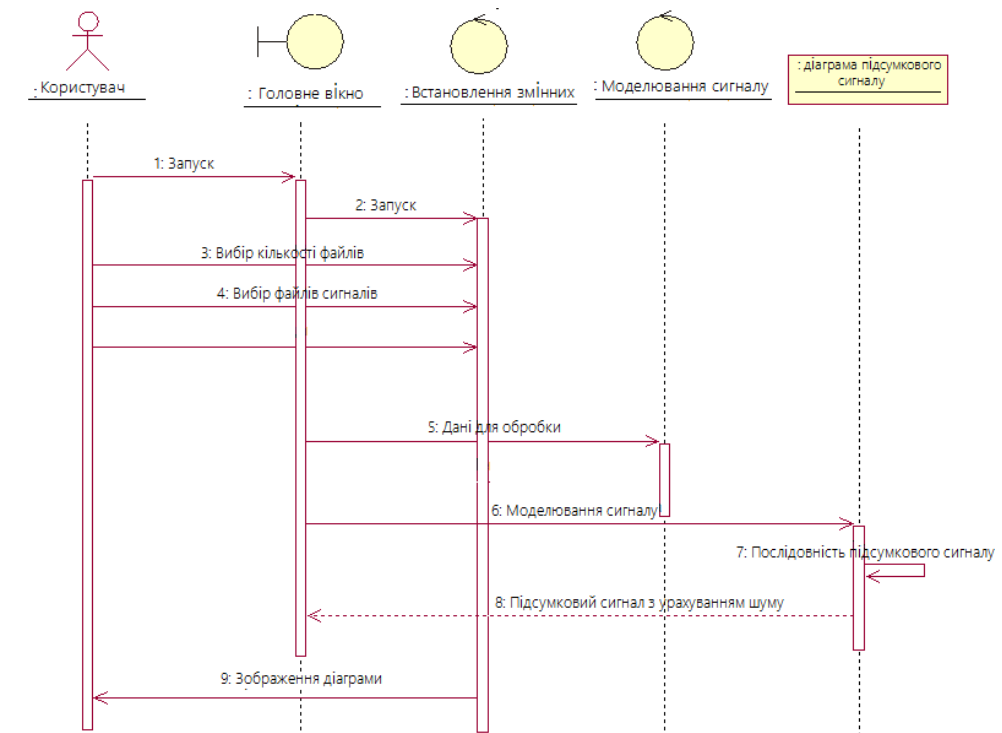


Рисунок 3.2 – Діаграма послідовності

За результатами аналізу структури та послідовності розробленого алгоритму моделювання сигналу на вході приймача радіомоніторингу і з урахуванням обраної архітектури локального додатку та виконання завдань кваліфікаційної роботи для створення ПЗ було обрано мову програмування C# за наступних причин:

- 1) простота та зручність;
- 2) об'єктна орієнтованість;
- 3) типова захищеність;
- 4) підтримка сумісності версій.

В якості середовища розробки було обрано продукт компанії Microsoft Visual Studio 2015, тому що він забезпечує зручну розробку сценаріїв. Завдяки інструментам Visual Studio можна знаходити більш ефективні та оптимізовані інноваційні розробки, а також розробляти, тестувати і розгортати рішення для розроблених сценаріїв. Іншим чинником обрання Visual Studio є забезпечення вимог завдання кваліфікаційної роботи, що стосується застосування інтерфейсу Windows Forms.

### 3.2 Опис програмного забезпечення відтворення головного вікна додатку

Головне вікно розробленого ПЗ представлено компонентом *Form1*, який створено за допомогою засобів інтерфейсу Windows Forms. Для реалізації можливості обрання користувачем кількості сигналів, що присутні на вході приймача засобу радіомоніторингу у головному вікні розташовано компонент *numerikUpDown1*, мінімальне значення даного поля – 1, максимальне – 4. Також у цьому вікні розміщена кнопка *Button1* «Кількість сигналів», та компонент для відображення графіків та діаграм *Chart1*.

При натисканні на кнопку *Button1* на головному вікні з'являється вказана в *numerikUpDown1* кількість (від 1 до 4) полів *openFileDialog(1-4)* з розташованими поряд з ними кнопками типу «...» *Button (2-4)*. Для подальшої роботи з програмою користувачеві необхідно обрати файли формату txt з параметрами вхідних сигналів, натиснувши на відповідну кнопку справа від поля *openFileDialog*, після чого відкривається стандартне вікно взаємодії з файловою системою ПК. Натиснувши на кнопку «Открыть» в *textbox (1-4)* відповідного поля *openFileDialog* буде занесено та відображено шлях до обраного файлу в файловій системі ПК. При натисканні *Button8* «Принять данные» дані з файлів зчитуються у відповідні змінні програми.

У програмі створено базовий клас *Signal*, що містить у своєму складі 13 полів закритого типу, в які зчитуються базові параметри сигналу з обраних файлів (табл. 3.1).

Таблиця 3.1 – Змінні класа *Signal*

Тип змінної	Назва змінної	Зміст змінної	Приклад змісту
string	signalType	Тип модуляції сигналу	ЛЧМ, ФКМ, ЧМН
double	antennaGain	Коефіцієнт підсилення антени	1000,0
double	impulseAmount	Кількість імпульсів в сигналі	13
double	impulseTime	Час одного імпульсу	0,000002
double	periodOfImpulseRepeat	Період повторення сигналу	0,003
double	signalFrequency	Частота сигналу	10000000,0
double	power	Потужність сигналу	1000,0
double	distance	Відстань від приймача до джерела випромінювання сигналу	100000,0
double	twoMaxFrequency	Робоча частота сигналу помножена на 2	20000000,0
int	countdownsInWindow	Кількість відліків у вікні перегляду діаграми	24000
double	amplitude	Значення амплітуди	0,0
BigList<double>	firstVersionOfSignal	Сформована послідовність моментів сигналу на підставі типу моделювання сигналу	
BigList<double>	finalVersionOfSignal	Послідовність сигналу з урахуванням затримки та періоду повторення	

При розробці програмного додатку були використані базові колекції мови програмування C# типу *List*. Їх застосування зумовлено простотою використання, швидкістю обробки, наявністю інтегрованих методів обробки даних. Але в ході написання коду програми з'явилась потреба у застосуванні колекцій, оскільки об'єм даних тільки однієї колекції, що обробляється перевищує 100000 значень. На підставі чого, був встановлений безкоштовний пакет додаткових колекцій для .NET *Wintellect.PowerCollections*. Замість колекції *List* використано типізовану колекцію *BigList<double>* – яка являє собою набір упорядкованих об'єктів *double*, який особливо ефективний у випадку коли кількість об'єктів обробки більше 100. *BigList<double>* застосовуються в програмі при формуванні послідовностей сигналів у часі.

### 3.3 Опис класів програмного додатку

Базовий *Signal* включає ряд власних методів:

- *firstVersionSignal()*. Повертає колекцію типу *BigList<double>*. Це віртуальний метод, який не має опису в даному базовому класі, а перевизначається в класах нащадках. Потрібен за для формування миттєвих значень сигналу згідно їх типу моделювання та створення послідовності миттєвих значень сигналу у часі *firstVersionOfSignal*.

- *finalVersionSignal()*. В даному методі розраховується затримка сигналу та період повторення, при цьому використовуються стандартні функції стандартного класу *Math*, та повертається послідовність миттєвих значень сигналу у часі з урахуванням затримки та періоду повторення довжиною *countdownsInWindow – BigList<double> finalVersionOfSignal*.

Також в програмі реалізовано три класи нащадки базового класу *Signal* – *Lcm*, *Fkm*, *Cmn*. В залежності від значення *signalType*, в якому міститься позначка про тип сигналу зчитаного з файлу, створюється відповідний об'єкт сигналу – клас нащадок.

У класі *Lcm*, окрім успадкованих від класу *Signal* полів, міститься строкове закрите поле *deviation*, яке приймає *double* значення дивіації сигналу, зчитане з файлу. В даному класі перевизначено метод базового класу *firstVersionSignal()*, в якому визначається послідовність миттєвих значень сигналу за моделлю обробки ЛЧМ сигналу, та вертається *BigList<double>* колекція обчислених миттєвих значень.

У класі *Fkm*, за виключенням успадкованих полів базового класу, визначено закрите поле масив *double phases*, що призначений для збереження значень фаз складових імпульсів сигналу. Такі дані отримуються з файлу що містить загальний опис ФКМ сигналу. Зокрема, в даному класі реалізовано віртуальний метод базового класу *firstVersionSignal()*, що повертає колекцію обчислених миттєвих значень сигналу, які розраховані за моделлю формування ФКМ сигналу, типу *BigList<double>*.

У класі *Cmn* крім полів базового сигналу реалізовано, закрите поле що являє собою масив *double frequencies*, в яке записано значення частот імпульсів, які створюють ЧМн сигнал. В даному класі перевизначено метод базового класу *firstVersionSignal()*, в якому розраховується послідовність миттєвих значень сигналу, що обчислюються за моделлю формування ЧМн сигналів. Метод *firstVersionSignal()* повертає колекцією миттєвих значень ЧМн сигналу типу *BigList<double>*.

### 3.4 Побудова сигналу на вході приймача радіомоніторингу та графіків в програмному додатку

Після вибору користувачем файлів з параметрами вхідних сигналів, дані з них обробляються програмою, в результаті чого, створюються об'єкти відповідних класів з заповненими полями. У головному вікні програмного додатку з'являються компоненти:

- *textBox5*, в якому користувачеві необхідно вказати з якого номеру відліку бажано відображати обчислювану діаграму сигналу;
- *textBox6* призначений для визначення номеру відліку до якого бажано відображати обчислювану діаграму у компоненті *Chart1*;
- *textBox7* призначений для визначення відношення сигнал-шум, яке буде враховуватись при обчислюванні сигналу з урахуванням дії внутрішнього шуму.

У зв'язку з тим, що підсумкові послідовності сигналів є надто довгими для інформативного зображення на діаграмі, у компоненті *Chart1* застосована властивість прокрутки графіку, тому у головне вікно додатку введено компонент *textBox8* в якому користувач має змогу вказати бажану кількість відліків на одному шарі прокрутки графіку.

Також у головному вікні розташовані кнопки *Button6* «Нарисовать без шума» та *Button7* «Нарисовать с учетом шума». При натисканні *Button6* сформовані об'єкти обраної користувачем модуляції сигналів записуються в типізовану колекцію *signals* типу *List<Signal>* базового сигналу. Для кожного

елементу *signals* розраховується його амплітуда, що буде врахована при обчисленні у *firstVersionOfSignal* методом *setAmplitude()*. Отримані послідовності вказаної кількості сигналів з урахуванням затримки та їх періодів повторення у методі *finalVersionOfSignal* складаються в підсумкову послідовність сигналу і формують колекцію *result* типу *BigList<double>*. За допомогою властивостей компоненту *Chart1*, на екран відображається діаграма миттєвих значень сигналу, що містяться у колекції *result*.

При натисканні на *Button7*, також як і для *Button6*, розраховуються миттєві значення амплітуди обраних сигналів та викликається метод *finalVersionOfSignal*, а також розраховується колекція *noise* значень особистого шуму типу *BigList<double>* довжина якої дорівнює кількості відліків вікна зображення діаграми. На екран відображається діаграма підсумкового сигналу у часі в сукупності із шумом. Остаточний сигнал являє собою суму миттєвих значень сигналу *result* та відповідних ним миттєвих значень шуму *noise* у визначений момент часу.

Поряд із зазначеними можливостями в програмі реалізовано розрахунок спектру сигналу з урахуванням дії природного шуму, для чого встановлена безкоштовна математична бібліотека *alglib* та використана функція швидкого перетворення Фур'є дійсних чисел *fftr1d*, результат дії якої записується у вигляді таблиці в текстовий файл. В таблиці містять значення частот та відповідних ним значення амплітуд складових спектру підсумкового сигналу.

