

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя
(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет прикладних інформаційних технологій і електроінженерії
(назва факультету)

Кафедра радіотехнічних систем
(повна назва кафедри)

ПОЯСНОВАЛЬНА ЗАПИСКА

до дипломного проекту (роботи)

Магістр

(освітній ступінь (освітньо-кваліфікаційний рівень))

на тему: Обґрунтування вибору цифрового фільтра в каналах радіозв'язку

Виконав: студент (ка) 6 курсу, групи РРм-61

спеціальності (напряму підготовки) 172

“Телекомунікації та радіотехніка”

(шифр і назва спеціальності (напряму підготовки))

Тучапський Л.Л.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Керівник

(підпис)

Дунець В.Л.

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

(підпис)

Дедів І.Ю.

(прізвище та ініціали)

Рецензент

(підпис)

Хвостівський М.О.

(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Тучапський Любомир Любомирович. Обґрунтування вибору цифрового фільтра в каналах радіозв'язку. – Рукопис.

Дипломна робота магістра за спеціальністю 172 Телекомунікації та радіотехніка, Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Тернопіль, 2019.

У дипломній роботі магістра застосовано адаптивний цифровий фільтр для аналізу сигналів при його достовірному виявленні у суміші із завад. Поєднання цифрової фільтрації із статистичним критерієм Неймана-Пірсона дало змогу побудувати метод достовірного виявлення корисного сигналу на базі його математичної моделі у вигляді адитивної суміші дискретного корисного сигналу та завади типу білого гаусівського шуму.

Засобами програмного забезпечення Matlab розроблено програму із графічним інтерфейсом, яка дає змогу провести процес узгодженої фільтрації із метою їх виявлення корисного сигналу у суміш із завадами типу білого гаусівського шуму.

Ключові слова: сигнал, завада, цифровий фільтр, узгоджена фільтрація, критерій Неймана-Пірсона, виявлення, білий гаусівський шум, математична модель, моделювання.

ANNOTATION

Tuchapskyi Liubomyr Liubomyrovych. Rationale for choosing a digital filter in radio channels. Manuscript.

Master's diplom work on specialty 172 Telecommunications and Radio Engineering, Ternopil National Technical University Pulyy, Ternopil, 2019.

In the Master's thesis work coordinated digital filter used to analysis the signal when it is detected in authentic mix of noise. The combination of digital matched filtering of statistical criteria Neyman-Pearson made it possible to build a reliable detection method signal based on its mathematical model as a mixture of additive discrete signal type white noise and Gaussian noise.

Software tools developed Matlab GUI application that allows you to hold a matched filtering process in order to identify their signal into a mixture of hurt type of white Gaussian noise.

Keywords: signal, noise, digital filter, matched filtering, criterion Neyman-Pearson, detection, white Gaussian noise, mathematical model, simulation.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	9
РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД ВІДОМИХ МЕТОДІВ ВИЯВЛЕННЯ СИГНАЛІВ У СУМІШІ ІЗ ЗАВАДАМИ.....	11
1.1 Завади в радіотехнічних системах.....	11
1.1.1 Електромагнітні завади.....	11
1.1.2 Власні шуми радіотехнічних систем.....	13
1.2 Методи виявлення сигналу у суміші із завад.....	20
1.2.1 Метод усереднення.....	20
1.2.2 Фільтрація сигналу.....	21
1.2.3 Кореляція сигналу.....	26
1.3 Висновки до розділу 1.....	28
РОЗДІЛ 2. МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ СИГНАЛУ ПРИ ЇХ ВИЯВЛЕННІ У СУМІШІ ІЗ ЗАВАДАМИ.....	30
2.1 Математична модель сигналу при їх виявленні.....	30
2.2 Математична модель завади при їх виявленні сигналу.....	32
2.3 Висновки до розділу 2.....	35
РОЗДІЛ 3. ЦИФРОВА ФІЛЬТРАЦІЯ СИГНАЛУ ДЛЯ ЙОГО ОПТИМАЛЬНОГО ВИЯВЛЕННЯ У СУМІШІ ІЗ ЗАВАДАМИ.....	36
3.1 Критерій побудови оптимального фільтру.....	36
3.1.1. Середнє квадратичне відхилення.....	37
3.1.2. Амплітудне відношення сигнал/шум.....	38
3.1.3. Енергетичне відношення сигнал/шум.....	38
3.1.4. Вибір критерію.....	38
3.2 Узгоджена фільтрація сигналу у суміші із завадами.....	39
3.3.1. Аналогова фільтрація.....	39
3.3.2. Цифрова фільтрація.....	46
3.4 Алгоритм виділення корисного сигналу у суміші із завадами за допомогою цифрового узгодженого фільтру.....	53

3.5	Висновки до розділу 3	60
РОЗДІЛ 4. ПРОГРАМНА РЕАЛІЗАЦІЯ МЕТОДУ ВИЯВЛЕННЯ СИГНАЛІВ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ		
MATLAB		
4.1	Блок-схема програмної реалізації оптимального виявлення сигналу	61
4.2	Програмна реалізація виявлення сигналу	63
4.3	Результати виявлення сигналу	74
4.4	Висновки до розділу 4	78
РОЗДІЛ 5. СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА		
5.1	Призначення системи комп'ютерної програми MATLAB	79
5.2	Склад комп'ютерної програми MATLAB	81
5.3	Висновки до розділу 5	83
РОЗДІЛ 6. ОБГРУНТУВАННЯ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ		
6.1	Розрахунок витрат на проведення науково-дослідної роботи	83
6.2	Науково-технічна ефективність науково-дослідної роботи	90
6.3	Висновки до розділу 6	95
РОЗДІЛ 7. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ		
7.1	Охорона праці	96
7.2	Безпека в надзвичайних ситуаціях	102
7.3	Висновки до розділу 7	105
РОЗДІЛ 8. ЕКОЛОГІЯ		
8.1	Вплив радіолокаційних станцій на навколишнє середовище	105
8.2	Утилізація використаних антен	108
8.3	Висновки до розділу 8	110
ВИСНОВКИ		
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ		
ДОДАТКИ		

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

АЧХ – амплітудно-частотна характеристика;

НДР – науково-дослідна робота;

ПЗ – програмне забезпечення;

ПК – персональний комп'ютер;

ЦФ – цифрова фільтрація.

ВСТУП

Актуальність теми. Завдання виявлення сигналів на тлі завад залишається однією з найважливіших завдань цифрової обробки сигналів і є актуальною у багатьох прикладних областях. Проблема ефективного аналізу і визначення характеристик сигналів, в тому числі і апріорно невідомих, в присутності завад різної природи на сьогоднішній день являє собою не тільки один з найважливіших напрямків досліджень теорії виявлення сигналів, але і область активних розробок для численних технічних. Різні критерії при проектуванні оптимальних пристроїв обробки сигналів, а також різний характер завад зумовили велике число застосовуваних для вирішення цих завдань підходів. Для вирішення багатьох теоретичних і практичних завдань обробки сигналів в присутності завад фундаментальне значення мають роботи Д.В. Агєєва, П.С. Акімова, Л.С. Гуткіна, В.А. Котельникова, Б.Р. Левіна, Ю.С. Лєзіна, Ю.Г. Сосуліна, В.І. Тихонова, Н. Вінера, Б. Гоулда, А. Оппенгейма, Л. Рабінера і багатьох інших вчених.

У відомих радіотехнічних системах для аналізу сигналів при їх виявленні у суміші із завадами застосовують частотний аналіз спостереження шляхом аналогової або цифрової фільтрації. Зокрема, ефективним методом є цифрова фільтрація. При аналоговій фільтрації коефіцієнт передачі, центральна частота і смуга пропускання абсолютно нестабільні, що неможна сказати про цифрову фільтрацію (ЦФ).

Тому розроблення методу оптимального виявлення сигналу у суміші із завад на базі цифрової фільтрації із підвищеною достовірністю прийнятого рішення є актуальною науковою задачею.

Мета і задачі дослідження. *Метою дослідження є розроблення методу оптимального виявлення сигналу у суміші із завад із підвищеною достовірністю прийнятого рішення.*

Досягнення цієї мети вимагає розв'язання таких задач:

1. Провести аналіз відомих методів виявлення сигналів у суміші із завадами для обґрунтування напрямку наукового дослідження.

2. Побудувати математичну модель сигналу для задачі його оптимального виділення у суміші із завадами.

3. Розробити метод оптимального виявлення сигналу у суміші із завадами та метод визначення достовірності прийнятого рішення.

4. Розробити програмне забезпечення оптимального виявлення сигналу у суміші із завадами та метод визначення достовірності прийнятого рішення

5. Провести експериментальні дослідження над реалізаціями сигналів у суміші із завадим.

Об'єкт дослідження: процес оптимального виявлення сигналу у суміші із завадами із застосуванням узгодженої цифрової фільтрації.

Предмет дослідження: математична модель сигналу у вигляді адитивної суміші корисного сигналу та завади

Наукова новизна отриманих результатів.

Вперше на основі поєднання статистичного критерію Неймана-Пірсона та цифрової узгодженої фільтрації розроблено метод оптимального виявлення сигналу у суміші із завадами.

РОЗДІЛ 1

МЕТОДИ ВИЯВЛЕННЯ СИГНАЛІВ ПРИ ЇХ ВИЯВЛЕННІ У СУМІШІ ІЗ ЗАВАДАМИ

1.1 Завади в радіотехнічних системах

1.1.1 Електромагнітні завади. На вхід радіотехнічних систем (РТС) діє велика кількість електромагнітних коливань. Для конкретного радіоприймального пристрою (РПП) тільки одне з них є корисним сигналом, сукупність інших складає зовнішню завадову обстановку. Окрім сигналів, що заважають РТС, до входу РПП поступає значна кількість завад несигнального характеру, які обумовлені як штучними, так і природними джерелами електромагнітних випромінювань. Класифікація завад за джерелами випромінювання приведена на рис. 1.1.

Якщо не враховувати організовані завади, то дія інших в значній мірі залежить від даного діапазону радіочастот. Так в інтервалі частот $50 \text{ кГц} \div 30 \text{ МГц}$ значний вплив на роботу РТС роблять атмосферні, індустриальні, космічні шуми, завади від тієї, що відображає поверхонь землі і води [1]. У діапазоні УКВ дія вказаних завад різко знижується і найбільша вага придбаває внутрішні шуми перших каскадів РПП, а також шуми антенної системи [2]. У СВЧ діапазоні ці види завад придбавають особливо важливе значення. Всі розглянуті вище завади носять характер флуктуаційного шуму, вони визначають чутливість РПП і слабо впливають на завадозахисну, оскільки проходження їх по паразитних каналах, нелінійні взаємодії у вхідних ланцюгах і рівень щодо корисного сигналу при правильно спроектованій РТС незначні.

Найбільш небезпечними з погляду завадозахисної є взаємні завади, які існують на всіх ділянках радіочастотної осі. Постійне збільшення числа працюючих радіоелектронних засобів (РЕЗ), створення крупних радіотехнічних комплексів з декількома незалежними передавачами, збільшення потужності

випромінюваних сигналів, підвищення чутливості РПП привело до того, що взаємні завади придбавають все більш ви-значальне значення. І якщо проблема взаємних завад давно лежить в діапазоні від 50 кГц до 30 МГц, то в даний час вона все більше значення в УКВ і СВЧ діапазонах.

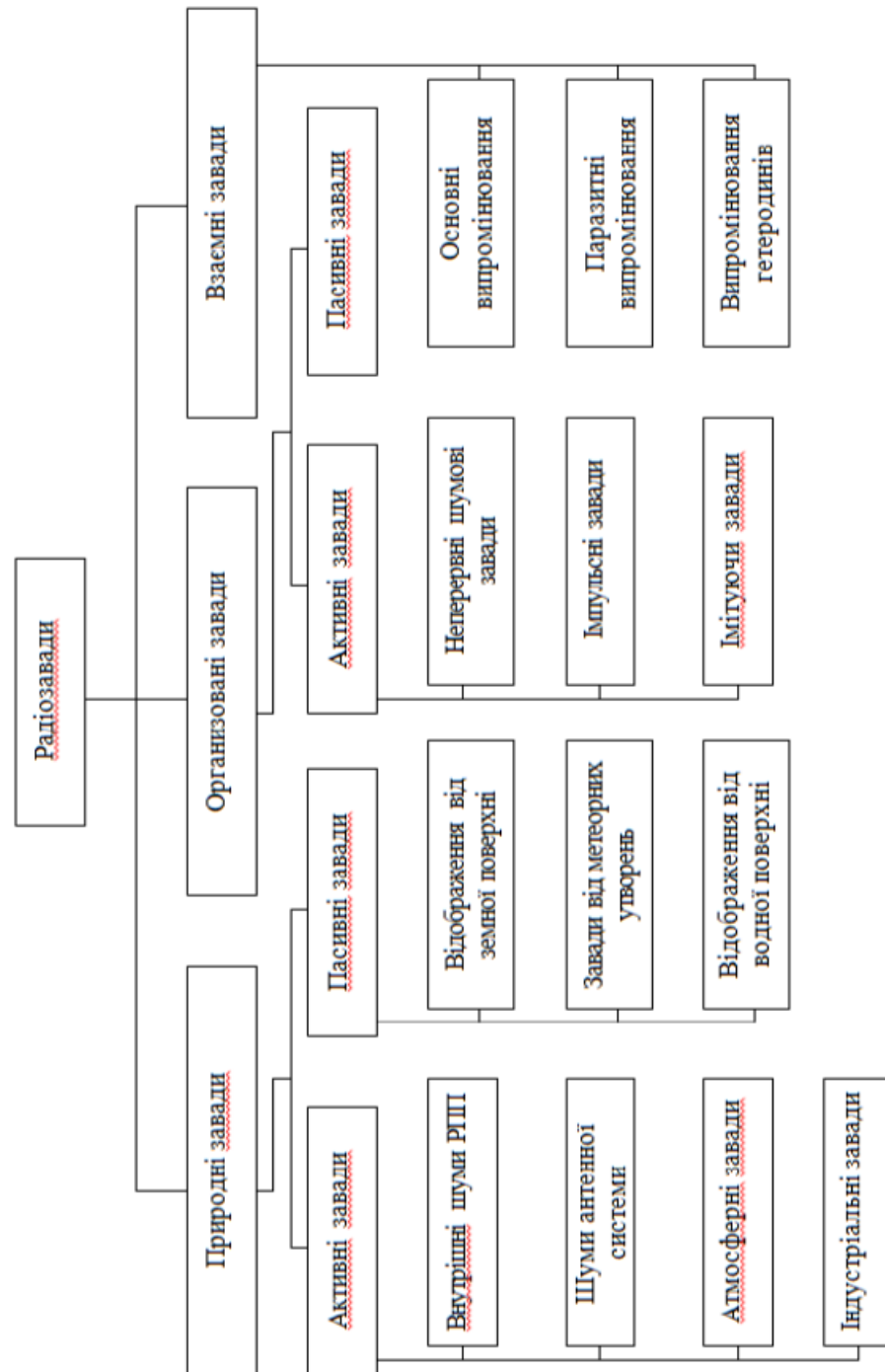


Рисунок 1.1. Класифікація завад за джерелом випромінювання

При побудові моделі заводової обстановки необхідно враховувати особливості завад на окремих ділянках радіочастотної осі. Застосування різних видів модуляції і кодування, різні умови розповсюдження радіохвиль, переважне положення одних видів завад над іншими, все це створює певні труднощі при віддзеркаленні реальної заводової обстановки у вигляді узагальненої моделі.

