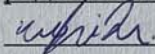


Бакалаврська дипломна робота на тему:

**ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОГРАМНО-АПАРATНОЇ РЕАЛІЗАЦІЇ ПРИСТРОЮ
ЦИФРОВОГО ОБРОБЛЕННЯ РАДІОСИГНАЛІВ**

Виконав: студент 2-го курсу, групи ПЗТ-22мс
спеціальності 172 – Телекомунікації та
радіотехніка



Шпирко О.А.

Керівник: к.т.н., професор каф. ІКСТ



Бортник Г.Г.

« 05 »

06

2024 р.

Рецензент: д.т.н., професор, зав. каф. ІРТС



Осадчук О.В.

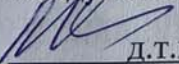
« 05 »

06

2024 р.

Допущено до захисту

Завідувач кафедри ІКСТ



д.т.н., проф. Кичак В.М.

« 05 »

06

2024 р.

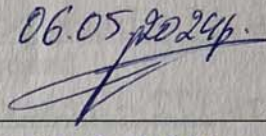
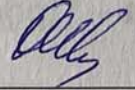
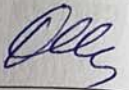
Вінницький національний технічний університет
Факультет інформаційних електронних систем
Кафедра інфокомунікаційних систем та технологій
Рівень вищої освіти перший (бакалаврський)
Галузь знань 17 – Електроніка та телекомунікації
(шифр і назва)
Спеціальність 172 – Телекомунікації та радіотехніка
(шифр і назва)
Освітня програма – Програмне забезпечення телекомунікаційних систем

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри ІКСТ
д.т.н., професор В.М. Кичак
 «06» 05 2024 року

З А В Д А Н Н Я
НА БАКАЛАВРСЬКУ ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ
Шпирку Олександру Андрійовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

- Тема роботи: Дослідження програмно-апаратної реалізації пристрою цифрового оброблення радіосигналів
керівник роботи Бортник Геннадій Григорович, канд. техн. наук, професор,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
затверджені наказом ВНТУ від "11" березня 2024 року № 80
- Строк подання студентом роботи: 07 червня 2024 року
- Вихідні дані до роботи: типи вхідних сигналів – ЛЧМ-імпульс, квазінеперервний сигнал; частотна смуга вхідного сигналу - 2 МГц; період сигналу - 1 мс, тривалість імпульсів - 50 мкс; частота дискретизації - 10 МГц; основний алгоритми оброблення радіосигналів – швидке перетворення Фур'є, метод реалізації пристрою – програмно-апаратний.
- Зміст розрахунково-пояснювальної записки роботи (перелік питань, які потрібно розробити): дослідження принципів побудови пристроїв з цифровим обробленням радіосигналів, розробка структури пристрою цифрового оброблення радіосигналів, розробка програми спектрального аналізу радіосигналів на базі ШПФ, охорона праці.
- Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень):
схема структурна електрична пристрою оброблення радіосигналів, часові діаграми оброблення РС в ПОС, результати аналізу часу виконання алгоритмів оброблення РС, блок-схема алгоритму спектрального аналізу радіосигналів на базі ШПФ, результати аналізу продуктивності розробленої програми.

6. Консультанти розділів роботи

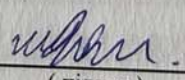
Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання при
Спеціальна частина	Бортник Г.Г., професор кафедри ІКСТ	06.05.2024р. 	05.06.2024р. 
Охорона праці	Демб'юко С.В. проф. каф. БЖД/ПБ	06.05.2024 	05.06.2024 

7. Дата видачі завдання «06» травня 2024 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів бакалаврської дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	Прим.
1	Формування та затвердження теми та індивідуального завдання бакалаврської дипломної роботи (БДР)	06.05.2024р.	
2	Виконання спеціальної частини БДР. Перший рубіжний контроль виконання БДР	20.05.2024р.	
3	Виконання спеціальної частини БДР. Другий рубіжний контроль виконання БДР	31.05.2024р.	
4	Виконання розділу «Охорона праці»	04.06.2024р.	
5	Нормоконтроль БДР	05.06.2024р.	
6	Попередній захист БДР	06.06.2024р.	
7	Рецензування БДР	07.06.2024р.	
8	Захист БДР	12.06.2024р.	

Студент


(підпис)

Шпирко О.А.

Керівник роботи


(підпис)

Бортник Г.Г.

АНОТАЦІЯ

Бакалаврська кваліфікаційна робота складається з 82 сторінок формату А4, на яких є 16 рисунків, 10 таблиць, список використаних джерел містить 28 найменувань.

Метою даної бакалаврської дипломної роботи є підвищення продуктивності пристроїв оброблення радіосигналів за рахунок використання програмно-апаратної реалізації методів цифрової обробки сигналів.

У даній бакалаврській дипломній роботі виконано розроблення програмно-апаратної реалізації пристрою цифрового оброблення радіосигналів.

В ході виконання бакалаврської дипломної роботи здійснено дослідження методів цифрового оброблення радіосигналів у телекомунікаційних системах.

Виконано розробку алгоритму та програми спектрального аналізу радіосигналів на базі швидкого перетворення Фур'є. Аналіз ефективності розробленого алгоритму підтвердив високу продуктивність розробленої програми.

Виконано розділ з охорони праці.

Ключові слова: телекомунікаційні системи, цифрова обробка сигналів, радіосигнали, швидке перетворення Фур'є

ABSTRACT

The bachelor's thesis consists of 82 pages of A4 format, on which there are 16 figures, 10 tables, the list of used sources contains 28 names.

The purpose of this bachelor's thesis is to increase the productivity of radio signal processing devices through the use of software and hardware implementation of digital signal processing methods.

In this bachelor's thesis, the software and hardware implementation of the device for digital processing of radio signals was developed.

In the course of completing the bachelor's thesis, research was carried out on the methods of digital processing of radio signals in telecommunication systems.

An algorithm and program for spectral analysis of radio signals based on the fast Fourier transform were developed. Analysis of the efficiency of the developed algorithm confirmed the high productivity of the developed program.

The section on labor protection has been completed.

Key words: telecommunication systems, digital signal processing, radio signals, fast Fourier transform

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ	5
ВСТУП.....	7
1 ДОСЛІДЖЕННЯ ПРИНЦИПІВ ПОБУДОВИ ПРИСТРОЇВ З ЦИФРОВИМ ОБРОБЛЕННЯМ РАДІОСИГНАЛІВ.....	9
1.1 Обґрунтування принципів розробки пристроїв з ЦОС.....	9
1.2 Аналіз методів цифрового оброблення радіосигналів.....	15
1.3 Аналіз особливостей алгоритму швидкого перетворення Фур'є.....	21
2 РОЗРОБКА СТРУКТУРИ ПРИСТРОЮ ЦИФРОВОГО ОБРОБЛЕННЯ РАДІОСИГНАЛІВ.....	26
2.1 Аналіз основних вимог до процесору сигналів	26
2.2 Аналіз структур пристроїв оброблення сигналів.....	28
2.3 Вибір СВІС процесора.....	32
2.4 Структура ПОС.....	35
2.5 Конвеєрна структура оброблення РС.....	41
2.6 Реалізація алгоритмів оброблення.....	43
3 РОЗРОБКА ПРОГРАМИ ШПФ НА БАЗІ ЦПС.....	50
3.1 Розробка блок-схеми алгоритму ШПФ.....	50
3.2 Опис програми спектрального аналізу РС.....	52
3.3 Аналіз продуктивності розробленої програми.....	57
4 ОХОРОНА ПРАЦІ.....	59
4.1 Технічні рішення щодо безпечного виконання роботи.....	59
4.2 Технічні рішення з гігієни праці та виробничої санітарії.....	62
4.2.1 Мікроклімат.....	62
4.2.2 Склад повітря робочої зони.....	63
4.2.3 Виробниче освітлення.....	64
4.2.4 Виробничий шум.....	65
4.2.5 Виробничі випромінювання.....	66
4.3 Пожежна безпека.....	67

4.3.1 Технічні рішення системи запобігання пожежі.....	68
4.3.2 Технічні рішення системи протипожежного захисту.....	69
ВИСНОВКИ.....	70
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	72
ДОДАТКИ	75
Додаток А. ІЛЮСТРАТИВНА ЧАСТИНА	76
Додаток Б. ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ НА НАЯВНІСТЬ ТЕКСТОВИХ ЗАПОЗИЧЕНЬ	82

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

АІМ	–	амплітудно-імпульсна модуляція
АЧХ	–	амплітудно-частотна характеристика
АЦП	–	аналого-цифровий перетворювач
АЦТ	–	аналого-цифровий тракт
БВО	–	блок вторинного оброблення
БЗП	–	буферний запам'ятовувальний пристрій
ВІС	–	велика інтегральна схема
ДПУ	–	дискретне перетворення Уолша
ДПФ	–	дискретне перетворення Фур'є
ЗП	–	запам'ятовувальний пристрій
МАРП	–	миттєве автоматичне регулювання підсилення
ЗДПФ	–	зворотне дискретне перетворення Фур'є
ОЗП	–	оперативний запам'ятовувальний пристрій
ПАХ	–	поверхневі акустичні хвилі
ПЕ	–	процесорні елементи
ПЗП	–	постійний запам'ятовувальний пристрій
ПК	–	персональний комп'ютер
ПЛМ	–	програмована логічна матриця
ППО	–	процесор первинного оброблення
ПОС	–	пристрій оброблення радіосигналів
ПППС	–	пристрій підсилення і перетворення сигналів
РС	–	радіосигнал
СВІС	–	спеціалізована велика інтегральна схема
ЧМ	–	частотна модуляція

ТКС	–	телекомунікаційна система
ФК РС	–	фазо-кодований радіосигнал
ФМ	–	фазова модуляція
ФНЧ	–	фільтр нижніх частот
ЦОС	–	цифрова обробка сигналів
ШПФ	–	швидке перетворення Фур'є

ВСТУП

Актуальність теми. Сучасні телекомунікаційні системи забезпечують надання послуг телефонного зв'язку, а також дозволяють передавати та приймати цифрові сигнали, обмінюватися факсимільними повідомленнями та відеозображеннями, проводити відеоконференції, а також реалізовувати велике число інших телекомунікаційних технологій [1-3].

Організація інформаційних потоків та методи їх передавання у системах зв'язку за останні роки зазнали значних змін. Збільшення обсягу переданої телекомунікаційними системами інформації призводить до необхідності використання дедалі більшого числа різних каналів радіо- і проводового зв'язку. Для забезпечення високої пропускної спроможності каналів зв'язку застосовуються технічні рішення, що полягають [4-7]:

- у використанні складних видів модуляції та кодування, що узгоджені з конкретними фізичними каналами за відношенням: швидкість передавання/допустимі втрати якості інформації;
- у використанні систем багаторівневого статичного і динамічного ущільнення радіосигналів;
- у постійному вдосконаленні окремих апаратних і програмних засобів телекомунікаційних систем.

Значною мірою практична реалізація перерахованих вище методів удосконалення телекомунікаційних систем стала можливою завдяки останнім досягненням сучасної мікроелектроніки, особливо в області створення високопродуктивних обчислювальних пристроїв та розвитку нових методів цифрового оброблення сигналів (ЦОС).

Аналіз останніх досліджень. Існуючі методи ЦОС дозволяють вирішити велике число різних прикладних задач у телекомунікаціях та радіотехніці, у яких колись переважали аналогові системи. Переваги цифрових засобів обробки радіосигналів (РС) обумовлені рядом чинників. Аналогові засоби обробки РС

порівняно цифровими мають менші точність та об'єм оброблюваних даних. Водночас, засоби цифрової обробки РС характеризуються відсутністю впливу зовнішніх дестабілізуючих чинників. Застосовуючи методи цифрової обробки, можна створювати засоби, що дозволяють виконувати будь-яке перетворення складне РС за яким-завгодно алгоритмом із заданим ступенем точності [7-10].

У даний час опубліковано велике число робіт, що висвітлюють різні теоретичні та практичні питання, пов'язані з цифровою обробкою радіосигналів [1, 2, 4]. Незважаючи на це у бакалаврській роботі буде розглянуто низку задач цифрової обробки РС, що особливо часто виникають при розробці телекомунікаційних систем (ТКС) [11-14].

Мета та постановка задачі. Метою даної бакалаврської дипломної роботи є підвищення продуктивності пристроїв оброблення радіосигналів за рахунок використання програмно-апаратної реалізації методів ЦОС.

Необхідно розв'язати певні задачі для того, щоб реалізувати мету бакалаврської роботи:

- дослідження принципів побудови пристроїв з цифровим обробленням радіосигналів;
- розробка структури пристрою цифрового оброблення радіосигналів;
- розробка програми спектрального аналізу РС на базі ШПФ;
- дослідження питань охорони праці.

1 ДОСЛІДЖЕННЯ ПРИНЦИПІВ ПОБУДОВИ ПРИСТРОЇВ З ЦИФРОВИМ ОБРОБЛЕННЯМ РАДІОСИГНАЛІВ

1.1 Обґрунтування принципів розробки пристроїв з ЦОС

Відповідно до зазначеної тенденції в даній роботі розглядається пристрій оброблення сигналів на основі програмованого процесора оброблення сигналів. Такий підхід дає безсумнівні системні переваги:

- стабільність характеристик у всьому діапазоні умов експлуатації;
- можливість адаптації до мінливих умов роботи;
- модернізація пристрою за рахунок модифікації програмного забезпечення без зміни апаратної частини;
- зниження маси, габаритів і, як наслідок, суттєве підвищення надійності;
- простота налаштування апаратури;
- зниження ціни в порівнянні з аналоговим варіантом за рахунок більшої технологічності і невисокої ціни компонентів при масовому виробництві.

Особливо слід підкреслити гнучкість програмованого пристрою оброблення сигналів. Будь-яка ТКС є надзвичайно складною системою, що вимагає великого обсягу комплексних випробувань на заключному етапі розробки. При цьому важливо забезпечити можливість зміни прийнятих раніше рішень на стадії випробувань. Програмована апаратура в повній мірі відповідає цим вимогам, так як дозволяє вводити зміни шляхом модифікації програмного забезпечення без доопрацювання апаратної частини пристрою. Це відкриває також широкі можливості для модернізації ТКС в процесі експлуатації і значно подовжує життєвий цикл системи.

Місце ПОС в приймальному тракті ТКС демонструє рис.1.1, на якому зображена спрощена блок-схема тракту. Прийнятий сигнал проходить антенне і високочастотне приймальне обладнання, де відбувається просторова селекція, підсилення сигналу і зниження носійної частоти сигналу до величини, зручної

для подальшої оброблення. Кількість ліній на виході цих пристроїв відповідає кількості вихідних каналів антенної системи (зазвичай 3...4). На рис.1.1 показано для визначеності три канали, що відповідають сумарному і двом різницеvim каналам моноімпульсного радіолокатора. Будемо також вважати, що антена являє собою двовимірну фазовану антенну решітку, що дозволяє кожне зондування направляти промінь в необхідну точку простору.

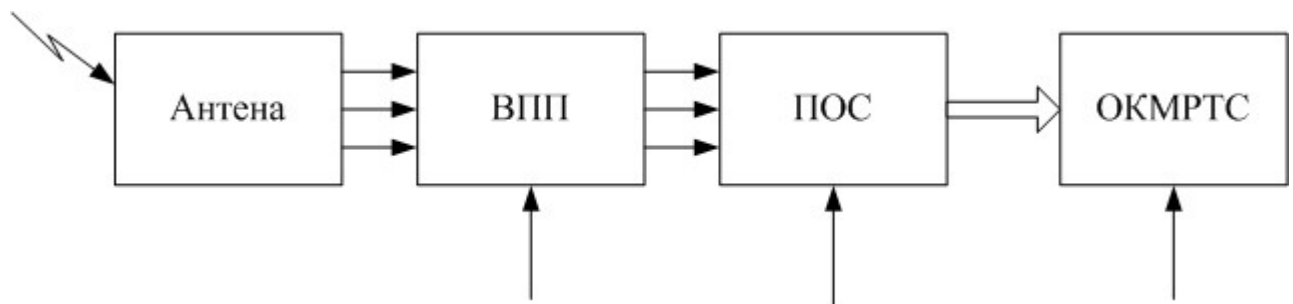


Рисунок 1.1 – Структура тракту оброблення сигналів

Результати оброблення передаються в обчислювальний комплекс ТКС, в завдання якого входить первинне оброблення сигналів, супровід цілей і управління всіма пристроями ТКС. Зворотний зв'язок на рис.1.1 відповідає командам управління на всі пристрої, переданим перед кожним зондуванням.

Пристрій оброблення сигналів на основі програмованого процесора складається з двох взаємопов'язаних частин (рис.1.2): пристрої підсилення і перетворення сигналів (ПППС) і власне програмованого пристрою оброблення сигналів (ПОС).

Основними функціями першого блоку є кероване підсилення, формування смуги сигналів, що обробляються в цифровому вигляді, і аналого-цифрове перетворення сигналів.

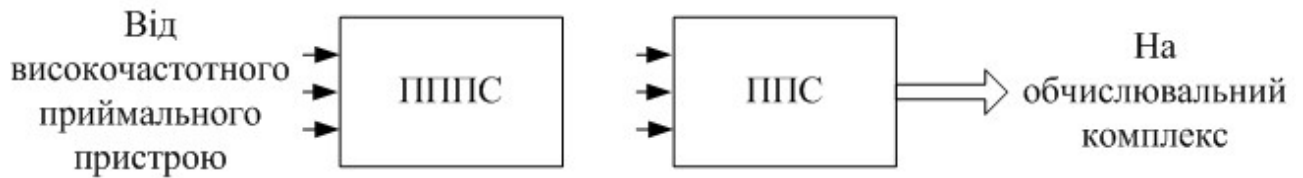


Рисунок 1.2 – Основні складові частини ЦОС

Слід підкреслити, що незважаючи на те, що все основне оброблення проводиться в процесорі, перший блок є дуже важливим вузлом, що визначає багато важливих характеристик пристрою в цілому, такі, як чутливість, динамічний діапазон, максимальна смуга частот оброблюваних сигналів. Більш того, на сьогоднішньому рівні розвитку техніки саме ця частина апаратури обмежує гранично досяжні характеристики ПОС. З іншого боку, якість аналого-цифрового перетворення чинить серйозний вплив на алгоритми, що використовуються при подальшій цифровій обробці. Тому зазначені два блоки доцільно проектувати спільно, оптимізуючи характеристики всього пристрою.

Наступний важливий принцип розробки впливає з багатофункціональності ТКС. Різноманіття завдань, виконуваних ТКС, вимагає використання широкого набору зондуючих сигналів. Звідси впливає вимога забезпечення можливості оброблення довільних зондуючих сигналів, у тому числі і нових сигналів, що вводяться на етапі випробувань. Програмований цифровий пристрій легко відповідає цій вимозі, оскільки введення нового зондуючого сигналу вимагає лише додавання відповідної підпрограми його оброблення.

Обговорені в даній роботі приклади відносяться до проектування гіпотетичної ТКС, що має набір типових сигналів, наведених у табл.1.1. У неї включені імпульси з лінійною частотною модуляцією ЛЧМ1 і фазокодовою маніпуляцією ФКМ1, а також квазінеперервний сигнал КН1 (або пачка імпульсів)

з високою частотою повторення. Детальніше властивості цих сигналів наведені у [12 – 14].