## 4 РЕЗУЛЬТАТИ МОДЕЛЮВАННЯ СИГНАЛУ НА ВХОДІ ПРИЙМАЧА ЗАСОБУ РАДІОМОНІТОРИНГУ

При запуску програмного додатку моделювання сигналу на вході приймача засобу радіомоніторингу з урахуванням власного шуму користувачеві демонструється головне вікно (рис. 4.1).

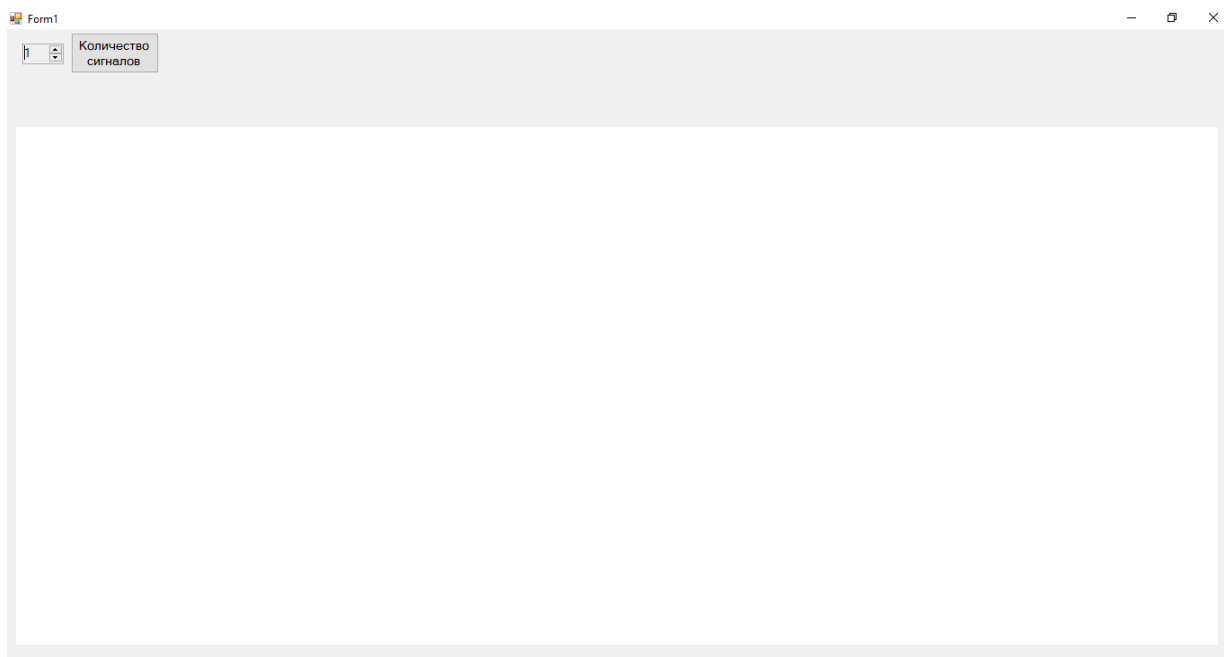


Рисунок 4.1 – Головне вікно

До початку роботи додатку необхідно вказати кількість моделюємих сигналів в полі розташованому в лівому верхньому куті головного вікна (рис. 4.1). За замовчуванням значення даного поля дорівнює 1, максимальне значення поля – 4, отже програмний додаток забезпечує моделювання в підсумку від 1 до 4 сигналів. Справа від описаного поля розташована кнопка «Кількість файлів», при натисканні на яку на головному вікні відображається вказана кількість компонентів для взаємодії з файловою системою ПК та кнопка «Принять данные» (рис. 4.2).

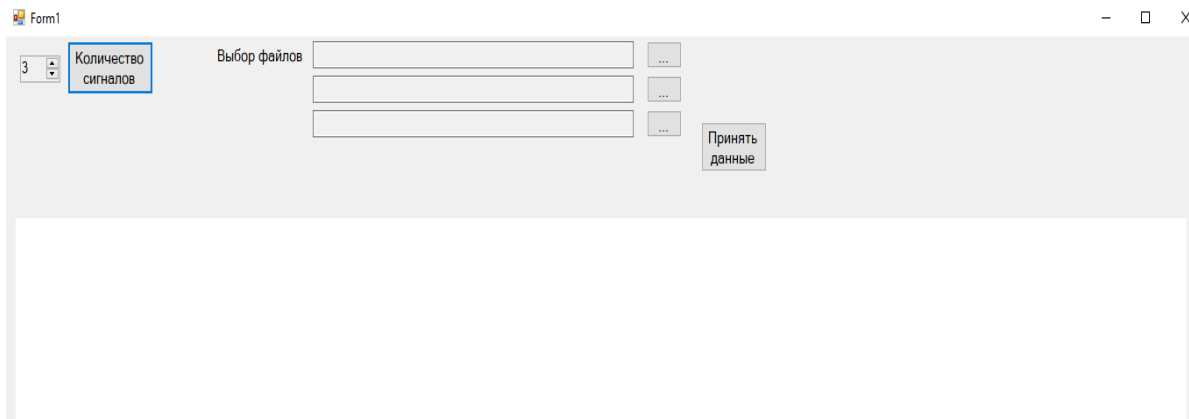


Рисунок 4.2 – Головне вікно після натискання кнопки «Количество файлов»

Для подальшої роботи необхідно обрати файли з параметрами вхідних сигналів формату txt (рис. 4.3).

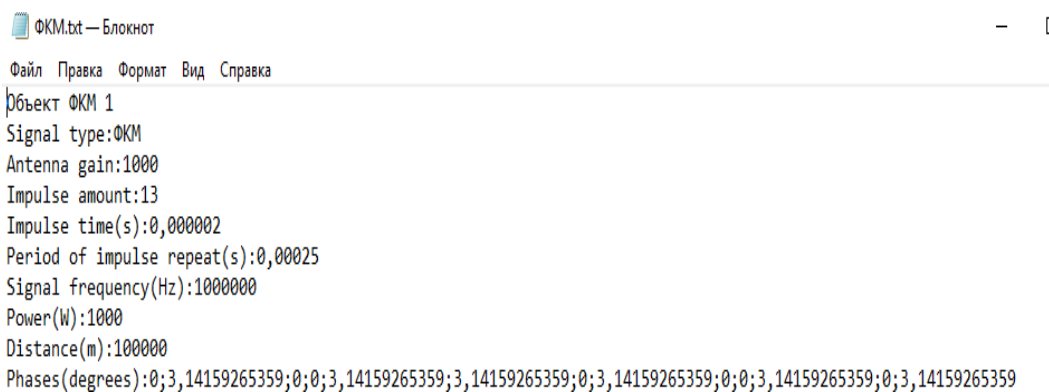


Рисунок 4.3 – Приклад файлу txt з параметрами ФКМ сигналу

Якщо не обрати один або декілька файлів від вказаної кількості на головному вікні з'явиться вікно попередження (рис 4.4).

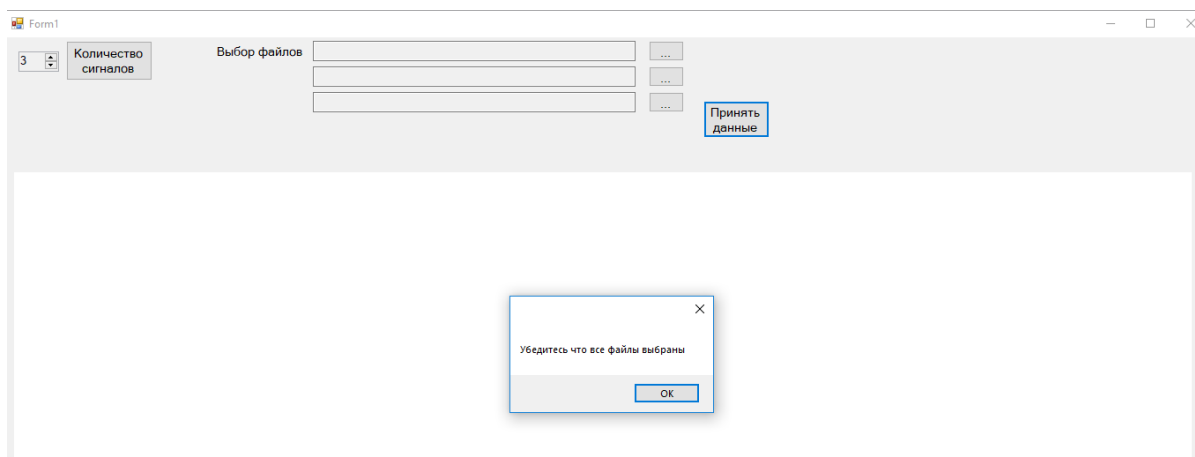


Рисунок 4.4 – Вікно попередження про нестачу файлів

При натисканні на кнопку «...» відкривається вікно взаємодії з файловою системою ПК для вибору файлу з параметрами вхідного сигналу (рис. 4.5).

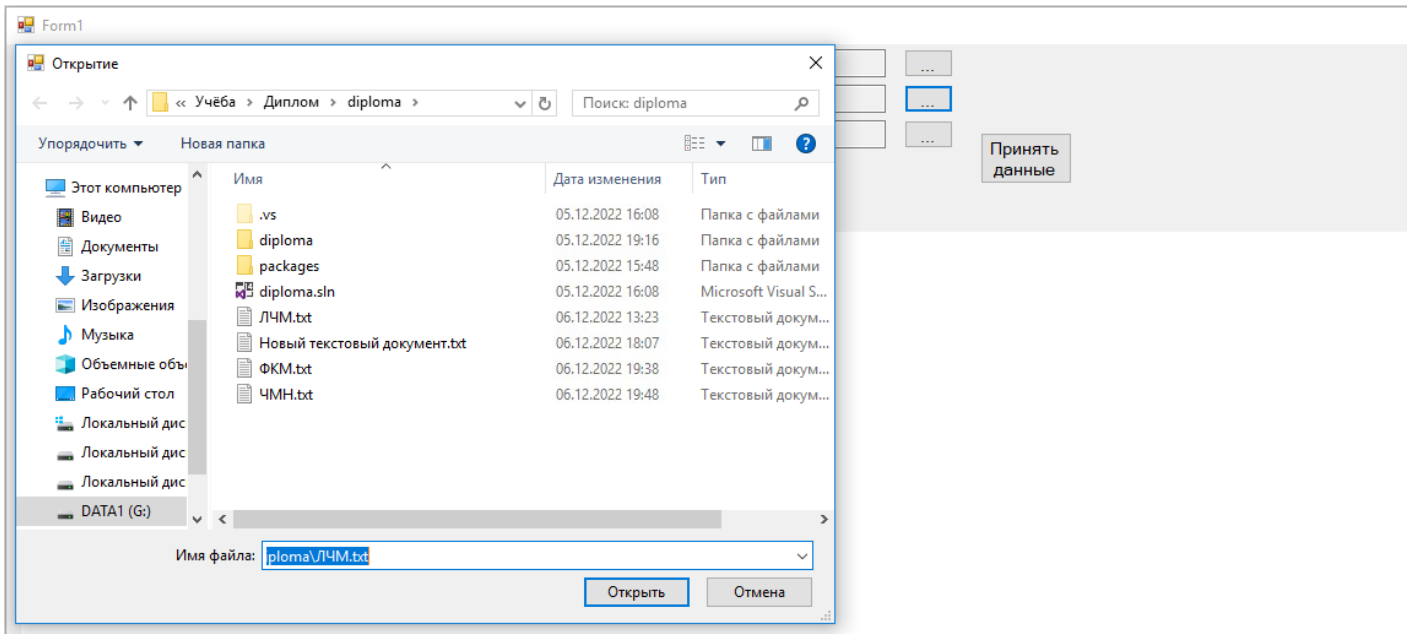


Рисунок 4.5 – Взаємодія з файловою системою ПК

Після вибору введеної кількості файлів, на головному вікні в компонентах взаємодії з файловою системою ПК відображається шлях до кожного файлу системи (рис. 4.6). Для запису даних в змінні програми необхідно натиснути кнопку «Принять данные».