Питанням аналізу і класифікації електромагнітних завад присвячено багато робіт [3-5], проте єдиного підходу до рішення цієї проблеми немає. Певну трудність в цьому питанні створює і відсутність сталої термінології. Проте, існуюче різноманіття завад робить класифікацію особливо актуальною при розгляді заводозахисної РТС. Найзручнішою представляється провести таку класифікацію на основі єдиного розуміння спектральних параметрів випромінювань і способів управління коливаннями. При цьому перший чинник важливий при розгляді задач заводозахисної РПП, другої – систем декодування і обробки.

Ефективність дії завади багато в чому залежить від виду її модуляції і характеристик досліджуваної РТС. Проте, використовуючи розглянуті результати [4,6] проведених досліджень, присвячених дії певного виду завад на ту, що розглядається РТС, шляхом перебору всіх відомих класів сигналу можна встановити ефективність дії кожного класу. Таку ефективність можна відобразити еквівалентом дії, під яким розуміється відношення потужності завади на вході РТС до потужності шуму, при яких зниження деяких експлуатаційних показників РТС однакове [5].

1.1.2 Власні шуми радіотехнічних систем. Важливим видом адитивних завад є власні шуми активних і пасивних елементів входних кіл РТС. Шумові властивості підсилювача залежать від внутрішнього опору джерела сигналу, входного опору і способу побудови перших каскадів підсилення. Найбільший вплив на рівень шуму роблять параметри активних елементів.

Внутрішні шуми біполярних транзисторів складаються з теплових шумів омичних опорів напівпровідника, шумів дробів струмів р-п-переходів і шумів струморозподілення. Теплові шуми в загальному випадку виникають в області

бази, колектора і емітера, проте на практиці враховують тільки теплові шуми опору бази. Еквівалентна шумова схема біполярного транзистора для включення із загальним емітером представлена на рис. 1.2 [8]. Шумові властивості транзистора на цій схемі моделюються взаємозалежними джерелами шумових ЕРС і струмів. Крім того, необхідно враховувати падіння напруги на внутрішньому опорі джерела сигналу, обумовлене протіканням по ньому шумового струму бази, і ЕРС теплових шумів активної частини внутрішнього опору джерела сигналу.

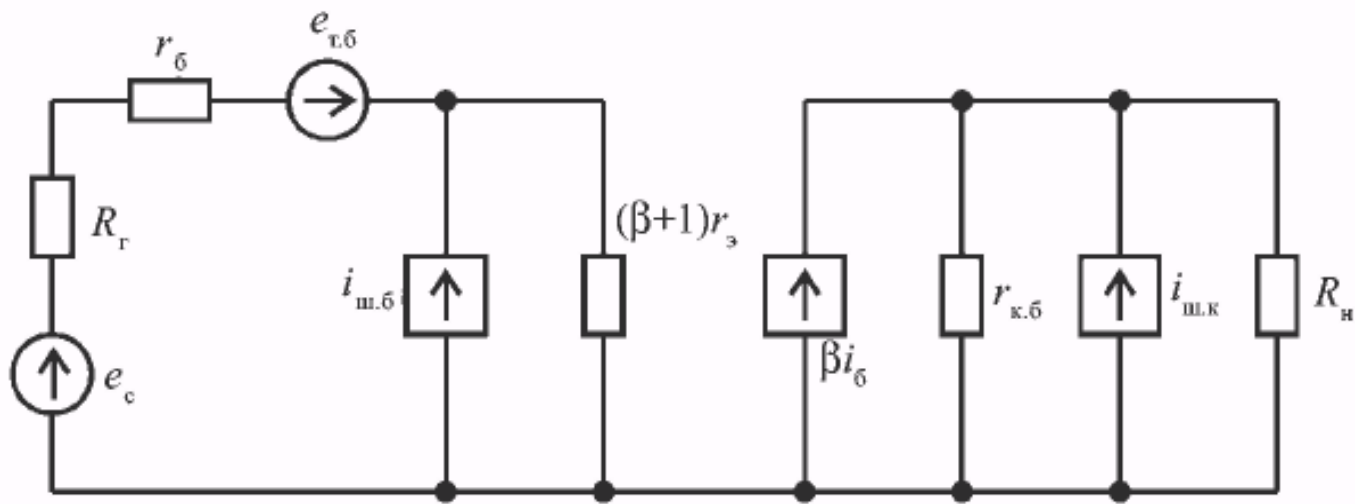


Рисунок 1.2. Еквівалентна шумова схема біполярного транзистора

Теплові шуми бази враховуються генератором шумової ЕРС:

$$e^2_{T,b} = 4kTr_b\Delta f, \quad (1.1)$$

де $e^2_{T,b}$ - ефективне значення ЕРС шумів; k - постійна Больцмана; T - абсолютна температура; r_b - омичний (подовжнє) опір бази; Δf - смуга частот, в якій вимірюється шумова напруга.

Шуми дробів обумовлені випадковим характером інжекції носіїв через емітерний і колекторний переходи і освітою нових носіїв в області бази. Як і теплові шуми, вони мають суцільний рівномірний спектр і враховуються включенням в еквівалентну схему генераторів шумового струму:

$$i_{ш.б}^2 = 2qI_B \Delta f = 2q \frac{I_K}{\beta} \Delta f ;$$

$$i_{ш.к}^2 = 2qI_K \Delta f , \quad (1.2)$$

де $i_{ш.б}$, $i_{ш.к}$ – ефективні значення шумових струмів бази і колектора; q – заряд електрона; I_B – постійний струм бази; I_K – постійний струм колектора; β – коефіцієнт підсилення струму бази.

Не дивлячись на те, що в реальному підсилювальному каскаді шумова напруга, обумовлена всіма джерелами шумів, спостерігається тільки на його виході, в еквівалентній схемі використовують джерела шумів, включені на вході (приведені до входу). Це дає змогу характеризувати шумові властивості і розраховувати відношення сигнал-шум незалежно від коефіцієнта посилення діленням напруги сигналу на вході підсилювача на сумарну напругу шумів, приведених до входу. Тому доцільно на еквівалентній шумовій схемі транзистора перенести джерело шуму дробу струму колектора в ланцюг бази, замінивши його джерелом додатковою шумовий ЕРС $e_{ш.б}$ і виразивши її через крутизну транзистора $S = qI_K/kT$:

$$e_{ш.б} = \frac{i_{ш.к}}{S} = \sqrt{\frac{2k^2 T^2 \Delta f}{qI_K}} . \quad (1.3)$$

Сумарна ЕРС власних шумів транзистора, приведених до входу, визначиться співвідношенням

$$e_{ш} = \left[e_{т.б}^2 + e_{ш.б}^2 \right]^2 = \sqrt{4kT \left(r_B + \frac{kT}{2qI_K} \right) \Delta f} . \quad (1.4)$$

Еквівалентна шумова схема транзистора, що враховує всі джерела шумів, приведені до входу, представлена на рис. 1.3, де $e_{ш.г}$ - ефективне значення ЕРС теплових шумів внутрішнього опору джерела сигналу:

$$e_{ш.г}^2 = 4kTR_{г}\Delta f .$$

Як впливає із співвідношень (1.1)-(1.4), шуми підсилювального каскаду на біполярному транзисторі визначаються параметрами транзистора, температурою навколишнього середовища і режимом роботи по постійному струму.

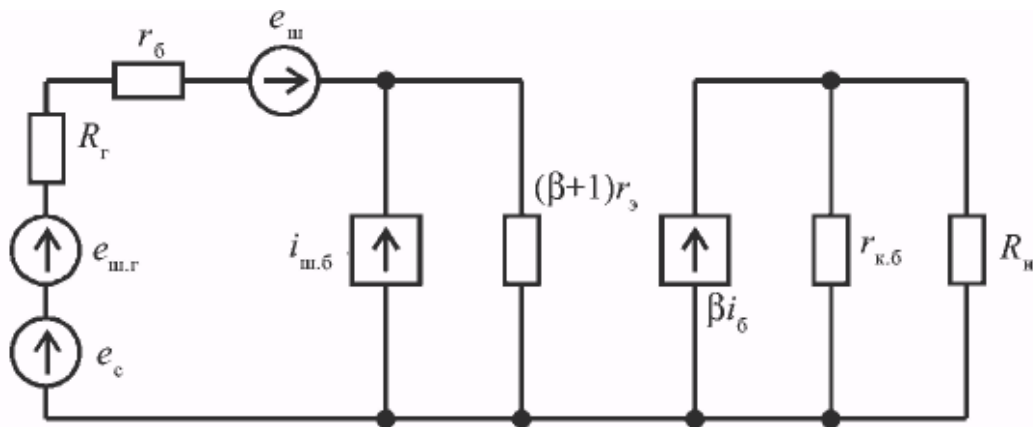


Рисунок 1.3. Еквівалентна шумова схема транзистора з приведеними до входу джерелами шумів

Важливою особливістю транзисторів є зростання рівня шумів на низьких частотах. Низькочастотний надмірний шум (шум мерехтіння, флікер-шум, шум типу $1/f$) пов'язаний з процесами генерації-рекомбінації вільних носіїв заряду в напівпровіднику. Флуктуації процесу рекомбінації дірок і електронів описуються механізмом захоплення пастками, які обумовлені дефектами кристала в об'ємі і на поверхні. Строга теорія надмірних шумів, яка дозволяла б визначати їх рівень по заданому режиму транзистора і малосигнальними параметрам, недостатньо розроблена. Тому для оцінки рівня шумів

використовують емпіричні співвідношення [8, 11]. Квадрат ефективного значення струму надмірних шумів

$$i_{ш.л}^2 = Af^{-m} \Delta f ,$$

де A – постійна; f - поточна частота. Показник ступеня m приймає значення в межах 0,9-1,5. Множник A має дві складові, одна з яких визначається процесами в області колектора, інша – в області бази. Тому перша складова є функцією колекторної напруги, а друга залежить від рівня інжекції, тобто від величини емітерного струму [8]. Надмірні шуми швидко спадають із зростанням частоти. Частота, на якій рівень спектральної щільності надмірних шумів стає рівним рівню білого шуму, називається частотою зрізу надмірного шуму. Значення звичайно f_i лежить в межах 0,1-1,0 кГц. Абсолютні значення спектральної щільності надмірних шумів для біполярних транзисторів такі, що в області частот нижче можна f_i нехтувати всіма складовими, окрім надмірних шумів [8].

Через особливості у фізиці роботи польові транзистори в порівнянні з біполярними володіють поряд переваг. Перенесення заряду в них здійснюється основними носіями, тому в польових транзисторах менше роль рекомбінаційних процесів. Внаслідок цього виникає можливість роботи при наднизьких температурах, при цьому поліпшуються шумові властивості транзисторів.

У польових транзисторах з р-п-переходом розрізняють дифузійний шум каналу, теплові шуми некерованих опорів каналу біля витоку і стоку, шум дробу затвора, шуми типу $1/f$ в ланцюзі каналу і затвора. Для дифузійного шуму каналу може бути отримане емпіричне співвідношення, що зв'язує значення шумового струму еквівалентного генератора з крутизною прохідної характеристики

$$i_{ш.диф}^2 = a4kTS_g \Delta f ,$$

де a – коефіцієнт залежить від напруги відсічення, довжини каналу і абсолютної температури. При кімнатній температурі приблизно можна вважати $a = 0,75$, що відповідає тепловому шуму каналу. Тепловими шумами некерованих опорів каналу зазвичай можна нехтувати в порівнянні з дифузійним шумом. Це ж відноситься до шуму дробу затвора, який виявляється при низьких температурах [8].

Ефективне значення приведеною до входу ЕРС шумів визначається виразом

$$e_{ш.вх}^2 = \sqrt{\left(4kTR_{\Gamma} + \frac{2,8kT}{S_g}\right)\Delta f}, \quad (1.5)$$

де R_{Γ} - внутрішній опір джерела сигналу; S_g - крутизна транзистора. Таким чином, найменш шумлять польові транзистори з високою крутизною.

Надмірні шуми польових транзисторів не мають строгої фізичної інтерпретації, але, як і в біполярних транзисторах, пов'язані з недосконалістю кристалічної структури напівпровідника. Дослідження п-канальних транзисторів показують, що ефективне значення шумового струму може бути описане співвідношенням

$$i_{ш.л}^2 = c \frac{I_3^{\alpha}}{f^{\gamma}},$$

де c - постійна; I_3 - струм затвора при зворотному зсуві на р-п-переході; $\alpha = 1.6$ лежить в межах 1.2-1.5.

При нормальній температурі надмірні шуми польових транзисторів з р-п-переходом є переважаючими на низьких частотах і зменшуються із зростанням частоти.

Аналіз співвідношень (1.1)-(1.5) показує, що приведений до входу рівень шумової напруги, визначуваний всіма еквівалентними генераторами шуму транзисторних каскадів, істотно залежить від струмів колектора або стоку і величини внутрішнього опору джерела сигналу. Тому як для біполярних, так і

для польових транзисторів при вибраному (заданому) робочому струмі існує оптимальне значення внутрішнього опору джерела, що мінімізує рівень шумів. Частіше виникає ситуація, коли при заданому внутрішньому опорі джерела сигналу оптимізується струм колектора або стоку в робочій точці транзистора. При аналізі шумових властивостей інтегральних операційних підсилювачів також знаходить застосування методика, заснована на описі джерел шуму еквівалентними генераторами шумового струму і ЕРС, включених на вході ОП. Еквівалентна шумова схема операційного підсилювача представлена на рис. 1.4. Квадрат ефективного значення приведеної до входу шумової напруги:

$$U_{ш.ВХ}^2 = e_{ш}^2 + i_{ш.ВХ}^2 R_r^2 + 4kTR_r \Delta f \quad (1.6)$$

де $e_{ш}, i_{ш}$ - відповідно ефективні значення шумовий ЕРС і шумового струму еквівалентних генераторів в заданій смузі частот, а останній доданок враховує теплові шуми внутрішнього опору джерела сигналу в R_r тій же смузі

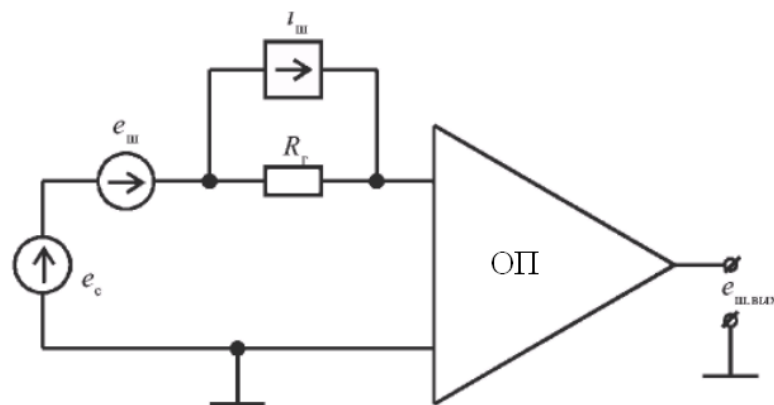


Рисунок 1.4. Еквівалентна шумова схема операційного підсилювача

Шумові характеристики інтегральних ОП приводяться в технічних умовах далеко не для всіх типів мікросхем. Тому співвідношення (1.6) може бути використане при експериментальному дослідженні шумів ОП. Для визначення ефективного значення ЕРС шумів ОП, приведених до входу, досить провести вимірювання вихідної шумової напруги ОП в заданій смузі частот при $R_r = 0$.