Таблиця 1.1 – Типові сигнали РТС

Сигнал	Тривалість періоду зондування, мкс	Тривалість імпульсу, мкс	Частота повторення імпульсів, кГц	Смуга сигналу, МГц	Типове використання
ЛЧМ1	1000	50	-	2	огляд при великому куті місця
ФКМ1	1000	50	-	2	супровід при великому куті місця
КН1	4000	0,5	100	2	огляд і супровід при малому куті місця

Слід зауважити, що сигнали, подібні КН1, є найбільш складними для оброблення. Це обумовлено тим, що малий період повторення імпульсів (у даному випадку 10 мкс) не дозволяє ввести тривале бланкування приймального тракту. При цьому прийом слабких сигналів доводиться вести на фоні потужних відбиттів від прилеглих місцевих предметів і/або гідрометеорів, амплітуда відбиття від яких може досягати величини 80...100 дБ над чутливістю. Тому ТКС, що використовує подібні сигнали, пред'являє винятково високі вимоги до характеристик ПОС.

З різноманіття зондуючих сигналів впливає ще один важливий принцип: забезпечення безінерційного перемикання режимів роботи пристрою, зондуючих сигналів, тривалостей періодів зондування та інших параметрів без спеціальних витрат часу на перемикання. Ця вимога реалізується шляхом організації спеціальним чином конвеєрів з оброблення сигналів і з управління

пристроєм оброблення і забезпечує повне використання наявного потенціалу радіолокатора.

Рисунок 1.3 ілюструє типову часову діаграму роботи ТКС при виконанні цієї умови. Різні такти зондування безперервно слідують один за одним. При цьому фазована антенна решітка забезпечує в кожному такті встановлення променя в потрібному напрямку з кутами ϵ , β .

На рис.1.3 для прикладу перший такт відноситься до огляду простору при великому куті місця за допомогою сигналу з лінійною частотною модуляцією (ЛЧМ-сигнал), другий такт реалізує супровід цілі з допомогою фазокодоманіпульованого сигналу (ФКМ-сигнал), третій – огляд при низькому куті місця за допомогою квазінеперервного сигналу, або пачки імпульсів (КН-сигнал). Тривалості тактів, як і інші параметри, можуть істотно відрізнятися і визначаються фізикою роботи радіолокатора без виділення спеціального часу на перебудову режиму. Істотно відрізняються також задачі ПОС в кожному такті зондування. Команди на виконання того чи іншого режиму надходять від обчислювального комплексу до початку цього такту. Підготовка до даного режиму проводиться на фоні попереднього зондування. На нижній діаграмі рис.1.3 більш детально показаний другий такт роботи. Він містить інтервали встановлення променя фазованою антеною решітки, компенсації завад, випромінювання ФКМ-імпульсу і прийому відбитого сигналу.

Важливим параметром пристрою оброблення сигналів є також час затримки отримання результатів оброблення після прийому сигналу. Навіть при фіксованій продуктивності ППОС ця затримка може істотно залежати від архітектури пристрою та способу організації обчислень. Між тим, для успішного виконання ряду радіолокаційних задач час затримки повинен бути мінімально можливим. Це дозволяє зменшити час реакції системи на зміну навколишнього середовища, зокрема, підвищити темп звернення до супроводжуваної цілі для забезпечення сталого супроводу високошвидкісних маневруючих цілей. Тому

при розробці ПОС доцільно дотримуватися принципу мінімізації затримки, хоча це дещо ускладнює реалізацію апаратури.

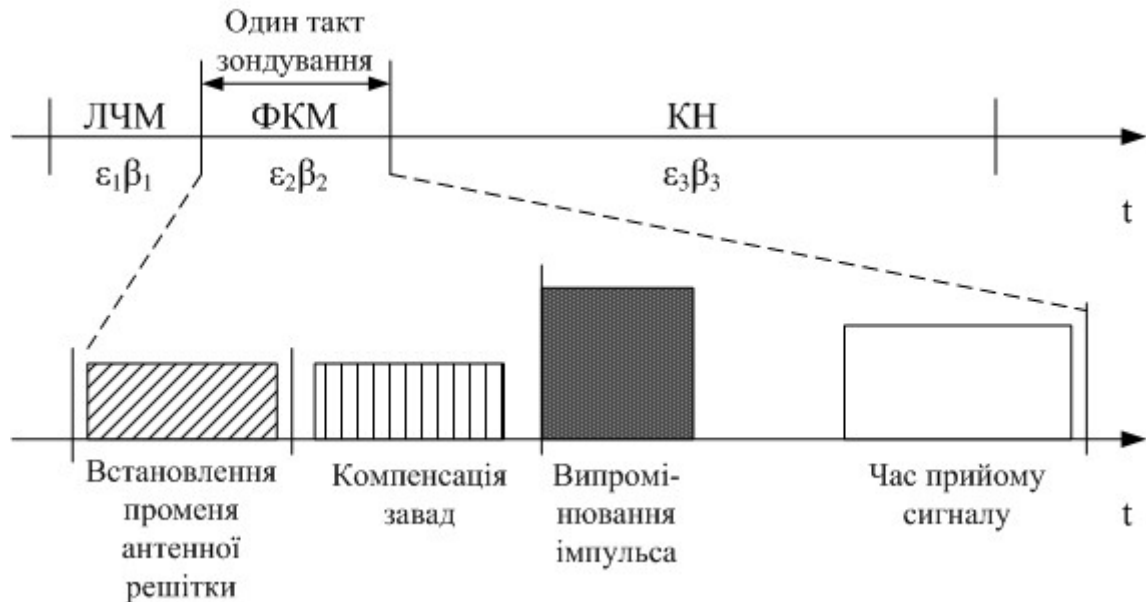


Рисунок 1.3 – Часова діаграма роботи ТКС

Ключовим питанням для забезпечення високих характеристик пристрою оброблення сигналів є вибір елементної бази. Тут можливі два підходи. При першому з них використовуються компоненти, що виготовлені серійно й добре себе зарекомендували. При цьому знімаються проблеми освоєння нових елементів і може бути прискорений процес розробки апаратури. Однак найкращі можливі характеристики пристрою можуть бути отримані при використанні новітньої, щойно розробленої елементної бази. Такий підхід є більш прогресивним, хоча і більш трудомістким. Це тим більш важливо, що процес розробки системи є досить тривалим і необхідно забезпечити передовий рівень техніки на багато років вперед. У зв'язку з цим у наведених нижче прикладах використовуються новітні компоненти, що існують на світовому ринку. Це відноситься, в першу чергу, до процесорів цифрового оброблення сигналів і

аналого-цифрових перетворювачів, технологія виробництва яких прогресує дуже швидко.

Перераховані принципи розробки не претендують на беззаперечність і є досить простими, проте вони дають основоположні правила, якими керувалися автори в даній роботі при розгляді різних варіантів побудови пристрою.

1.2 Аналіз методів цифрового оброблення радіосигналів

Пристрій оброблення сигналів (ПОС) реалізує всі операції з частотно-часового оброблення сигналу, які можна реалізувати в одному зондуванні, а саме: оптимальну багатоканальну частотно-часову фільтрацію сигналів, попереднє виявлення корисних сигналів за результатами одного зондування, вимірювання координат, що відповідають виявленим сигналам, обчислення сигналів помилок по кутових координатах, дальності і швидкості для супроводжуваних цілей [15].

Методи оброблення радіолокаційних сигналів є першою і найбільш важливою складовою тріади: методи – архітектура процесора – елементна база, що представляє собою фундамент цифрового оброблення. Інші дві складові визначаються з урахуванням особливостей класу виконуваних алгоритмів. Всі методи оброблення сигналів в БРТС можна умовно розбити на когерентне оброблення (оптимальну фільтрацію) та некогерентне оброблення (виявлення та вимірювання координат).

У типовій радіолокаційній задачі потрібно сформулювати набір оптимальних фільтрів, що перекривають заданий діапазон затримок і доплерівських частот відбитих сигналів [16]. Кожний такий фільтр для фіксованих значень затримки і частоти будемо називати каналом фільтрації, а двовимірну матрицю вихідних значень фільтрів – матрицею дальність-швидкість. Формат матриці визначається необхідним діапазоном пошуку цілі по дальності та швидкості.

Будемо вважати також, що на оброблення надходять комплексні числа з частотою дискретизації F_d , сформовані на етапі перетворення сигналу в цифрову форму [11]. Позначимо $x(i)$ – i -ту вибірку прийнятого сигналу, $i = 1, 2, \dots$

Найпростішим алгоритмом оптимальної фільтрації є алгоритм кореляційного оброблення. Він реалізується у відповідності з формулою

$$y(i_0, F) = \sum_{i=i_0}^{n+i_0-1} x(i) \cdot a^*(i-i_0) \cdot \exp\left(-2\pi j \frac{(f_0 + F)}{F_d} \cdot (i-i_0)\right), \quad (1.1)$$

де $a(i)$ – комплексна обвідна зонduючого сигналу,

f_0 – носійна частота сигналу,

F – доплерівський частотний зсув прийнятого сигналу,

i_0 – затримка прийнятого сигналу,

n – кількість вибірок на тривалості зонduючого сигналу.

Формула (1.1) реалізує один канал фільтрації для фіксованих значень затримки і доплерівської частоти. Структура кореляційного оброблення представлена на рис.1.4.

Етапи кореляційного оброблення мають наступний фізичний зміст:

- перемножування з комплексно-спряженою обвідною зонduючого сигналу, затриманою на час поширення вхідного сигналу (перший помножувач на рис.1.4);
- «компенсація» носійної частоти і доплерівського зсуву сигналу (другий помножувач на рис.1.4);
- накопичення вибірок отриманого сигналу.

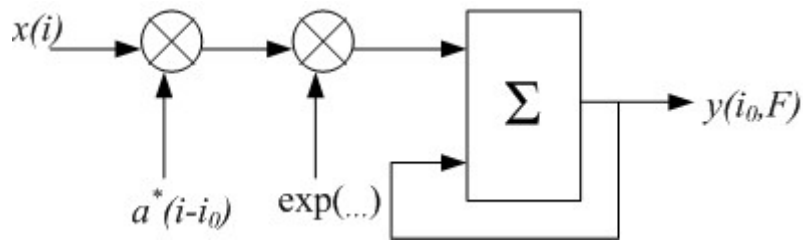


Рисунок 1.4 – Структура кореляційного оброблення

Ефективність алгоритмів фільтрації зручно характеризувати кількістю арифметичних операцій, необхідних для обчислення одного каналу фільтрації. Цей параметр будемо називати питомим обсягом обчислень

$$v = \frac{V}{M}, \quad (1.2)$$

де V – кількість арифметичних операцій алгоритму, а M – число фільтрових каналів, що реалізуються за допомогою цього алгоритму.

З (1.1) можна підрахувати, що для кореляційного оброблення питомий обсяг обчислень дорівнює

$$v_{\hat{e}i} = 14n - 2. \quad (1.3)$$

Алгоритм кореляційно-фільтрового оброблення є розвитком алгоритму кореляційного оброблення. Зауважимо, що останні два блоки рис.1.4 можна трактувати як обчислення спектральної складової сигналу на доплерівській частоті F . Тому для перекриття всього доплерівського діапазону ці два блоки можна замінити блоком обчислення спектру (рис.1.5).

Алгоритм полягає в демодуляції сигналу, прийнятого з заданої дальності, і в спектральному аналізі демодульованого сигналу в діапазоні доплерівських частот.



Рисунок 1.5 – Структура кореляційно-фільтрового оброблення

Більш строго кореляційно-фільтрове оброблення може бути описане наступними формулами:

$$y(k) = \sum z(s) \exp\left(-2\pi \cdot j \frac{ks}{N}\right), \quad \text{при } s \geq n, k = 0, 1, N-1, z(s) = 0. \quad (1.4)$$

де

$$z(s) = a^*(s)x(s + i_0), s = 0, 1, \dots, n-1, \quad (1.5)$$

а $N > n$ – кількість точок обчислення спектру.

Оскільки вираз (1.4) являє собою дискретне перетворення Фур'є, то його можна обчислити за допомогою алгоритму швидкого перетворення Фур'є (ШПФ), доповнюючи при необхідності вхідний сигнал нулями. Алгоритм дозволяє отримати виходи оптимальних фільтрів для всіх значень доплерівської частоти при фіксованому значенні затримки, тобто розрахувати один стовпець матриці дальність-швидкість. Для розрахунку інших стовпців обчислення необхідно повторити, взявши з вхідного сигналу вибірки для іншої дальності (затримки).

Питомий обсяг обчислень кореляційно-фільтрового оброблення при використанні алгоритму ШПФ дорівнює [1]:

$$v_{\text{кфо}} = \frac{1}{\beta} (5 \log_2 N + 6), \quad (1.6)$$

де $\beta = M/N$ – відношення числа необхідних доплерівських каналів до числа доплерівських каналів, що розраховуються.

Оптимальна фільтрація сигналів в частотній області виконується шляхом обчислення спектру вхідного сигналу, множення на частотну характеристику оптимального фільтра і зворотного перетворення в часову область. При обчисленні спектру вхідного сигналу і при зворотному перетворенні в тимчасову область доцільно використовувати алгоритми ШПФ і зворотного ШПФ (ЗШПФ).

Структура алгоритму представлена на рис.1.6.

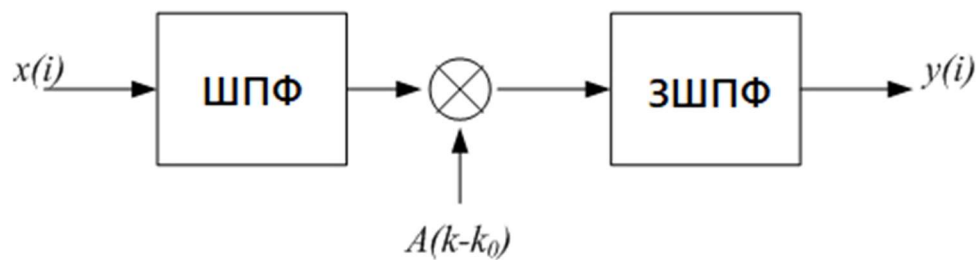


Рисунок 1.6 – Структура узгодженої фільтрації в частотній області

Математично алгоритм описується наступним чином. Спектр вхідного сигналу визначається формулою:

$$X(k) = \sum_{l=0}^{N-1} x(l) \exp\left(-2\pi \cdot j \frac{lk}{N}\right), \quad i = 0, 1, N-1. \quad (1.7)$$

Далі відбувається перемноження спектру сигналу та частотної характеристики оптимального фільтра $A(k)$ з урахуванням доплерівського зсуву k_0 .

$$Y(k) = X(k) \cdot A(k - k_0). \quad (1.8)$$

Для $k < k_0$ і $(k - k_0) \geq N$ приймається $A(k - k_0) = 0$. Потім результат фільтрації переноситься у часову область за допомогою ЗШПФ.

$$y(i) = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} Y(k) \exp\left(2\pi \cdot j \frac{ik}{N}\right). \quad (1.9)$$

При виконанні операції фільтрації виникає перехідний процес тривалістю $n - 1$ вибірок. Вибірки вихідного сигналу, що відповідають перехідному процесу повинні бути відкинуті. Таким чином, число корисних вибірок дорівнює $N - n + 1$.

Вибірки на виході алгоритму відповідають виходам оптимальних фільтрів для $N - n + 1$ значень дальності і однієї швидкості (її значення входить в частотну характеристику фільтра). Таким чином, алгоритм дозволяє обчислювати один рядок в матриці дальність-швидкість. Для отримання інших рядків розрахунки необхідно повторити, змінивши необхідним чином частотну характеристику фільтра.

Алгоритм узгодженої фільтрації в частотній області реалізує фільтрацію вхідного сигналу фільтром із заданою частотною характеристикою. Оптимальним фільтром для прийому сигналів на фоні білого гаусівського шуму є, як відомо, узгоджений фільтр [2-4]. Проте для отримання прийняттого рівня бічних пелюсток вихідного сигналу частотну характеристику фільтру можна коригувати за допомогою вагової функції (наприклад, функції Хемінга).

У радіолокації тривалість сигналу, що обробляється, часто набагато перевищує тривалість зонduючого імпульсу, тому для організації ефективних паралельних обчислень використовується розбиття вхідного сигналу $x(i)$ на

секції довжини L . При цьому питомий обсяг обчислень алгоритму фільтрації в частотній області становить [10]:

$$v_{OF} = \frac{2\alpha(5\log_2 \alpha n + 3)}{\alpha - 1 + \frac{1}{n}}, \quad (1.10)$$

де $\alpha = L / n$.

Довжина секції L може бути вибрана довільно. Мінімум питомого обсягу розрахунків досягається при виборі значення α в діапазоні 5...16 залежно від величини n . Ця залежність є слабо вираженою. Так, при виборі $\alpha = 2$ питомий обсяг зростає всього на (30...40)%. Зменшення довжини секції дозволяє збільшити кількість процесорів, що працюють паралельно і незалежно при реалізації алгоритму.

З порівняння формул для питомого об'єму розрахунків перерахованих методів фільтрації можна зробити наступні якісні висновки. Якщо загальна кількість каналів фільтрації невелика (близько десяти), то найбільш ефективним виявляється метод кореляційного оброблення. При більш значній кількості каналів, навпаки, кореляційне оброблення неефективне. Якщо при цьому необхідна кількість каналів по швидкості (по доплерівській частоті) мала (мала величина α в (1.6)), то найбільш ефективним буде метод фільтрації в частотній області. Якщо ж мала необхідна кількість каналів по дальності (мала величина α в (1.10)), то більш ефективним є метод кореляційно-фільтрового оброблення.

1.3 Аналіз особливостей алгоритму швидкого перетворення Фур'є

У відповідності із формулою для прямого ДПФ для обрахунку N значень спектральних відліків $X[k]$ необхідно виконати приблизно N^2 помножень і N^2 додавань. Із зростанням N значно збільшується час обрахунку $X[k]$. Така

ситуація спостерігається і при розрахунку ОДПФ. Для прискорення обрахунку ДПФ розроблені алгоритми швидкого перетворення Фур'є (ШПФ).

Розглянемо алгоритми ШПФ із основою 2, які використовуються у послідовностей довжина яких $N=2^k$, k – є цілим числом.

Основна ідея ШПФ є наступною: послідовність $x[n]$ розбивається на дві $N/2$ – точкові послідовності $x_1[n]$ та $x_2[n]$, і знаходять для них $X_1[k]$ та $X_2[k]$. Після чого по даним величинам $X_1[k]$ та $X_2[k]$ визначають необхідне N – точкове ДПФ $X[k]$. Якщо остання операція буде виконуватись просто і не вимагатиме важких обрахунків, то для обрахунку N – точкового ДПФ необхідно буде виконати $(N/2)^2 + (N/2)^2 = N^2/2$ операцій. Якщо продовжити процес розбивання послідовностей $x_1[n]$ та $x_2[n]$ на дві частини і для кожної з них знаходити свої ДПФ, то можливо суттєво зменшити кількість операцій.