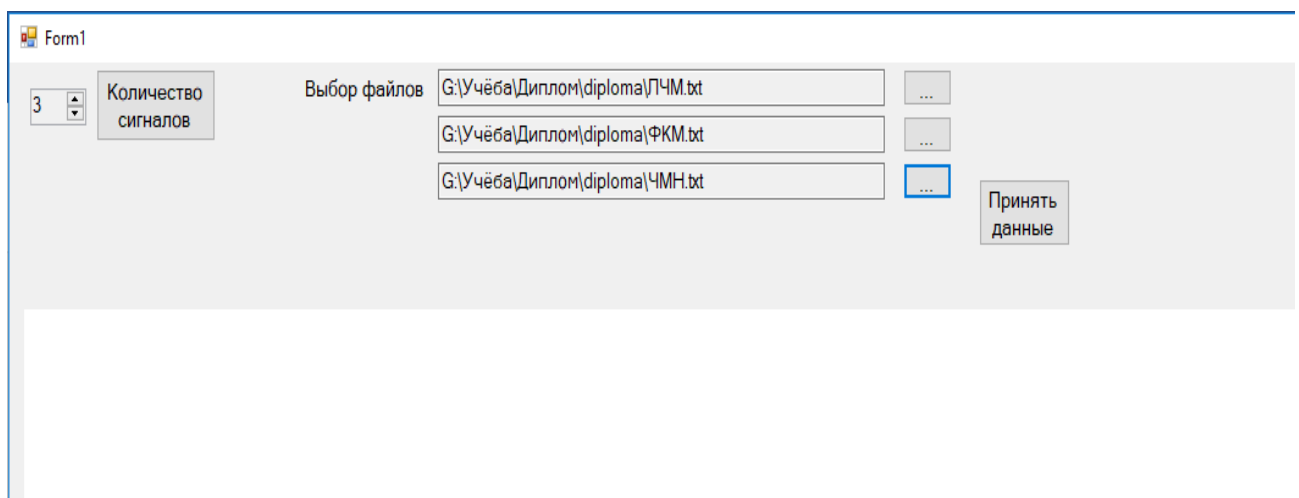


Рисунок 4.6 – Відображення шляху до файлів в компонентах взаємодії з файловою системою

Натискання на кнопку «Принять данные» приводить до зчитування даних у відповідні змінні програми та відображення на головному вікні додатку 4 компонентів для вводу числових значень і двох кнопок відображення діаграми сукупного сигналу з урахуванням шуму та без (рис. 4.7).

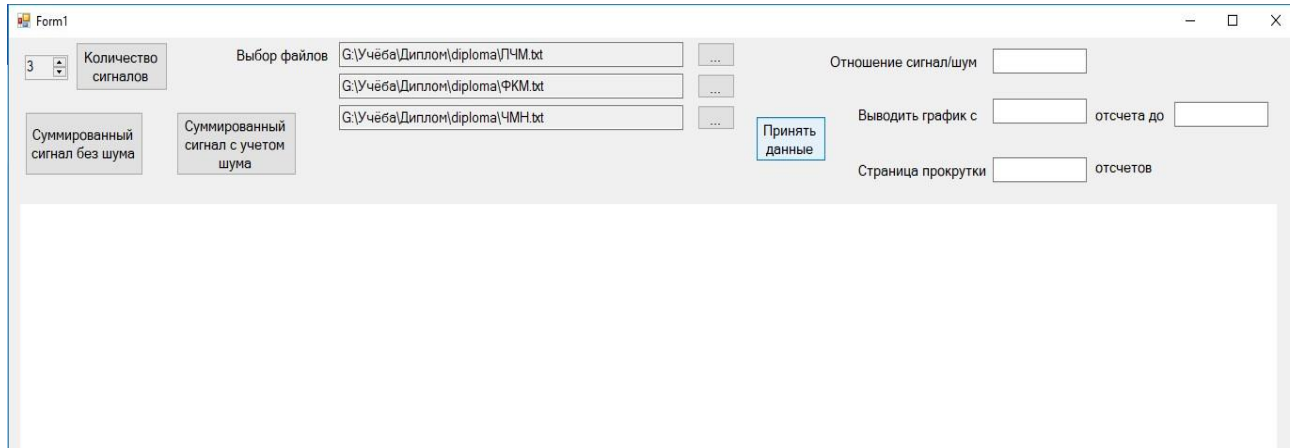


Рисунок 4.7 – Результат натискання кнопки «Принять данные»

Для подальшої роботи необхідно ввести у відповідні поля, розташовані в правому верхньому куту: відношення сигнал-шуму, номер відліку з якого і до якого бажано відображати діаграму змодельованого сигналу та кількість відліків однієї сторінки прокрутки діаграми. В описані поля користувачеві надається можливість вводити лише цифри та користуватись клавішею *Backspace*, будь-які інші символи дані компоненти програми сприймати не будуть. Приклад можливого заповнення текстових компонентів наведено на рис. 4.8.

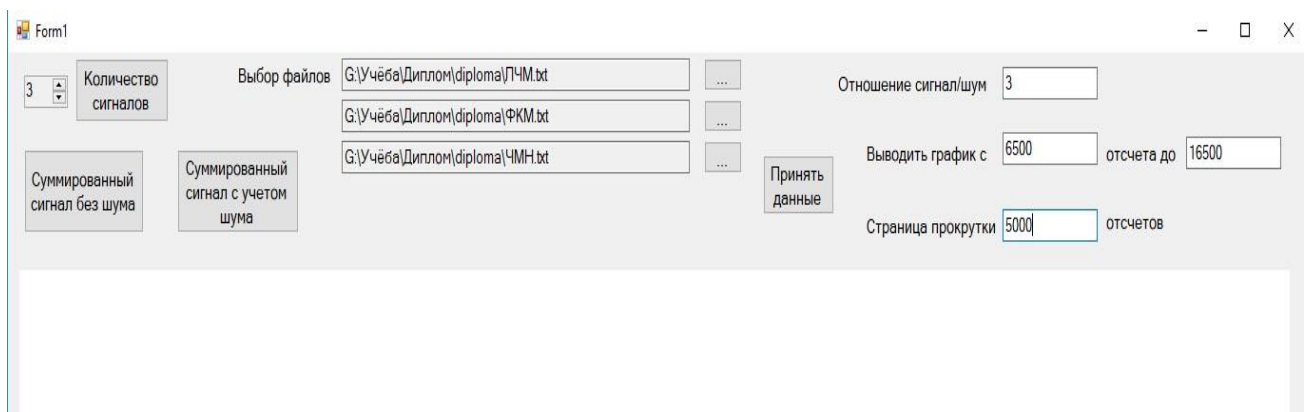


Рисунок 4.8 – Приклад заповнення текстових компонентів програми

Натиснувши на кнопку «Суммированный сигнал без шума» на компонент відображення діаграми виводиться змодельований сигнал в указаному діапазоні відліків (рис. 4.9).

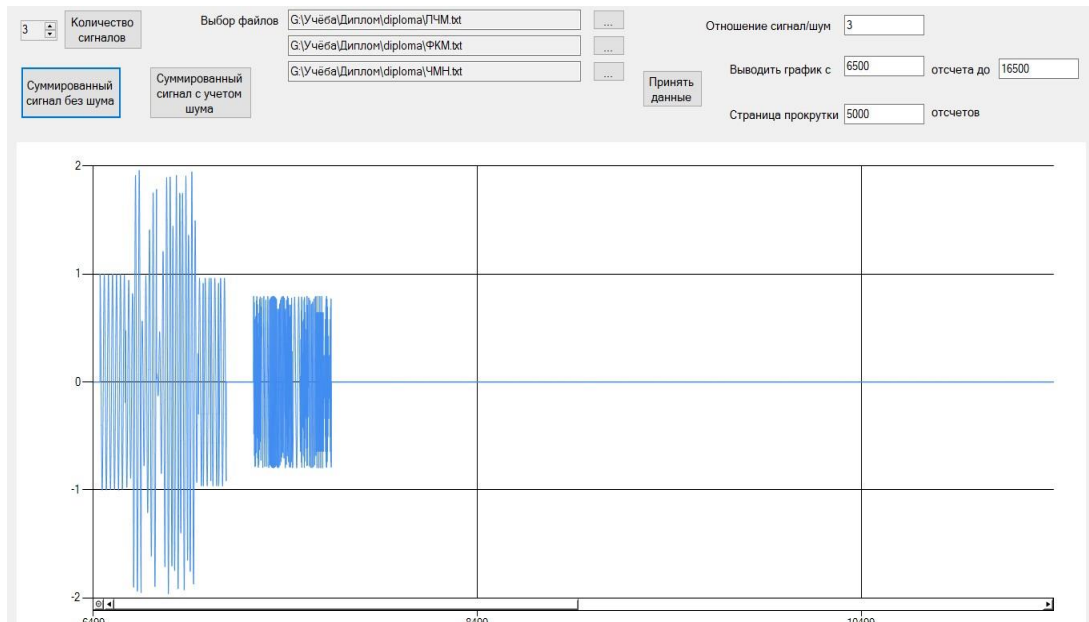


Рисунок 4.9 – Змодельований сигнал

Для відображення діаграми змодельованого підсумкового сигналу з урахуванням дії власних шумів необхідно натиснути на кнопку «Суммированный сигнал с учетом шума» (рис. 4.10).