Ефективне значення шумового струму можна $i_{ш}$ визначити, змірявши вихідну шумову напругу при великому значенні ($R_r = 100$ кОм і більш) в тій же смузі частот.

Низькочастотний шум типу $1/f$ переважає у всіх ОП в області частот до 1 кГц. Це пов'язано з тим, що основна частка низькочастотних шумів визначається процесами генерації-рекомбінації, обумовленими поверхневими і об'ємними дефектами кристалів. Експериментальні дослідження показують [11], що підсилювачі з мінімальним значеннями мають $e_{ш}$ найбільший рівень шумового струму, і навпаки. Таку залежність між шумовою напругою і струмами можна пов'язати з параметрами і структурою їх вхідних каскадів. Зниження вхідних струмів ОП досягається, як правило, за рахунок ускладнення вхідних каскадів. Це приводить до появи додаткових джерел шуму, які збільшують приведену до входу шумову напругу ОП. Шумовим струмом ОП з польовими транзисторами на вході зазвичай можна нехтувати, оскільки теплові шуми внутрішнього опору джерела сигналу на порядок перевищують складову вхідного шуму, обумовлену шумовим струмом. Шумові характеристики ОП практично не залежать від напруги джерел живлення.

Підсилювачі на біполярних транзисторах мають кращі шумові характеристики, чим ОП з польовими транзисторами на вході при роботі від низькоочих джерел сигналу (R_r менше 100 кОм), причому найменше значення приведеної до входу шумової напруги спостерігається у найбільш простих по структурі підсилювачів. Додаткова опрацювання кристала, наприклад пасивація нітридом кремнію для стабілізації поверхні, значно знижує низькочастотну складову шуму і зменшує частоту зрізу надмірного шуму до одиниць герц [11].

1.2 Методи виділення сигналу у суміші із завад

1.2.1 Метод усереднення [8,16,42]. Проблема виділення малого за величиною сигналу у суміші із завадами, спричиненими наведенням зовнішніх та

внутрішніх завад та артефактів вирішують методом усереднення певної (K) кількості реєстрацій суміші, внаслідок чого дисперсія завад зменшується в \sqrt{K} разів і із зростанням кількості реєстрацій усереднений сигнал прямує до корисного сигналу. Але даний метод пов'язаний з практичною неможливістю одержувати велику кількість реалізацій K , причому не тільки через зростання часу передачі та прийому сигналів по каналах зв'язку. Із збільшенням K зростає нестационарність процесу. Разом з тим, при невеликій кількості графіків і наявності реалізацій, значно спотворених випадковими завадами і артефактами має місце значне відхилення усередненого результату від дійсного значення корисного сигналу. Тому необхідні методи, що дозволили б зареєструвати і оцінити корисний сигнал за мінімальну кількість реалізацій.

1.2.2 Фільтрація сигналу. В даний час перспективним напрямком в області обробки сигналів, спотворених широкосмуговими шумами і завадами, є фільтрація на основі використання кратномасштабного вейвлет-перетворення [48].

Очищення сигналів від шуму може бути реалізована безпосередньо видаленням деталізують коефіцієнтів високочастотних рівнів вейвлет-розкладів [50].

Шумові компоненти сигналів, і особливо великі випадкові викиди значень сигналів, можна розглядати у вигляді множин локальних особливостей сигналів. Процедура вейвлет-перетворення сигналу є, по суті, результатом фільтрації вихідного сигналу фільтром з кінцевою імпульсною характеристикою, що представляє собою дискретизовані відліки базисного вейвлета.

Процедура обробки сигналів на основі застосування кратномасштабних вейвлет-перетворень включає в себе стадію декомпозиції і стадію реконструкції сигналу. Декомпозиція сигналу являє собою розкладання вихідного сигналу на послідовність апроксимуючих і деталізують коефіцієнтів. Фільтрація сигналів від шуму може бути реалізована безпосередньо повним або частковим видаленням деталізують коефіцієнтів високочастотних рівнів вейвлет розкладів [50]. Після стадії декомпозиції сигналу відбувається видалення "шумових компонент

сигналу", з подальшою реконструкцією вихідного сигналу, очищеного від шумів і завад.

Оснoву запропонованої методики становить використання порогових функцій на основі яких відбувається обмеження рівня деталізують коефіцієнтів вейвлет-перетворення.

Задавши певний поріг і «відсікаючи» коефіцієнти нижче цього порога, можна значно знизити рівень шуму. Відповідно до теорії вейвлет-перетворень, низькочастотні (апроксимуючі) коефіцієнти вейвлет-розкладу володіють більшою енергією сигналу, що робить їх більш важливими для використання на стадії реконструкції. Високочастотні коефіцієнти вейвлет-розкладу володіють меншою енергією сигналу, і часто являють собою шумові компоненти вихідного сигналу [48]. Таким чином, в задачах фільтрації сигналу представляється доцільним відкинути деталізують коефіцієнти вейвлет-розкладання, одержувані на ранніх стадіях декомпозиції сигналу.

Основними етапами запропонованого методу обробки сигналу є:

1. Обчислення прямого вейвлет-перетворення сигналу (вибір типу базисної вейвлет-функції і числа рівнів вейвлет-розкладання);
2. Зміна отриманих коефіцієнтів перетворення за певним правилом (вибір алгоритму знаходження граничного значення, вибір порогової функції, вибір стратегії обробки деталізують коефіцієнтів вейвлет-розкладання);
3. Обчислення зворотного вейвлет-перетворення від безлічі модифікованих вейвлет-коефіцієнтів.
4. Виділення корисного сигналу.

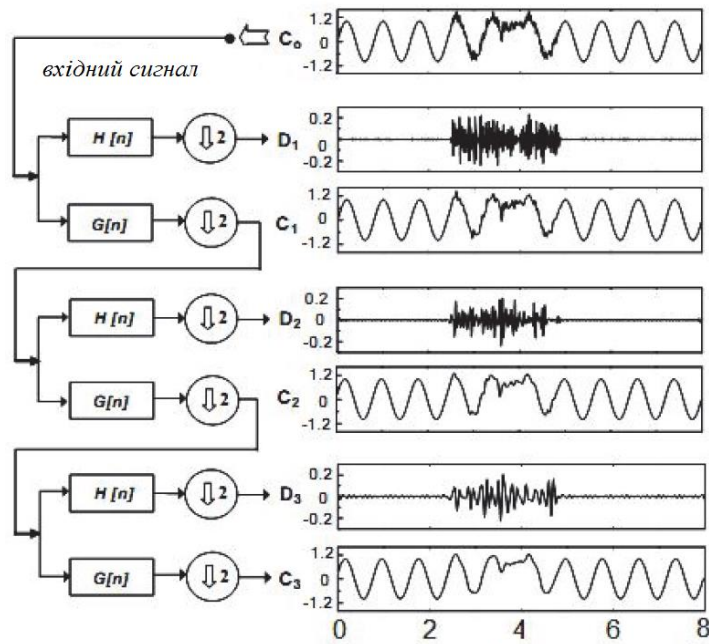


Рисунок 1.8. Структурна схема обробки сигналу на стадії декомпозиції і залежності зміни сигналів на різних етапах обробки від часу

На рис. 1.8 зображено структурна схема декомпозиції сигналу, що включає обробку сигналу високочастотним і низькочастотним фільтрами і процедури децимації ($H(n)$ - імпульсна характеристика високочастотного фільтра; $G(n)$ - імпульсна характеристика низькочастотного фільтра; D - деталізують коефіцієнти вейвлет розкладу; C - апроксимуючі коефіцієнти вейвлет-розкладу), а також залежності зміни сигналу від часу на різних етапах обробки.

На рис. 1.9 наведена блок-схема обробки сигналу на основі застосування вейвлет-перетворення. На першому етапі обробки здійснюється декомпозиція початкового сигналу, далі деталізують коефіцієнти, отримані на першому рівні, прирівнюються до нуля, а на пізніх стадіях проходять порогову обробку, на заключному етапі здійснюється реконструкція сигналу, що включає в себе процедури інтерполяції і зворотного вейвлет-перетворення.

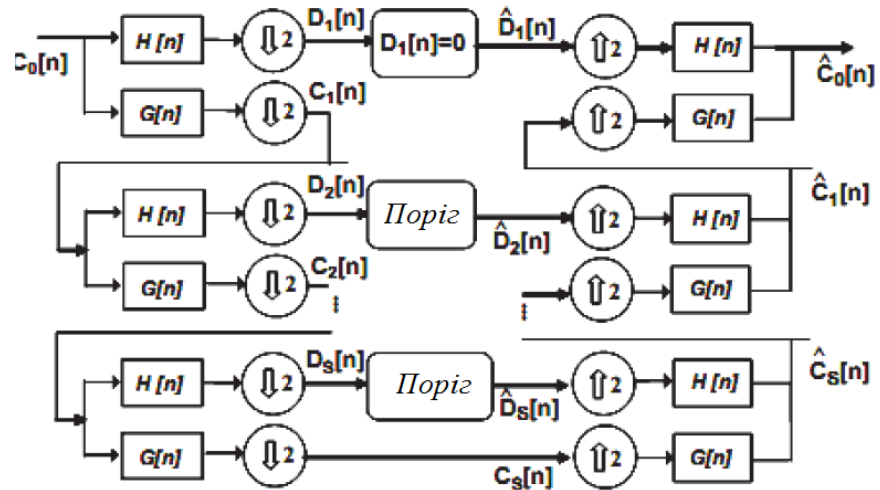


Рисунок 1.9. Блок схема обробки сигналу на основі застосування вейвлет-перетворення

На рис. 1.10 зображено результати фільтрації сигналів на основі вказаного алгоритму вейвлет-перетворення.

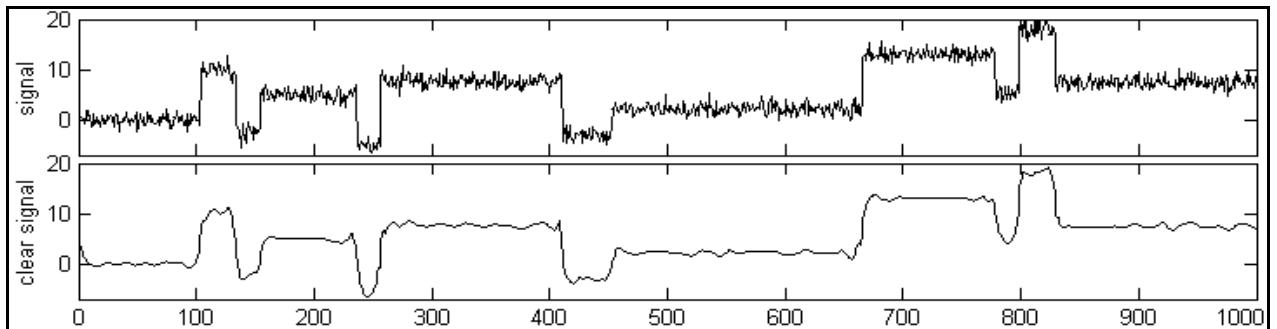


Рисунок 1.10. Результати фільтрації сигналів на основі вейвлет-перетворення [52]

Якість фільтрації сигналу буде визначатися вибором значення порогового рівня. В якості порога в даній роботі пропонується використовувати значення, яке визначається таким чином:

$$T = p\sqrt{2\ln(N)}, \quad (1.7)$$

де T - порогове значення,

N - загальна кількість відліків оброблюваного сигналу,
 p -медіана абсолютного значення послідовності деталізують коефіцієнтів,
що лежать на найпершому рівні розкладання.

Альтернативним і більш простим методом обробки сигналу може служити фільтрація в часовій області на основі використання фільтра змінного середнього (ФСС) [32]:

$$A(n) = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N x(n-j), \quad (1.8)$$

де $x(n)$ - вхідний сигнал, N - порядок фільтра, $A(n)$ - вихідний сигнал.

Застосування ФСС призводить до згладжування вихідного сигналу, і зазвичай, використовується для усунення помилок квантування і для усунення високочастотних шумів в сигналі. Властивості такого роду фільтрів повністю визначаються величиною порядку фільтра N , яка в свою чергу буде залежати від величини частоти дискретизації оброблюваного сигналу.

Для виділення корисного сигналу використовується пороговий виявляч, на вхід якого надходить сигнал після проходження процедури попередньої фільтрації з використанням методу вейвлет-перетворень чи фільтрації змінного середнього. В якості характеристичної точки розпізнавання сигналу використовувалася точка систолічного максимуму.

Пороговий виявляч сигналу складається з порогового пристрою і послідовно з'єднаного детектора максимуму. Граничний пристрій формує ковзне вікно тривалістю 2 секунди, для кожного часового вікна визначається величина порогу (Lev) як медіана вибірки відліків сигналу $A(n)$ в межах даного вікна, на вхід детектора максимуму потрапляють тільки ті відліки сигналу, для яких виконується наступне умова: $A(n) > Lev$.

Використання адаптивного порогового детектора, у якого абсолютне значення порога залежить від величини амплітуди оброблюваного сигналу в межах часового вікна фіксованою тривалості, забезпечує підвищення

ефективності виділення сигналу за рахунок адаптації застосовуваного алгоритму до нестационарному характером сигналу.

Детектор максимуму виробляє виділення характеристичної точки сигналу на основі трьохточкової схеми.

Оцінкою ефективності методів детектування сигналу в умовах присутності завад може служити чутливість виділення характеристичних точок сигналу. Чутливість виділення (S) оцінюється як відносна частка успішно виявлених характеристичних точок ($P+$) до загального числа характеристичних точок (P) у розглянутій реалізації сигналу.

Таким чином, застосування фільтра ковзного середнього може бути доцільним в портативних системах оперативного моніторингу сигналу при обробці в режимі реального часу, в той час як використання методу вейвлет-перетворення може бути реалізовано при комп'ютерній offline обробці сигналів.

1.2.3 Кореляція сигналу. Невід'ємним пристроєм виявляючого тракту сучасної РТС є корелятор, що дозволяє забезпечити максимальне співвідношення сигнал/шум на виході, при адитивній заваді у вигляді білого шуму.

При адитивній заваді у вигляді білого шуму, оптимальний виявляч, що забезпечує максимальне співвідношення сигнал/шум, являє корелятор. При такому підході цифрова реалізація схеми найбільш просто здійснюється шляхом запису послідовності наближень інтегралів згортки:

$$v(t) = \int_0^T S(T - \tau) \xi(t - \tau) d\tau \quad (1.9)$$

де $s(t)$ – опорна реалізація, $\xi(t)$ – прийнятий сигнал, T – інтервал спостереження, τ – часова затримка прийнятого сигналу.

Вираз (1.9) у дискретній формі:

$$v_{uj} = \delta \sum_{i=0}^{L-1} S_{L-1} \xi_{u,k-i} \quad (1.10)$$

де дискретні вибірки

$$v_{uj} = v_u(j\delta), \quad \xi_{uj} = \xi_u(j\delta), \quad S_j = S(j\delta) \quad . \quad (1.11)$$

На рис.1.11 зображено функціональну схему кореляційного виявляча сигналів у суміші із завадами згідно виразу 1.9.