Розглянемо ДПФ послідовності $x[n]$:

$$X[k] = \sum_{n=0}^{N-1} x[n] W_N^{kn} \quad (1.11)$$

Якщо розбити $x[n]$ на дві частини $x_1[n]$ та $x_2[n]$, які включаються як парні так і непарні члени $x[n]$:

$$x_1[n] = x[2n], n=0, 1, 2, \dots, (N/2-1),$$

$$x_2[n] = x[2n+1], n=0, 1, 2, \dots, (N/2-1).$$

Тоді:

$$X[k] = \sum_{n=0}^{N-1} x[n] W_N^{kn} = \sum_{n=0}^{N/2-1} x[2n] W_N^{2nk} + \sum_{n=0}^{N/2-1} x[2n+1] W_N^{(2n+1)k}$$

Так як $W_N^2 = e^{2\pi i/S} = e^{2\pi i/(N/2)} = W_{N/2}$, то

$$X[k] = \left\{ \sum_{n=0}^{N/2-1} x[2n] W_{N/2}^{kn} \right\} + \left\{ \sum_{n=0}^{N/2-1} x[2n+1] W_{N/2}^{kn} \right\} \cdot W_N^k$$

Тут вирази у фігурних дужках представляють прямі $N/2$ – точкові ДПФ від послідовностей $x_1[n]$ та $x_2[n]$. Тоді

$$X[k] = X_1[k] + X_2[k] \cdot W_N^k, \quad 0 \leq k \leq N/2 - 1 \quad (1.12)$$

Із формули (1.12) випливає, що N – точкове ДПФ $X[k]$ може бути вираховано через два $N/2$ – точкових ДПФ $X_1[k]$ та $X_2[k]$. Необхідно пам'ятати що відліки ДПФ для послідовностей $x_1[n]$ та $x_2[n]$ повторюються із періодом $N/2$. Тому

$$X_1[k+N/2]=X_1[k] \text{ і } X_2[k+N/2]=X_2[k] \quad (1.13)$$

Враховуючи рівність $W_N^{k+N/2}=-W_N^k$, то отримаємо рівняння для вирахування наступної частини послідовності спектральних коефіцієнтів $X[k]$:

$$X[k + N/2] = X_1[k] - X_2[k] \cdot W_N^k \quad (1.14)$$

Формули (1.13) (1.14) представляють базову операцію ШПФ, схематичне зображення перетворення зображено на рисунку 1.7. На ньому круг по центру позначає операцію додавання/віднімання. Стрілка позначає операцію множення на W_N^k . Жирні точки позначають регістри, що вміщують вхідні та вихідні значення для різних етапів ШПФ.

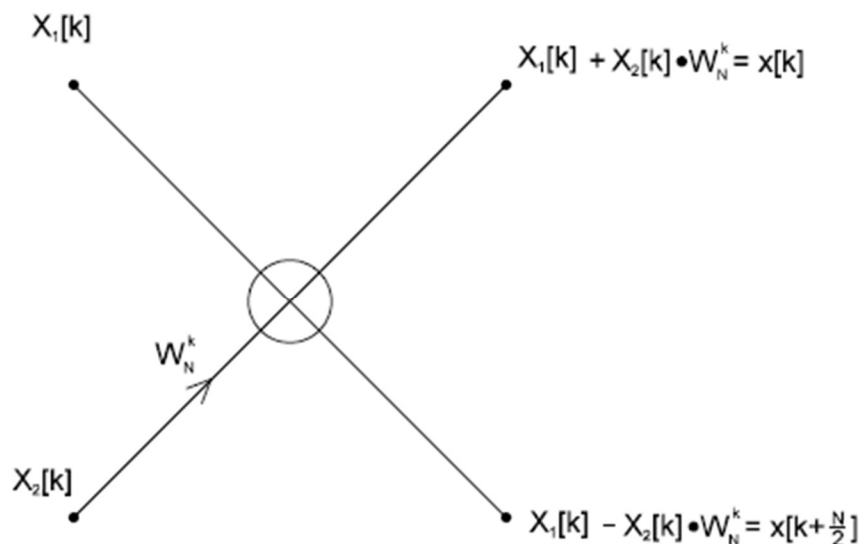


Рисунок 1.7 – Основна операція ШПФ

На рисунку 1.8 показана схема обчислення 8-точкового ШПФ із використанням двох 4-точкових перетворень.

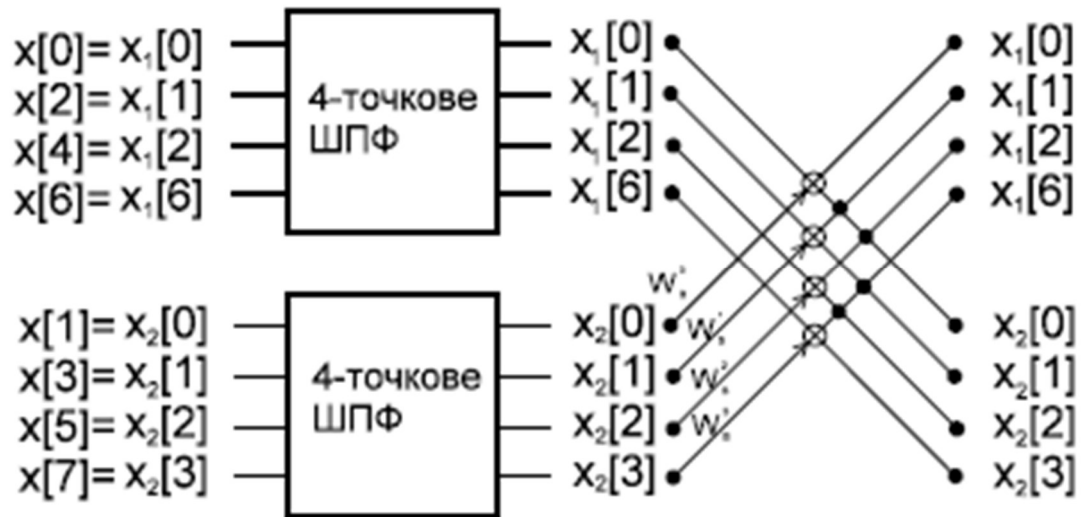


Рисунок 1.8 – Розрахунок 8-точкового ШПФ

У свою чергу 4-точкові перетворення можуть бути визначені через 2-точкові, які розраховуються згідно із формулами:

$$X[0] = x[0] + W_{N/4}^0 \cdot x[l] = x[0] + x[1] ; \quad (1.15)$$

$$X[1] = x[0] + W_{N/4}^1 \cdot x[l] = x[0] - x[2] . \quad (1.16)$$

Описаний алгоритм ШПФ називається алгоритмом із проріджуванням за часом, так як тут необхідна перестановка початкових значень $x[n]$. Алгоритми, при реалізації яких вимагається перестановка відліків $X[k]$, називаються алгоритмами із проріджуванням по частоті.

Оскільки вираз $X_2[k] \cdot W_N^k$ можна після розрахунку запам'ятати, то для кожної базової операції ШПФ, необхідно виконати тільки одне множення $X_2[k]$ на множник W_N^k . Вхідні і вихідні значення базових операцій зазвичай зберігаються в одних і тих же комірках пам'яті. Для однієї базової операції

необхідно одна додаткова комірка для зберігання результату $X_2[k] \cdot W_N^k$. Тому вхідна $x[n]$ і вихідна $X[k]$ послідовності, а також проміжні результати можуть розміщуватись в одному і тому ж масиві комірок пам'яті. Алгоритм ШПФ, що працює описаним способом називається алгоритм із заміною.

Особливістю розглянутих алгоритмів ШПФ є необхідність перестановки вхідних або вихідних значень. Елементи вхідної послідовності для алгоритму з проріджуванням по часу повинні бути розміщені у пам'яті в біт-інверсному порядку, що задається шляхом «дзеркального» відображення двійковий розрядів вхідних послідовностей (таблиця 1.2)

Таблиця 1.2 – Біт-інверсний порядок

N	Двійковий код	Біт інверсія	Біт-інверсний номер
0	000	000	0
1	001	100	4
2	010	010	2
3	011	110	6
4	100	001	1
5	101	101	5
6	110	011	3
7	111	111	7

На всіх етапах виконання ШПФ використовуються коефіцієнти W_N^k , $k=0,1,\dots,N-1$. Зазвичай вказані коефіцієнти розраховуються до виконання ШПФ і зберігаються у таблиці, до якої звертаються під час розрахунку.

Кількість етапів ШПФ дорівнює $\log_2 N$, кількість базових операцій на кожному етапі – $N/2$. Так як у процесі ШПФ використовуються комплексні числа, то кожна така операція виконується із чотирма операціями множення та додавання. Тому кількість парних операцій множення-додавання дорівнює $2N \cdot \log_2 N$. При великому значення N використання алгоритму ШПФ суттєво зменшує кількість операцій, що вимагаються для розрахунку ДПФ.

2 РОЗРОБКА СТРУКТУРИ ПРИСТРОЮ ЦИФРОВОГО ОБРОБЛЕННЯ РАДІОСИГНАЛІВ

У попередньому розділі було розглянути загальні принципи побудови пристроїв оброблення радіосигналів, методи реалізації аналогової частини та алгоритми цифрового оброблення. Даний же розділ призначений опису архітектура програмуемого процесора сигналів (ППС), що реалізує ці алгоритми.

ППС є кінцевим вузлом тракту первинного оброблення сигналів [1], і саме в цьому вузлі реалізуються всі основні алгоритми багатоканальної оптимальної фільтрації, виявлення корисних сигналів і вимірювання їх параметрів [2]. Можливість запрограмувати процесор дозволяє використовувати широкий набір зондуючих сигналів, необхідних сучасній ТКС, і гнучко змінювати режими її роботи залежно від навколишнього оточення.

2.1 Аналіз основних вимог до процесору сигналів

Основні вимоги до ППС визначаються задачами, реалізацією алгоритмів та продуктивністю їх виконання. До основних показників що визначають параметри процесора можна віднести:

- широкий динамічний і частотний діапазон сигналів, що обробляються;
- велика інтенсивність і постійність потоків даних;
- великий об'єм обчислень з перевагою обчислювальних операцій над логічними;
- регулярність і рекурсивність алгоритмів;
- можливість розпаралелення алгоритмів в часі та в просторі;
- в основі більшості алгоритмів лежить математична операція множення/сумування;

- постійне ускладнення нових алгоритмів і підвищення вимог до точності даних;

- структура даних дозволяє застосувати їх векторне опрацювання з використанням просторового та часового паралелізму.

З вище написаного стає зрозумілим, що архітектура ППС повинна володіти даними параметри, щоб забезпечити ефективне виконання таких типових алгоритмів ЦОС, як ШПФ, фільтрація та поелементні операції з масивами. Проте не варто забувати за такі процеси як - порогове оброблення та вимірювання координат. Відповідні алгоритми відрізняє велика кількість розгалужень і умовних переходів. Отже, пристрій повинен бути достатньо універсальним.

Також при розробці необхідно забезпечити високу продуктивність ППС, яка залежить від конкретних режимів роботи радіолокаційної станції. Грубу оцінку необхідної продуктивності можна провести за допомогою наступної емпіричної формули:

$$P = kLN,$$

де P – необхідна номінальна продуктивність в кількості арифметичних операцій за секунду;

$k = 5 \cdot 10^5$ – емпіричний коефіцієнт необхідної продуктивності на один канал оброблення за мілісекунду (під каналом оброблення або каналом фільтрації тут і далі мається на увазі один оптимальний фільтр [10], узгоджений з фіксованими значеннями координат дальності і швидкості);

$l = 2$ – відношення реальної продуктивності до номінальної;

N – кількість каналів оброблення, які формуються за мілісекунду.

Сучасні системи ТКС генерують від однієї до декілька десятків тисяч каналів. Наприклад, для режиму зондування за допомогою ЛЧМ-імпульсу число каналів становить 6300 [3]. Звідси можна отримати, що величина задовільної продуктивності становитиме $P = 0,63 \cdot 10^{10}$ оп/с. Враховуючи, що продуктивність новітніх і перспективних СВІС сигнальних процесорів не перевищує

600...1000 Мфлоп/с, то реалізація ЦОС на однопроцесорному пристрої не є можливою, і для забезпечення такого показника необхідно використати від 7 до 22 СВІС. Задля спрощення розробки, та схеми використовуватиме багатопроцесорний ППС. Через що постає мета розробки ефективної архітектури пристрою та відповідно обґрунтований вибір СВІС сигнального процесора.

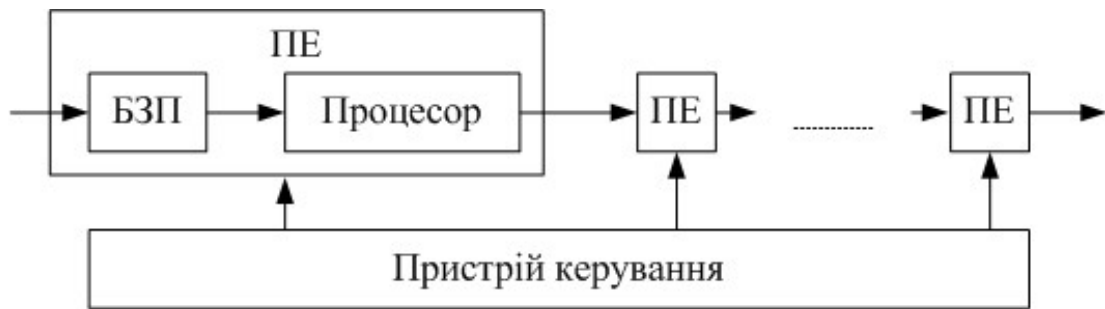
Додаткового, до завдання розробки ППС для обробки сигналів, слідують наступні вимоги:

- забезпечення безінерційного перемикання режимів роботи пристрою, видів оброблюваних сигналів, тривалостей періодів зондування та інших параметрів без спеціальних витрат часу на перемикання;
- мінімізація часу затримки отримання результатів оброблення після приймання сигналу;
- використання новітньої елементної бази.

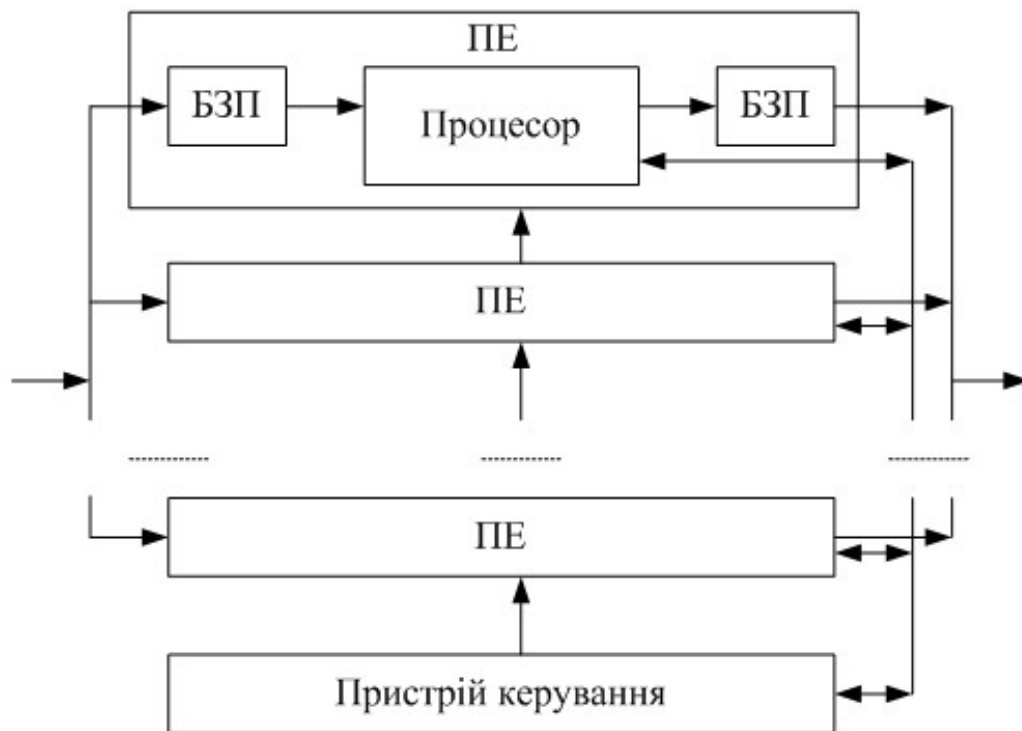
2.2 Аналіз структур пристроїв оброблення сигналів

Сучасна промисловість, при розробці багатопроцесорних обчислювальних систем, використовує конвеєризація та розпаралелювання у внутрішній будові процесора для прискорення обчислювальних процесів, додатково, для забезпечення спрощення розробки та зменшення ціни, забезпечують однорідність та модульність пристрою [2].

У зв'язку з цим для багатопроцесорного пристрою оптимізацію, як правило, проводять у широкому спектрі можливих архітектур – від суто послідовної конвеєрної архітектури, коли процесорні елементи (ПЕ) включені один за одним (рис.2.1а), до чисто паралельної архітектури, коли ПЕ працюють, в основному, незалежно і здійснюють необхідний обмін даними по загальним каналам зв'язку (рис.2.1б).



а)



б)

Рисунок 2.1 – Структури ПОС: а) конвеєрна; б) паралельна

Конвеєр являє собою процесор, розділений на P частин (шарів, рядків), виконуючих послідовно етапи кожної обчислювальної задачі (операції). В той час як j -й шар процесора виконує j -й етап деякої k -ї задачі, $(j-1)$ -й шар може виконувати $(j-1)$ -й етап $(k+1)$ -ї задачі, $(j-2)$ -й шар може виконувати $(j-2)$ -й етап $(k+2)$ -ї задачі і так далі, тобто 1-й шар може у цей же час виконувати 1-й етап $(i+j-1)$ -ї задачі (де $j=2, \dots, P$).

Таким чином, кожна задача або операція виконується за P етапів при проходженні усіх P шарів конвеєрного процесора. В обчислювальних системах (ОС) з конвеєрним процесором може виконуватися одночасно декілька (P) операцій по перетворенню даних, що відповідає визначенню обчислюваної системи. Проте ці операції в будь-який момент часу обов'язково знаходяться на різних етапах виконання й у принципі не можуть починатися всі одночасно.

Конвеєрні системи з загальним керуванням, орієнтовані на використання паралелізму суміжних операцій. Пристрій керування один, але регістрів для збереження інструкцій (PFI) стільки ж, скільки шарів є в процесорі. 1-ша інструкція програми зчитується в PFI(1), та в 1-му шарі процесора починається виконання. В наступному такті 1-ша інструкція передається в PFI(2), її виконання продовжує 2-й шар процесора, а до PFI(1) зчитується 2-а інструкція програми та в 1-му шарі конвеєрного процесора починається її виконання і т.д.

Перевагою даної архітектури можна назвати простоту розбиття алгоритму на окремі фрагменти, які виконуються певним ПЕ, за рахунок чого і досягається простота програмування. Але це ж в свою чергу і є його головним недоліком, так як за рахунок великої кількості ПЕ кожен з яких має свою затримку, утворюється загальна затримка сигналу яка триває мікросекунди, що не можна дозволити у радіолокаційних цілях. Додатково при реалізації конвеєрної архітектури потребується використання буферних запам'ятовуючих пристроїв (БЗП), обсяг кожного з яких пропорційний обсягу всієї оброблюваної інформації, а кількість дорівнює числу етапів конвеєра. Безпосередньо БЗП та відповідний пристрій управління організовує конвеєрне оброблення. Подібна схема керування призводить до збільшення кількості процесорних елементів збільшує складність пристрою керування що вимагає здійснювати управління великою кількістю різних обчислювальних процесів, які відбуваються одночасно.

Найбільші проблеми під час створення ефективного конвеєра обумовлені командами, що змінюють природний порядок обчислень. Простий конвеєр орієнтований на лінійні програми. В ньому ступінь вибірки витягує команди з

послідовних елементів пам'яті, використовуючи для цього лічильник команд (ЛчК). Адреса чергової команди в лінійній програмі формується автоматично, за рахунок додавання до вмісту ЛчК числа, рівного довжині поточної команди в байтах. Реальні програми практично ніколи не бувають лінійними. В них обов'язково присутні команди управління, які змінюють послідовність обчислень: безумовний та умовний перехід, виклик процедури, повернення з процедури і тому подібне. Частка подібних команд у програмі оцінюється як 10-20% (за деякими джерелами вона істотно більша)

Паралельна обробка інформації являє собою одночасне рішення двох або більшої кількості частин однієї й тієї ж програми двома чи більшою кількістю ПЕ обчислювальної системи. Особливість архітектури дозволяє мінімізувати затримку отримання результату, підвищити конструктивну однорідність і модульність пристрою.