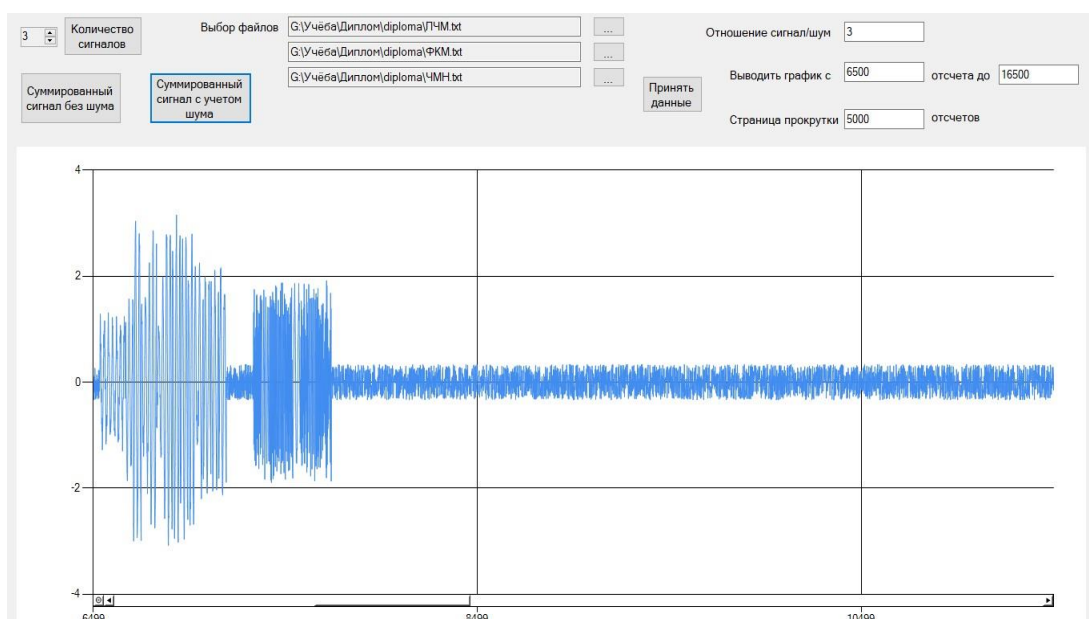


Рисунок 4.10 – Змодельований сигнал з урахуванням дії природного шуму

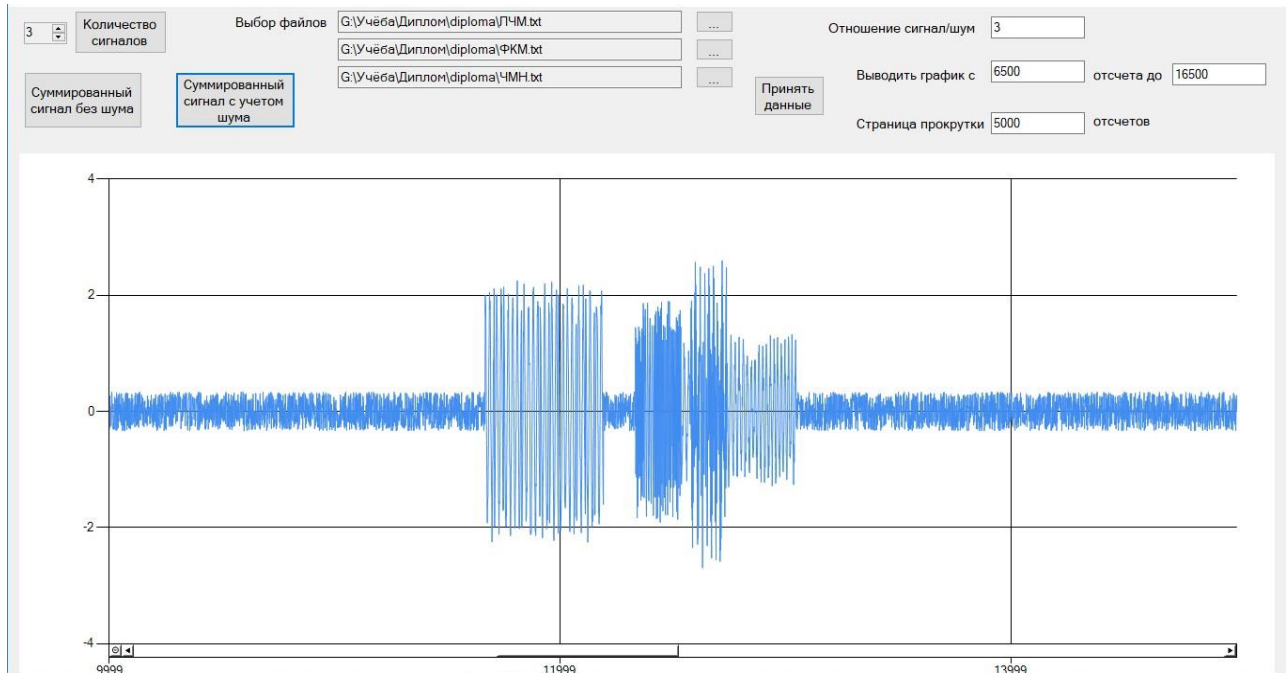


Рисунок 4.11 – Зсув діаграми змодельованого сигналу з урахуванням шуму

В процесі виконання програми для зручності аналізу є можливість змінити дані відображення діаграми та переглянути змодельований сигнал з новими параметрами діаграми (рис. 4.12).

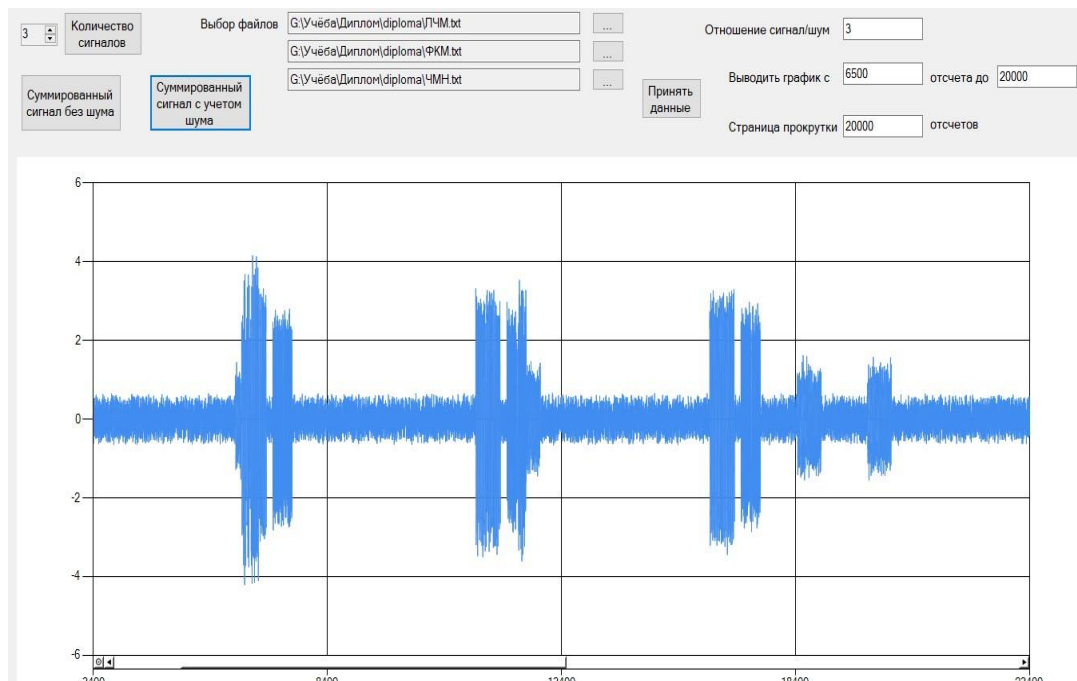


Рисунок 4.12 – Відображення змодельованого сигналу з шумом з 20000 відліків на одній сторінці скролу

Для демонстрації коректної роботи програми в процесі виконання було змінено кількість вхідних сигналів з 3 на 4, у зв'язку з чим на головному вікні з'явився ще один компонент взаємодії з файловою системою ПК, але файл для нього обрано не було. Натиснута кнопка «Принять данные», в результаті чого було відображено повідомлення про недостатню кількість обраних файлів (рис. 4.13).

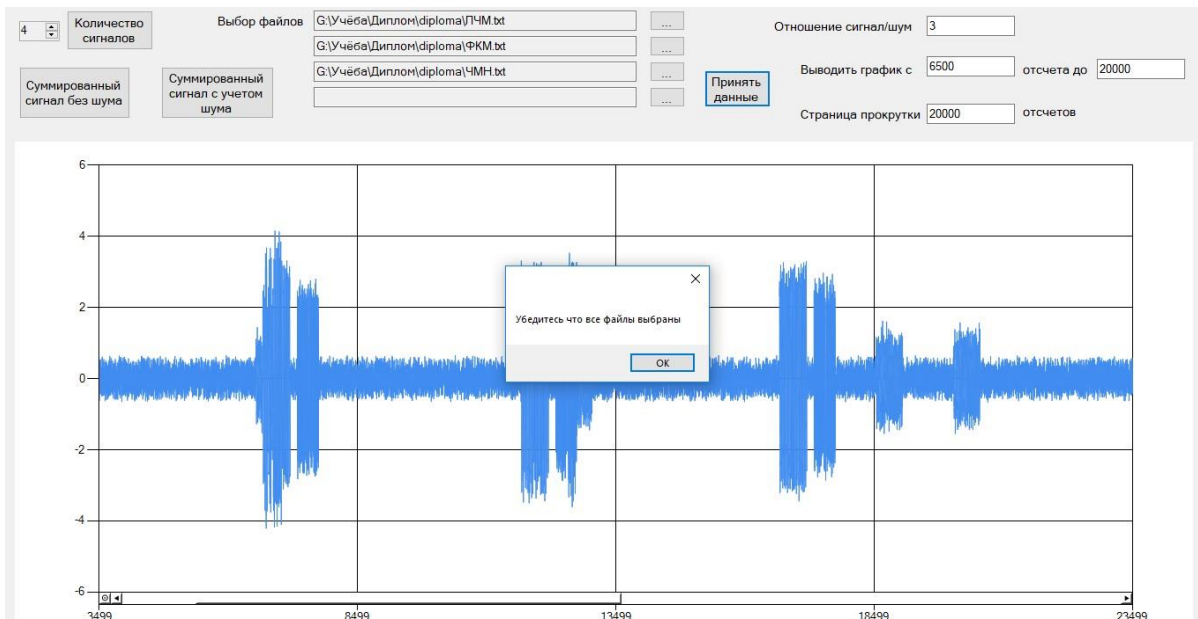


Рисунок 4.13 – Відображення повідомлення про недостатню кількість обраних файлів

Після закриття повідомлення з головного вікна зникають компоненти вводу параметрів відображення діаграми (рис. 4.14).

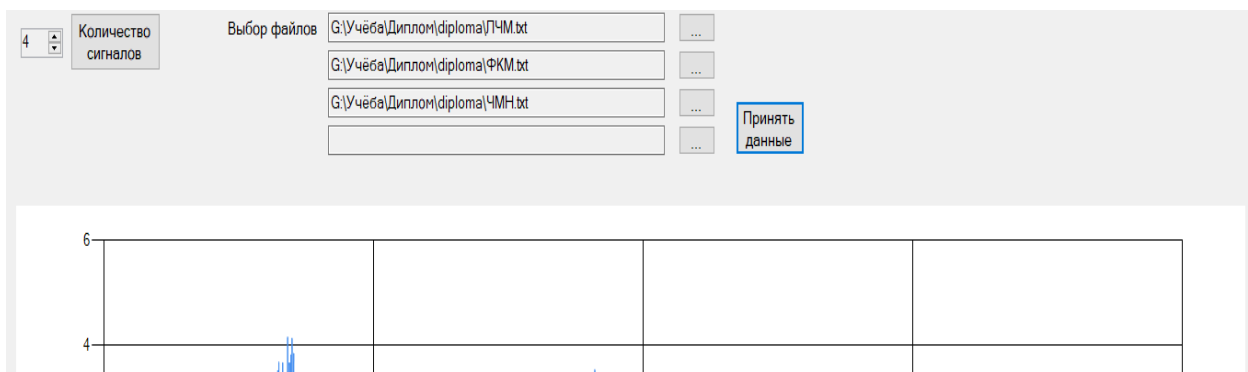


Рисунок 4.14 – Результат закриття повідомлення про недостатню кількість файлів

Після вибору файлу (рис. 4.15) та натискання кнопки «Принять данные» на екрані знову відображаються компоненти вводу параметрів діаграми (рис. 4.16).