Лінія затримки має загальну затримку, яка рівна інтервалу спостереження T очікуваним значень τ .



Рисунок 1.11. Функціональна схема кореляційного виявляча сигналів у суміші із завадами

Приклад роботи кореляційного виявляча для відеоімпульсу зображено на рис.1.12.

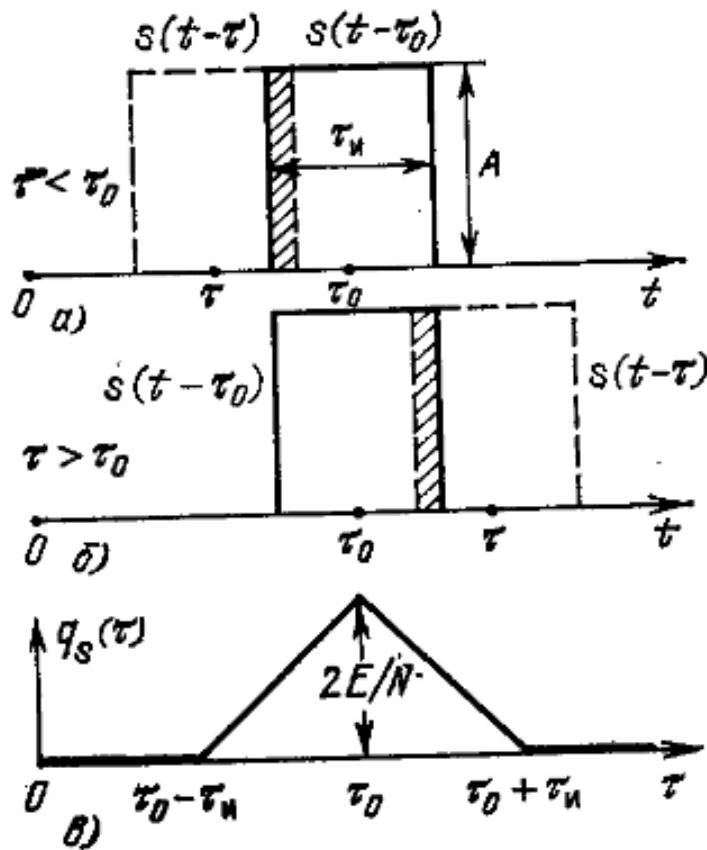


Рисунок 1.12. Сигнальна функція для відеоімпульсу

Вихідний сигнал з кореляційного виявляча (рис.1.12,в) представляє собою рівнобедрений трикутник з основою $2\tau_n$ і висотою $2E/N$. В момент часу τ_0 формується максимальне співвідношення сигнал/шум $2E/N$ (рис.1.12,в) для відоімпульсу при $\tau < \tau_0$ (рис.1.12,а) та відоімпульсу при $\tau > \tau_0$ (рис.1.12,б).

1.5 Висновки до розділу 1

Відомі методи виявлення сигналу на тлі завад потребують великої кількості реалізацій сигналу, що призводить до перенавантаження радіотехнічної техніки та збільшення впливу дестабілізуючих факторів на результати вимірювань. Фільтрація сигналів на базі вейлет-перетворень, усереднення накопичених результатів реєстрації із розпізнаванням і відкиданням аномальних реалізацій дає можливість виявити інформативну складову сигналу за мінімальну кількість повторів реєстрації. Оскільки відомі методи потребують мінімальну тривалість

прийому/передачі сигналу, тому розроблення методу фільтрації, який дасть змогу за однією реалізацією оперативно і точно із заданою достовірністю виявити сигнал у суміші із завадами є актуальною науковою задачею.

РОЗІДЛ 2

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ СИГНАЛУ ПРИ ЇХ ВИЯВЛЕННІ У СУМІШІ ІЗ ЗАВАДАМИ

2.1 Математична модель сигналу при їх виявленні

При побудові систем передачі інформації (рис.2.1) канал відбору, як правило, є заданою ланкою, з якою джерела і блоки повинні бути узгоджені.



Рисунок 2.1. Загальний принцип побудови систем передачі інформації

Канали передачі інформації класифікуються по різних ознаках – по використовуваних лініях (мідні, металічні, алюмінії, безпроводні), по смузі частот (високочастотні, низькочастотні).

Для порівняння можливих способів побудови системи передачі інформації і прогнозування її характеристик без безпосередніх експериментальних випробувань необхідно мати в своєму розпорядженні різні характеристики вхідних в неї каналів. Вичерпний опис каналу, що дає змогу розрахувати або оцінити будь-які його характеристики, називають моделлю каналу. Модель слід відрізнити від часткового опису каналу, що складається лише з окремих характеристик, необхідних в тих або інших конкретних випадках. Загальними вимогами до моделі є її простота (зручність використання) і точність (збіжність з експериментальними даними). Через складність реальних каналів ці вимоги, як правило, суперечливі; при побудові моделі необхідний розумний компроміс.

Модель реального каналу (якщо не цікавитися внутрішніми процесами в системі) зводиться до завдання математичній моделі сигналів на вході і виході каналу (або створюючих його електричних кіл) і зв'язків між ними. Зв'язок сигналів (у загальному випадку багатовимірних, векторних) на вході $s(t)$ виході $\xi(t)$ (останні називають також відгуком або реакцією системи) можна задати системним оператором:

$$\xi(t) = L\{s(t)\}. \quad (2.1)$$

Для опису каналу відбору, слід задати область V_x деякого функціонального простору, яка називається областю допустимих вхідних дій. Вказівку цієї області описує характер вхідних біосигналів, які можуть бути безперервними, дискретними, цифровими детермінованими або випадковими. Аналогічно повинна бути визначена область у V допустимих вихідних сигналів.

Математичною моделлю системи (каналу) називають сукупність системного оператора і L областей допустимих сигналів V_x і V_y . Класифікацію систем (каналів) можна проводити на підставі характерних властивостей їх математичних моделей. Говорять, що система стаціонарна, якщо її відгук на виході не залежить від того, в який момент часу поступає вхідний сигнал. Стаціонарні системи називають системами з постійними в часі параметрами. Якщо властивості системи залежать від того, в який момент часу поступає вхідний сигнал, систему називають нестаціонарною (системою із змінними в часі параметрами або параметричною системою).

Найважливіший принцип класифікації каналів зв'язку заснований на тому, що різні системи по-різному реагують на суму декількох сигналів. Якщо оператор системи у виразі (2.1) задовольняє принципу суперпозиції:

$$\left. \begin{aligned} L[x_1 + x_2] &= L[x_1] + L[x_2] \\ L[\alpha x] &= \alpha L[x] \end{aligned} \right\}, \quad (2.2)$$

де α – довільне число, то система називається лінійною. Якщо умови (2.2) не задовольняються – система називається нелінійною.

Строго кажучи, всі фізичні канали зв'язку і складові їх ланки (кола) в тому або іншому ступені нелінійні. Проте дуже багато каналів вельми точно описуються лінійними моделями. Розглянемо короткий опис моделі лінійного каналу, а саме найпростішу модель для каналу зв'язку – це канал з адитивним шумом, який зображений на рис. 2.2.

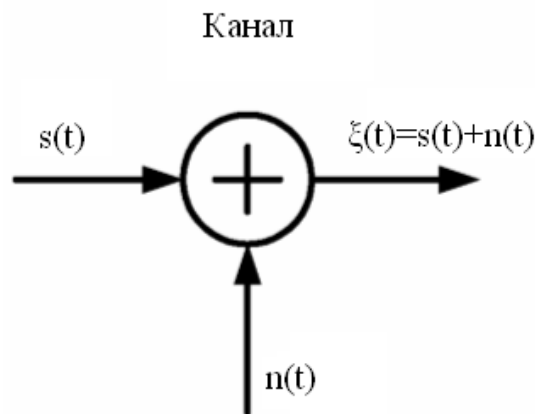


Рисунок 2.2. Модель сигналу в каналах зв'язку систем передачі інформації

У цій моделі сигнал $s(t)$ схильний до дії лише адитивного шумового процесу $n(t)$. Фізично адитивний шум виникає від сторонніх електричних завад, електронних компонентів і підсилювачів в системі та ін.

Якщо шум обумовлений в основному електронними компонентами і підсилювачами в системі, його можна описати як білий шум Гауса.

Як наслідок, результуючу математичну модель зазвичай називають каналом з адитивним шумом Гауса. Оскільки ця модель застосовна до широкого класу фізичних каналів зв'язку і має просту математичну інтерпретацію, вона є переважаючою моделлю каналу при аналізі і синтезі систем передачі інформації.

2.2 Математична модель завади при їх виявленні сигналу

Білий шум є стаціонарним випадковим процесом $n(i\Delta t)$, в якого

автокореляційна функція описується дельта - функцією Дираку і, відповідно, спектральна густина потужності не залежить від частоти і має постійне значення $W(f) = \sigma^2$, рівне дисперсії значень $n(i\Delta t)$. Іншими словами, всі спектральні складові білого шуму мають однакову потужність (як білий колір містить всі кольори видимого спектру). По суті, це випадковий процес, що ідеалізується, з безконечною енергією. Але в разі постійності спектральної щільності потужності випадкового процесу в кінцевому діапазоні частот введення такої ідеалізації дозволяє розробляти досить легкі оптимальні методи фільтрації, що реалізуються. Багато заводів в радіотехніці, в техніці зв'язку і в інших галузях, у тому числі в інформатиці, розглядають як білий шум, якщо ефективна ширина спектру сигналів B_s багато менше ефективної ширини спектру шумів B_n , а спектральна густина потужності шумів слабо змінюється в інтервалі спектру сигналу. Поняття "Білий шум" визначає лише спектральну характеристику випадкового процесу і під це поняття підпадають будь-які випадкові процеси, що мають рівномірний енергетичний спектр і різні закони розподілу.

Якщо частотний діапазон спектру, на якому розглядаються ЕРГ і завади, рівний 0-B, то спектральна густина шуму описується виразом:

$$W_n(f) = \sigma^2, 0 \leq f \leq B; W_n = 0, f > B, \quad (2.5)$$

при цьому кореляційна функція завади описується виразом:

$$R_n(\tau) = \sigma^2 B \sin(2\pi B\tau) / 2\pi B\tau. \quad (2.6)$$

Ефективний інтервал кореляції:

$$T_k = 2 \int_0^{\infty} |R_n(\tau)| d\tau / R_n(0). \quad (2.7)$$

Реальний інтервал кореляції доцільно визначати по ширині головного максимуму функції $R_n(\tau)$ (значення τ при перших пересіченнях нульової лінії), в якому зосереджена основна частина енергії шумів, при цьому $T_k = 1/B$ і $BT_k = 1$.

Як впливає зі всіх цих виразів і наочно видно на рис.2.3, при обмеженні частотного діапазону в шумах з'являється певна кореляція між значеннями, і, чим менше частотний діапазон шумів, тим більше їх радіус кореляції. По суті, обмеження шумів певним частотним діапазоном еквівалентно фільтрації білого шуму частотним фільтром з відповідною шириною смуги пропускання, при цьому, кореляційна функція імпульсного відгуку фільтру згортається з дельта – функцією білого шуму.

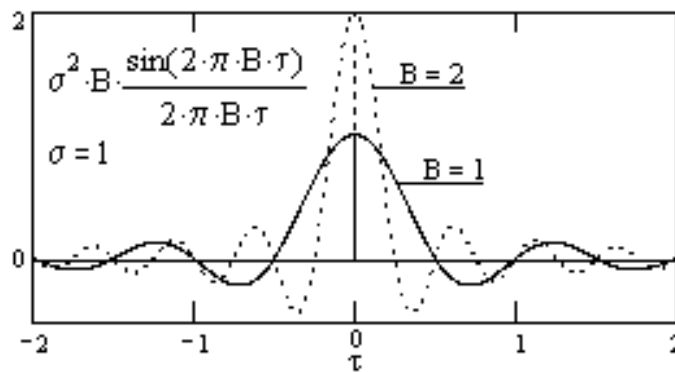


Рисунок 2.3. Функції кореляції білого шуму в частотному інтервалі 0-B.

Модель дискретного білого шуму $n(i\Delta t)$ можна формувати як випадкову за часом (аргументу) послідовність дельта - імпульсів $\delta(k\Delta t)$ з випадковими амплітудними значеннями a_k :

$$n(i\Delta t) = \sum_{k=1}^N a_k \delta(i\Delta t - k\Delta t), \quad (2.8)$$

яка задовольняє умовам статистичної однорідності: постійне середнє число імпульсів в одиницю часу і статистична незалежність появи кожного імпульсу від попередніх. Такий потік імпульсів, який називають пуассоновским, є некорельованим і має рівномірний спектр густини потужності:

$$W_n(\omega) = c^2 = N\sigma_a^2,$$

де N - число імпульсів на інтервалі T реалізації випадкового процесу, σ_a^2 - дисперсія амплітуд імпульсів.

2.2 Висновки до розділу 2

У розділі обґрунтовано математичну модель сигналу для задачі його виявлення у суміші із завадами у вигляді адитивної суміші корисного сигналу та завади типу білого гаусівського шуму.

РОЗДІЛ 3

ЦИФРОВА ФІЛЬТРАЦІЯ СИГНАЛУ ДЛЯ ЙОГО ОПТИМАЛЬНОГО ВИЯВЛЕННЯ У СУМІШІ ІЗ ЗАВАДАМИ

Результати практичних вимірювань, що підлягають аналізу, містять певний корисний сигнал на тлі різного роду завад (шумів), при цьому спектр завад в загальному випадку в тій чи іншій мірі представлений по всьому інтервалу головного частотного діапазону. Іншими словами, спектр корисного сигналу накладений на спектр шумів. У цих умовах поставлено завдання реалізації так званого оптимального фільтру, який, залежно від свого конкретного призначення, дав би змогу досить надійно виробляти виявити корисний сигнал, щонайкраще виділяти сигнал на тлі завад або в максимальній мірі подавити завади без істотного спотворення сигналу.

3.1 Критерій побудови оптимального фільтру

У практиці опрацювання сигналів використовуються три основні критерії побудови оптимальних фільтрів: мінімум середнього квадратичного відхилення профільтрованого сигналу від його дійсного або заданого значення, максимум відношення сигнал/шум і максимум енергетичного відношення сигнал/шум на виході фільтру. При аналізі і синтезі фільтрів використано адитивну модель вхідного сигналу: $\xi(i\Delta t) = s(i\Delta t) + n(i\Delta t)$. Синтез оптимальних фільтрів проводиться з максимальним використанням відомої апріорної інформації як про сигнали, які необхідно виділити, так і про завади. Як правило, використовується інформація про природу корисного сигналу і шуму, про їх спектральний склад, про кореляційні і взаємні кореляційні характеристики. Наявність певних особливостей (відмінностей) в характеристиках сигналу і шуму дає змогу реалізувати фільтр взагалі і оптимальний фільтр зокрема. Якщо такі особливості відсутні, постановка завдання стає некоректною.