Методи та засоби реалізації паралелізму залежать від того, на якому рівні він повинен забезпечуватись. Зазвичай розрізняють такі рівні паралелізму:

- рівень завдань – декілька незалежних завдань одночасно виконуються на різних процесорах, які практично не взаємодіють один з одним. Цей рівень реалізується в ОС з множиною процесорів у багатозадачному режимі.

- рівень програм – частини однієї задачі виконуються множиною процесорів. Даний рівень досягається на паралельних ОС.

- рівень команд – виконання команди розділяється на фази, а фази декількох послідовних команд можуть бути перекриті за рахунок конвеєризації. Даний рівень використовується в ОС з одним процесором.

- рівень бітів (арифметичний рівень) – біти слова обробляються один за одним. Цей процес має назву біт-послідовна операція. Якщо біти слова обробляються одночасно, кажуть про біт-паралельну операцію. Даний рівень реалізується в звичайних і суперскалярних процесорах.

Доцільно використовувати конвеєрацію у даному випадку, так як вона забезпечить поєднання операцій оброблення та забезпечить введення-виведення інформації. З цього можна зробити висновок що ПОС має вати конвеєрну структуру для поступаючих задачах та паралельну для однотипних що забезпечить рішення фіксованої задачі.

Таким чином, доцільно зупинитися на паралельній архітектурі ПОС та розробити ПЕ, що забезпечує рішення найбільшої паралельної гілки кожного з алгоритмів оброблення без обміну між ПЕ. Рішення зазначеної задачі визначається в основному правильним вибором основного обчислювального елемента – СВІС сигнального процесора. При цьому з метою зменшення габаритів пристрою і споживаної потужності, а також з метою спрощення організації обчислювального процесу, бажано мінімізувати кількість процесорних елементів. Це досягається шляхом максимізації продуктивності процесорного елемента, а, отже, і обраного СВІС сигнального процесора.

2.3 Вибір типу СВІС процесора

Щоб забезпечити вищеперелічені вимоги і тим самим ефективно вирішувати задачі оброблення сигналів – необхідно використовувати спеціалізовані СВІС сигнальних процесорів. Сучасна промисловість надає сигнальні процесори з фіксованою комою (в основному 16-розрядні) і 32-розрядні СВІС з плаваючою комою. Що є причиною короткого вибору СВІС із розрядністю обчислень та формою представлення чисел що підходять для задачі.

Розрядність обчислень в процесорі сигналів визначається, в основному, необхідним динамічним діапазоном пристрою оброблення сигналів, мінімальне значення якого сягає 80 дБ [15]. Даний параметри не досяжний для 16-розрядних процесорів з фіксованою комою, порядок якого складає 60 дБ. Причиною є

округлення помилки. Також недоліком є поява проблем при спробі масштабування в процесі оброблення, що значною мірою ускладнює програмування. Тому доцільно використовувати 32-розрядну СВІС з плаваючою комою.

До таких СВІС можна віднести процесори від американських компаній Analog Devices (серії ADSP21xxx, AD14xxx) та Texas Instruments (серії TMS320xxx). Основні технічні характеристики перерахованих СВІС наведено в табл. 2.1.

Таблиця 2.1 – СВІС сигнальних процесорів з плаваючою комою

Параметр		TMS320C40	ADSP-21060	AD14160	ADSP-21992	TMS320C67
Фірма		Texas Instruments	Analog Devices	Analog Devices	Analog Devices	Texas Instruments
Час циклу, нс		50	25	25	8	6
Номінальна продуктивність, Мфлоп/с		80	120	480	600	1000
Внутрішнє ОЗП		1К×32×2	64К×32×2	4×64К×32×2	16К×16	16К×32
Внутрішнє ПЗП		4К×32	-	-	-	-
Програмний КЕШ		128×32	32×48	4×32×48	32×48	2К×256
Порти вводу-виводу	Паралельні	2×32	1×48	1×48	1×64	1×32;1×16
	Послідовні	2	2	8	2	2
	Комунікаційні	-	6×4	16×4	6×8	-
Кількість каналів ПДП		6	10	10	14	4
Час обчислення ШПФ, 1024 точки, мс		1,5	0,5	0,15	0,09	0,12

Перші дві СВІС є представниками минулого покоління і виконують 1024-точкове ШПФ в діапазоні 0,5...1,5 мс. Інші колонки демонструють можливості сучасних СВІС, та здатні здійснити цю ж операцію у декілька разів швидше.

Одним із важливих параметрів – реальна продуктивність, при обробленні сигналів. З метою спрощення програмування і зменшення втрат продуктивності в порівнянні під час обрахунків доцільно обрати процесор, що забезпечить рішення найбільшої паралельної гілки кожного з алгоритмів за заданий час без міжпроцесорного обміну інформацією. Згідно із табл. 2.1, найбільшою піковою продуктивністю володіють ADSP-21160 TMS320C67. Не дивлячись на суттєві відмінності внутрішньою структури вони мають доволі схожий час виконання основних алгоритмів.

Не варто забувати що до основних параметрів відноситься також програмний КЕШ, можливості прямого доступу до пам'яті, підтримка багатопроцесорної роботи і т.і. TMS320C67 є кращою за цими параметрами. Основними перевагами також є:

- прогресивний VLIW CPU із восьми функціональними одиницями (2 помножувача та 6 математичних одиниць) що дозволяє виконувати 8 інструкцій за цикл та пришвидшує розробку коду;
- підтримка 8/16/32-бітної даних, що підвищує ефективність використання пам'яті для застосунків;
- 40-бітний арифметика надає додакові налаштування та точність для вокодерів та інших обчислювальних засобів;
- наявність інструкцій змішаної точності;
- 32-Кбайтний кеш що підтримує виконання ОЗП та ПЗП а тако додаткової пам'яті через VBUSP інтерфес (два головних і один підлеглий);
- зменшений розмір коду
- забезпечення гнучкості коду за рахунок умовної дії інструкцій та гнучкості самих типів даних
- повністю конвеєрні розгалуження: розгалуження без накладних витрат.

Ці властивості дозволяють СВІС TMS320C67 мати більш високу продуктивність при виконанні алгоритму ШПФ в порівнянні з СВІС ADSP-21992, хоча час циклу у першої більше, ніж у другої.

2.4 Структура ПОС

Необхідною задачею є детальний розгляд структури ПОС, де реалізовано архітектурні принципи що були описані в попередніх розділах. Вищезгадана схема представляє загальні стандарти побудови, проте для виконання завдання потрібно, щоб ППС забезпечував оброблення сигналів, що перераховані в з [1]: ЛЧМ- і ФКМ-імпульси тривалістю 50 мкс з періодом зондування 1 мс і квазінеперервний сигнал з частотою повторення 100 кГц і періодом 4 мс.

ПОС прийматиме на вході масиви даних від сумарного та двох різницевих каналів моноімпульсної ТКС [12]. У режимі виявлення ПоС виконуватиме обробку одного сумарного каналу у режимі виявлення, та трьох каналів при увімкненні режиму супроводу. При обробці сигналів різницевих каналів число приймальних каналів, що формуються, матриці дальність-швидкість вимірюється одиницями [9], продуктивність же визначається за рахунок оброблення сигналу сумарного каналу.

СВІС TMS320C67 поставляється із програмованою пам'яттю, як у деяких пристроях може бути використана як кеш. Пристрій також має змінний розмір пам'яті даних. Периферійні пристрої, так як контролер прямого доступу до пам'яті (ПДП (Direct Memory Access (DMA))), логіка відключення живлення та інтерфейс зовнішньої пам'яті часто йде разом із самим процесором.

Структура ПОС представлена на рис. 2.2 і складається з наступних функціональних вузлів:

- програмний кеш/ програмну пам'ять із 32-бітною адресою і що зберігає 256-бітні дані, також окремо для 8- 16- та 32- бітних значень;

- контролер прямого доступу до пам'яті та інтерфейс зовнішньої пам'яті;
- контрольні регістри
- контроль логіки
- емулятор
- переривання
- регістрові файли
- декодер інструкції
- інструкційно-диспетчерський підрозділ

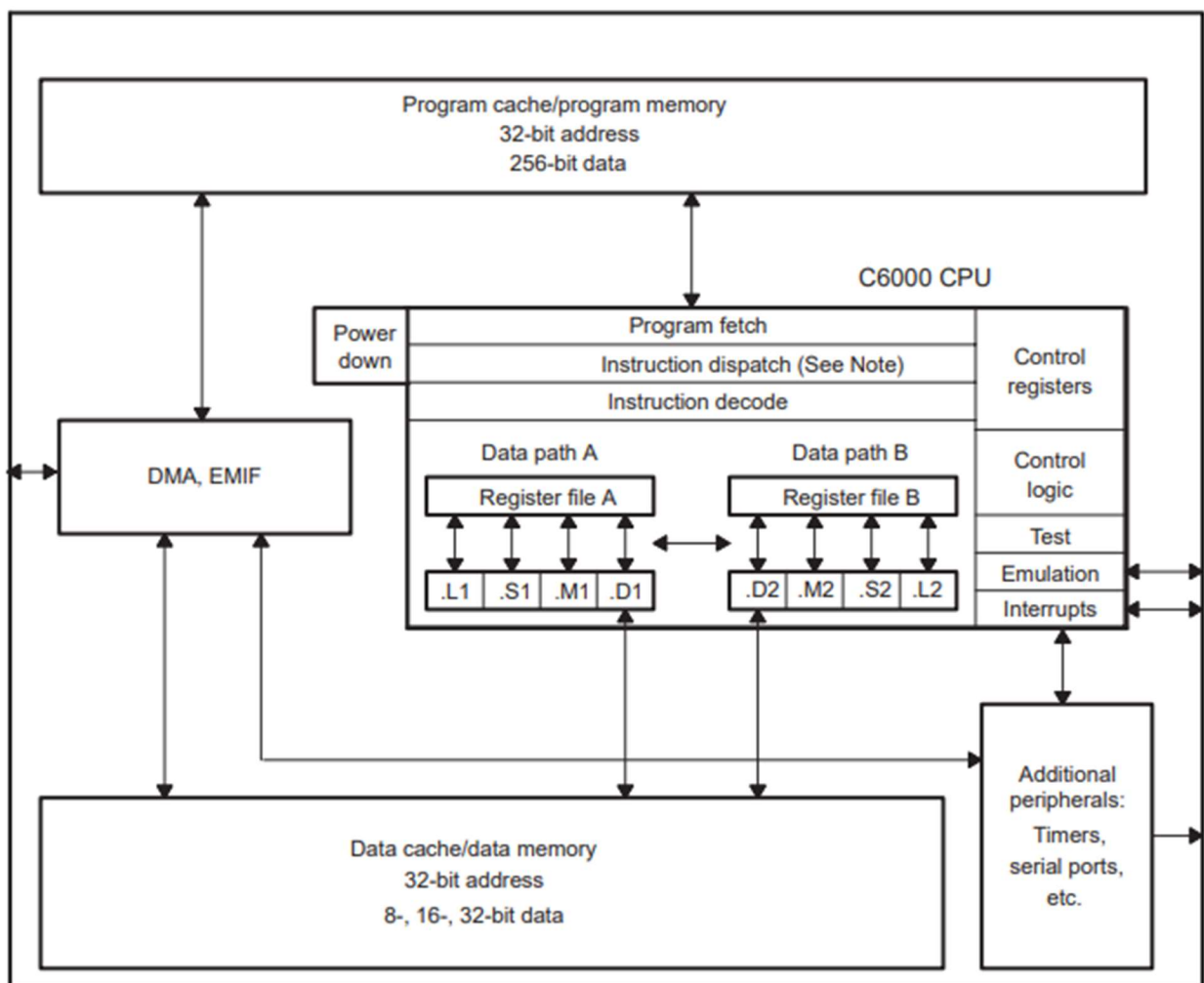


Рисунок 2.2 – Узагальнена структура ПОС

Кожна конкретна ТКС вимагає різної обчислювальної потужності, за рахунок чого змінюється кількість необхідних обчислювальних модулів. Три обчислювальних модуля буде достатньо для сигналів що розглядатимуться у наступних підрозділах.

Розглянемо детальніше структуру ПОС, що реалізує архітектурні принципи, описані в попередніх підрозділах. На вхід ПОС надходять масиви даних від сумарного та двох різницевих каналів ТКС [5]. У режимі виявлення ПОС виконує обробку тільки сумарного каналу, в режимі супроводу – всіх 3-х каналів. При обробці РС різницевих каналів число приймальних каналів, що формуються вимірюється одиницями [9], і необхідна продуктивність визначається, в основному, задачами оброблення РС сумарного каналу. Тому надалі основна увага приділяється саме цим задачам.

Структура ППС представлена на рис. 2.3 і містить наступні функціональні вузли, кожен з яких розміщується у стандартній комірці формату 6U:

- вхідний розподільник інформації;
- обчислювальний модуль (ОМ) з 4-х процесорних елементів (ПЕ);
- контролер видавання інформації, що реалізує виведення результатів оброблення;
- процесор керування;
- пристрій синхронізації та контролю.



Рисунок 2.3 – Структура ПОС

Число необхідних обчислювальних модулів може змінюватись залежно від потреб конкретної ТКС. Для радіосигналів, що розглядаються в роботі потрібно 3 обчислювальних модуля.

Основним компонентом ПОС є обчислювальний модуль (рис.2.3). Він має у своєму складі 4 ідентичних процесорних елементи, кожен з яких містить мікросхему сигнального процесора типу TMS та буферний ОЗП типу FIFO для накопичення результатів оброблення, під'єднаний до одного з лінк-портів. Це дозволяє отримувати результати оброблення РС незалежно з кожного процесора у режимі прямого доступу без втрати продуктивності. Процесори пов'язані один з одним по загальній шині, через лінк-порти та загальний ОЗП.

Поглянувши на рисунок 2.4 можна побачити, що головним є процесорний блок CPU що включає в себе блок реєстрів, блок керування інструкціями, зону пам'яті реєстрів А та В, із відповідними схемами вибору адреси, керування перериваннями, пристрої емуляції та тестування.

Дані надходять через контактні точки на мультиплексор, а звідти на функціональні вузли такі як інтерфейс зовнішньої пам'яті (EMIF), мультиканальні аудіо послідовні порти (McASP), мультиканальні буферні послідовні порти (McBSP), протоки I2C та таймери.

У процесорі також передбачено декілька зон для кеш-пам'яті, використання, що є причиною використання EDMA контролера, який використовується для переміщення даних, між різними областями пам'яті і не вимагає додаткового використання процесора.

Далі розглянемо більш детально кожен блок.

External Memory Interface (EMIF), він же зовнішній інтерфес пам'яті (ЗІП). Передбачає підключення пристроїв пам'яті до мікроконтролера через шину даних і шину адреси. Шина даних використовується для передачі даних між мікроконтролером і пристроєм пам'яті, тоді як шина адреси використовується для вибору певного місця пам'яті в пристрої пам'яті. Використовується щоб забезпечити необхідний простір пам'яті програм для зберігання цих програм, зберігання великих обсягів даних, наприклад реєстрація даних або аналіз даних, можуть потребувати зовнішнього інтерфейсу пам'яті для зберігання даних, а також для використання у зовнішній ПЗП та ОЗП, щоб не використовувати більш дорогий мікроконтролер із більшим значенням вбудованої пам'яті.

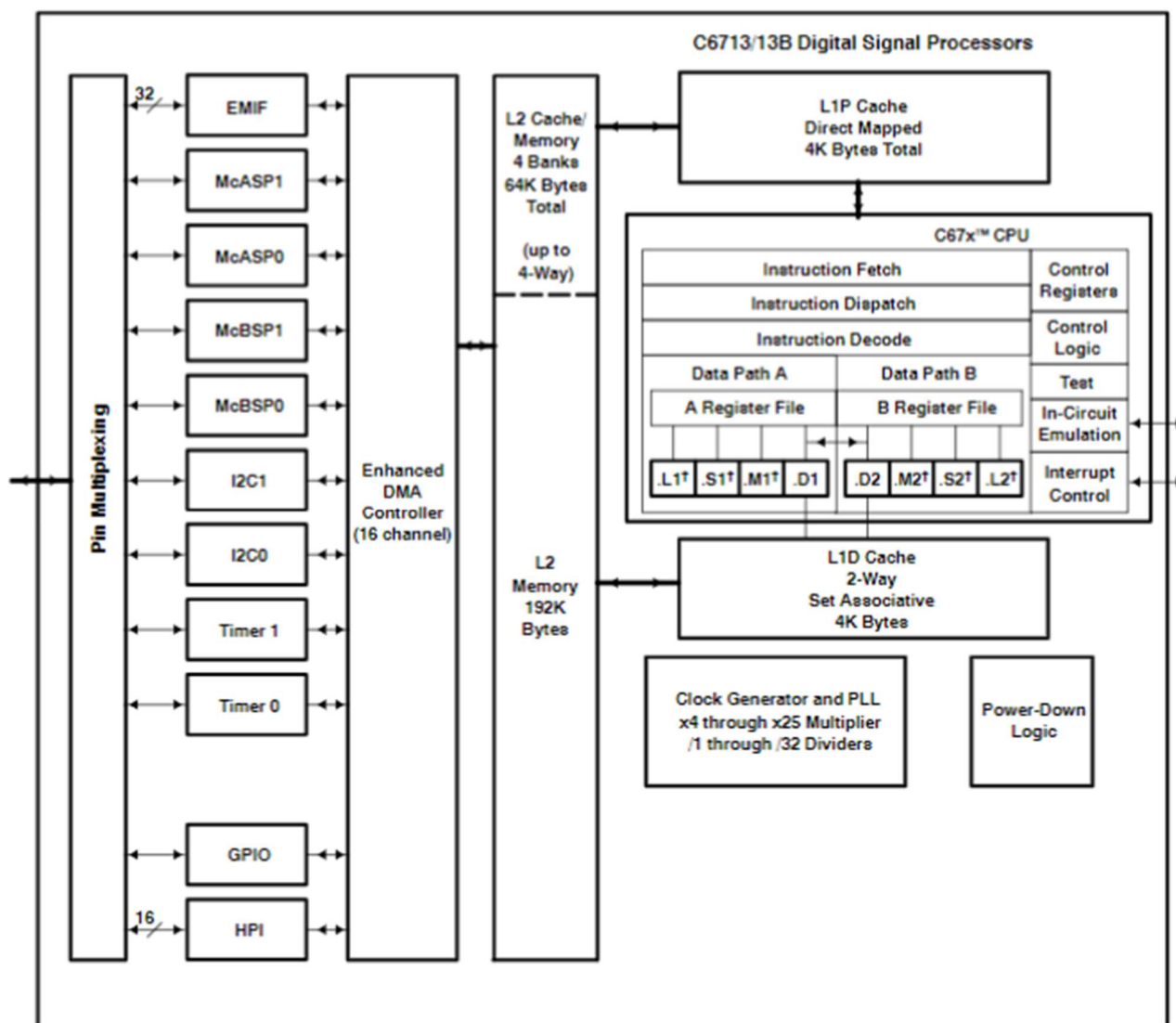


Рисунок 2.4 – Функціональна блок-схема ПОС

Кожен із двох інтерфейсних модулів McASP(Multichannel Audio Serial Port) підтримує одну тактову зону передачі та одну зону прийому. Кожен із модулів має вісім послідовних контактів даних, які можуть бути окремо призначені для будь-якої з двох зон. Послідовний порт підтримує мультиплексування з часовим поділом на кожному виводі від 2 до 32 часових інтервалів.

EDMA (Enhanced Direct Memory Access) — це контролер, який використовується для ефективного переміщення даних між різними областями пам'яті без втручання процесора. Він широко використовується в багатьох вбудованих системах та мікроконтролерах для прискорення передачі даних та

оптимізації роботи. Основна його мета - звільнити процесор від необхідності безпосередньо керувати кожним байтом даних, що переміщаються між пам'яттю та периферійними пристроями, а також між різними областями пам'яті. Програмується для виконання різних операцій передачі даних, таких як копіювання, заповнення, обмін тощо. Це робить його потужним інструментом для оптимізації роботи вбудованих систем і прискорення різноманітних завдань обробки даних.