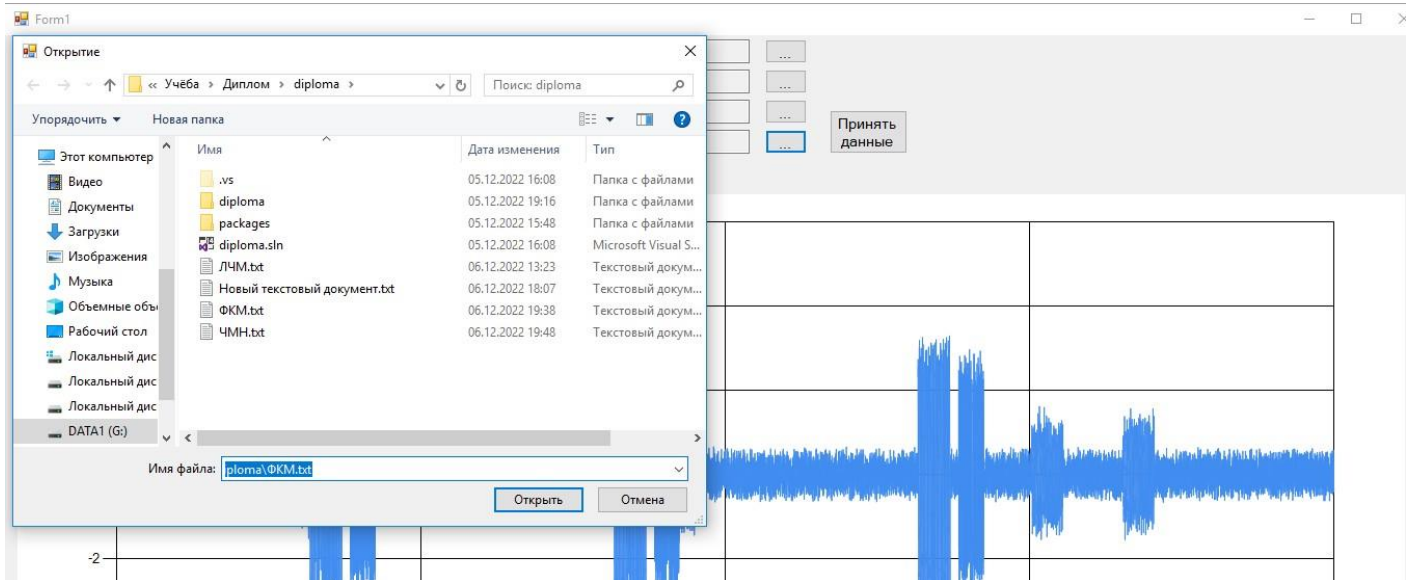


Рисунок 4.15 – Вибір файлу

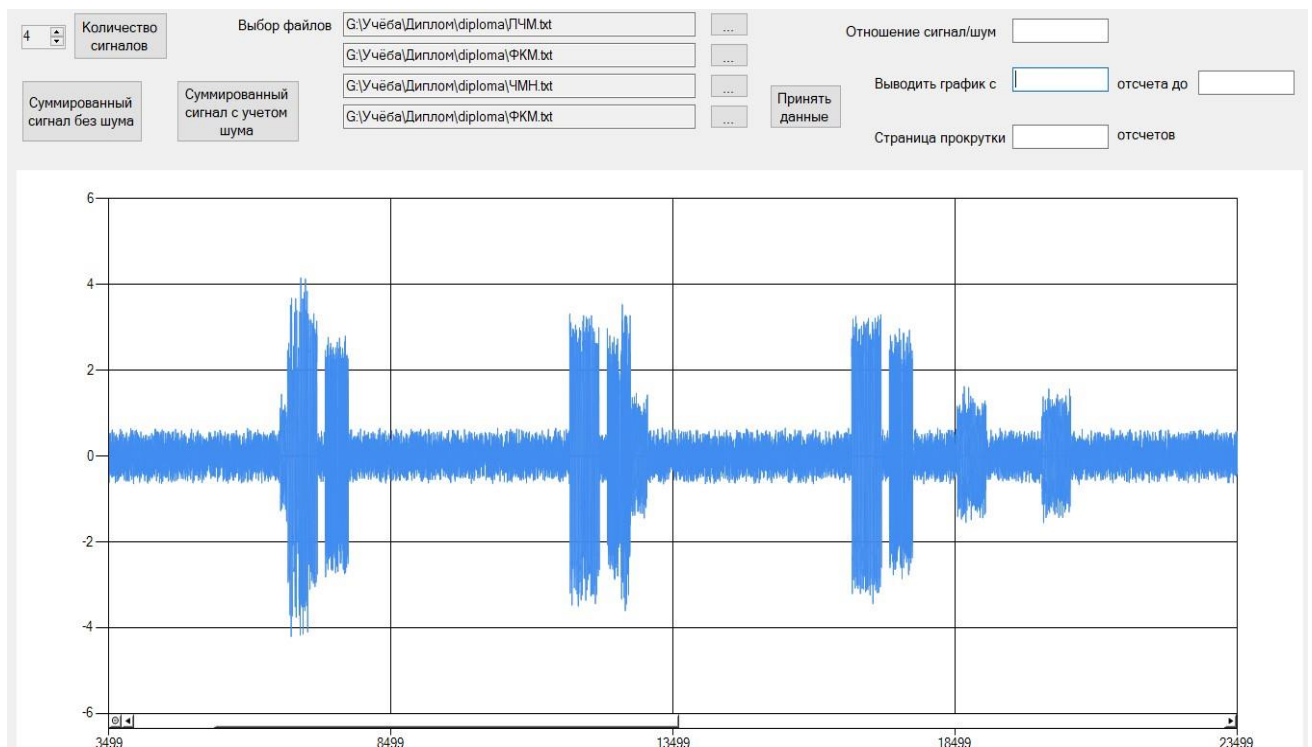


Рисунок 4.16 – Результат натискання кнопки «Принять данные»

У разі відсутності хоча б одного з параметрів відображення діаграми при натисканні на кнопку «Суммированный сигнал без шума» чи «Суммированный

сигнал с учетом шума» на головном окне з'являється повідомлення про незаповнення обов'язкових полів (рис. 4.17).

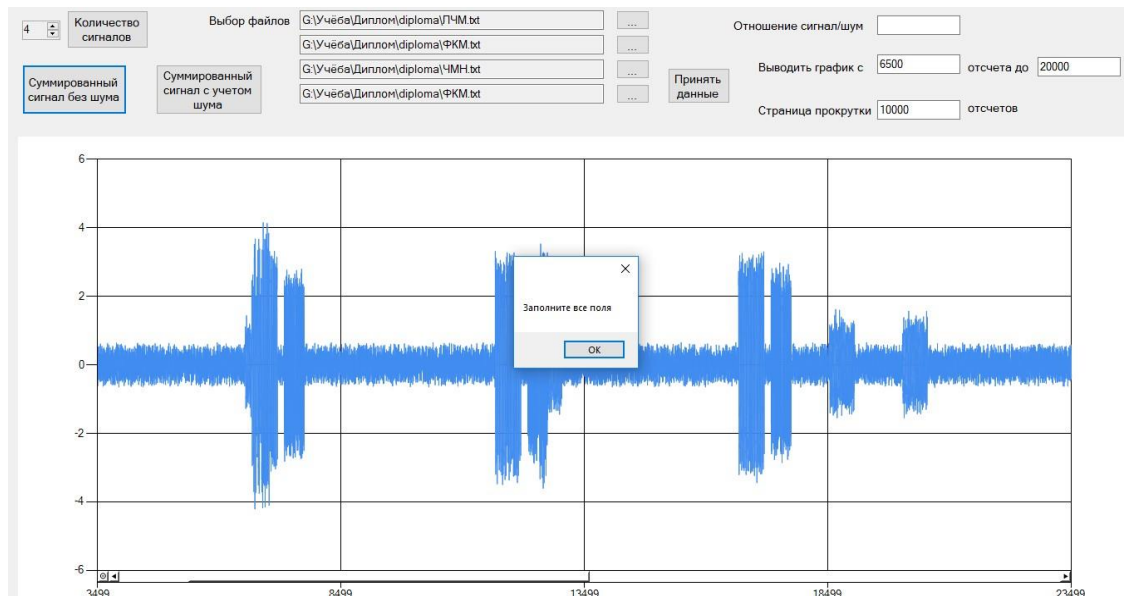


Рисунок 4.17 – Результат незаповнення одного з параметрів відображення діаграми сигналу

При виборі заданої кількості файлів з файлової системи ПК, заповненні всіх обов'язкових полів параметрів відображення діаграми та натискання однієї з кнопок моделювання на екран відображається діаграма змодельованого сигналу (рис 4.18).

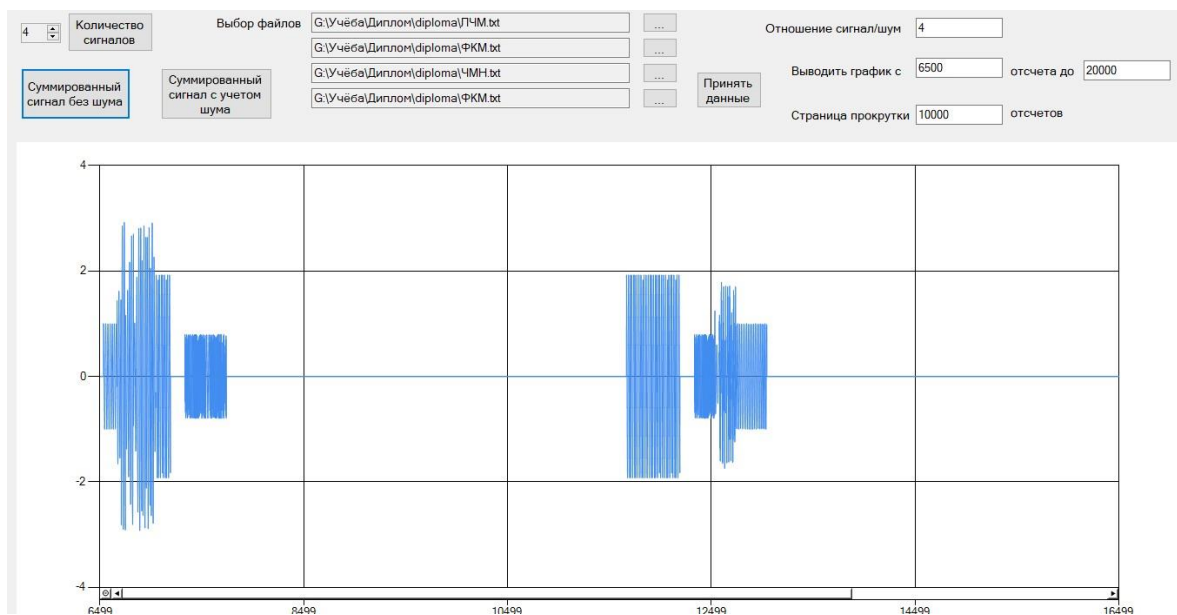


Рисунок 4.18 – Результат коректної роботи з програмою

## 5 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ РОЗРОБКИ

Метою роботи були завдання обґрунтуванні моделі і розробці алгоритму та програмного забезпечення, які дозволяють моделювати сукупність сигналів, що утворюється від випромінювання радіоелектронних засобів на вході прийомного пристрою засобу радіомоніторингу на фоні дії внутрішніх шумів

Розроблено програмне забезпечення на мові програмування C# з використанням зовнішніх бібліотек.

Будь-яке технічне рішення може вважатися ефективним і прийматися до реалізації тільки після доведення його технічного прогресу та економічної доцільності. Тому економічне обґрунтування розроблених технічних рішень є важливою частиною кваліфікаційної роботи.

### 5.1 Обґрунтування доцільності розробки ПЗ

У сучасному світі у зв'язку розвитком мобільного, супутникового, радіозв'язку та інших електронних пристроїв, що використовують радіохвилі, з'явилась потреба упорядкувати їх взаємодію, з метою запобігання здійснення перешкод роботі інших засобів, що працюють в одному діапазоні хвиль. Така функція в Україні покладена на Український державний центр радіочастот (УДЦР). Контроль використання радіодіапазону в УДЦР здійснюють його відповідні структурні підрозділи, які мають для здійснення цієї функції відповідні засоби радіомоніторингу.

Процес радіомоніторингу складається з визначення сигналу у визначеній точці простору та відповіді на питання чи дозволено цим РЕЗ працювати в визначеному діапазоні та які ці РЕЗ. Тому створення ПЗ, яке дозволяє моделювати підсумковий сигнал, що утворюється від випромінювання різноманітних РЕЗ, на вході прийомного обладнання радіомоніторингу з урахуванням власних шумів є важливою задачею у забезпеченні взаємної сумісності роботи різноманітних, як державних, військових, так і приватних РЕЗ (супутниковий, телебачення, радіолокаційних станцій і т.д).

В ході виконання кваліфікаційної роботи був проведений аналіз радіосигналів та обґрунтована така математична модель подання сигналів радіовипромінювань сучасних РЕЗ, яка створює підґрунтя для побудови методики, що дозволяє моделювати сигнали на вході прийомного обладнання радіомоніторингу. На підставі сформованої математичної моделі з'явилась можливість розробити алгоритм і ПЗ для реалізації зазначеної цілі.

Розроблений програмний додаток надає можливість користувачу в якості вхідних параметрів обирати файли з параметрами сигналів різного виду модуляції, взаємодіючи з файловою системою ПК та моделювати сигнал на вході прийомного обладнання радіомоніторингу з урахуванням дії власних шумів.

Застосування даного ПЗ дозволить спеціалістам в галузі радіомоніторингу сформулювати на основі моделювання висновки стосовно існуючої радіоелектронної обстановки.