3.1.1 Середнє квадратичне відхилення. За наявності завад абсолютно точне виділення корисного сигналу методами лінійної фільтрації, як правило, неможливо. Результат фільтрації:

$$y(k) = h(n) \otimes x(k-n), \quad (3.1)$$

відрізняється від $s(k)$ на величини $\varepsilon(k) = y(k) - s(k)$, які є абсолютними значеннями похибки відтворення корисного сигналу по координатах k . Якість фільтру оцінюється середнім значенням квадрата величини $\varepsilon(k)$:

$$\overline{e^2} = \overline{[y(k) - s(k)]^2}. \quad (3.2)$$

У багатьох завданнях опрацювання сигналів не вимагається відновлення вихідної форми сигналу $s(k)$, оскільки в процесі його подальшої обробки здійснюється перетворення сигналу $s(k)$ в сигнал $z(k)$, форма якого може бути зручнішою для виділення (виміру) яких-небудь інформаційних параметрів сигналу (наприклад - амплітудного значення, ширина сигналу на половині максимального значення і тому подібне). В цьому випадку оптимальний фільтр може проектуватися безпосередньо на здобуття вихідного сигналу $z(k)$. Якість таких фільтрів, що отримали назву формуючі, оцінюється середнім значенням квадрата величини $\varepsilon(k)$ здобуття сигналу заданої форми:

$$\overline{e^2} = \overline{[y(k) - z(k)]^2}. \quad (3.3)$$

Вирази (3.2) і (3.3) дають можливість визначити значення $h(k)$ фільтру по критерію мінімуму середнього квадратичного відхилення вихідного сигналу від його дійсної або заданої форми.

3.1.2 Амплітудне відношення сигнал/шум. При постановці завдання виділення (встановлення факту наявності) в експериментальних даних сигналу відомої форми для проектування фільтру використовується, як правило, критерій максимуму пікового відношення сигнал/шум на виході фільтру:

$$\rho_a = \frac{y_{ekc}}{\sigma}, \quad (3.4)$$

де y_{ekc} - екстремальне (максимальне або мінімальне) значення амплітуди сигналу, σ - середній квадратичний рівень амплітудних значень завад. Якщо в корисному сигналі відсутній чітко виражений екстремум, а сам сигнал досить протяжний по аргументу, то як критерій використовується відношення середніх квадратів амплітуд сигналу і шуму:

$$\bar{c}^2 = \bar{y}^2 / \bar{y}^2$$

де \bar{y}^2 - середній квадрат амплітуди сигналу в межах його форми.

3.1.3. Енергетичне відношення сигнал/шум. При вузько конкретному завданні виділення сигналу міра спотворення самого сигналу може не обмежуватися. Якщо окрім виділення сигналу, як основної мети опрацювання даних, ставиться і завдання оцінки його форми, то в цьому випадку для проектування фільтру зазвичай використовується критерій максимуму енергетичного відношення сигнал/шум:

$$\rho = \frac{E_s}{E_n}, \quad (3.5)$$

де E_s і E_n - енергія відповідно сигналу і шуму на виході фільтру.

3.1.4 Вибір критерію. Враховуючи специфіку кожного із критеріїв та постановку наукової задачі, встановлено, що оптимальним критерієм при

побудові фільтру є максимум відношення сигнал/шум. Вибір цього методу пояснюється тим, що в практиці головною задачею є виділення корисного сигналу у суміші із завадами (встановлення факту присутності сигналу), яка в подальшому вирішує правильність оцінювання його параметрів.

3.2 Узгоджена фільтрація сигналу у суміші із завадами

Вибір узгодженої фільтрації пояснюється тим, що вона використовується при вирішенні завдань виявленні корисного сигналу відомої форми на істотному рівні шумів, значення яких сумарне і може навіть перевищувати значення сигналу. В процесі фільтрації необхідно лише зафіксувати наявність корисного сигналу в масиві даних, якщо він там присутній, при цьому збереження форми сигналу не вимагається. Сама форма корисного сигналу вважається відомою або за статичними даними, або за результатами попередніх вимірів на моделях. Для впевненого виділення сигналу фільтр повинен забезпечити максимально можливу амплітуду вихідного сигналу над рівнем завад і відповідно виконується на основі критерію максимум пікового відношення сигнал/завада.

3.2.1. Аналогова фільтрація. Нехай на вхід лінійного фільтру з імпульсною характеристикою або комплексною частотною характеристикою впливає сума детермінованого сигналу кінцевої тривалості і стаціонарної завади (шуму) з відомою спектральною щільністю:

$$\xi(t) = s(t) + n(t), \quad s(t) \neq 0 \text{ при } 0 \leq t \leq T. \quad (3.6)$$

Отримаємо оптимальний лінійний фільтр, на виході якого досягається найбільше відношення пікового значення сигналу до середньоквадратичного значення шуму.

Позначимо корисний сигнал на виході фільтру через $\tilde{s}(t)$ і заваду через $n(t)$. Відомо, що якщо на вхід лінійної системи з комплексною частотною характеристикою $K(j\omega)$ впливає сигнал $s(t)$, який має комплексний спектр:

$$S(j\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} s(t) \exp(-j\omega t) dt, \quad (3.7)$$

то комплексний спектр сигналу на виході системи визначається добутком $S(j\omega) \cdot K(j\omega)$, а сам вихідний сигнал – виразом

$$\tilde{s}(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} S(j\omega) K(j\omega) \exp(j\omega t) d\omega, \quad (3.8)$$

Спектральна густина завади на виході фільтру рівна $S_n(\omega) \cdot |K(j\omega)|^2$, а дисперсія

$$D = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} S_n(\omega) |K(j\omega)|^2 d\omega, \quad (3.9)$$

На підставі (3.8) і (3.9) отримано вираз для відношення сигнал-шум по потужності на виході фільтру в деякий момент часу t_0 :

$$Q = \frac{|\tilde{s}(t_0)|^2}{D} = \frac{1}{2\pi} \frac{\left| \int_{-\infty}^{\infty} S_n(j\omega) K(j\omega) \exp(j\omega t_0) d\omega \right|^2}{\int_{-\infty}^{\infty} S_n(\omega) |K(j\omega)|^2 d\omega}. \quad (3.10)$$

Завдання полягає в тому, щоб знайти таку функцію $K(j\omega)$, при якій відношення (3.10) в деякий момент часу t_0 досягає максимуму. Це завдання може бути вирішене методом варіаційного числення або ж на базі відомої нерівності

Шварца-Бундовського. Скористаємося цією нерівністю (ПЗ), записавши його в наступному вигляді:

$$\frac{\left| \int_{-\infty}^{\infty} f^*(\omega)g(\omega)d\omega \right|^2}{\int_{-\infty}^{\infty} |g(\omega)|^2 d\omega} \leq \int_{-\infty}^{\infty} |f(\omega)|^2 d\omega.$$

Вважаючи тут

$$f^*(\omega) = S(j\omega)\exp(j\omega t_0)/\sqrt{2\pi S_n(\omega)}, \quad g(\omega) = K(j\omega)\sqrt{S_n(\omega)},$$

маємо

$$Q = \frac{1}{2\pi} \frac{\left| \int_{-\infty}^{\infty} S(j\omega)K(j\omega)\exp(j\omega t_0)d\omega \right|^2}{\int_{-\infty}^{\infty} S_n(\omega)|K(j\omega)|^2 d\omega} \leq \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{|S(\omega)|^2}{S_n(\omega)} d\omega. \quad (3.11)$$

Звідси випливає, що максимально можливе значення відношення сигнал-шум визначається правою частиною цього співвідношення, тобто

$$Q = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{|S(j\omega)|^2}{S_n(\omega)} d\omega. \quad (3.12)$$

Це значення досягається лише при виконанні умови

$$K(j\omega)\sqrt{S_n(\omega)} = c_0 S^*(j\omega)\exp(-j\omega t_0)/\sqrt{2\pi S_n(\omega)},$$

або

$$K(j\omega) = c_0 [S^*(j\omega)/S_n(\omega)]\exp(-j\omega t_0), \quad (3.13)$$

де c_0 – деяка постійна;

t_0 – момент часу, який відповідає найбільшому відношенню пікового значення сигналу до середньоквадратичного значення шуму.

Оскільки дисперсія вихідного шуму (3.12) не залежить від часу, то t_0 слід вважати рівним моменту часу, який відповідає кінцю імпульсного сигналу $s(t)$ або ж тривалості інтервалу спостереження T . Знаючи комплексну частотну характеристику оптимального фільтру (3.13), то по відомій формулі можна знайти імпульсну характеристику. Для з'ясування принципової можливості реалізації отриманого оптимального фільтру необхідно перевірити виконання умови фізичної можливості фільтру. Якщо ця умова не виконується, то слід скористатися методами побудови фізично можливих фільтрів.

Таким чином, комплексна частотна характеристика оптимального лінійного фільтру визначається формулою (3.13), а найбільше відношення сигнал-шум – формулою (3.12).

У деяких застосуваннях потрібно отримати на виході фільтру найбільше не відношення сигнал-шум, а відношення крутості сигналу до середньоквадратичного значення шуму (оптимальні фільтри по крутості сигналу). В такому формулюванні реєстратора викладена методика з тією лише різницею, що тепер замість самого сигналу $s(t)$ потрібно розглядати його похідну за часом $s'(t)$.

Відзначимо, що, варіюючи спектрами сигналу $S(j\omega)$ і шуму $S_n(\omega)$ в виразі (3.12), можна за деяких додаткових умов (наприклад, постійність енергії або потужності сигналу і ін.), що накладаються на систему, знайти найкращу форму спектру сигналу (при якій максимізується Q) і «найкращу» спектральну густину шуму (при якій Q мінімізується).

Назвемо частковий вигляд оптимального лінійного фільтру для випадку, коли завадою $n(t) \in$ БГШ, узгодженим лінійним фільтром. Інакше кажучи, узгоджений фільтр – лінійний фільтр, на виході якого отримується максимально можливе пікове відношення сигнал-шум при реєстрації повністю відомого сигналу на тлі білого гаусівського шуму.

Застосуємо отримані формули (3.12) и (3.13) до даного випадку. Для цього покладемо в них $S_n(\omega) = N/2$. Тоді

$$Q = \frac{2E}{N_0}, \quad (3.14)$$

$$K_0(j\omega) = cS^*(j\omega)\exp(-j\omega t_0), \quad (3.15)$$

де c – деяка постійна, яка характеризує підсилення фільтру; E – енергія сигналу:

$$E = \int_{-\infty}^{\infty} s^2(t)dt = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} |S(j\omega)|^2 d\omega. \quad (3.16)$$

Запишемо спектр вхідного сигналу і комплексну частотну характеристику фільтру у вигляді

$$S(j\omega) = |S(j\omega)|\exp(j\varphi_s(\omega)), \quad K(j\omega) = |K_0(j\omega)|\exp(j\varphi(\omega)). \quad (3.17)$$

Для узгодженого фільтру з (3.15) отримано:

$$|K_0(j\omega)| = k|S(j\omega)|, \quad \varphi(\omega) = -(\varphi_s(\omega) + \omega t_0). \quad (3.18)$$

Видно, що амплітудно-частотна характеристика узгодженого фільтру пропорційна амплітудно-частотному спектру вхідного сигналу (амплітудно-частотна характеристика «узгоджена» із спектром сигналу), а фазово-частотна характеристика дорівнює сумі фазово-частотного спектру сигналу, взятого із зворотнім знаком, і фазового спектру затримки $(-\omega t_0)$.

Підставивши в вираз (3.8) частотну характеристику (3.15), отримано вираз сигналу на виході узгодженого фільтру

$$\begin{aligned}\tilde{s}(t) &= \frac{c}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} |S(j\omega)|^2 \exp[j\omega(t-t_0)] d\omega = \\ &= \frac{K}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} |S(j\omega)|^2 \cos \omega(t-t_0) d\omega.\end{aligned}\tag{3.19}$$

Сигнал на виході узгодженого фільтру визначається лише амплітудно-частотним спектром вхідного сигналу і не залежить від його фазово-частотного спектру. Останнє пояснюється тим, що взаємні фазові зсуви спектральних складових вхідного сигналу $\varphi_s(\omega)$ компенсуються фазово-частотною характеристикою фільтру. Тому всі гармонійні складові одночасно досягають амплітудних значень у момент часу $t = t_0$ і, складаючись, дають пік вихідного сигналу

$$\tilde{s}_{\max}(t_0) = \frac{c}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} |S(j\omega)|^2 d\omega = kE.\tag{3.20}$$

Вкажемо, що узгодженим фільтром (3.15) можна скористатися і при реєстрації повністю відомого сигналу на тлі стаціонарної завади з довільною спектральною густиною $S_n(\omega)$. Для цього достатньо формально пропустити зареєстрований сигнал (3.6) через додатковий лінійний фільтр, який перетворить заваду $n(t)$ в білий шум. Фазово-частотна характеристика фільтру може бути будь-якою, а амплітудно-частотна характеристика такого додаткового «обіляючого» фільтру повинна мати вигляд

$$|\tilde{K}(j\omega)| = \tilde{k} / \sqrt{S_n(\omega)},\tag{3.21}$$

де \tilde{k} – постійна.

На виході обіляючого фільтру завада перетвориться на білий шум з постійною спектральною густиною $S_n(\omega)\tilde{K}(j\omega) = \tilde{k}^2 = const$, а комплексний спектр сигналу буде $\tilde{S}(j\omega) = \tilde{k}S(j\omega) / \sqrt{S_n(\omega)}$.

Після цього можна скористатися отриманими вище виразами. Так, на підставі (3.15) записано комплексну частотну характеристику відповідного узгодженого фільтру

$$K_0(j\omega) = cS^*(j\omega)\exp(-j\omega t_0)/\sqrt{S_n(\omega)}$$

Оптимальний фільтр є послідовним з'єднанням двох фільтрів: обіляючого $\tilde{K}(j\omega)$ і узгодженого $K_0(j\omega)$. Його комплексна частотна характеристика $K(j\omega) = \tilde{K}(j\omega)K_0(j\omega)$ визначається виразом (3.13). Користуючись допустимою свободою вибору фазової характеристики обіляючого фільтру, можна спробувати вибрати її так, щоб оптимальний фільтр був фізично можливим. Якщо спектральну густину завади $S_n(\omega)$ можна апроксимувати раціональною функцією частоти (що практично не обмежено), то для здобуття фізично можливого оптимального лінійного фільтру часто користуються відомим положенням факторизації – розкладанням $S_n(\omega)$ на два комплексно-зв'язані співмножники.

Імпульсна характеристика узгодженого фільтру (3.15) знаходиться виразом

$$\begin{aligned} h_0(t) &= \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} K_0(j\omega)\exp(j\omega t)d\omega = \frac{c}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} S^*(j\omega)\exp[j\omega(t-t_0)]d\omega = \\ &= \frac{c}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} S^*(-j\omega)\exp[j\omega(t-t_0)]d\omega = \frac{c}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} S(j\omega)\exp[j\omega(t-t_0)]d\omega \end{aligned}$$

Враховуючи вираження для вхідного сигналу

$$s(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} S(j\omega)\exp(j\omega t)d\omega,$$

Отримано імпульсну характеристику узгодженого фільтру:

$$h_0(t) = cs(t_0 - t). \quad (3.22)$$

Отже, імпульсна характеристика узгодженого фільтру цілком визначається формою сигналу («узгоджена» з сигналом). Повний сигнал на виході узгодженого фільтру визначається інтегралом згортки

$$\eta(t) = \int_0^t h(t_0 - t + u)\xi(u)du = c \int_0^t s(t_0 - t + u)\xi(u)du, \quad (3.23)$$

а його значення в момент часу $t = t_0 = \tau_n$, відповідний кінцю корисного імпульсу $s(t)$, рівне

$$\eta(\tau_n) = c \int_0^{\tau_n} s(u)\xi(u)du. \quad (3.24)$$

Видно, що слабкі значення корисного імпульсного сигналу $s(t)$, що містяться в $\xi(t)$, додатково ослабляється ваговим множником $s(u)$ і, наоборот, великі значення корисного сигналу посилюються цим множником.