Power-down logic - це частина логіки, яка відповідає за управління потужністю пристрою або системи. Цей модуль зазвичай включає в себе механізми для ввімкнення та вимкнення живлення різних компонентів пристрою або системи з метою збереження енергії, що особливо важливо для портативних пристроїв, які працюють від батарей.

2.5 Конвеєрна структура оброблення РС

Як зазначено раніше, ПОС має конвеєрну структуру що виконує паралельно декілька завдань. Часова діаграма конвеєра для постійної тривалості періоду зондування показана на рис. 2.5. На рисунку 2.4 зображено часову діаграму конвеєра для одночасного виконання декількох інструкцій.

Кожна інструкція проходить через ітерації A1, A2, A3 і так далі до закінчення. Поки інструкції A1, B1 та C1, виконуються то всі наступні стоять у черзі на виконання, всі наступні ітерації працюють за таким же принципом.

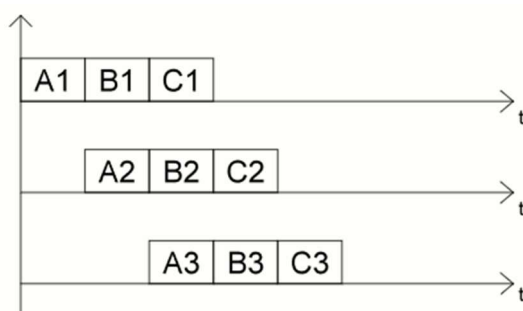


Рисунок 2.5 – Часова діаграма роботи конвеєра

Конвеєр завдань поділений на три головні кроки: завантаження, декодування, виконання.

Завантаження включає в себе чотири такти:

- генерування адреси програми в ЦП.
- надсилання адреси програми в пам'ятть
- очікування отримання програми, протягом якої відбувається читання пам'яті
- отримання програми у ЦП.

Два етапи декодування включає тільки розсилку інструкції та декодування інструкцій. На першому етапі пакети вибірки розбиваються на пакети виконання. Вони у свою чергу складаються з однієї інструкції або від 2 до 8-ми паралельних інструкцій. Під час другого етапу інструкція у пакеті виконання закріплюється за відповідним функціональним підрозділом. У цьому етапі регістри джерела, призначення та пов'язані шляхи декодуються для виконання інструкцій.

Фаза виконання може займати від 10 до 14 інструкцій, що відповідають за різне завдання. Це може бути читання певних портів, обрахунків результатів, продовження операцій та інше. Для кращого розуміння операцій що там відбувається необхідно читати безпосередньо документацію до процесора що використовуватиметься.

Для завдань що передбачаються постійну тривалість зондування, питання організації конвеєра не стоїть так гостро. Для забезпечення БЗП в таких випадках використовують дві мікросхеми ЗП із об'ємом що дорівнює максимальному об'єму що може отриматись за одне зондування.

Сучасні ТКС використовують послідовні такти що відрізняються за алгоритмом оброблення та параметри інформації – тривалістю та об'ємом.

Існують два методи управління конвеєром: синхронний та асинхронний. При синхронному управлінні конвеєр організовується так, щоб на будь-якому

етапі забезпечити затримку, рівну максимальній тривалості T такту зондування. В асинхронному методі зчитування з буфера затримки починається відразу після виконання двох умов: завершення запису інформації в буфер і звільнення процесора. При асинхронному управлінні затримка конвеєра залежить від попередніх операцій, обчислювального навантаження процесора і, як правило, є непередбачуваною.

БЗП конвеєра зі змінним тактом може бути реалізовано у вигляді циклічного буфера в двохрантовому ОЗП або у вигляді трьох банків однохрантових ОЗП. В обох випадках загальний необхідний об'єм ОЗП не перевершує $3V$, де V – максимальний об'єм інформації за зондування. При двохрантовому ОЗП для широкого класу вхідних потоків інформації об'єм може бути знижено до одного V . Для розглянутого конвеєра оброблення сигналів у МРТС об'єм не перевищує $2V$.

2.6 Аналіз алгоритмів оброблення РС

При впровадженні оброблення на багатопроцесорних пристроях одне з ключових завдань - це розробка алгоритмів, що ефективно розпаралелюються та максимально використовують доступну продуктивність. Особливу увагу слід звернути на алгоритми фільтрації радіолокаційних сигналів, оскільки вони опрацьовують великі обсяги даних. Ці алгоритми використовують два методи розпаралелювання, що відповідають різним методам оброблення сигналів. Для одного методу, кожен процесор обробляє один або декілька каналів радіолокації, тоді як для іншого методу - одну або кілька секцій сигналу. Цей підхід також застосовується до алгоритмів порогового фільтрування.

Алгоритми формування зв'язних областей та вимірювання координат розпаралелюються лише частково, через залежність операцій від кількості та конфігурації оброблюваних областей. Однак обсяг інформації, що обробляється

цими алгоритмами, на кілька порядків менший, тому проблема розпаралелювання не є настільки критичною. У запропонованій структурі ПОС ці алгоритми виконуються у процесорі управління, який виконує, крім завдань оброблення, також завдання управління пристроєм ПОС в цілому.

Розглянемо роботу ПОС при реалізації алгоритмів оброблення ЛЧМ-імпульсу і квазінеперервного сигналу. Основні параметри цих сигналів і алгоритмів оброблення наведені в табл. 2.3.

Для забезпечення коректної роботи пристрій має отримати команду інформацію що задасть режим роботи. Після закінчення випромінювання у вхідну пасяць починається запис сигналу і триматиме до закінчення періоду зондування.

Перед початком періоду зондування пристрій отримує пакет командної інформації, що задає режим оброблення. Запис сигналу у вхідну пам'ять починається через деякий час після закінчення випромінювання і триває до кінця періоду зондування.

Оптимальна фільтрація ЛЧМ-імпульсу здійснюється за допомогою методу узгодженої фільтрації в частотній області з використанням секціонованої згортки. Кожен процесорний елемент обробляє дві секції по 1024 відліки, що добре вписується у внутрішню структуру СВІС сигнального процесора, що включає два арифметичних пристрої.

Таблиця 2.3 – Основні параметри сигналів і алгоритмів оброблення

Параметр	Одиниця вимірювання	ЛЧМ-імпульс	Квазінеперервний сигнал
Період зондування	мс	1	4
Тривалість імпульсу	мкс	50	0,5
Частота повторення імпульсів	кГц	-	100

Смуга сигналу	МГц	2	2
Однозначний діапазон оброблюємих дальностей	км	100	$\leq 1,2$
Час спостереження	мкс	630	3430
Частота надходження вхід- них комплексних відліків	МГц	10	10
Алгоритм оброблення		Секціонована згортка	Кореляційно-фільт- рове оброблення
Довжина секції		1024	-
Число секцій		12	-
Порядок ШПФ		1024	512
Число каналів по дальності		6300	30
Число каналів по швидкості		1	512
Повна кількість каналів		6300	15360

Сегментація вхідного сигналу та його розподіл між процесорними елементами виконується за допомогою контролерів вхідної інформації, що входять до складу обчислювальних модулів, за даними процесора управління. Загалом, кількість секцій становить 12, тому потрібно шість процесорних елементів двох обчислювальних модулів.

Для кожної секції застосовується перетворення в частотну область за допомогою алгоритму ШПФ порядку 1024. Отримані спектральні складові перемножуються на частотну характеристику оптимального фільтра та вагову функцію для зменшення рівня бічних пелюсток функції невизначеності. Потім відліки перетворюються в часову область за допомогою алгоритму зворотного ШПФ порядку 1024. У результаті отримуємо 525 відліків, що відповідають різним дальнісним каналам, розміщеним через 0,1 мкс.

Далі виконується обчислення модулів отриманих відліків, порогове оброблення, формування зв'язних областей, що перевищили поріг, та

вимірювання їх координат, при цьому останні два алгоритми виконуються процесором управління. Крім того, формується вихідний масив амплітуд відгуків узгоджених фільтрів для видачі на пристрої індикації.

Час виконання цих алгоритмів в ПОС наведено в таблиці 2.4.

У таблиці не враховується час на підготовку і пересилання керуючої інформації, який становить дуже малу частину порівняно з часом оброблення. Загальний час виконання завдання менший за період зондування, що забезпечує роботу в реальному масштабі часу.

Квазінеперервний сигнал використовується як у режимі виявлення, так і у режимі супроводу цілі. При цьому оброблення сигналу сумарного каналу, характерне для режиму виявлення, є складовою частиною загального оброблення в режимі супроводу.

Оптимальна фільтрація квазінеперервних сигналів виконується за допомогою кореляційно-фільтрового методу. Кожний процесорний елемент обробляє чотири дальнісних канали, тому всього потрібно вісім процесорних елементів. Розподіл вибірок вхідного сигналу між процесорними елементами також здійснюється за допомогою контролерів вхідної інформації, що входять до складу обчислювальних модулів.

Таблиця 2.4 – Час виконання алгоритмів оброблення

Алгоритм	Час оброблення, мкс	
	ЛЧМ-імпульс	Квазінеперервний сигнал
Перетворення формату вхідного масиву	41	79
Вагове оброблення вхідного масиву	-	40
ШПФ	205	597
Множення на частотну характеристику	41	-
Вагове оброблення спектра сигналу	21	-
Зворотне ШПФ	205	-

Внутрішньоімпульсне когерентне накопичення	-	205
Обчислення модулів масиву фільтрів	47	92
Формування масиву відгуків узгоджених фільтрів для видачі	5	10
Порогове оброблення зі стабілізацією вірогідності хибних тривог	79	154
Вимірювання параметрів (для 32 сигналів)	70	70
Знаходження глобального максимуму	-	6
Вагове оброблення сигналу різницевого каналів	-	36
ДПФ сигналів різницевого каналів	-	72
Внутрішньоімпульсне когерентне накопичення сигналу різницевого каналів	-	35
Обчислення сигналів помилок	-	1
Всього	714	1397

Для кожного каналу дальності виконується п'ять алгоритмів ШПФ масивів з 343 відліків, що доповнюються нулями до 512 з попереднім ваговим обробленням. Після цього проводиться когерентне внутрішньоімпульсне накопичення сигналу. Подальше оброблення сигналу сумарного каналу, відповідне режиму виявлення, аналогічне розглянутому вище для ЛЧМ-імпульсу.

Для режиму супроводу обчислювальний комплекс ТКС передає на ПОС координати цілі, які повинні знаходитися всередині оглядової матриці дальність-швидкість, що формується. Усередині цієї матриці виділяється підматриця супроводу навколо очікуваного положення цілі, всередині якої проводиться пошук елемента з максимальною амплітудою. Відносно цього елемента проводиться вимірювання координат дискримінаційним методом. Отримані

координати приймаються за нове положення цілі, і обчислюються сигнали помилок. Зазначена операція виконується в два етапи: спочатку виконується пошук локальних максимумів в процесорних елементах, а потім - глобального максимуму в процесорі управління. Там же обчислюються сигнали помилок по дальності і швидкості.

Крім того, координати глобального максимуму передаються в обчислювальний модуль, що виконує оброблення сигналу різницевих каналів. Фільтрація сигналів різницевих каналів виконується кореляційним методом для одного дальнісно-швидкісного каналу з координатами, що відповідають координатам глобального максимуму. Обчислення сигналів помилок по кутових координатах відбувається в процесорі управління за даними, отриманими обробкою сумарного та різницевих каналів.

На рис. 2.6 наведена часова діаграма описаного оброблення квазінезперервного сигналу.

На часовій діаграмі показано також розподіл завдань по складовим частинам ППС та їх взаємозв'язок.

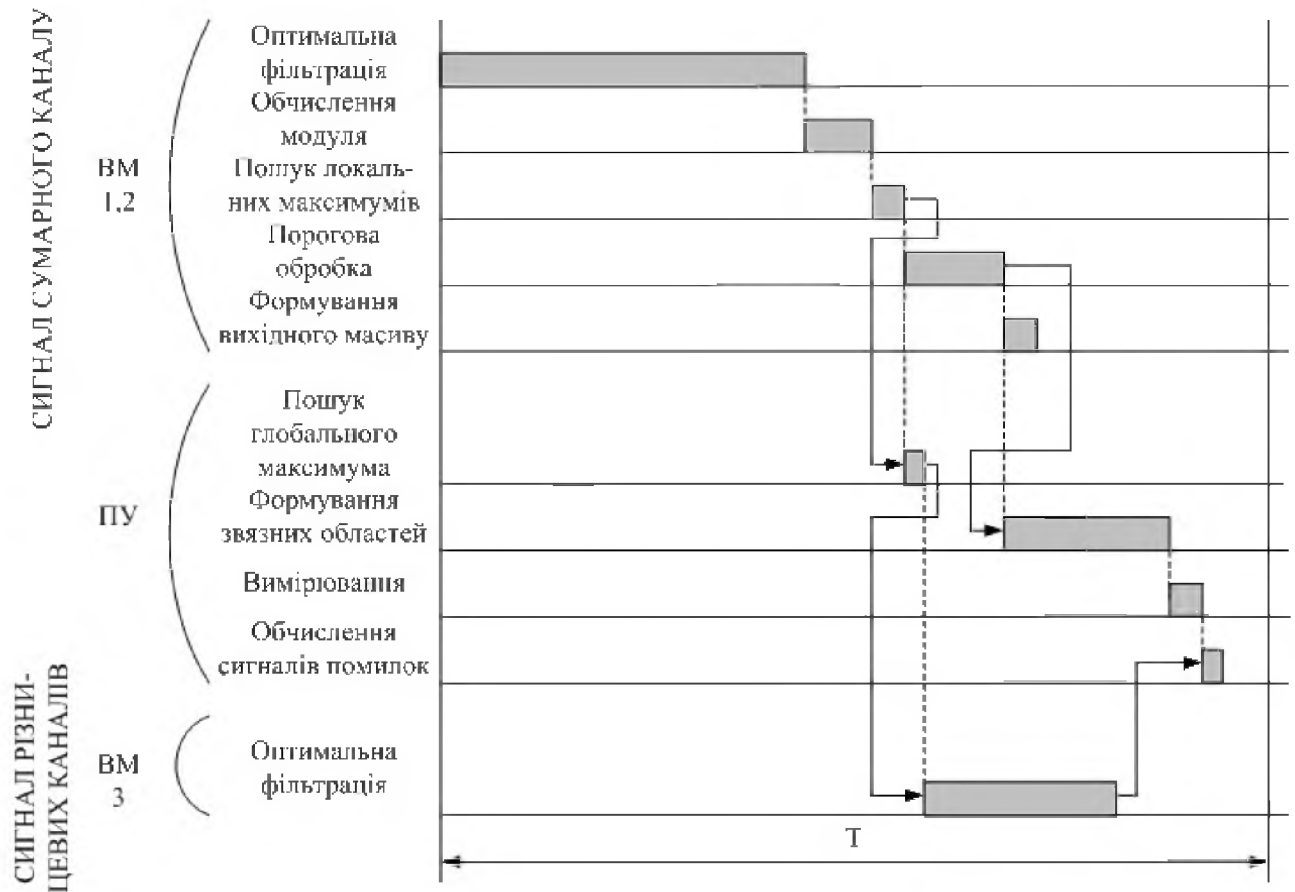


Рисунок 2.6 – Часова діаграма оброблення квазінеперервного сигналу в ПОС

3 РОЗРОБКА ПРОГРАМИ СПЕКТРАЛЬНОГО АНАЛІЗУ РАДІОСИГНАЛІВ НА БАЗІ ШПФ

3.1 Розробка блок-схеми алгоритму ШПФ

Спектральний аналіз радіосигналів є основним етапом цифрового оброблення в ПОС і реалізується на базі ШПФ.

Розглянемо алгоритм виконання програми, що реалізує операцію ШПФ у відповідності із заданими параметрами. Вважатимемо що всі вхідні та вихідні цифрові значення РС представленні у 16-розрядному форматі, у вигляді дробів із фіксованою комою, що розміщується одразу після знакового біту. Відповідно для наданих значень, без врахування знаку залишається 15 розрядів.

В програмі ШПФ виконується масштабування цифрових значень РС з коефіцієнтом 2. При цьому передбачається що значення множника W_N^4 уже масштабовані, тобто:

$$W_N^4 = \left(\frac{1}{2}\right) \cdot \left[\cos\left(\frac{2\pi k}{N}\right) - j \cdot \sin\left(\frac{2\pi k}{N}\right)\right] = \left(\frac{1}{2}\right) \cdot [\cos(x) - j \cdot \sin(x)]. \quad (3.1)$$

Сам алгоритм реалізації програми спектрального аналізу радіосигналів на базі ШПФ можна зобразити за допомогою блок-схеми, що представлена на рисунку 3.1.

Дійсна та уявна частини змінних WR та WI. Змінні PR, PI, QR та QI. Використовуються як для зберігання відповідних значень вхідних, змінних так і для зберігання результуючих значень цих виразів. Іншими словами, при реалізації ШПФ для зберігання вхідних та вихідних значень використовують одні і ті ж самі комірки пам'яті.

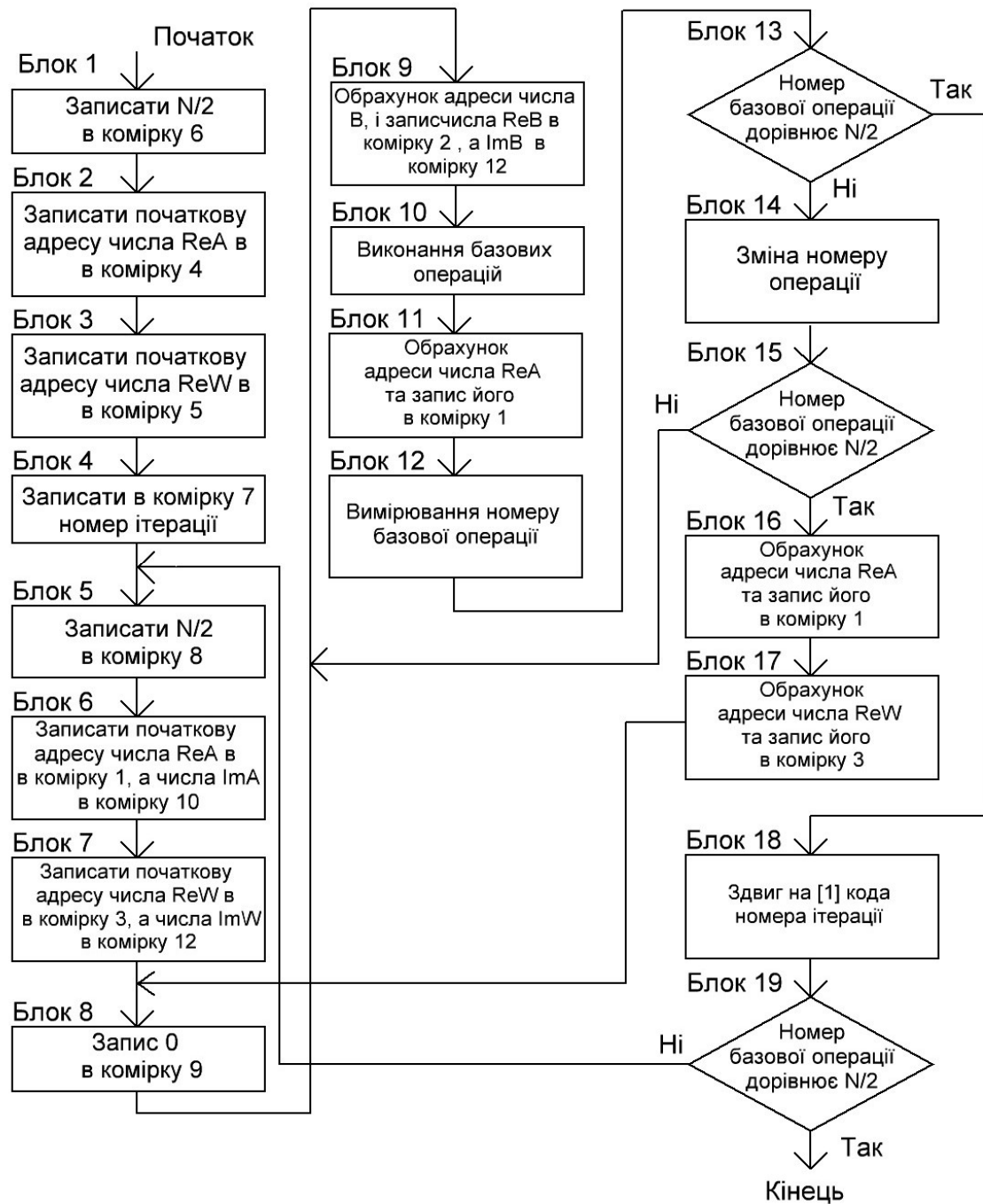


Рисунок 3.1 – Блок-схема алгоритму спектрального аналізу радіосигналів на базі ШПФ

3.2 Опис програми спектрального аналізу РС

Програма спектрального аналізу РС реалізована на базі Асемблера цифрового процесора оброблення сигналів другого покоління типу TMS320C67.