## **5.2 Оцінка конкурентоспроможності ПЗ у порівнянні з аналогом**

Обладнання радіомоніторингу, що використовується у сучасному світі є суто власністю держави і на комерційний ринок не поступає. Таким чином, можна зробити висновок, якщо аналоги розробленому в ході кваліфікаційної роботи ПЗ існують, дані про них невідомі, бо вони є державною та комерційною таємницею. Отже, провести порівняння з існуючими аналогами неможливо. Існує ряд «готових рішень» моделювання окремих типів, видів модуляції сигналів випромінювань радіоелектронних засобів. Але жодне з них не дозволяє моделювати сукупність сигналів, що утворюється від випромінювання радіоелектронних засобів на вході прийомного обладнання засобів радіомоніторингу з урахуванням дії власних шумів. На підставі цього, можна зробити висновок, що розроблене програмне забезпечення є унікальним.

### 5.3 Планування комплексу робіт з розробки програмного забезпечення і оцінка трудомісткості робіт

У розробці програмного забезпечення беруть участь дві людини: керівник проекту і виконавець (програміст). Керівник проекту формує завдання проекту (комплекс робіт), план виконання цих завдань, здійснює управління проектом розробки програмного забезпечення, проводить необхідні консультації. Програміст виконує проектування архітектури програмного забезпечення, програмну реалізацію алгоритмів, розробку структури файлів для зберігання даних, розробку інтерфейсу, тестування програми та інші дії відповідно до плану проекту. Вибір комплексу робіт для розробки проекту здійснюється відповідно до стандарту ISO/IEC12207: 2008 «System and software engineering – Software life cycle processes», в якому встановлюються етапи розробки програмного забезпечення. Приклад набору робіт наведено в таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 – Комплекс робіт проекту по розробці ПЗ

Зміст робіт	Виконавець	Тривалість, день	Навантаження викон.		
			Трив, день	%	людино-дні
1. Підготовка процесу розробки і аналіз вимог					
1.1 Дослідження та обґрунтування розробки					
1.1.1 Постановка задачі	Керівник, Програміст	3	1 3	25 100	0,25 3
1.1.2 Збір вихідних даних	Керівник, Програміст	14	5 14	50 100	2,5 14
1.2 Пошук аналогів і прототипів					
1.2.1 Аналіз існуючих методів розв'язання задачі	Програміст	6	6	10 0	6
1.2.2 Обґрунтування необхідності розробки ПЗ	Керівник, Програміст	2	1 2	50 100	0,5 2
1.3 Аналіз вимог					
1.3.1 Визначення і аналіз вимог до ПЗ	Керівник, Програміст	3	1 3	25 100	0,25 3
1.3.2 Визначення структури даних	Керівник, Програміст	5	1 5	0,5 100	0,5 5
1.3.3 Вибір технічних і програмних засобів реалізації ПЗ	Керівник, Програміст	3	1 3	0,5 100	0,5 3
1.3.4 Узгодження і затвердження технічного завдання розробки ПЗ	Керівник, Програміст	3	1 3	0,5 100	0,5 3
Разом за етапом 1	Керівник, Програміст	39	11 39	28 100	5 39

## Продовження таблиці 5.1

2. Проектування					
2.1 Проектування програмної архітектури	Програміст	3	3	10 0	3
2.2 Технічне проектування компонентів ПЗ	Програміст	7	7	10 0	7
Разом за етапом 2	Програміст	10	10	10 0	10
3. Програмування та тестування програмних модулів					
3.1 Програмування модулів ПЗ	Програміст	13	13	10 0	13
3.2 Тестування програмних модулів	Програміст	21	21	10 0	21
3.3 Збірка і випробування ПЗ	Керівник, Програміст	5	2 5	40 100	0,8 5
3.4 Аналіз результатів випробувань	Керівник, Програміст	5	1 5	20 100	0,2 5
Разом за етапом 3	Керівник, Програміст	44	3 44	7 10 0	1 44
4. Оформлення робочої документації					
4.1 Проведення розрахунків показників безпеки життєдіяльності	Програміст	3	3	10 0	3
4.2 Проведення економічних розрахунків	Програміст	4	4	10 0	4
4.3 Оформлення пояснювальної записки	Керівник, Програміст	15	6 15	7 80	3 15
Разом за етапом 4	Керівник, Програміст	22	6 22	7 100	3 22
Разом за проектом	Керівник, Програміст	115	20 115		9 115

Таблиця 5.2 – Календарний графік виконання робіт проекту

№	Зміст роботи	Виконавець	Тривалість, день	Графік роботи	
				Початок	Кінець
1	Постановка задачі	Керівник	1	10.02.2023	10.02.2023
		Програміст	3	10.02.2023	12.02.2023
2	Збір вихідних даних	Керівник	5	13.02.2023	16.02.2023
		Програміст	14	13.02.2023	25.02.2023
3	Аналіз існуючих методів розв'язання задачі	Програміст	6	26.02.2023	01.03.2023
4	Обґрунтування необхідності розробки ПЗ	Керівник	1	02.03.2023	02.03.2023
		Програміст	2	02.03.2023	03.03.2023
5	Визначення і аналіз вимог до ПЗ	Керівник	1	05.03.2023	05.03.2023
		Програміст	3	05.03.2023	06.03.2023
6	Визначення структури даних	Керівник	1	07.03.2023	07.03.2023
		Програміст	5	07.03.2023	10.03.2023

## Продовження таблиці 5.2

7	Вибір технічних і програмних засобів реалізації ПЗ	Керівник	1	11.03.2023	11.03.2023
		Програміст	3	11.03.2023	15.03.2023
8	Узгодження і затвердження технічного завдання розробки ПЗ	Керівник	1	16.03.2023	16.03.2023
		Програміст	3	16.03.2023	18.03.2023
9	Проектування програмної архітектури	Програміст	3	19.03.2023	21.03.2023
10	Технічне проектування компонентів ПЗ	Програміст	7	22.03.2023	27.03.2023
11	Програмування модулів ПЗ	Програміст	13	28.03.2023	12.05.2023
12	Тестування програмних модулів	Програміст	21	13.05.2023	03.05.2023
13	Збірка і випробування ПЗ	Керівник	2	05.05.2023	05.05.2023
		Програміст	5	05.05.2023	08.05.2023
14	Аналіз результатів випробувань	Керівник	1	09.05.2023	09.05.2023
		Програміст	5	09.05.2023	13.05.2023
15	Виконання робіт щодо охорони праці та навколишнього середовища	Програміст	3	15.05.2023	16.05.2023
16	Проведення економічного обґрунтування	Керівник Програміст	4	17.05.2023	21.05.2023
17	Оформлення пояснювальної записки	Керівник	5	21.05.2023	26.05.2023
		Програміст	15	21.05.2023	04.06.2023

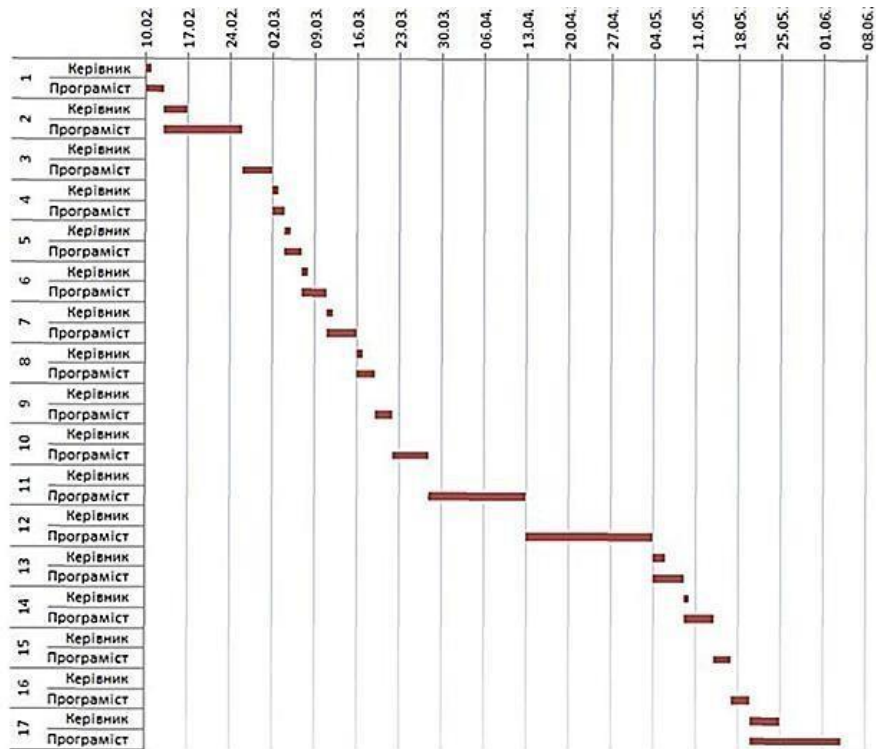


Рисунок 5.1 – Календарний графік проекту

#### 5.4 Розрахунок проектних витрат на розробку ПЗ

Капітальні вкладення в проекти, які пов'язані з розробкою і впровадженням програмних продуктів, розраховуються за формулою:

$$K = K_P + K_R, \quad (5.1)$$

де  $K_P$  – капітальні вкладення на проектування (передвиробничі витрати), грн.;

$K_R$  – капітальні вкладення на реалізацію проекту, грн.

Передвиробничі витрати - це одноразові витрати на розробку систем, які забезпечують певні процеси, або функціональні системи, або їх елементи на всіх етапах проектування, а також витрати на їх поліпшення (тобто на дослідження предметної області (об'єкту автоматизації), обробку матеріалів дослідження, розробку технічного завдання на розробку програмного забезпечення (програмного продукту), розробку технічного і робочого проекту програмного забезпечення і його реалізації). До них відносяться вартість розробки алгоритмів і створення коду, вартість розробки прив'язки стандартних проектних рішень (СПР) і пакетів прикладних програм (ППП) до конкретного об'єкта автоматизації.

Сумарні витрати на проектування ПЗ, його розробку, тестування та налагодження визначаються за формулою:

$$K_P = ((1 + W_d)(1 + W_c) + W_H) \sum_{i=1}^m C_{Hi} + C_M + M_T, \quad (5.2)$$

де  $m$  – кількість виконавців проекту, які беруть участь у розробці ПЗ;

$C_{Hi}$  – витрати на основну заробітну плату виконавця  $i$ -ї категорії, грн.;

$W_d$  – коефіцієнт, що враховує додаткову заробітну плату в частках до основної заробітної плати (встановлюється кожною організацією окремо, наприклад, це може бути кваліфікаційні надбавки за стаж, наукове звання, науковий ступінь тощо);

$W_c$  – коефіцієнт, що враховує єдиний соціальний внесок (податок з фізичної особи, та інші податки та збори), в частках до суми основної та додаткової заробітної плати виконавця проекту ( $W_c = 22\%$ );

$W_H$  – коефіцієнт, що враховує накладні витрати організації, у частках до основної заробітної плати виконавця проекту (приймається за фактичними даними,  $W_H = 0,6$ );

$C_M$  – витрати на матеріали;

$M_T$  – витрати на використання машинного часу.

Витрати на заробітну плату працівника  $i$ -ї категорії дорівнюють:

$$C_{Hi} = C_{Ti} \cdot t_i, \quad (5.3)$$

де  $C_{Ti}$  – середньоденна заробітна плата працівника  $i$ -ї категорії, грн. / дн.;

$t_i$  – кількість днів, відпрацьованих працівником  $i$ -ї категорії. Проведено розрахунки витрат проекту щодо розробки ПЗ.

Для розрахунку основної заробітної плати виконавців проекту (табл. 5.3) враховуються витрати часу на розробку ПЗ кожного виконавця, виходячи з його завантаження за календарним графіком виконання робіт (табл. 5.2). Також для розрахунку основної заробітної плати ( $C_H$ ) виконавців проекту щодо розробки ПЗ прийнято, що у місяці 21 робочий день.