Відзначимо, що серед всіх лінійних фільтрів узгоджений фільтр дає змогу отримувати на виході максимальне відношення пікового значення сигналу до середньоквадратичного значення шуму, яке рівне $\sqrt{2E/N_0}$, причому це значення не залежить від форми сигналу.

3.2.2 Цифрова фільтрація. На практиці все більше використання знаходять не розглянуті аналогові, а цифрові узгоджені фільтри. При цьому з вхідної дії (3.19) періодично, через інтервал часу за допомогою дискретизатора беруться часові відліки $\xi(i\Delta t)$ і послідовність таких відліків впливає на вхід цифрового фільтру:

$$\xi(i\Delta t) = s(i\Delta t) + n(i\Delta t) \text{ або } \xi_i = s_i + n_i, \quad i = \overline{0, m}, \quad i\Delta t \in [0, T]. \quad (3.25)$$

На рис.3.3 зображено структуру виділення із застосуванням узгодженого фільтра.

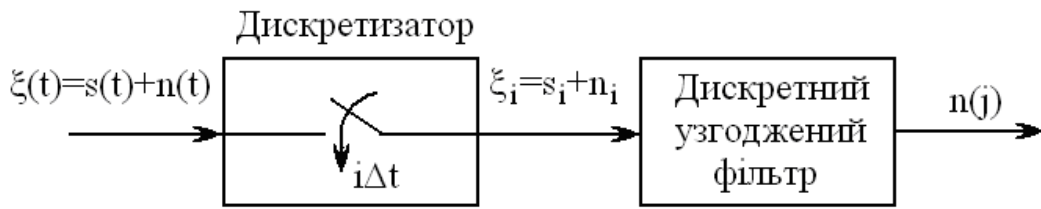


Рисунок 3.3. Дискретна узгоджена фільтрація

Якщо тривалість імпульсного сигналу $s(t)$ кінцева і рівна $\tau_M \leq T$ тобто. $s(t) \neq 0$ при $t \in [0, \tau_M]$, то повне число часових відліків сигналу, взятих через інтервал дискретизації Δt , $N = [\tau_M / \Delta t]$, де квадратні дужки позначають цілу частину числа. Потрібно знайти дискретний лінійний узгоджений фільтр для реєструючої послідовності (3.25), який забезпечить отримання на виході максимального відношення сигнал-шум, і визначити його. Допустимо, що здійснюється ідеальне стробування сигналу (початок і кінець імпульсу точно відомі).

Відзначимо, що оскільки в цифрових фільтрах використовується інформація, що міститься лише в окремих значеннях вхідного сигналу, а не у всій реалізації $\xi(t)$, то вочевидь, що при одних і тих же вихідних передумовах найбільше відношення сигнал-шум на виході цифрового погодженого фільтру завжди менше, ніж на виході відповідного аналогового фільтру. Інакше кажучи, найбільше відношення сигнал-шум на виході аналогового погодженого фільтру є верхньою межею для відношення сигнал-шум на виході відповідного цифрового фільтру.

Сигнал на виході цифрового узгодженого фільтру при ідеальному стробуванні визначається виразом

$$\eta(j) = \sum_{i=0}^j h_i \xi_i, \quad j = \overline{0, N}, \quad (3.26)$$

де h_i – коефіцієнти (імпульсна функція), що підлягають визначенню.

Відношення сигнал-шум на виході фільтру, як і раніше, визначено виразом

$$q = (M\{\eta(N)|n=0\} - M\{\eta(N)|s=0\})^2 (D\{\eta(N)|s=0\})^{-1}, \quad (3.27)$$

де $M\{\eta(N)|n=0\}$ – матсподівання вихідного сигналу, обумовлене лише вхідною послідовністю корисного сигналу $s(t)$ (тобто у відсутність шумових відліків: $n_i = 0$, $i = \overline{0, N}$; $(D\{\eta(m)|s=0\})$ – дисперсія вихідного сигналу при $s_i = 0$, $i = \overline{0, N}$. Для обчислення q необхідно знати ймовірнісні характеристики величин s_i и n_i . Прийmemo як і раніше величини s_i детермінованими, а n_i , $i = \overline{0, N}$ – випадковими, незалежними в сукупності, причому кожна з величин n_i має нульове матсподівання і однакову дисперсію $D_1 = M\{n_i^2\}$, $i = \overline{0, N}$. Виконання вимоги незалежності відлікових значень шуму не є принциповим. Проте при цьому істотно спрощуються обчислення. Разом з цим стосовно реальних корельованих завад воно обмежує число відліків m . Якщо завада є гаусівською і має кінцевий інтервал кореляції τ_k , то принаймні повинна виконуватися нерівність $\Delta > \tau_k$ і, отже $N < \tau_n / \tau_k$. Якщо вказані умови виконані, то

$$q \leq \left(\sum_{i=0}^N h_i s_i \right)^2 / D_1 \sum_{i=0}^N h_i^2. \quad (3.28)$$

Скориставшись нерівністю Коші, маємо $q \leq \sum_{i=0}^N s_i^2 / D_1$. При

$$h_i = c s_i, \quad (3.29)$$

відношення сигнал-шум досягає найбільшого значення

$$q_{\max} = \frac{E_0}{D_1}, \quad E_0 = \sum_{i=1}^N s_i^2. \quad (3.30)$$

Величина E_0 є енергія дискретизованого сигналу.

Відмітимо, що при неідеальному стропуванні число шумових відліків в (3.41) буде довшим за число N відліків сигналу і найбільше відношення сигнал-шум буде менше значення (3.30).

Підставивши коефіцієнти h_i з (3.29) в (3.30), отримано структуру цифрового узгодженого фільтру

$$\eta(j) = c \sum_{i=1}^j s(i\Delta t) \xi(i\Delta t), \quad j = \overline{0, N}. \quad (3.31)$$

Якщо покласти $c = |s_{\max}|^{-1}$, де $s_{\max} = \max \{s_i, i = \overline{0, N}\}$, тобто ввести нормовані коефіцієнти $v_i = s_i |s_{\max}|^{-1}$, то

$$\eta(j) = \sum_{i=1}^j v_i \xi_i, \quad j = \overline{0, N}, \quad |v_i| \leq 1 \quad (3.32)$$

Для детермінованого сигналу коефіцієнти легко розраховуються заздалегідь. Структурна схема цифрового погодженого фільтру зображена на рис. 3.4.

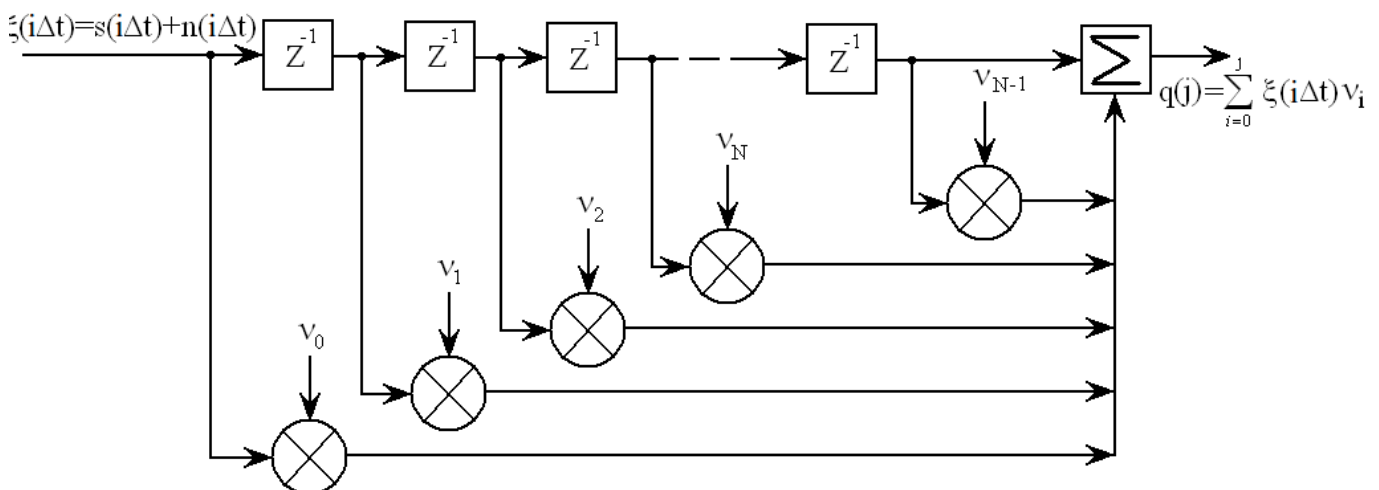


Рисунок 3.4. Структурна схема дискретного узгодженого фільтру

Вкажемо, що найбільше відношення сигнал-шум можна також отримати двома іншими способами, а саме, подачею вхідної послідовності (3.26) на

аналоговий узгоджений фільтр (3.25) або подачею аналогового сигналу на дискретний узгоджений фільтр.

Дійсно, запишемо дискретизуючу вхідну дію (3.25) у вигляді:

$$\xi(i\Delta t) = \xi(t) \sum_{k=0}^j \delta(t - k\Delta t), \quad i = \left[\frac{t}{\Delta t} \right], \quad j = \overline{0, N}$$

де $\delta(x)$ – дельта-функція. Тоді сигнал на виході аналогового узгодженого фільтру з імпульсною характеристикою $h_0(t) = cs(\tau_M - t)$ в момент часу $t_i = i\Delta t$ рівний

$$\begin{aligned} \eta(i\Delta t) &= \int_0^{i\Delta t} h_0(i\Delta t - \tau) \xi(\tau) d\tau = c \int_0^{i\Delta t} s(\tau_M - i\Delta t + \tau) \xi(\tau) \sum_{k=0}^i \delta(\tau - k\Delta t) d\tau = \\ &= c \sum_{k=0}^i s(\tau_M - i\Delta t + k\Delta t) \xi(k\Delta t). \end{aligned}$$

Звідси при $j = N$ і $\tau_M \approx N\Delta t$ маємо

$$\eta(N\Delta t) \approx c \sum_{i=0}^N s(i\Delta t) \xi(i\Delta t).$$

Цей вираз збігається з (3.31) при $j = N$. Тому збережеться колишнє відношення сигнал-шум (3.30). Неважко переконатися, що такий же результат буде отриманий, якщо розглянути аналогову дію $\xi(t)$ на узгоджений «дискретизований» фільтр з імпульсною характеристикою:

$$h(i\Delta t) = h_0(t) \sum_{k=0}^i \delta(t - k\Delta t) = cs_0(\tau_M - t) \sum_{k=0}^i \delta(t - k\Delta t), \quad j = \overline{0, N}$$

Необхідно мати на увазі, що часові відліки як вхідної дії $\xi_i = \xi(i\Delta t)$, так і корисного сигналу $s_i = s(i\Delta t)$ повинні братися синхронно, тобто в одні і ті ж

моменти часу $t_i = i\Delta t$. Для детермінованого сигналу $s(t)$, коли відомий його вигляд, а також моменти появи й закінчення, це легко здійснити.

Вище аналоговий і дискретний узгоджені фільтри були отримані при декількох вихідних передумовах, що відрізняються. У першому випадку адитивний шум $n(t)$ передбачався білим гаусівським, а в другому відліки вважалися незалежними з кінцевою дисперсією, тоді як для білого шуму дисперсія окремих відліків безконечна.

Нехай у вхідній дії (3.6) завада $n(t)$ є білим гаусівським шумом. Тоді непорозуміння, пов'язане з безконечною дисперсією відліків білого шуму, формально можна здолати за допомогою операції згладжування вхідної дії. Як часові відліки братимемо не миттєві їх значення, а усереднені:

$$\xi_i = \xi(i\Delta t) = \frac{1}{\Delta t} \int_{(i-1)\Delta t}^{i\Delta t} \xi(t) dt, \quad s_i = \frac{1}{\Delta t} \int_{(i-1)\Delta t}^{i\Delta t} s(t) dt, \quad n_i = \frac{1}{\Delta t} \int_{(i-1)\Delta t}^{i\Delta t} n(t) dt. \quad (3.33)$$

Така операція при досить малому Δt , ймовірно, не викличе великих погрешностей. Проте тепер дисперсія відліків шуму кінцева і рівна $N/2\Delta t$.

Реалізація операції усереднювання (3.33) передбачає включення до дискретизатора інтегратора із скиданням, що істотно ускладнює схему цифрового фільтру. Проте при теоретичному розгляді вона дає змогу переходити від результатів, отриманих для дискретного часу, до результатів для неперервного часу.

Обговоримо коротко припущення про незалежність часових відліків шуму $n(t)$, яке використовувалося при синтезі дискретного узгодженого фільтру. Реальні завади $n(t)$, як правило, мають кореляційні функції $R_n(\tau)$ з нескінченими крилами, які що асимптотично наближаються до нуля при $\tau \rightarrow \infty$. Тому окремі відліки n_i і n_j , $i \neq j$, в принципі корельовані і, отже, залежні. Врахування цієї залежності не змінює вихідного корисного сигналу, а значення вихідного шуму часто збільшується. Тому найбільше відношення сигнал-шум зазвичай зменшується. Для оцінки цього зменшення і обґрунтування вибору доцільного інтервалу дискретизації за часом

корисно порівняти найбільше відношення сигнал-шум (3.30) з аналогічним відношенням, отриманим при врахуванні корельованості відліків шуму.

Застосовуючи попередню методику до узгодженого фільтру з лініями затримки, неважко показати, що тепер вагові коефіцієнти a_i визначаються системою рівнянь алгебри:

$$\sum_{i=0}^N a_i R_n(j\Delta t - i\Delta t) = s(N\Delta t - j\Delta t), \quad j = \overline{0, N}, \quad (3.34)$$

а найбільше відношення сигнал-шум рівне

$$q_{\max} = \left[\sum_{i=0}^N a_i s(N\Delta t - i\Delta t) \right]^{1/2}. \quad (3.35)$$

Якщо ввести квадратну матрицю R з елементами $R_{ji} = R_n(j\Delta t - i\Delta t)$, $i, j = \overline{0, N}$, і два вектор-стовпці S і A з елементами $s(N\Delta t - i\Delta t)$ і a_i відповідно, то вирази (3.34) і (3.35) можна записати в компактнішій, векторній формі

$$A = R^{-1}S, \quad q_{\max} = (S^T R^{-1}S)^{1/2}. \quad (3.36)$$

Таким чином, при вибраному інтервалі Δt для конкретних сигналу $s(t)$ і завади $n(t)$ із заданою кореляційною функцією $R_n(\tau)$ по формулах (3.36), (3.30), (3.11) і (3.14) можна оцінити програш у відношенні сигнал-шум при цифровому опрацюванні (корельованих і некорельованих відліків шуму) в порівнянні з аналоговою.