Програма оформлена у вигляді макроса, який можливо викликати при будь-яких значеннях, параметрів-змінних PR, PI, QR, QI, WR, WI. В тілі макроса вказані параметри виділяються з двох сторін двокрапкою.

Макрос складається з чотирьох блоків. В першому блоці вираховується дійсна частина і виразу $Q_m \cdot W_N^k$, яка з врахуванням масштабуючого коефіцієнта рівна $(1/2) \cdot [QR \cdot \cos(x) + QI \cdot \sin(x)]$. Отримана величина зберігається в змінній QR, так як поточне значення QR більше не потрібне для подальших обрахунків.

BUTFLY \$MACRO PR,PI,QR,QI,WR,WI

•

• $QR = (1/2) \cdot \cos(x)$. $WI = (1/2) \cdot \sin(x)$

•

• Обрахунок $(QR \cdot WR + QI \cdot WI)$, зберігання результату у QR

•

LT :QR: :Завантажити QR у регістр T

MPY :WR: : $(1/2) \cdot QR \cdot \cos(x)$

LTP :QI: : $(1/2) \cdot QR \cdot \cos(x) \rightarrow \text{ACC}$ QI $\rightarrow$ T

MPY :WI: : $(1/2) \cdot QI \cdot \sin(x) \rightarrow P$

APAC : $(1/2) \cdot [QR \cdot \cos(x) + QI \cdot \sin(x)] \rightarrow \text{ACC}$

LT :QR: : Зберегти QR у регістр T

SACH :QR: : $(1/2) \cdot [QR \cdot \cos(x) + QR \cdot \sin(x)] \rightarrow QR$

• Обрахунок $(QR \cdot WR - QI \cdot WI)$, зберігання результату у QI

•

ZAC :Обнулити ACC

MPY :WI: : $(1/2) \cdot QR \cdot \sin(x)$

SPAC		$:- (1/2) \cdot QR \cdot \sin(x) \rightarrow ACC$
LT	:QI:	$:QI \rightarrow T$
MPY	:WR:	$:(1/2) \cdot QR \cdot \cos(x) \rightarrow P$
APAC		$:(1/2) \cdot [QI \cdot \cos(x) - QR \cdot \sin(x)] \rightarrow ACC$
SACH	:QI:	$:(1/2) \cdot [QI \cdot \cos(x) - QR \cdot \sin(x)] \rightarrow QI$

●Обрахунок дійсних частин P_{m+1} та Q_{m+1} , зберігання результату у PR та QR

LAC	:PR:,14	$:(1/4) \cdot PR \rightarrow ACC$
ADD	:QR:,1	$:(1/4) \cdot (PR + [QR \cdot \cos(x) + QI \cdot \sin(x)]) \rightarrow ACC$
SACH	:PR,1:	$:(1/2) \cdot (PR + [QR \cdot \cos(x) + QI \cdot \sin(x)]) \rightarrow PR$
SUBH	:QR:	$:(1/4) \cdot (PR - [QR \cdot \cos(x) + QI \cdot \sin(x)]) \rightarrow ACC$
SACH	:QR:,1	$:(1/2) \cdot (PR - [QR \cdot \cos(x) + QI \cdot \sin(x)]) \rightarrow QR$

●Обрахунок уявних частин P_{m+1} та Q_{m+1} , зберігання результату у PI та QI

LAC	:PI:,14	$:(1/4) \cdot PI \rightarrow ACC$
ADD	:IQ:,15	$:(1/4) \cdot (PI + [QI \cdot \cos(x) - QR \cdot \sin(x)]) \rightarrow ACC$
SACH	:PI:,1	$:(1/2) \cdot (PI + [QI \cdot \cos(x) - QR \cdot \sin(x)]) \rightarrow PI$
SUBH	:QI:	$:(1/4) \cdot (PI - [QI \cdot \cos(x) - QR \cdot \sin(x)]) \rightarrow ACC$
SACH	:QI:,1	$:(1/2) \cdot (PI - [QI \cdot \cos(x) - QR \cdot \sin(x)]) \rightarrow PI$

\$END

У другому блоці обраховується масштабована величина уявної частини виразу $Q_m \cdot W_N^k$, що рівна $(1/2) \cdot [QI \cdot \cos(x) - QR \cdot \sin(x)]$. Результат зберігається у змінній QI.

Третій блок вираховує дійні значення вихідних змінних P_{m+1} та Q_{m+1} і надалі ділять отримані значення на 2. Тут змінна PR спочатку масштабується з коефіцієнтом 4. Для цього значення я PR зсувається праворуч на два розряди, що відбувається при загрузці цього значення в акумулятор. За рахунок даної операції 16-розрядне двійкове слово відповідатиме його розташування в 32-

розрядному акумуляторі з попередній зсувом слова ліворуч на 14 розрядів (команда LAC PR,4). Після зсуву до значення PR додасться дійсна частина виразу $Q_m \cdot W_N^k$, що зберігається в змінній QR, яку теж масштабують коефіцієнтом 4. Оскільки в QR зберігається значення дійсної частини, що вже масштабоване із коефіцієнтом 2, то при додаванні QR Р та PR потрібно буде виконати зсув двійкового значення на ще один розряд. Для цього при виконанні команди додавання QR із вмістом 32-х розрядного акумулятора, виконується еквівалентний зсув ліворуч на 15розрядів.

Старше слово акумулятора зсувається ліворуч на один розряд, для того щоб отримати значення $(1/2) \cdot (PR + [QR \cdot \cos(x) + QI \cdot \sin(x)])$, яке рівне дійсній частині P_{M-1} , і запам'ятовується у змінній PR. Останній зсув здійснюється при передачі значення, і є масштабованим з коефіцієнтом 4. Для обрахунку дійсної частини із Q_{M-1} із сховища акумулятора вчитується значення що зберігається у змінній QR, тобто:

$$\begin{aligned} & (1/2) \cdot (PR + [QR \cdot \cos(x) + QI \cdot \sin(x)]) - (1/2) \cdot [QR \cdot \cos(x) + QI \cdot \sin(x)] = \\ & = (1/4) \cdot (PR - [QR \cdot \cos(x) + QI \cdot \sin(x)]). \end{aligned}$$

Отримане значення зберігається в змінній QR. Четвертий блок згідно із аналогічної схемою вираховує уявні значення уявний частин P_{M+1} та Q_{M-1} .

Потрібно відмітити, що всі масштабування виконуються зсуваючими пристроями процесора і не потребують додатковий витрат часу.

Розглянути макрос BUTFLY, реалізує одну операцію алгоритму ШПФ. Для обрахунку ж послідовності, що має довжину N, макрос повинен працювати $(N/2)\log_2 N$ раз. При обрахунку ж 8-точкового ШПФ макрос повинен викликатись дванадцять разів. При цьому вхідна послідовність $x[p]$ повинна бути впорядкована у відповідності у відповідності із принципом біт-інверсної адресації.

Нижче наведена програма, що реалізує 8-точкове ШПФ. В програмі значення вихідної послідовності вводяться із порта PA0 і розміщуються в біт-інверсному

порядку в блоці Н0. При цьому вводяться тільки дійсні значення, які розміщуються від початку блоку, по парним адресам. Результати виводяться через порт РА1 в початковому порядку. Виклик макроса, виконується у відповідності із граф-схемою 8-точкового ШПФ, що згадувалась вище. Величини поворотних коефіцієнтів, зберігається у зовнішній пам'яті, починаючи з адреси 0F400h.

- 8-точкове ШПФ із проріджуванням по часу

-

- Розподілення входних та вихідних змінних

X0R	.set	0:
-----	------	----

X0I	.set	1:
-----	------	----

X1R	.set	2:
-----	------	----

X1I	.set	3:
-----	------	----

X2R	.set	4:
-----	------	----

X2I	.set	5:
-----	------	----

...

X7R	.set	14:
-----	------	-----

X7I	.set	15:
-----	------	-----

- Розподілення величин поворотних коефіцієнтів

W0R	.set	16:
-----	------	-----

W0I	.set	17:
-----	------	-----

W1R	.set	18:
-----	------	-----

W1I	.set	19:
-----	------	-----

W2R	.set	20:
-----	------	-----

W2I	.set	21:
-----	------	-----

W3R	.set	22:
-----	------	-----

W3I	.set	32:
-----	------	-----

.text

- Ініціалізація

FFT8	CNFD
------	------

SPM 0

SSXM

LDPK 4

- Введення значень та зберігання в біт-інверсному порядку

LARK AR0,8 ;

LRLK AR1,200h

LARP AR1

RPTK 7

IN *BR0+,PA0

LRLK AR1,210h

RPTK 7

BLKD 0F400.*-

- Перший етап ШПФ

BUTFLY X0R,X0I,X4R,X4I,W0R,W0I

BUTFLY X2R,X2I,X6R,X6I,W0R,W0I

BUTFLY X1R,X1I,X5R,X5I,W0R,W0I

BUTFLY X3R,X3I,X7R,X7I,W0R,W0I

- Другий етап ШПФ

BUTFLY X0R,X0I,X2R,X2I,W0R,W0I

BUTFLY X4R,X4I,X6R,X6I,W2R,W2I

BUTFLY X1R,X1I,X3R,X3I,W0R,W0I

BUTFLY X5R,X5I,X7R,X7I,W2R,W2I

- Третій етап ШПФ

BUTFLY X0R,X0I,X1R,X1I,W0R,W0I

BUTFLY X4R,X4I,X5R,X5I,W1R,W1I

BUTFLY X2R,X2I,X3R,X3I,W2R,W2I

BUTFLY X6R,X6I,X7R,X7I,W3R,W3I

- Вивід результатів у послідовній формі

LRLK AR1,200

RPTK	15
OUT	*+,PA1
RET	

Наведену програму можна покращити, якщо врахувати ті обставини, що в деяких випадках значення повертаючого множника рівне або j або $-j$. В такому випадку не потребується множення на повертаючий множник. Окрім того ефективність першого етапу ШПФ можливо збільшити, якщо використати ШПФ із основою 4.

3.3 Аналіз продуктивності розробленої програми

Проаналізуємо продуктивність запропонованого алгоритму та програми, який зручно оцінювати за числом операцій множення. Узагальненням цього критерію є коефіцієнт продуктивності, який демонструє вигреш у числі необхідних довгих операцій множення при застосуванні запропонованого методу і алгоритму оброблення РС відносно методів оброблення на базі класичних ДПФ [2]:

$$G_S = \frac{C_{FFT}}{C_{DSA}}, \quad (3.2)$$

де C_{FFT} – число довгих операцій множення при виконанні аналізу спектра РС на базі ДПФ;

C_{DSA} – число операцій множення при реалізації запропонованого алгоритму на базі ШПФ.

Спектральний аналіз РС на основі безпосереднього виконання ДПФ вимагає $0,5 \cdot N \cdot \log_2 N$ операцій множення, а для відновлення сигналу у часовій області на базі використання традиційного алгоритму ОДПФ необхідно $2 \cdot N \cdot \log_2 N$ множень [3].

Реалізація цих же процедур оброблення РС згідно запропонованого алгоритму потребує виконання відповідно $0,25 \cdot N \cdot \log_2(0,5 \cdot N) + N$ операцій множення для спектрального аналізу сигналів і $N \cdot \log_2 N$ операцій множення для часового відновлення радіосигналів. Звідки коефіцієнт продуктивності можна знайти таким чином:

$$G_S = \frac{2,5 \cdot N \cdot \log_2 N}{0,25 \cdot N \cdot \log_2(0,5 \cdot N) + N + N \cdot \log_2 N}. \quad (3.3)$$

Графіки залежності коефіцієнта продуктивності від об'єму аналізованої цифрової вибірки РС наведено на рис. 3.2.

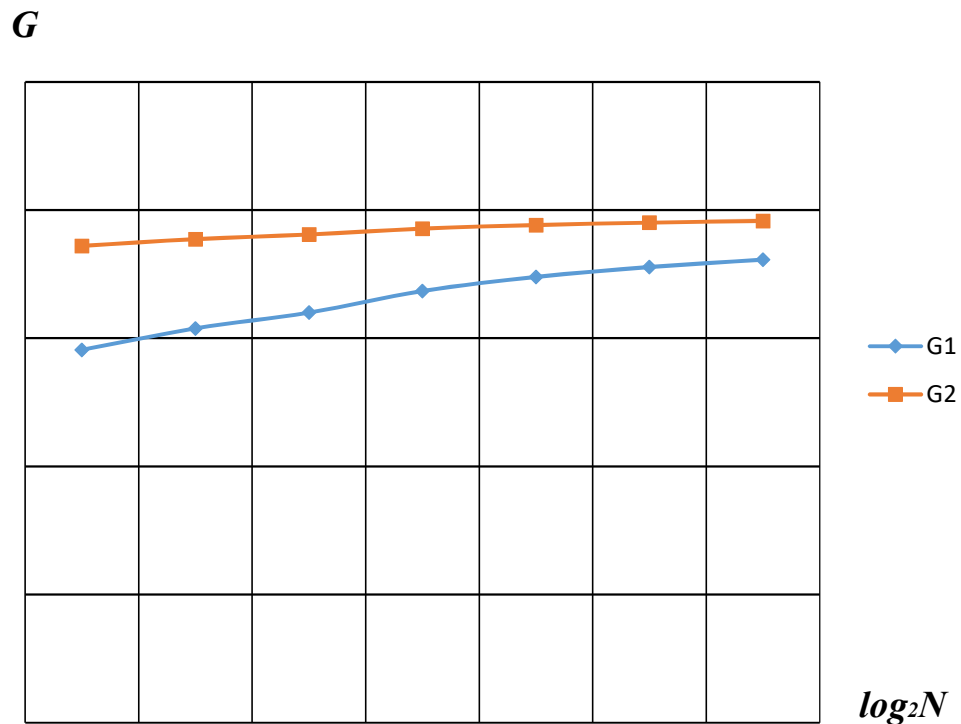


Рисунок 3.2 – Залежність коефіцієнта продуктивності алгоритму від об'єму цифрової вибірки РС

Отже, запропонований алгоритм та розроблена базі цього алгоритму програма спектрального аналізу РС дають можливість значно скоротити час для знаходження спектральних компонентів сигналу та забезпечити режим роботи ПОС в умовно-реальному масштабі часу.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ

Під час дослідження програмно-апаратної реалізації пристрою цифрового оброблення радіосигналів на працівника могли мати вплив такі небезпечні та шкідливі виробничі фактори:

1. Фізичні:

- підвищена запиленість та загазованість повітря робочої зони;
- підвищений рівень шуму на робочому місці;
- підвищена чи понижена вологість повітря;
- підвищений рівень електромагнітного випромінювання;
- підвищена чи понижена іонізація повітря;
- недостатня освітленість робочої зони;
- підвищена яскравість світла; понижена контрастність;
- пряма і відбита блискість.

2. Психофізіологічні: статичне перевантаження та розумове перевантаження.

Відповідно до наведених факторів здійснюємо розробку заходів щодо безпечного виконання поставленого завдання.

4.1. Технічні рішення щодо безпечного виконання роботи

Стандарти щодо організації та обладнання робочих місць передбачають, що кожне робоче місце повинно мати не менше 6 квадратних метрів площі та об'єм приміщення не менше 20 кубічних метрів. На додаток, конструкція робочого місця має забезпечити комфортну робочу позу, що дозволить працівникові працювати без надмірного напруження тіла та уникати перевтоми під час роботи. Важливо зазначити, що збереження здоров'я працівника залежить від правильної робочої пози, оскільки тривале перебування в незручному

положенні може призвести до різних захворювань, таких як сколіоз, варикозне розширення вен чи плоскостопість. Дослідження показують, що робота в зігнутому положенні збільшує витрати енергії на 20%, а при значному нахилі — на 44% в порівнянні з прямим положенням тіла [18].

За потреби особливої концентрації уваги під час виконання робіт суміжні робочі місця операторів необхідно відділяти одне від одного перегородками висотою 1,4 - 2 м.

Робочі місця слід розташовувати відносно джерела природного світла (вікон) таким чином, щоб світло падало збоку, переважно зліва. Також робоче місце має відповідати сучасним вимогам ергономіки:

- стіл повинен мати висоту поверхні 680 - 800 мм., ширину 600 - 1400 мм. і глибину 800 - 1000 мм. (такі параметри забезпечують можливість виконання операцій в зоні досяжності працівника);
- робочий стілець робочий стілець має бути підйомно-поворотним, з можливістю регулювання висоти, бажано зі стаціонарними або змінними підлікотниками і напівм'якою нековзкою поверхнею сидіння, що легко чиститься і не електризується;
- екран комп'ютера має розташовуватися на оптимальній відстані від користувача, що становить 600 – 700 мм., але не менше за 600 мм. з урахуванням літерно-цифрових знаків і символів.

Приміщення, де здійснювалося дослідження програмно-апаратної реалізації пристрою цифрового оброблення радіосигналів за небезпекою ураження електричним струмом належить до приміщень без підвищеної небезпеки (сухе, мало заповишене, з нормальною температурою повітря, ізолюваними підлогами і малим числом заземлених приладів).

Персональні комп'ютери, периферійні пристрої, інше устаткування (апарати управління, контрольно-вимірювальні прилади, світильники), електропроводи та кабелі за виконанням і ступенем захисту мають апаратуру захисту від струму короткого замикання та інших аварійних режимів. Під час

монтажу та експлуатації ліній електромережі необхідно повністю унеможливити виникнення електричного джерела загоряння внаслідок короткого замикання та перевантаження проводів, обмежувати застосування проводів з легкозаймистою ізоляцією і, за можливості, застосовувати негорючу ізоляцію.

Лінія електромережі для живлення персональних комп'ютерів і периферійних пристроїв виконується як окрема групова трипровідна мережа шляхом прокладання фазового, нульового робочого та нульового захисного провідників. Нульовий захисний провідник використовується для заземлення (занулення) електроприймачів.

Усі провідники відповідають номінальним параметрам мережі та навантаження, умовам навколишнього середовища, умовам розподілу провідників, температурному режиму та типам апаратури захисту.

Заземлені конструкції, що знаходяться в приміщеннях, де розміщені робочі місця операторів (батареї опалення, водопровідні труби, кабелі із заземленим відкритим екраном), надійно захищені діелектричними щитками або сітками з метою недопущення потрапляння людини під напругу.