Таблиця 5.3 – Основна заробітна плата виконавців проекту

Посада	Посадовий оклад, грн	Середня денна ставка $C_{Ti}$ , грн.	Витрати часу на розробку $t_i$ , людино - дні	Витрати на основну заробітну плату, $C_{Hi}$ , грн.
Керівник	18000	18000/21=856	9	7704
Програміст	4100	4100/21= 195,2	115	22456
Усього, $C_H$				30160

З огляду на те, що ПЗ повинне бути запрограмоване і налагоджене за допомогою ЕОМ, до сумарних витрат на розробку додаються витрати на використання машинного часу  $M_T$ , що обчислюються як:

$$M_T = t_{M_T} \cdot S_{M_T} \cdot K_M, \quad (5.4)$$

де  $t_{M_T}$  – машинний час комп'ютера, необхідне для розробки програмного продукту;  $t_{M_T} = 115 \cdot 8 = 920$  годину;

$S_{M_T}$  – вартість 1 год машинного часу;  $S_{M_T} = 10$  грн. / год;

$K_M$  – коефіцієнт мультипрограмності, який показує частку машинного часу, яке надається для реалізації проекту; у випадку виконання дипломної роботи  $K_M = 1$ .

$$M_T = 920 \cdot 10 \cdot 1 = 9200 \text{ грн.}$$

Матеріали, придбані у процесі виконання проекту, та їх вартість наведені в таблиці 2.5, згідно якої витрати на матеріали  $S_M$  становлять 700 грн.

Таблиця 5.4 – Витрати на матеріали

Матеріали	Кількість, шт.	Ціна за од, грн.	Загальна вартість, грн.	Призначення
DVD диски	10	20,00	200,00	Збереження та тиражування програми
Папір А4	50	2,00	100,00	Роздруківка діаграм змодельованих сигналів
Фарба для принтера	1	400,00	400,00	Роздруківка документації
Сумарна вартість, грн.			700,00	

Отже, капітальні вкладення проекту згідно (5.2) дорівнюють:

$$K_P = ((1+0,5) \times (1+0,22) + 0,6) 30160 + 700 + 9200 = 83188,8 \text{ грн.}$$

Кошторис на розробку ПЗ наведено у табл. 5.5.

Таблиця 5.5 – Кошторис на розробку ПЗ

Статті витрат	Сума, грн.	Коментар
Основна заробітна плата	30160	Згідно табл. 5.3
Додаткова зарплата	15080	$C_H \cdot W_d$
Відрахування	9952,8	$(C_H + C_H \cdot W_d) \cdot W_c$
Витрати на матеріали	700	Згідно табл. 2.5
Витрати на машинний час	9200	Згідно табл. 5.4
Накладні витрати організації	18096	$C_H \cdot W_H$
ИТОГО	83188,8	

Отже, на розробку ПЗ витрати  $K_P$  склали 83188,8 грн.

### 5.5 Розрахунок витрат на впровадження ПЗ

Капітальні вкладення проекту на впровадження ПЗ розраховують за формулою:

$$K_R = K_{AE} + K_{RD} + K_{PP} + K_{OS} + K_{BD} + K_{HR}, \quad (5.5)$$

де  $K_{AE}$  – витрати на основне і допоміжне обладнання, грн.;

$K_{RD}$  – витрати на будівництво, реконструкцію будівлі та приміщень, грн.;

$K_{PP}$  – витрати на придбання типових розробок, пакетів, грн.;

$K_{OS}$  – витрати на прокладку ліній зв'язку, грн.;

$K_{BD}$  – витрати на створення інформаційної бази, грн.;

$K_{HR}$  – витрати на підготовку і перепідготовку кадрів, грн.

Для впровадження розробленого в ході виконання дипломної роботи ПЗ не потрібні кошти на створення інформаційної бази організації, ліній зв'язку, на

реконструкцію будівель, то відповідні витрати у (5.5) дорівнюють нулю. Для впровадження ПЗ не потрібно великих часових та інших ресурсів для підготовки кадрів, отже, ці витрати також будуть дорівнювати нулю.

Розробка проводилась з використанням Lenovo G570 сумісних персональних ЕОМ стандартної конфігурації з процесором Intel Pentium G4520, об'ємом оперативної пам'яті 8 Gb, об'ємом жорсткого диску 250 Гб, за наявності відеоадаптеру Intel HD Graphics 3000.

Вважається, що на підприємстві, де буде впроваджуватися ПЗ, можна здійснити додатково закупівлю ПК та програмного забезпечення. Отже, необхідні кошти на:

- закупівлю основного обладнання, до якого входить ПК вартістю 30000 грн,
- додаткове ПЗ, до якого входить інтегрована середа розробки Microsoft Visual Studio Pro 2019 SNGL OLP NL вартість 28 000 грн.

Отже витрати на закупівлю додаткового обладнання складуть 58000 грн. Оскільки це обладнання буде використовуватися і для інших програм, то визначення витрат  $K_{AE}$  здійснюється на основі формули:

$$K_{AE} = \sum_{j=1}^N C_{bj} \cdot Q_j \cdot Y_j, \quad (5.6)$$

де  $N$  – кількість видів основного та допоміжного обладнання, необхідного для реалізації проекту ( $N = 1$ );

$C_{bj}$  – балансова вартість  $j$ -го виду обладнання, грн. ( $C_{bj} = 30000$  грн.);

$Q_j$  – кількість одиниць  $j$ -го обладнання, шт. ( $Q_j = 1$  шт.);

$Y_j$  – коефіцієнт завантаження  $j$ -го виду обладнання при обробці інформації за рішенням завдань предметної області:

$$Y_j = T_j / F_{Tj}, \quad (5.7)$$

де  $F_{Tj}$  – ефективний річний фонд часу роботи технічного засобу  $j$ -го виду, год/рік (це може бути 2000 годин (250 днів x 8 год), у 2022 році загальна кількість днів складе 365, робочих днів – 250);

$T_j$  – час роботи технічного засобу  $j$ -го виду для розв’язку  $S$  задач, год/рік:

$$T_j = \sum_{k=1}^S t_{kj} \cdot U_k \quad (5.8)$$

де  $t_{kj}$  – трудомісткість одноразової обробки інформації  $k$ -ї задачі на  $j$ -му виді технічних засобів, годин машинного часу (виконується 1 задача з трудомісткістю  $t_{kj} = 6$ );

$U_k$  – частота (періодичність) рішення  $k$ -ї задачі, днів/рік ( $U_k = 250$ ).

Для даного проекту витрати на його реалізацію  $K_{AE}$  складуть:

$$K_R = K_{AE} + K_{PP} = 30000 * 1 * \frac{6*250}{2000} + 28000 = 50500 \text{ грн.}$$

Отже, сумарні витрати на реалізацію проекту щодо розробки ПЗ складуть:

$$K = K_P + K_R = 83188,8 + 50500 = 133688,8 \text{ грн.}$$

## **5.6 Розрахунок витрат на закупку та впровадження програмного продукту – аналога ПЗ, яке розроблено**

На підставі пункту 5.2 кваліфікаційної роботи здійснити розрахунки витрат на закупку та впровадження програмного продукту – аналога ПЗ, яке розроблено не має можливості.

### 5.7 Розрахунок поточних експлуатаційних витрат ПЗ та його аналога

До експлуатаційних витрат відносяться витрати, які пов'язані з забезпеченням нормального функціонування ПЗ. Такі витрати називають також поточними витратами. До них відносяться витрати на ведення інформаційної бази, експлуатацію комплексу технічних засобів, експлуатацію систем програмно-математичного забезпечення, реалізацію технологічного процесу обробки інформації згідно з задачами, експлуатація системи у цілому. Поточні витрати розраховуються за формулою:

$$C_C = C_S + C_D + C_E + C_{RE} + C_M + C_{OH}, \quad (5.9)$$

де  $C_S$  – витрати на зарплату основну та додаткову з відрахуваннями до соціальних фондів, грн.;

$C_D$  – амортизаційні відрахування від вартості обладнання і пристроїв системи, грн.;

$C_E$  – витрати на електроенергію, грн.;

$C_{RE}$  – витрати на поточний ремонт обладнання та пристроїв системи, грн.;

$C_M$  – витрати на матеріали і носії інформації, грн.;

$C_{OH}$  – накладні витрати інформаційного підрозділу, грн.

Проведемо розрахунки цих витрат на 1 рік експлуатації програмного продукту. У зв'язку з відсутністю даних про аналоги розробленого ПЗ, розрахунки проведемо лише для програмного додатку, створеного в ході написання кваліфікаційної роботи.

Витрати ( $C_S$ ) на заробітну плату фахівців – користувачів програмного продукту розраховують за формулою:

$$C_S = \sum_{t_i}^M \cdot C_{Si}(1 + W_d)(1 + W_c), \quad (5.10)$$

де  $t_i$  – час експлуатації програми  $i$ -м працівником, у днях;

$M$  – кількість працівників (фахівців), які будуть користуватися ПЗ;

$C_{Si}$  – середньоденна заробітна плата  $i$ -го працівника, грн./день.

Значення надбавки до заробітної плати  $W_d$  встановлюється організацією самостійно, може дорівнювати нулю; значення  $W_c$  залежить від типу підприємства, де буде впроваджено програмний продукт (від схеми оподаткування бізнесу).

Дані розрахунку заробітної плати фахівців – користувачів ПЗ наведені відповідно у табл. 5.6.

Таблиця 5.6 – Дані по заробітній платі користувачів ПЗ, що розроблено

Посада	Посадовий оклад, грн.	Середня денна ставка, грн./день	Витрати часу на роботу з ПЗ, людино-дні	Фонд з/п, грн.
Програміст	24000	1142,86	1 день *12 міс = 12	13714,30
Операціоніст	10500	500	8 днів *12 міс = 96	48000
Разом				61714,29

$$C_S = (1142,86 \cdot 12 + 500 \cdot 96)(1 + 0,5)(1 + 0,22) = 112937,2 \text{ грн (за рік).}$$

Сума амортизаційних відрахувань ( $C_D$ ) для обладнання розраховується так:

$$C_D = \sum_{j=1}^N \frac{C_{bj} \cdot a_j \cdot g_j \cdot t_j}{F_{Tj}} \quad (5.11)$$

де  $C_{bj}$  – балансова вартість  $j$ -го виду обладнання, грн.;

$t_j$  – час роботи  $j$ -го виду обладнання, години;

$a_j$  – норма річних амортизаційних відрахувань для  $j$ -го виду обладнання;

$F_{Tj}$  – ефективний фонд часу роботи обладнання в рік, години (див. формулу (5.7));

$g_j$  – кількість одиниць обладнання  $j$ -го виду.

Дані для ПЗ:

$a_j = 0,2$  (використовується прискорена амортизація – 20-30% оскільки мова йде про комп'ютерну техніку, яка має моральний знос);

$g_j = 1$  (використовується один ПК);

$t_j = (12+96) \times 8 = 864$  год ;

$C_{bj} = 30000$  грн.

Сума амортизаційних відрахувань для ПЗ складе:

$$C_D = \frac{30000 \times 0,2 \times 1 \times 864}{2000} = 2592 \text{ грн.}$$

Витрати на електроенергію  $C_E$  розраховуються за формулою:

$$C_E = \sum_{j=1}^N V_j \cdot t_j \cdot q_j \cdot T_E \quad (5.12)$$

де  $V_j$  – встановлена потужність  $j$ -го виду технічних засобів, кВт;

$q_j$  – коефіцієнт використання встановленої потужності обладнання;

$T_E$  – тариф на електроенергію, грн/кВт\*год.

На даний час тариф на електроенергію складає 1,68 грн/кВт\*год, встановлена потужність для комп'ютера дорівнює 0,4 кВт, таким чином витрати на силову енергію для ПЗ складуть:

$$C_E = 0,4 \cdot 1 \cdot 864 \cdot 1,68 = 580,6 \text{ грн.}$$

Витрати  $C_{RE}$  на поточний ремонт обладнання розраховуються за формулою:

$$C_{RE} = \sum_{j=1}^N \frac{N_{Rj} \cdot C_{bj} \cdot t_j}{F_{Tj}} \quad (5.13)$$

де  $N_{Rj}$  – норматив витрат на ремонт ( $C_{pi} = 0,05$ ).

Витрати на поточний ремонт обладнання для ПЗ складуть:

$$C_{RE} = (0,05 \cdot 30000 \cdot 864) / 2000 = 648 \text{ грн.}$$

Витрати  $C_M$  на матеріали, які споживаються протягом року, складають 1% від балансової вартості основного обладнання.