При реалізації цифрових узгоджених фільтрів на ПК прагнуть позбавитися від операції множення. Тому замість алгоритму (3.31) часто застосовують одну з наступних трьох його модифікацій:

$$\eta(N) = c \sum_{i=1}^N \operatorname{sgn}(s_i) \xi_i, \quad \eta(N) = c \sum_{i=1}^N s_i \operatorname{sgn}(\xi_i),$$

$$\eta(N) = \sum_{i=1}^N \operatorname{sgn}(s_i) \operatorname{sgn}(\xi_i). \quad (3.37)$$

Природно, що вживання таких спрощених алгоритмів пов'язане з деякими додатковими втратами у відношенні сигнал-шум в порівнянні з (3.30). Ці додаткові втрати неважко обчислити.

3.4 Алгоритм виділення корисного сигналу у суміші із завадами за допомогою цифрового узгодженого фільтру

Нехай експериментально зареєстрований сигнал $\xi(t)$ є сумою дискретного корисного сигналу і завади, типу дискретного білого гаусівського шуму, (згідно математичної моделі (вираз 2.1)) (за ідеєю з [40]):

$$\xi(i\Delta t) = \theta s(i\Delta t) + n(i\Delta t), \quad (3.38)$$

де θ – невідомий параметр.

Задача виділення корисного сигналу $s(i\Delta t)$ є частковим випадком загальної задачі статистичної перевірки гіпотез. Є дві гіпотези H_0 і H_1 . Гіпотеза H_0 відповідає $\theta = 0$ (відсутність корисного сигналу $s(i\Delta t)$), а гіпотеза H_1 відповідає $\theta = 1$ (присутність корисного сигналу $s(i\Delta t)$). По реалізації $\xi(i\Delta t)$, $i\Delta t \in [0, \Delta t N)$, в кінці інтервалу спостереження необхідно прийняти рішення, яка з гіпотез є вірною.

Перед тим, як приступити до вирішення задачі виділення, необхідно визначити критерій оптимальності. Доцільність прийняття того чи іншого критерію визначається характером задачі, а також залежить від того, відомі чи

невідомі апіорні відомості $p_{pr}(H_1)$ і $p_{pr}(H_0) = 1 - p_{pr}(H_1)$.

Критерії, які застосовуються при виявленні сигналу, базуються на порівнянні з деяким порогом h_0 відношення правдоподібності:

$$l = \frac{F(\xi | H_1)}{F(\xi | H_0)} = \exp \left\{ \frac{2}{N_0} \sum_{k=1}^N \xi(i\Delta t) s(i\Delta t) - \frac{1}{N_0} \sum_{k=1}^N s^2(i\Delta t) \right\} \begin{matrix} > \\ < \end{matrix} \begin{matrix} H_1 \\ H_2 \end{matrix} h_0 \quad (3.39)$$

При $l > h_0$ приймається рішення про присутність корисного ПС; якщо $l < h_0$ то констатується відсутність корисного ПС.

В таких випадках, коли апіорна ймовірність присутності і відсутності сигналу відомі, можна записати відношення апостеріорних відомостей:

$$\frac{p_{ps}(H_1)}{p_{ps}(H_0)} = \frac{p_{pr}(H_1)}{p_{pr}(H_0)} \exp \left\{ \frac{2}{N_0} \sum_{k=1}^N \xi(i\Delta t) s(i\Delta t) - \frac{1}{N_0} \sum_{k=1}^N s^2(i\Delta t) \right\} \begin{matrix} > \\ < \end{matrix} \begin{matrix} H_1 \\ H_2 \end{matrix} h_1. \quad (3.40)$$

Нерівності (3.39) і (3.40) є еквівалентними, якщо пороги задовольняють нерівність:

$$h_1 = \frac{h_0 p_{pr}(H_1)}{p_{pr}(H_0)}. \quad (3.41)$$

Значення порогів h_0 і h_1 визначаються застосуванням критерію.

Враховуючи монотонний характер логарифмічної функції і про логарифмувавши обидві частини нерівностей (3.39), отримано:

$$q = \frac{2}{N} \sum_{k=1}^N \xi(i\Delta t) s(i\Delta t) \begin{matrix} > \\ < \end{matrix} \begin{matrix} H_0 \\ H_1 \end{matrix} \frac{E}{N} + \ln h_0 = h. \quad (3.42)$$

З цього виразу видно, що для винесення рішення про наявність чи відсутність сигналу на фоні білого шуму, необхідно прийняту реалізацію $\xi(i\Delta t)$ перемножити з копією корисного ПС, проінтегрувати вираз і результат інтегрування в момент часу $t = T$ порівняти з порогом h . Якщо цей поріг рівень перевищений, то приймається рішення про присутність сигналу. Якщо ж поріг не перевищений, то констатується відсутність корисного сигналу.

Прийняття рішень буде супроводжуватися помилками.

Є три критерії оптимальності, які найбільш частіше використовуються при проектуванні і оцінці якості роботи радіотехнічних систем, призначених для виділення сигналу і для розрізнення сигналів:

- 1) Критерій Неймана-Пірсона (апріорні ймовірності $p_{pr}(H_1)$ і $p_{pr}(H_0)$ невідомі).
- 2) Ідеальний спостерігач (апріорні ймовірності $p_{pr}(H_1)$ і $p_{pr}(H_0)$ відомі).
- 3) Послідовний спостерігач.

Для виділення корисного сигналу $s(i\Delta t)$ застосовано критерій Неймана-Пірсона, оскільки сигнал є випадковим, де апріорні ймовірності $p_{pr}(H_1)$ і $p_{pr}(H_0)$ невідомі, згідно якого оптимальний приймач повинен максимізувати ймовірність правильного виділення p_d при заданій ймовірності помилки p_f .

Як видно з виразу (3.42) рішення про наявність чи присутність корисного сигналу необхідно приймати на основі порівняння з деяким порогом h величини:

$$q = \frac{2}{N} \sum_{i=1}^N \xi(i\Delta t) s(i\Delta t) \begin{matrix} > \\ < \end{matrix} \begin{matrix} H_1 \\ H_0 \end{matrix} h. \quad (3.43)$$

Вичислимо кількісні характеристики оптимального виділення. Нехай корисний сигнал присутній, тобто $\xi(t) = s(t) + n(t)$. Тоді зауважимо, що випадкова величина

$$q = q_1 = \frac{2}{N_0} \sum_{i=1}^N (s(i\Delta t) + n(i\Delta t))s(i\Delta t) \quad (3.44)$$

отримується в результаті лінійного перетворення гаусівського білого шуму. Тому вона буде мати нормальну густину ймовірності $p_1(q)$ з математичним сподіванням і дисперсією, рівними:

$$m_1 = M\{q\} = 2 \frac{E}{N_0}, \quad D_1 = M\{(q_1 - m_1)^2\} = 2 \frac{E}{N_0}. \quad (3.45)$$

На рис. 3.5 зображено нормальні густини ймовірності $p_1(q)$ і $p_2(q)$ при наявності і відсутності сигналу.

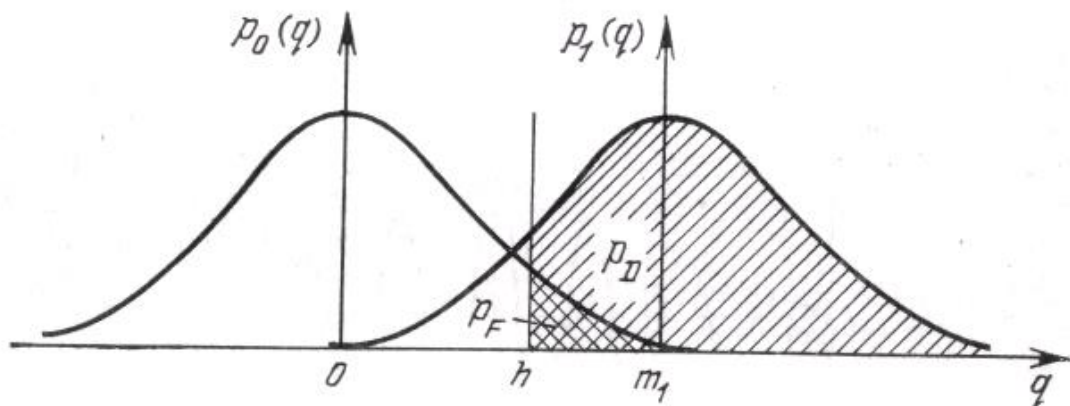


Рисунок 3.5. Нормальні густини розподілу ймовірностей $p_1(q)$ і $p_2(q)$ при наявності та відсутності сигналу

При відсутності сигналу $\xi(t) = n(t)$ і випадкова величина рівна

$$q = q_0 = \frac{2}{N_0} \sum_{i=1}^N n(i\Delta t)s(i\Delta t), \quad (3.46)$$

має також нормальну густину ймовірності $p_0(q)$, причому

$$m_1 = M\{q\} = 0, D_1 = M\{q_0^2\} = 2 \frac{E}{N_0} \quad (3.47)$$

Згідно критерію Неймана-Пірсона необхідно задавати ймовірність хибної тривоги p_f , тобто ймовірність перевищення вихідним шумом при $t=T$ порогового рівня h :

$$p_f = \int_h^{\infty} p_0(q) dq = 1 - \Phi \left(\frac{h}{\sqrt{\frac{2E}{N}}} \right), \quad (3.48)$$

де $\Phi(x)$ – інтеграл ймовірності, $\Phi(x) = \sqrt{\frac{2}{\pi}} \int_0^x e^{-\frac{t^2}{2}} dt$.

При цьому ймовірність правильного виділення буде рівною:

$$p_d = \int_h^{\infty} p_1(q) dq = 1 - \Phi \left(\frac{h}{\sqrt{\frac{2E}{N}}} - \sqrt{\frac{2E}{N}} \right). \quad (3.49)$$

На рис. 3.5 площини, які відповідають ймовірностям p_f і p_d , заштриховані.

З виразу (3.48) при заданій мінімальній імовірності p_f та враховуючи вираз (3.42) визначено поріг h :

$$h = \sqrt{\frac{2E}{N_0}} \Phi^{-1}(1 - 2p_f) + \frac{E}{N_0}. \quad (3.50)$$

Вирази (3.48) і (3.49) показують, що ймовірність хибної тривоги p_f , як і ймовірність правильного виділення p_d , однозначно визначаються відношенням

порогового рівня h і піковою величиною сигнал-шум, яка рівна $\sqrt{2E/N}$. Тому по заданій ймовірності хибної тривоги p_f однозначно визначається рівень h , і знаючи його, знайдемо ймовірність правильного виділення p_d .

Криві виділення корисного сигналу, які представляють собою залежність ймовірності правильного виділення p_d від відношення сигнал-шум при фіксованій ймовірності хибної тривоги p_f можна виявити з необхідною ймовірністю істинного виділення. Порогів сигнал характеризується його енергією (або потужністю).

Можливість виділення сигналу при оптимальному прийомі з заданими ймовірностями p_f і p_d не залежить від форми сигналу і визначається тільки піковим відношенням сигнал-шум на виході узгодженого фільтра, тобто відношенням енергії сигналу і спектральної густини шуму.

Структурна схема оптимального виділення корисного сигналу у суміші із завадами зображено на рис.3.6.



Рисунок 3.6 Структурна оптимального виділення корисного сигналу

Загальну схему оптимального виділення корисного сигналу на базі цифрової узгодженої фільтрації зображена на рис.3.7

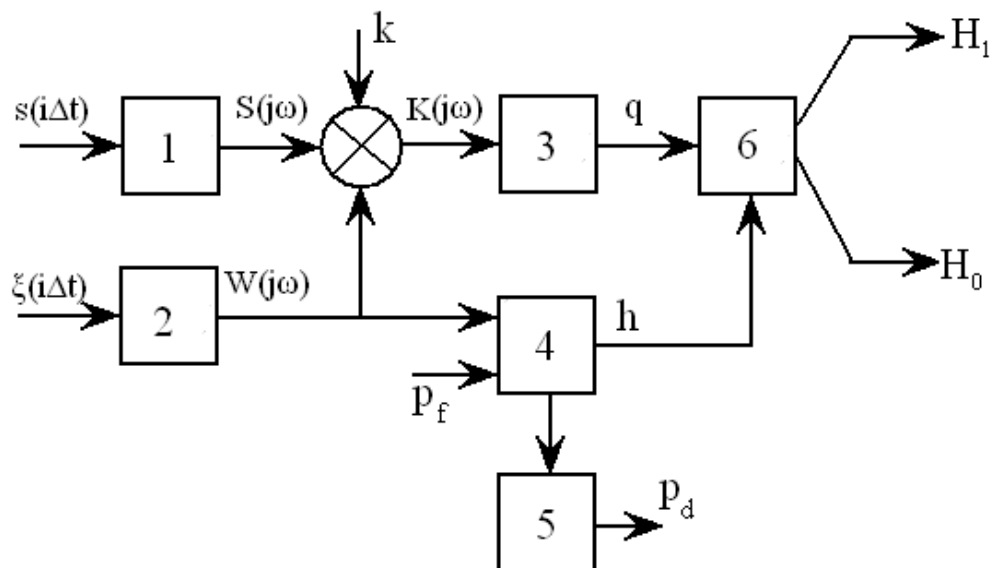


Рисунок 3.7. Загальна структура алгоритму оптимального виділення корисного сигналу

На рис.3.7 позначено через 1-2 – дискретне перетворення Фур’є, 3 – блок обчислення відношення сигнал/шум, 4 – блок обчислення порогу прийняття рішення, 5 – блок обчислення достовірності прийнятого рішення; 6 – блок прийняття рішення

Від корисного $s(i\Delta t)$ та експериментального $\xi(i\Delta t)$ дискретних корисних сигналів обчислено комплексні їх спектри $S(j\omega)$ та $W(j\omega)$ за допомогою дискретного перетворення Фур’є (блок 1) та (блок 2). Із блоку (блок 1) сигнал поступає на помножувач, де обчислюється комплексно-частотний спектр узгодженого цифрового фільтру $K(j\omega) = s \cdot S(j\omega)$. Через отриманий спектр фільтру пропускаємо експериментальний сигнал $\xi(i\Delta t)$, для того щоб отримати на виході максимально можливе значення відношення сигнал/шум q (блок 3). Отримане значення q порівнюємо із обчисленим значенням h (блок 4) (реалізовано за допомогою критерію Неймана-Пірсона). Вхідними даними для блоку 4 є значення ймовірностей помилки та експериментальний сигнал. Порівнявши значення обчислених величин q та h прийнято рішення про присутність або відсутність у експериментальному сигналі корисної складової

(блок 6). Достовірність виділення обчислюється блоком 5 (реалізовано за допомогою критерію Неймана-Пірсона).

На базі розробленої загальної схеми оптимального виділення корисного сигналу на тлі завад із використання узгодженого цифрового фільтру у наступному розділі розроблено програмне забезпечення, яке реалізує процес виділення.

3.5 Висновки до розділу 3

В розділі наведено структурну схему виявлення корисного сигналу. Для виділення корисного сигналу у суміші із завад використано лінійний узгоджений фільтр, тому що:

1) Серед всіх лінійних фільтрів узгоджений фільтр дає змогу отримати на виході максимальне відношення пікового значення сигналу до середньоквадратичного значення шуму, яке рівне $\sqrt{2E/N_0}$, причому це значення не залежить від форми сигналу.

2) Корисний сигнал на виході узгодженого фільтру співпадає з «кореляційною функцією» вхідного корисного шуму, і кореляційна функція вхідного шуму має вид «кореляційної функції» вхідного сигналу.