Персональні комп'ютери і периферійні пристрої підключаються до електромережі тільки за допомогою справних штепсельних з'єднань і електророзеток заводського виготовлення. У штепсельних з'єднаннях та електророзетках, крім контактів фазового та нульового робочого провідників, мають бути спеціальні контакти для підключення нульового захисного провідника. Їхня конструкція має бути такою, щоб приєднання нульового захисного провідника відбувалося раніше, ніж приєднання фазового та нульового робочого провідників. Порядок роз'єднання при відключенні має бути зворотним.

4.2. Технічні рішення з гігієни праці та виробничої санітарії

4.2.1. Мікроклімат

Стан повітря робочої зони у виробничому приміщенні називають мікрокліматом або метеорологічними умовами. Мікроклімат або метеорологічні умови виробничих приміщенні, визначаються за такими параметрами:

- температурою повітря у приміщенні, С;
- відотною вологістю повітря, %;
- рухливістю повітря, м/с;
- тепловим випромінюванням, Вт/м³.

Всі ці параметри поодиночі, а також у комплексі впливають на фізіологічну функцію організму його терморегуляцію і визначають самопочуття.

Дослідження програмно-апаратної реалізації пристрою цифрового оброблення радіосигналів за енерговитратами відноситься до категорії І а (енерговитрати до 139Дж/с) [19]. Допустимі параметри мікроклімату для цієї категорії згідно ДСН 3.3.6.042-99 [20] наведені в табл.4.2.1.

Таблиця 4.2.1 – Параметри мікроклімату

Період року	Допустимі		
	t, °C	W, %	V, м/с
Теплий	22-28	44	0,1-0,2
Холодний	21-24	74	0,1

Для створення і автоматичної підтримки в приміщенні незалежно від зовнішніх умов допустимих значень температури, вологості, чистоти і швидкості руху повітря обладнані системами опалення та кондиціонування повітря. Систематично проводиться вологе прибирання.

4.2.2. Склад повітря робочої зони

Оточуюче нас повітря (атмосфера) є найважливішим фактором забезпечення життя. В природних умовах повітря, як правило, не забруднене отруйними речовинами і життю людини не загрожує. Органи чутливості людини не дозволяють з достатньою точністю визначати якість повітря і запобігати загрозі отруєння.

В приміщенні, де здійснюється дослідження програмно-апаратної реалізації пристрою цифрового оброблення радіосигналів, у повітрі можуть перевищувати ГДК такі речовини як вуглекислий газ, пил та озон. Джерелами цих речовин є офісна техніка. Пил потрапляє у приміщення ззовні через відкриті вікна та заноситься на одязі і взутті працівниками.

ГДК шкідливих речовин, які знаходяться в досліджуваному приміщенні, наведені в таблиці 4.2.2.

Таблиця 4.2.2 – ГДК шкідливих речовин у повітрі

Назва речовини	ГДК, мг/м ³	Середньо добова	Клас небезпечності
	Максимально разова		
Вуглекислий газ	3	1	4
Пил нетоксичний	0,4	0,14	4
Озон	0,16	0,03	4

Рівні позитивних і негативних іонів у повітрі мають відповідати санітарно-гігієнічним нормам (табл. 4.2.3).

Таблиця 4.2.3 – Рівні іонізації повітря приміщень при роботі на ПК

Рівні	Кількість іонів в 1 см ³	
	n+	n-
Мінімально необхідні	400	600
Оптимальні	1400-3000	3000-4000
Максимально необхідні	40000	40000

Для підтримки допустимих значень мікроклімату та концентрації позитивних та негативних іонів необхідно передбачати установки або прилади зволоження або штучної іонізації, кондиціонування повітря.

4.2.3. Виробниче освітлення

Освітлення відіграє важливу роль у житті людини. Біля 90% інформації сприймається через зоровий канал, тому правильно виконане раціональне освітлення має важливе значення для виконання всіх видів робіт. Недостатня освітленість або її надмірна кількість знижують рівень збудженості центральної нервової системи і, природно, активність усіх життєвих процесів. Раціональне освітлення є важливим фактором загальної культури виробництва. Неможливо забезпечити чистоту та порядок у приміщенні, в якому напівтемрява, світильники брудні або в занедбаному стані.

Приміщення, в яких встановлені персональні комп'ютери, повинні мати природне та штучне освітлення відповідно до ДБН В.2.4-28-2018 [20]. Норми освітленості при штучному освітленні та КПО (для III пояса світлового клімату) при природному та сумісному освітленні зазначені у таблиці 4.2.4.

Таблиця 4.2.4 - Норми освітленості в приміщенні

Характеристика зорової роботи	Найменший розмір об'єкта розрізнення	Розряд зорової роботи	Підрозряд зорової роботи	Контраст об'єкта розрізнення з фоном	Характеристика фона	Освітленість, лк		КПО, e_n , %			
						Штучне освітлення		Природне освітлення		Сумісне освітлення	
						Комбіноване	Загальне	Верхнє або верхнє	Бокове	Верхнє або верхнє і бокове	Бокове
Дуже високої точності	Від 0,14 до 0,3	II	г	великий	світлий	1000	300	7	2,4	4,2	1,4

Штучне освітлення в досліджуваному приміщенні здійснюється системою загального рівномірного освітлення. У разі переважної роботи з документами, допускається застосування системи комбінованого освітлення (крім системи загального освітлення додатково встановлюються світильники місцевого освітлення).

Для забезпечення достатнього освітлення передбачені такі заходи:

- 1) Максимальне використання бічного природного освітлення.
- 2) Систематичне очищення скла від бруду – не рідше двох разів на рік.
- 3) Штучне освітлення в приміщенні забезпечується світильниками типу РСП08×240 (однолампові) з лампами ДРЛ-240.

4.2.4. Виробничий шум

Виробничий шум – це сукупність різних за гучністю і тоном звуків, які виникають у повітряному середовищі. В досліджуваному приміщенні наявний як постійний, так і непостійний шуми. Нормування непостійного шуму, а також орієнтовна оцінка загального рівня постійного шуму здійснюється скоректованим за частотою загальним рівнем звукового тиску – так званим рівнем звуку, який вимірюється в дБА за шкалою «А» шумоміра.

Непостійний шум характеризується еквівалентним рівнем звуку L_A екв., що являє собою середньоквадратичний рівень звуку непостійного шуму, який має такий самий вплив на людину, як і постійний шум.

Для умов виконання роботи допустимі рівні звукового тиску не повинні перевищувати 40 дБА (табл. 4.2.4).

Таблиця 4.2.4 – Допустимі рівні звукового тиску і рівні звуку для постійного широкополосного шуму (згідно ДСН 3.3.6.037-99 [22])

Характер робіт	Допустимі рівні звукового тиску (дБ) в стандартизованих октавних смугах зі середньгеометричними частинами (Гц)									Допустимий рівень звуку, дБА
	32	63	124	240	400	1000	2000	4000	8000	
Виробничі приміщення	86	71	61	44	49	44	42	40	38	40

Рівень шуму в приміщенні не перевищує допустимих значень.

4.2.5. Виробничі випромінювання

Розрізняють природні та штучні джерела електромагнітних полів (ЕМП). У процесі еволюції біосфера постійно перебуває під впливом ЕМП природного походження (природний фон): електричне та магнітне поля Землі, космічні ЕМП, передусім ті, що генеруються Сонцем. У період науково-технічного прогресу людство створило і все ширше використовує штучні джерела ЕМП. У теперішній час ЕМП антропогенного походження значно перевищують природний фон і є тим несприятливим чинником, чий вплив на людину з року в рік зростає.

Значення напруженості електростатичного поля на робочих місцях (як у зоні екрана дисплея, так і на поверхнях обладнання, клавіатури, друкувального пристрою) мають не перевищувати гранично допустимих за ГОСТ 12.1.044-84 [23]. Значення напруженості електромагнітних полів на робочих місцях з ВДТ мають відповідати нормативним значенням (ДСанПіН 3.3.6-2002 [24], ГОСТ 12.1.044-84 [23]). Інтенсивність потоків інфрачервоного випромінювання має не перевищувати допустимих значень відповідно до ГОСТ 12.1.004-88 [24] (табл.4.2.6).

Таблиця. 4.2.6 - Допустимі параметри електромагнітних неіонізуючих випромінювань і електростатистичного поля

Види поля	Допустима поверхнева щільність потоку енергії, Вт/кв.м
Електромагнітне поле оптичного діапазону в ультрафіолетовій частині спектру УФ-С (220 — 280 нм)	0,001
Електромагнітне поле оптичного діапазону в ультрафіолетовій частині спектру УФ-В (280 — 320 нм)	0,01
Електромагнітне поле оптичного діапазону в ультрафіолетовій частині спектру УФ-А (320 — 400 нм)	10,0
Електромагнітне поле оптичного діапазону в видимій частині спектру 400 — 760 нм	10,0
Електромагнітне поле оптичного діапазону в інфрачервоній частині спектру 0,76 — 10,0 мкм	34,0 — 70,0
Напруженість електричного поля відеодисплейного терміналу	20кВ/м

Для дотримання наведених нормативів слід використовувати офісну техніку з сертифікатом якості та дотримуватися встановлених режимів праці та відпочинку з ПК.

4.3. Пожежна безпека

Пожежна безпека – стан об’єкта, при якому з регламентованою ймовірністю відкидається можливість виникнення та розвиток пожежі, і впливу на людей її небезпечних факторів, а також забезпечується захист матеріальних цінностей.

З урахуванням ДСТУ Б В.1.1-36:2016 [26] приміщення, де здійснюється дослідження програмно-апаратної реалізації пристрою цифрового оброблення радіосигналів відноситься до категорії вибухопожежонебезпеки В (тверді горючі та важкогорючі речовини і матеріали, за умови, що приміщення, в яких вони знаходяться, не відносяться до категорій А, Б і питома пожежне навантаження для твердих і рідких легкозаймистих та горючих речовин на окремих ділянках площею не менше 10 м² кожна перевищує 180 МДж/м²).

Клас приміщення і зон з вибухо- і пожежонебезпеки – П-Па (приміщення, у якому знаходяться тверді горючі речовини та матеріали) [27].

4.3.1. Технічні рішення системи запобігання пожежі

Усі заходи системи запобігання пожежі в приміщенні можна поділити на організаційні, технічні, режимні та експлуатаційні.

Організаційні заходи пожежної безпеки передбачають: організацію пожежної охорони на об’єкті, проведення навчань з питань пожежної безпеки (включаючи інструктажі та пожежно-технічні мінімуми), застосування наочних засобів протипожежної пропаганди та агітації, проведення перевірок, оглядів стану пожежної безпеки приміщень, будівель, об’єкта в цілому та ін.

До технічних заходів належать: суворе дотримання правил і норм, визначених чинними нормативними документами при реконструкції приміщень, будівель та об'єктів, технічному переоснащенні виробництва, експлуатації чи можливому переобладнанні електромереж, опалення, вентиляції, освітлення і т.і.

Заходи режимного характеру передбачають заборону куріння та застосування відкритого вогню в недозволених місцях, недопущення появи сторонніх осіб у вибухонебезпечних приміщеннях чи об'єктах, регламентацію пожежної безпеки при проведенні вогневих робіт тощо.

Експлуатаційні заходи охоплюють своєчасне проведення профілактичних оглядів, випробувань, ремонтів технологічного та допоміжного устаткування, а також інженерного господарства (електромереж, електроустановок, опалення, вентиляції)

4.3.2. Технічні рішення системи протипожежного захисту

Система протипожежного захисту – це сукупність організаційних заходів а також технічних засобів, спрямованих на запобігання впливу на людей небезпечних чинників пожежі та обмеження матеріальних збитків від неї.

До основних засобів пожежогасіння, що використовуються в приміщеннях такого класу відносять вогнегасники, розміщення яких в приміщеннях позначається встановленим поруч вказівним знаком

Згідно категорії пожежовибухонебезпеки будівлі, класу приміщення і за вибухо- і пожежонебезпекою П-Па та Наказу Міністерства внутрішніх справ України «Про затвердження Правил експлуатації та типових норм належності вогнегасників», в приміщенні має бути встановлено 2 порошкових або вуглекислотних вогнегасники із зарядом речовини від 3 до 4 кг [28].

В цілому приміщення по категорії вибухо- і пожежонебезпечності та ступеню вогнестійкості відповідає нормам, але особливу увагу потрібно звернути на утримання в справному стані засобів протипожежного захисту та

своечасне інформування пожежної охорони про несправність пожежної техніки, впровадження систем протипожежного захисту.

ВИСНОВКИ

У даній бакалаврській дипломній роботі виконано розроблення програмно-апаратної реалізації пристрою цифрового оброблення радіосигналів.

Метою даної бакалаврської дипломної роботи є підвищення продуктивності пристроїв оброблення радіосигналів за рахунок використання програмно-апаратної реалізації методів ЦОС.

В ході виконання бакалаврської дипломної роботи здійснено дослідження методів цифрового оброблення радіосигналів у ТКС.

Встановлено, що основні принципи розробки, яких дотримуються при створенні пристроїв цифрового оброблення РС для сучасних ТКС, полягають у наступному:

- реалізація всіх алгоритмів обробки у цифровому вигляді;
- забезпечення обробки довільних видів радіосигналів;
- мінімізації затримки в отриманні результатів кожного оброблення;
- використання новітньої елементної бази.

Доведено, що сучасний стан елементної бази дозволяє забезпечити аналого-цифрове перетворення радіосигналів для всіх режимів роботи ТКС з використанням основних алгоритмів оброблення в ПОС.

При побудові пристрою оброблення радіосигналів доцільно використовувати такі принципи:

- перетворення радіосигналу в цифрову форму по одноканальній схемі на заданій проміжній частоті;
- розширення смуги фільтра попередньої селекції порівняно з мінімальною необхідною та використання режиму передискретизації з формуванням частотної смуги оброблення після АЦП;
- використання різних методів керування коефіцієнтом підсилення для підтримання максимального рівня радіосигналу у межах лінійної частини амплітудної характеристики ПОС.

Розглянуті методи побудови програмованих засобів обробки сигналів є результатом роботи зі створення пристроїв з цифровим обробленням радіосигналів. Наведені принципи побудови ПОС дозволяють розробити універсальні багатопроцесорні пристрої в класі задач оброблення радіосигналів, архітектура яких не залежить від виду оброблюваних сигналів. Конкретне виконання ПОС визначається лише необхідною продуктивністю обробки, необхідним обсягом пам'яті, протоколами обміну з зовнішніми пристроями та рівнем розвитку елементної бази, що застосовується.

Виконано розробку алгоритму та програми спектрального аналізу РС на базі ШПФ. Аналіз ефективності розробленого алгоритму підтвердив високу продуктивність розробленої програми.

У розділі «Охорона праці» розглянуто технічні рішення щодо безпечного виконання роботи, технічні рішення з гігієни праці та виробничої санітарії та технічні рішення пожежної безпеки.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Методи та засоби цифрового оброблення високочастотних сигналів для систем безпеки та моніторингу: монографія / Г. Г. Бортник, М. В. Васильківський, В. М. Кичак. – Вінниця: ВНТУ, 2020. – 126 с.
2. Методи та засоби первинного цифрового оброблення радіосигналів: монографія / Г. Г. Бортник, М. В. Васильківський, В. М. Кичак. Вінниця: ВНТУ, 2016. – 168 с.
3. Бортник Г.Г. Методи та засоби обробки високочастотних сигналів: монографія / Бортник Г.Г., Кичак В.М. – Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 1998. – 132 с.
4. Аналого-цифрові тракти комп'ютерних систем з цифровим обробленням високочастотних сигналів: монографія / Г. Г. Бортник, В. М. Кичак, О. В. Стальченко. Вінниця: ВНТУ, 2016. – 140 с.
5. Бортник Г.Г., Бортник С.Г., Стальченко О.В. Основи теорії багатоканального зв'язку. - Вінниця: ВНТУ, 2010. – 146 с.
6. Телекомунікаційні системи передачі: підручник / В.М. Кичак, О.М. Шинкарук, Г.Г. Бортник, І.І. Чесановський. – Хмельницький: Видавництво НАДПСУ, 2016. – 424 с.
7. Основи та методи цифрової обробки сигналів: від теорії до практики: навч. посібник / Ю.О. Ушенко, М.С. Гавриляк, М.В. Талах, В.В. Дворжак. – Чернівці : Чернівецький нац. ун-т ім. Ю. Федьковича, 2021. 308 с.
8. Волощук Ю.І. Сигнали та процеси у радіотехніці: підручник, Т.1. – Харків: СМІТ, 2003. – 580 с.
9. Волощук Ю.І. Сигнали та процеси у радіотехніці: підручник, Т.2. – Харків: СМІТ, 2003 – 444 с.
10. Бабак В.П. Обробка сигналів: підручник / В.П. Бабак, В.С. Хандецький, Е. Шрюфер. – К.: Либідь, 1996. – 392 с.

11. Бортник Г. Г. Системи доступу : підручник для вузів / Г. Г. Бортник, В. М. Кичак, О. В. Стальченко. – Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2010. – 308 с.
12. Шинкарук О. М. Приймання та оброблення сигналів : навчальний посібник / О. М. Шинкарук, В. І. Правда, Ю. М. Бойко. – Хмельницький : ХНУ, 2013. – 366 с.
13. Конахович Г.Ф., Мачалін І.О., Пузиренко О.Ю. Теорія електричного зв'язку: навчальний посібник. – К.: Інтехсервіс, 2013. – 368 с.
14. Методи та пристрої оцінювання бітових помилок у телекомунікаційних системах: монографія / В. М. Кичак, Г. Г. Бортник, В. Д. Тромсюк. Вінниця: ВНТУ, 2017. 212 с.
15. Методи та засоби аналого-цифрового перетворення високочастотних сигналів: монографія / Г. Г. Бортник, С.Г. Бортник, В. М. Кичак. – Вінниця: ВНТУ, 2013. 128 с .
16. Бортник Г.Г., Кичак В.М. Цифрова обробка сигналів в телекомунікаційних системах: підручник. – Вінниця : ВНТУ, 2014. – 232 с.
17. ДСТУ ОHSAS 18002:2014. Системи управління гігієною та безпекою праці. Основні принципи виконання вимог ОHSAS 18001:2007 (ОHSAS 18002:2008, IDT). К. : ГП «УкрНИИУЦ», 2016. 21 с.
18. НПАОП 0.00-7.14-18 Вимоги щодо безпеки та захисту здоров'я працівників під час роботи з екранними пристроями. URL: http://sop.zp.ua/norm_праор_0_00-7_14-18_01_ua.php.
19. Гігієнічна класифікація праці (за показниками шкідливості і небезпеки факторів виробничого середовища від 12.08.1986 № 4137-86. - [Електронний ресурс] - Режим доступу: <http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/v4137400-86>
20. ДСН 3.3.6.042-99 Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень. - [Електронний ресурс] - Режим доступу: <http://mozdocs.kiev.ua/view.php?id=1972>
21. ДБН В.2.4-28-20018 Природне і штучне освітлення - [Електронний

ресурс] - Режим доступу: <http://document.ua/prirodne-i-shtuchne-osvitlennja-nor8424.html>

22. ДСН 3.3.6.037-99 Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку. - [Електронний ресурс] - Режим доступу: <http://document.ua/sanitarni-normi-virobnichogo-shumu-ultrazvuku-ta-infrazvuku-nor4878.html>

23. ДСНіПЗ.3.6.096-2002. Державні санітарні норми і правила при роботі з джерелами електромагнітних полів. URL: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/z0203-03>.