Отже, для ПЗ, що розроблене витрати на матеріали становлять

$$C_M = 30000 \cdot 0,01 = 300 \text{ грн.}$$

Накладні витрати  $C_{OH}$  включають витрати на утримання адміністративного та управлінського персоналу, на утримання приміщення та інші витрати. Розподіл накладних витрат це один з найважливіших процесів на підприємстві, що надає змогу оптимально оцінювати результати діяльності підприємства. Розподіл накладних витрат, найчастіше, здійснюється пропорційно:

- зарплаті виробничих робітників;
- до кількості виготовленої продукції (наданих послуг);
- прямим матеріальним витратам;
- часу обробки виробів на основі середніх витрат на одну машино-годину та ін.

Вибір бази розподілу визначається з урахуванням специфіки підприємства, його галузевих особливостей, співвідношень окремих статей витрат у структурі загальних витрат підприємства. Отже, в залежності від роду діяльності виділяють і застосовують різні бази розподілу накладних витрат. У даному випадку будемо вважати, що норматив накладних витрат встановлюється як 20% від прямих витрат, що включають перші п'ять статей витрат з табл. 5.7.

Накладні витрати для ПЗ складуть:

$$C_{OH} = (112937,2 + 2592 + 580,61 + 648 + 300) \cdot 0,2 = 23483,6 \text{ грн.}$$

Отже, поточні експлуатаційні витрати  $C_C$  ПЗ, яке розроблене, складуть 138337,6 грн.

Таблиця 5.7 – Річні експлуатаційні витрати програмного продукту

№	Статі витрат	Витрати на ПЗ, грн.
1	Основна і додаткова зарплата з відрахуванням, $C_S$	112937,2
2	Амортизовані відрахування, $C_D$	2952
3	Витрати на електроенергію, $C_E$	580,6
4	Витрати на поточний ремонт, $C_{RE}$	648
5	Витрати на матеріали, $C_M$	300
6	Накладні витрати, $C_{OH}$	23483,6
	Усього витрат, $C_C$	140901,4

### 5.8 Розрахунок показника економічного ефекту від розробки програмного забезпечення

Оцінка економічної ефективності варіантів програмних продуктів заснована на розрахунку показників порівняльної економічної ефективності капітальних вкладень при їх розробці. Річний економічний ефект від використання розробленого програмного продукту визначається різницею між зниженими витратами на розробку і експлуатацію протягом року програмного забезпечення та витратами на придбання і експлуатацію його аналога (виходячи з річного обсягу випуску продукції / послуги, роботи):

$$E = (C_2 \cdot A_k - C_1)N_{\Sigma} \quad (5.14)$$

де  $C_1$ ,  $C_2$  – витрати на одиницю робіт, які виконуються за допомогою ПЗ, що розроблено, та його аналогу, грн.;

$N_{\Sigma}$  – обсяг робіт, які виконуються за допомогою програмного продукту (приймаємо його рівним 1).

Наведені витрати на одиницю робіт, що виконуються за допомогою ПЗ, що розроблено, та його аналогу, розраховуються за формулою:

$$C = C_c + E_n \cdot K \quad (5.15)$$

Де  $C_c$  – собівартість (як поточні експлуатаційні витрати одиниці роботи/задачі), грн.;

$E_n$  – нормативний коефіцієнт економічної ефективності (приймаємо у даному випадку  $E_n = 0,33$ );

$K$  – сумарні витрати, які пов'язані з розробкою (закупкою) та впровадженням програмного продукту.

Приведені витрати на виконання одиниці роботи за допомогою ПЗ, яке розроблено, складають:

$$C_1 = 140901,4 + 0,33 \cdot 133688,8 = 185018,7 \text{ грн.}$$

У зв'язку з відсутністю можливості доступу до даних про можливі аналоги розробленого ПЗ витрати на одиницю виконання роботи за допомогою аналогу розрахувати не має можливості.

Зведені дані за розрахунками витрати наведені у табл.5.8.

Таблиця 5.8 – Кошторис розробленого ПЗ

Характеристика	Значення для ПЗ
Собівартість робіт (поточні експлуатаційні витрати програмного продукту), грн.	140901,4
Сумарні витрати, які пов'язані з впровадженням ПЗ, грн.	133688,8
Приведені витрати на одиницю робіт, грн.	185018,7

Оскільки в роботі йде мова про унікальну розробку, можемо сподіватись, що в подальшому при здійсненні комерціалізації даного продукту будь яким із дозволених способів (ліцензування або продаж прав), при визначенні ціни угоди обов'язково будуть прийняті до уваги показники кошторису витрат розробленого ПЗ для встановлення його мінімальної вартості.

### **5.9 Висновки за розділом 5**

У кваліфікаційній роботі проведено техніко-економічне обґрунтування проекту, щодо розробки та впровадження розробленого програмного забезпечення. Розраховані собівартість робіт, сумарні витрати, які пов'язані з впровадженням ПЗ та витрати на одиницю робіт. Визначено кошторис витрат розробленого ПЗ.

Так як дані про можливі існуючі аналоги розробленого ПЗ є державною та комерційною таємницею, тож є недоступними, розроблений програмний додаток вважається унікальним. Таким чином, комерціалізація даного продукту може бути здійснена ліцензуванням або продажем прав. Для визначення ціни угоди повинні бути враховані, визначені в даному розділі кваліфікаційної роботи, показники кошторису витрат розробленого ПЗ для встановлення його мінімальної вартості.

## ВИСНОВКИ

За результатами виконання дипломної роботи можна зробити наступні висновки.

1. Проведення радіомоніторингу з метою забезпечення сумісної роботи РЕЗ є найважливішим завданням будь якої держави. В Україні функцію контролю за використанням радіочастот, що використовують РЕЗ покладено на Державний центр радіочастот.

2. Аналіз сигналів, які використовують сучасні РЕЗ показав, що при розробці новітніх зразків РЕЗ спостерігається тенденція спрямована на застосування ШСС, оскільки вони мають необхідні властивості для забезпечення вимог щодо забезпечення сумісної роботи декількох РЕЗ, підвищують точність вимірювання, мають кращі характеристики по передачі кількості інформації та завадозахищеності і так інше.

3. За результатами проведеного порівняльного аналізу формування радіосигналів зроблено висновок, що незважаючи на різноманіття технологій побудови радіосигналів їх можна уявити єдиною математичною моделлю.

4. Сформульовано вимоги до розробки алгоритму і програмного забезпечення, що дозволяє моделювати сигнал, який утворюється від випромінювання радіоелектронних засобів на фоні дії власних шумів. Їх сутність полягає у вимогах до додатку, що має містити інтерфейс користувача який забезпечує взаємодію з файловою системою для вибору файлів з параметрами вхідних сигналів, здійснює розрахунок сигналу та виводить його на екран з урахуванням шумів.

5. Сформовано модель формування та розроблено алгоритм моделювання радіосигналу на вході приймача радіомоніторингу, які враховують розповсюдження радіосигналів та відстані знаходження джерел їх випромінювання в умовах дії власних шумів.

6. Розроблено ПЗ у вигляді локального додатку що дозволяє моделювати сукупний сигнал на вході приймача радіомоніторингу в умовах

дії власних шумів на мові програмування C# із застосуванням технологій ООП та використанням платформи WFA. ПЗ дозволяє обирати форми радіосигналів, що випромінюють сучасні РЕЗ, будувати сигнал на вході приймача радіомоніторингу із урахуванням власного шуму та відобразити його графік у часовій області, і формувати його спектр.

7. Отримані результати роботи розробленого додатку цілком збігаються із теоретичними розрахунками що свідчить про правильність використаних підходів до розробки моделі, алгоритму та ПЗ.

8. Таким чином всі завдання дипломної роботи виконані в повному обсязі.

Застосування розробленого програмного забезпечення дозволить спеціалістам в галузі радіомоніторингу сформулювати висновки стосовно створеної радіообстановки, дослідивши змодельований сигнал.

## СПИСОК ДЖЕРЕЛ ІНФОРМАЦІЇ

1. Pace P.E. Detecting and Classifying Low Probability of Intercept Radar. Second Edition – Boston-London, Artech House, 2009. – 847 p.
2. Радиоэлектронные системы: Основы построения и теория. Справочник. Изд. 2-е./ Ширман Я.Д., Горшков С.А., Леховицкий Д.И., Маляренко С.А., Лещенко С.П., Орленко В.М. Под ред. Я.Д. Ширмана. – М.: Радиотехника, 2007. – 512 с.
3. Ширман О.Я. Основы радиолокации [Электронный ресурс] – Режим доступа: [www.radartutorial.eu/](http://www.radartutorial.eu/)
4. Пистолькорс А. А. Антенны. – М.: Связьиздат, 1947. – 478 с.
5. Бова Н. Т., Резников Г. Б. Антенны и устройства СВЧ. – 2-е изд. перераб. и доп. – Киев: Вища школа. Головное изд-во, 1982.– 278 с.
6. Антенны УКВ/ под ред. Г.З. Айзенберга. Ч.1. – М.: Связь, 1977. – 384 с.
7. Антенны УКВ/ под ред. Г.З. Айзенберга. Ч.2. – М.: Связь, 1977. – 288 с.
8. Котельников В.А. Сигналы с минимальной и максимальной вероятностями обнаружения / В.А Котельников, Радиотехника и электроника. – 1959. – № 3. – с. 354–358.
9. Хармут Х. Ф. Передача информации ортогональными функциями. Пер. с англ. Дядюнова Н.Г. и Сенчина А.И. М.: Связь, 1975. – 227 с.
10. Кук Ч., Бернфельд М. Радиолокационные сигналы. Пер. с английского под ред. Кельзона В. С. М.: Советское радио, 1971. – 568 с.
11. Теоретические основы радиолокации / под ред. Я.Д. Ширмана. – М.: Сов. радио, 1970. – 560 с.
12. Тихонов В.И. Статистическая радиотехника / В.И. Тихонов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Радио и связь, 1982. – 624 с.
13. Wiley R. G., ELINT The Interception and Analysis of Radar Signals. – Canton Street Norwood, MA Artech House, 2006.
14. Lukin K. A. Noise Radar Technology: the Principles and Short Overview. – Applied Radio electronics.— Kharkov: IASARE, 2005, No 1.
15. Лезин Ю.С. Введение в теорию и технику радиотехнических систем учеб. пособие для вузов / Ю.С. Лезин. – М.: Радио и связь, 1986. – 280 с.
16. С. Галкин, М. Калюжний, О. Задонський, В. Ковшар (2021)

Імітаційне математичне моделювання радіоелектронно-об'єктової обстановки для оцінювання якості вирішення задач системами моніторингу // Озброєння і військова техніка, ЦНДІ ОБТ, Україна, 2021, №4 (32). С. 67-83. - ISSN 21414-0651. DOI: 10.34169/2414-0651.2021.4(32).47-60

17. Сосулин Ю.Г. Теоретические основы радиолокации и радионавигации: учеб. пособие для вузов / Ю.Г. Сосулин. – М.: Радио и связь, 1992. – 304 с.

18. Варакин Л.Е. Системы связи с шумоподобными сигналами/ Л.Е. Варакин, М.: Сов. радио, 1985. – 380 с.

19. Гантмахер В.Е., Быстров Н.Е., Чеботарев Д.В. Шумоподобные сигналы. Анализ, синтез, обработка – СПб.: Наука и Техника, 2005. – 400 с.

20. Гоноровский И.С. Радиотехнические цепи и сигналы. Учебник для вузов – М.: Сов. радио, 1977. – 608 с.

21. Баскаков С.И. Радиотехнические цепи и сигналы – М.: Высшая школа, 1988. . – 446 с.

22. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике Для научных работников и инженеров – М., 1977. – 832 с.

23. Горюнов А.Г. Телеконтроль и телеуправление: курс лекций по специальности 140306 «Электроника и автоматика физических установок» направления 140300 «Ядерная физика и технологии» / А.Г. Горюнов, С.Н. Ливенцов, Ю.А. Чурсин; Национальный исследовательский Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2010. – 161 с