24. ДСанПіН 3.3.6-2002 Державні санітарні норми і правила при роботі з джерелами електромагнітних полів - [Електронний ресурс] - Режим доступу: <http://zakon.nau.ua/doc/?code=z0203-03>

25. НПАОП 0.00-7.11-12. Загальні вимоги стосовно забезпечення роботодавцями охорони праці працівників. URL: <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0226-12>.

26. ДСТУ Б В.1.1-36:2016 Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпек. URL: https://dbn.co.ua/load/normativy/dstu/dstu_b_v_1_1_36/4-1-0-1749.

27. ДБН В.1.1-7:2016 Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги. URL: http://www.poliplast.ua/doc/dbn_v.1.1-7-2002.pdf.

28. Наказ Міністерства внутрішніх справ України «Про затвердження Правил експлуатації та типових норм належності вогнегасників». URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0224-18#Text>.

ДОДАТКИ

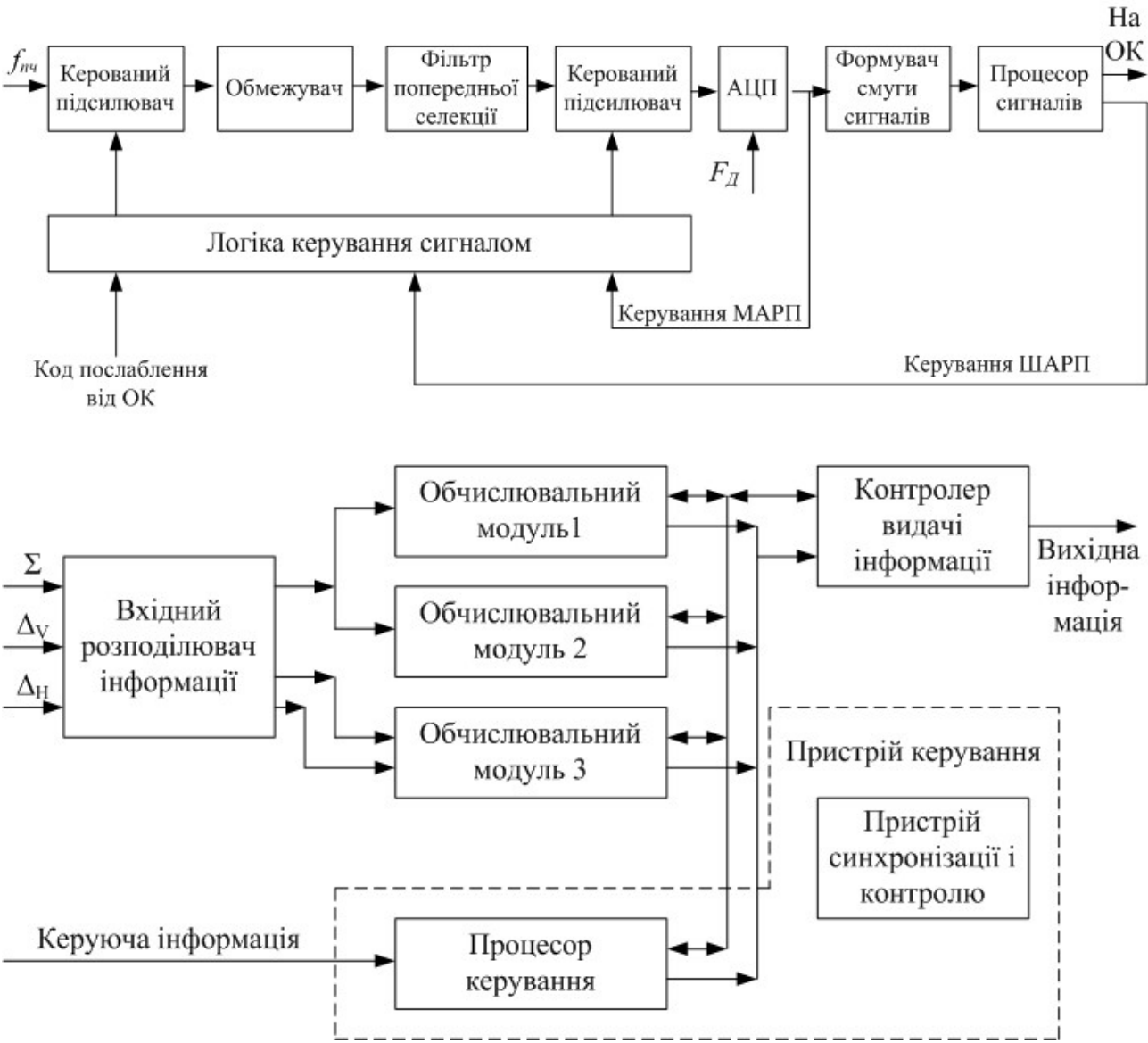
Додаток А
(обов'язковий)

ІЛЮСТРАТИВНА ЧАСТИНА

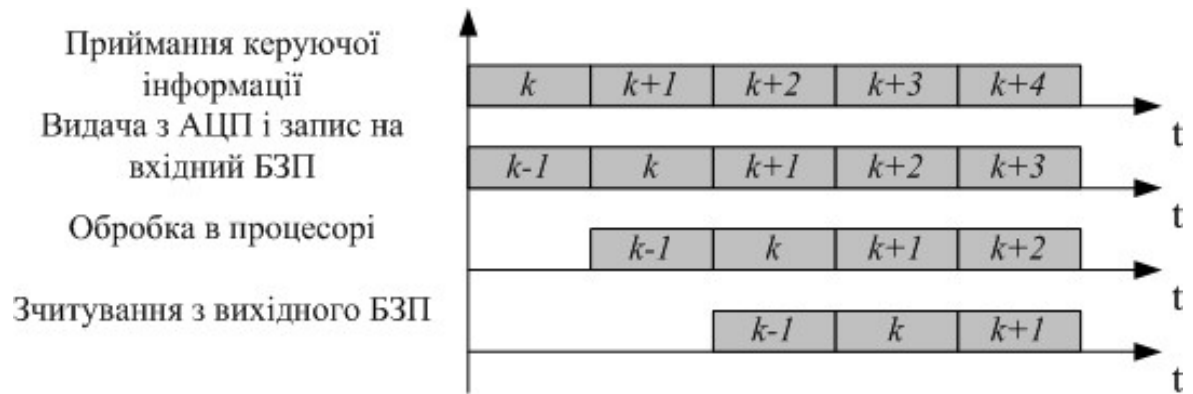
**ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОГРАМНО-АПАРАТНИХ РЕАЛІЗАЦІЙ ДЕКОДЕРІВ
ШИРОКОСМУГОВИХ СИГНАЛІВ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ СИСТЕМ**

назва бакалаврської дипломної роботи

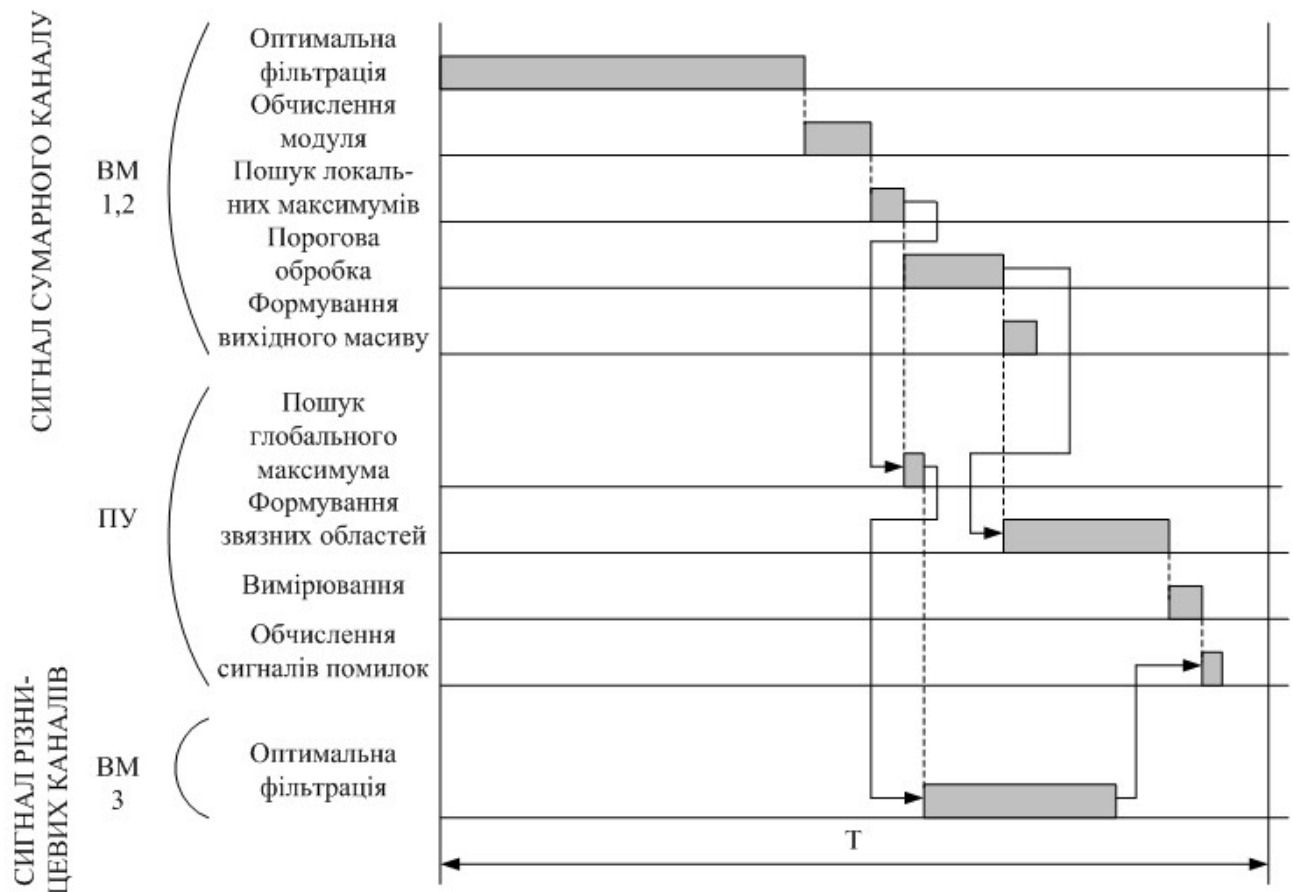
Пристрій обробки радіосигналів. Структурна електрична схема



Часова діаграма роботи конвеєра



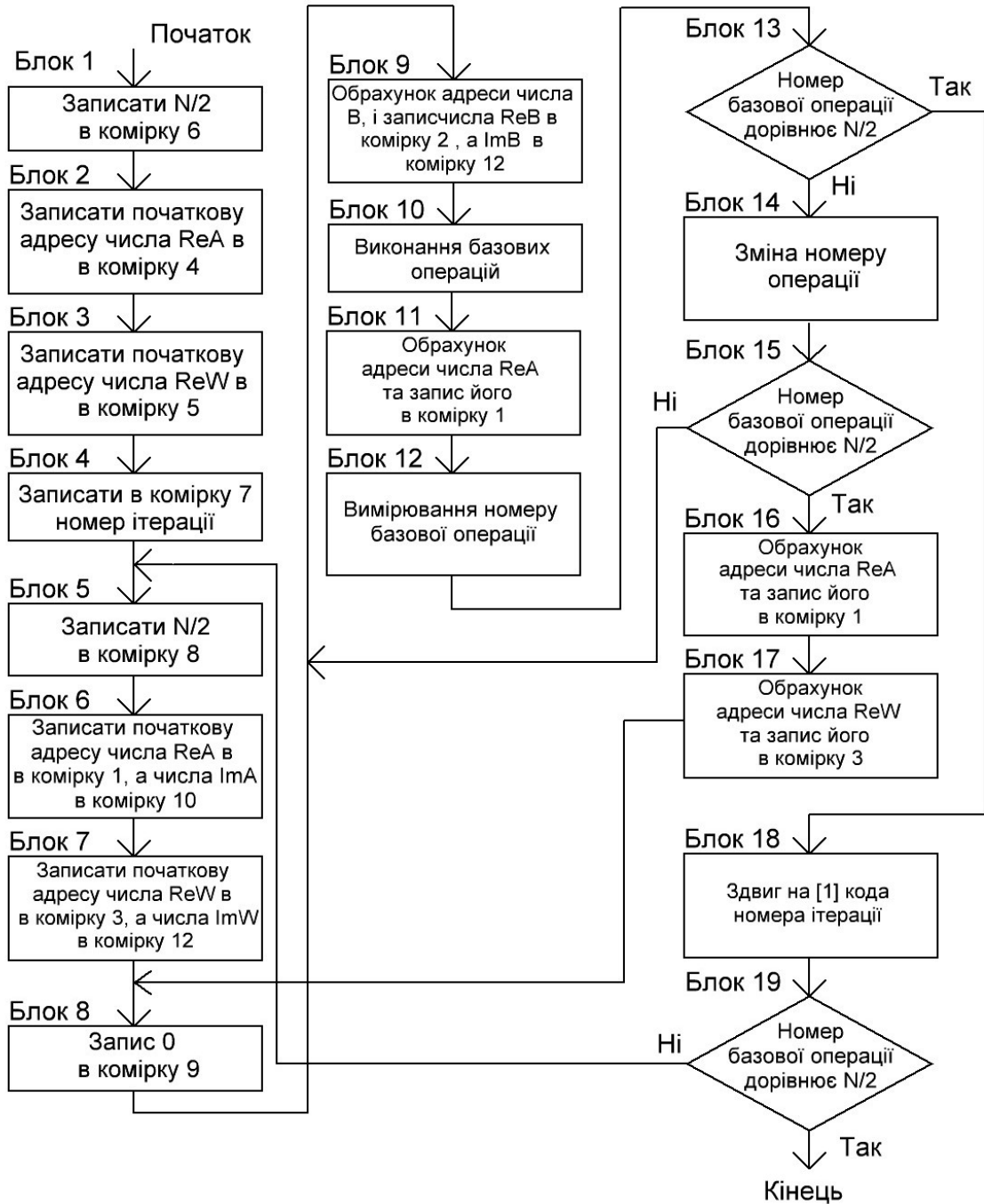
Часова діаграма оброблення квазінеперервного сигналу в ПОС



Час виконання алгоритмів оброблення РС

Алгоритм	Час оброблення, мкс	
	ЛЧМ-імпульс	Квазінеперервний сигнал
Перетворення формату вхідного масиву	41	79
Вагове оброблення вхідного масиву	-	40
ШПФ	205	597
Множення на частотну характеристику	41	-
Вагове оброблення спектра сигналу	21	-
Зворотне ШПФ	205	-
Внутрішньоімпульсне когерентне накопичення	-	205
Обчислення модулів масиву фільтрів	47	92
Формування масиву відгуків узгоджених фільтрів для видачі	5	10
Порогове оброблення зі стабілізацією вірогідності хибних тривог	79	154
Вимірювання параметрів (для 32 сигналів)	70	70
Знаходження глобального максимуму	-	6
Вагове оброблення сигналу різницевих каналів	-	36
ДПФ сигналів різницевих каналів	-	72
Внутрішньоімпульсне когерентне накопичення сигналу різницевих каналів	-	35
Обчислення сигналів помилок	-	1
Всього	714	1397

Блок-схема алгоритму спектрального аналізу радіосигналів на базі ШПФ

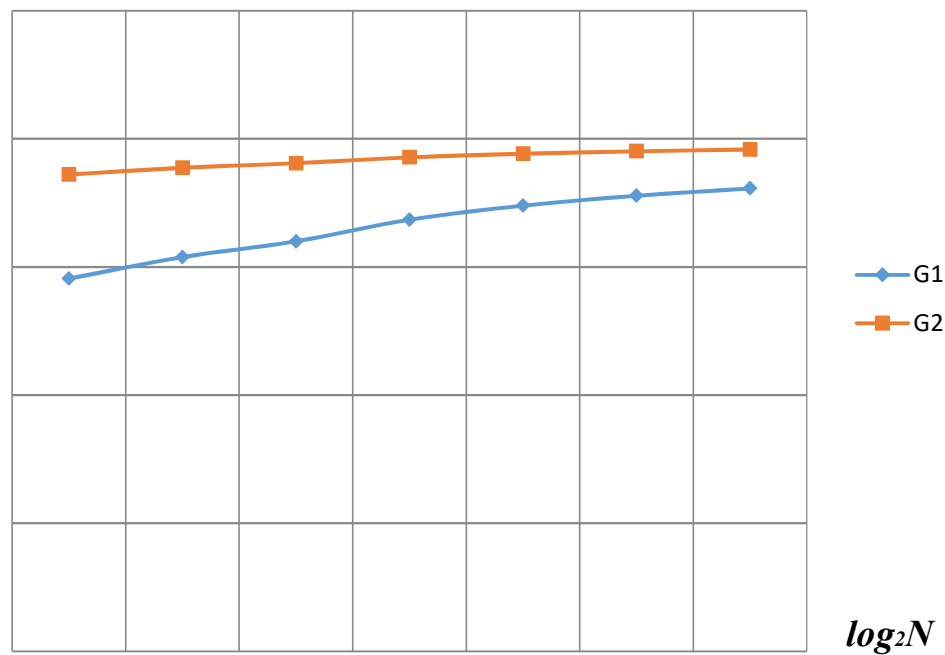


Аналіз продуктивності розробленої програми

Коефіцієнт продуктивності:

$$G_S = \frac{2,5 \cdot N \cdot \log_2 N}{0,25 \cdot N \cdot \log_2 (0,5 \cdot N) + N + N \cdot \log_2 N}.$$

G



**Залежність коефіцієнта продуктивності алгоритму від
об'єму цифрової вибірки РС**

Додаток Б
(обов'язковий)
ПРОТОКОЛ
ПЕРЕВІРКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ
НА НАЯВНІСТЬ ТЕКСТОВИХ ЗАПОЗИЧЕНЬ

Назва роботи: Дослідження програмно-апаратної реалізації пристрою цифрового оброблення радіосигналів

Тип роботи: Бакалаврська дипломна робота
(БДР, МКР)

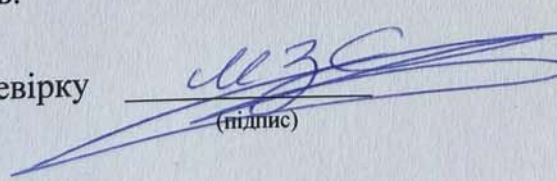
Підрозділ кафедра Інфокомунікаційних систем і технологій, факультет Інформаційних електронних систем
(кафедра, факультет)

Показники звіту подібності Unicheck

Оригінальність 81,8 % Схожість 18,2 %

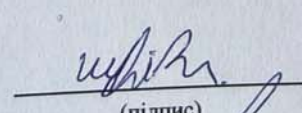
Аналіз звіту подібності (відмітити потрібне):

- ☒ 1. Запозичення, виявлені у роботі, оформлені коректно і не містять ознак плагіату.
- ☐ 2. Виявлені у роботі запозичення не мають ознак плагіату, але їх надмірна кількість викликає сумніви щодо цінності роботи і відсутності самостійності її виконання автором. Роботу направити на розгляд експертної комісії кафедри.
- ☐ 3. Виявлені у роботі запозичення є недобросовісними і мають ознаки плагіату та/або в ній містяться навмисні спотворення тексту, що вказують на спроби приховування недобросовісних запозичень.

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

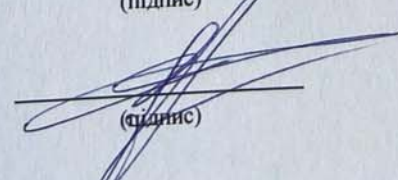
Ознайомлені з повним звітом, який був згенерований системою Unicheck щодо роботи.

Автор роботи


(підпис)

Шпирко О.А.
(прізвище, ініціали)

Керівник роботи


(підпис)

Бортник Г.Г.
(прізвище, ініціали)