На базі теорії цифрової узгодженої фільтрації та статичного критерію прийняття рішення Неймана-Пірсона розроблено загальну структуру оптимального виділення корисного сигналу на фоні завад.

РОЗДІЛ 4

ПРОГРАМНА РЕАЛІЗАЦІЯ МЕТОДУ ВИЯВЛЕННЯ СИГНАЛІВ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ MATLAB

Розроблено програмне забезпечення реалізації цифрового узгодженого фільтру для аналізу сигналу з метою виявлення корисної складової сигналу у суміші із завадами.

4.1 Блок-схема програмної реалізації оптимального виявлення сигналу

Для того, щоб провести експериментальні дослідження при оптимальному виявленні корисного сигналу у суміші із завад, необхідно розробити пакет програми, яка б дала змогу провести дане дослідження.

При проведенні експериментального дослідження засобами комп'ютерного моделювання з використанням Matlab, необхідно встановити послідовність операцій (блок-схема), за якими буде працювати програма експерименту.

Блок-схема програми для оптимального виявлення із використанням цифрового узгодженого фільтру зображена на рис. 4.1.

При запуску програми згідно до алгоритму налаштовуються усі параметри системи, потім програма очікує запиту користувача на завантаження даних еталонного та експериментального сигналу із бази даних з метою їх аналізу (виявлення). В подальшому коли користувач дані завантажив необхідно ввести параметри сигналу, а саме частоту дискретизації, які необхідні для подальшого виявлення із суміші завадами. Коли параметри введені програма автоматично аналізує сигнали, а саме виявляє корисний (еталонний) сигнал із суміші, а саме, встановлюється факт присутності.

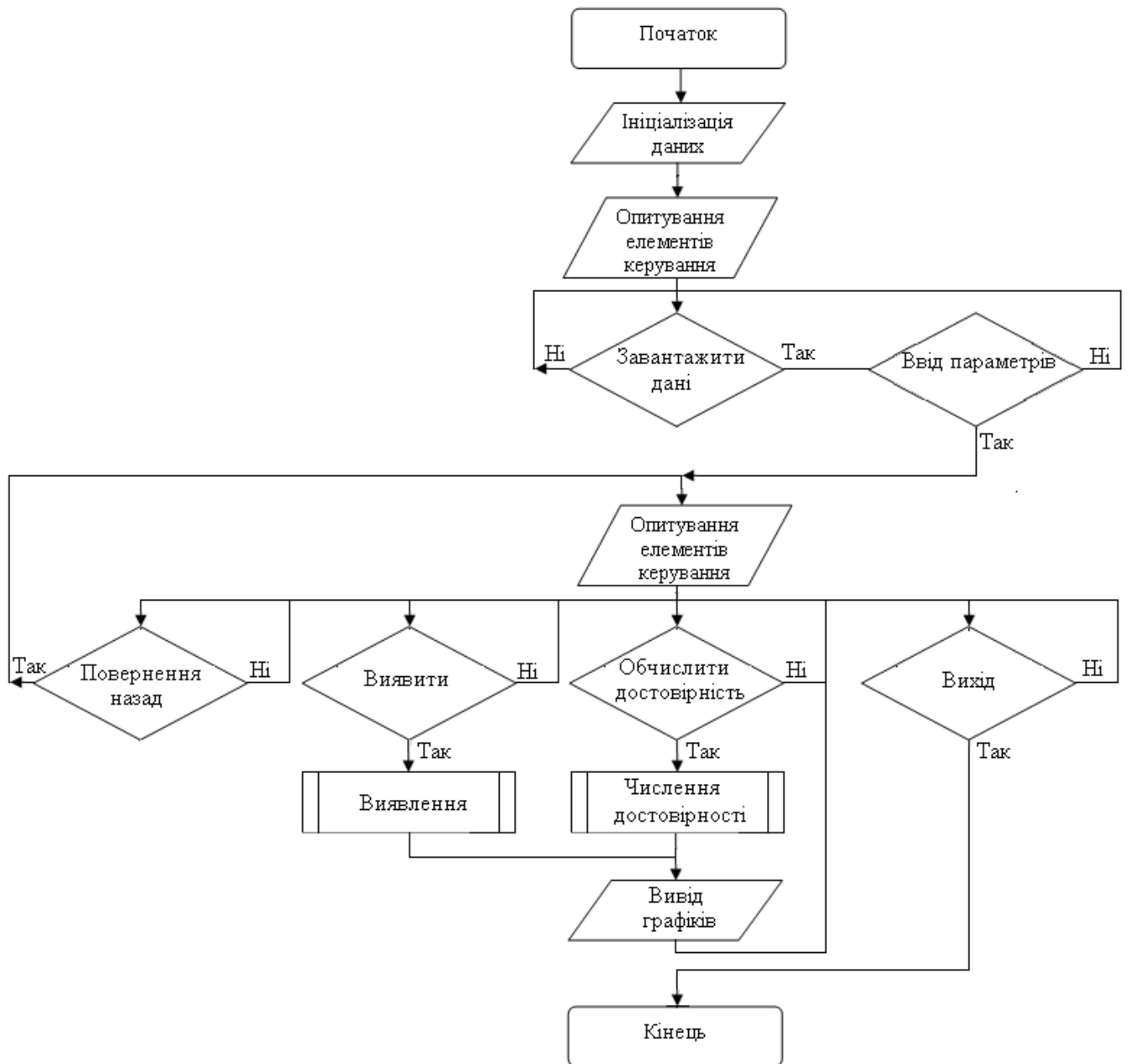


Рисунок 4.1. Блок-схема програми для автоматизованого оперативного виявлення корисного сигналу

Базуючись на розроблених блок-схемах рис. 4.1 розроблено програмне забезпечення, яке дає можливість автоматизованого за допомогою цифрового узгодженого цифрового фільтру оптимально виявляти сигнали у суміші із завадами на базі моделі у вигляді адитивної суміші корисного сигналу та завади.

4.2 Програмна реалізація методу виявлення сигналу

Використовуючи програмний модуль GUIDE, який є інтегрований в середовищі програми MATLAB, розроблено програму для оптимального виділення пульсового сигналу.

Створення діалогового вікна в середовищі візуального програмування GUIDE починається після виконання в командній стрічці MATLAB команди **guide**, після якої з'явиться вікно (рис. 4.2).

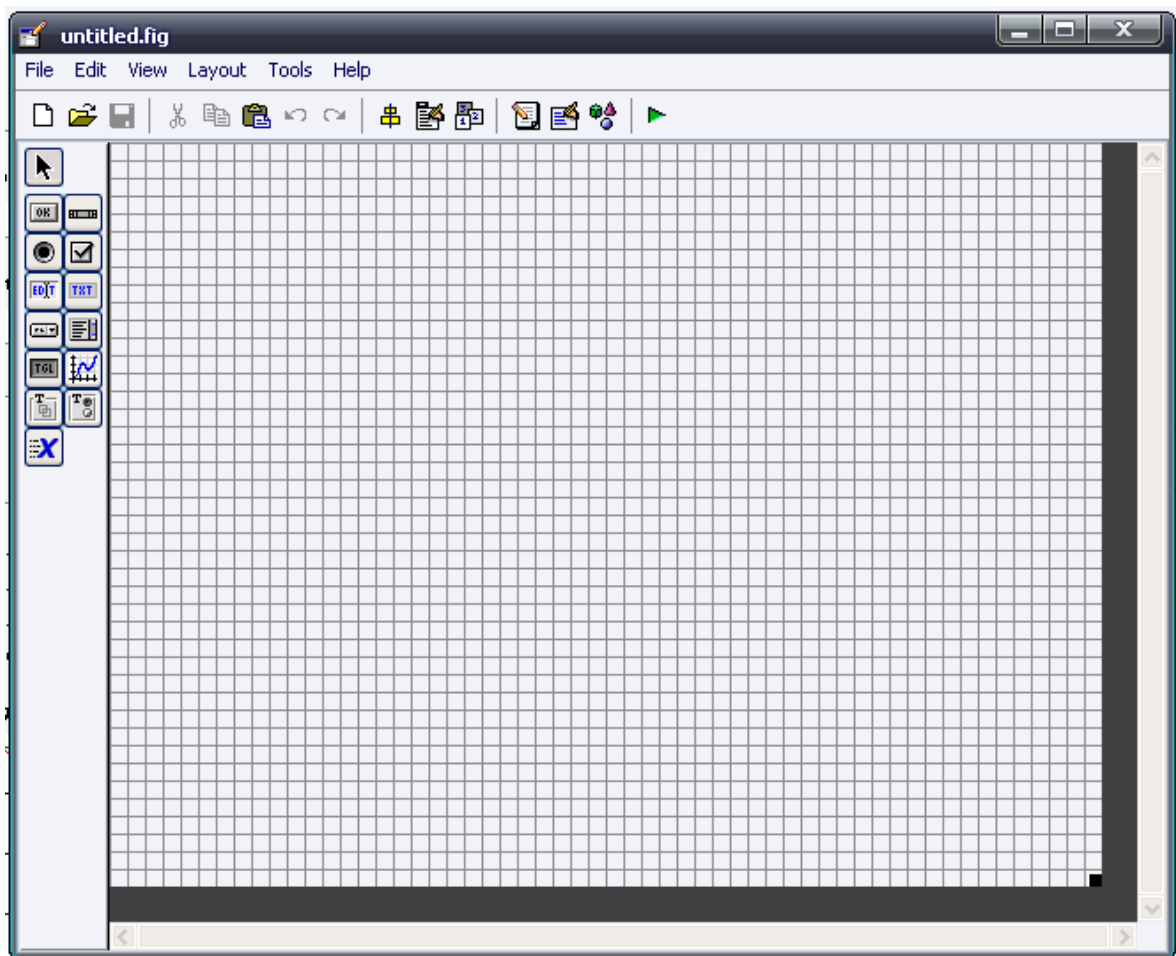


Рисунок 4.2. Діалогове вікно для створення графічного інтерфейсу

Використовуючи елементи керування утиліти GUIDE MATLAB, такі як форма, панель, кнопка, елементи вводу та виводу, а також елементи контекстного меню створено графічний інтерфейс програми, який зображено на рис.4.3.

Графічний інтерфейс програми, який зображено на рис. 4.3, побудовано на візуальних елементах керування, а саме:

- 1) uipanel1- uipanel2 – платформи, для розміщення на них елементів;
- 2) axes1- axes4 – елементи для виводу графіків;
- 3) pushbutton 1- pushbutton10 – кнопки;
- 4) edit1-edit6 – елементи вводу;
- 5) text1-text15 – елементи виводу тексту.

Доцільність використання платформи uipanel1 обґрунтовується, тим щоб усі елементи які відповідають за ввід edit1-edit6 та вивід text1-text4 параметрів ПС, були розміщені на єдиній платформі (об'єднанні в групу), тим самим виділивши частину інтерфейсу. Використання кнопки pushbutton1- pushbutton6, pushbutton9, pushbutton10 розміщена для відображення результатів аналізу ПС, pushbutton7 розміщена з метою прийняття введених параметрів, а pushbutton8 – оцінювання характеристик опрацювання компонентним методом. Елементи axes1-axes4 необхідні для візуального відображення отриманих результатів аналіз і т.д..

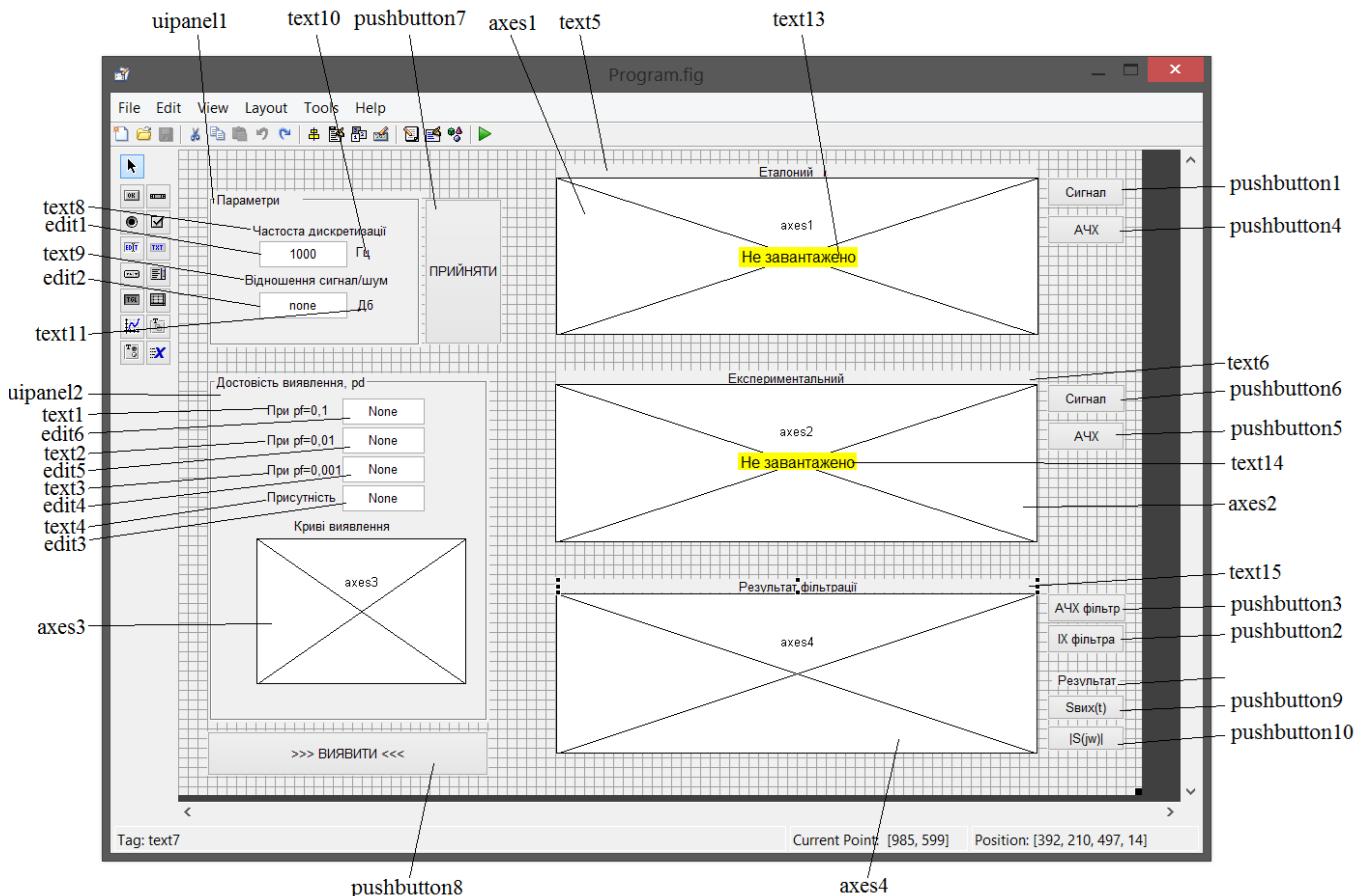


Рисунок 4.3. Графічний інтерфейс програми

Основною задачею програми є виділення даних сигналів, тому для того щоб виявити сигнал було створено меню в **Menu editor** (рис.4.4), яке складається з таких пунктів, як:

- 1) Завантажити експериментальних ПС.
- 2) Завантажити еталонний ПС.
- 3) Вихід.

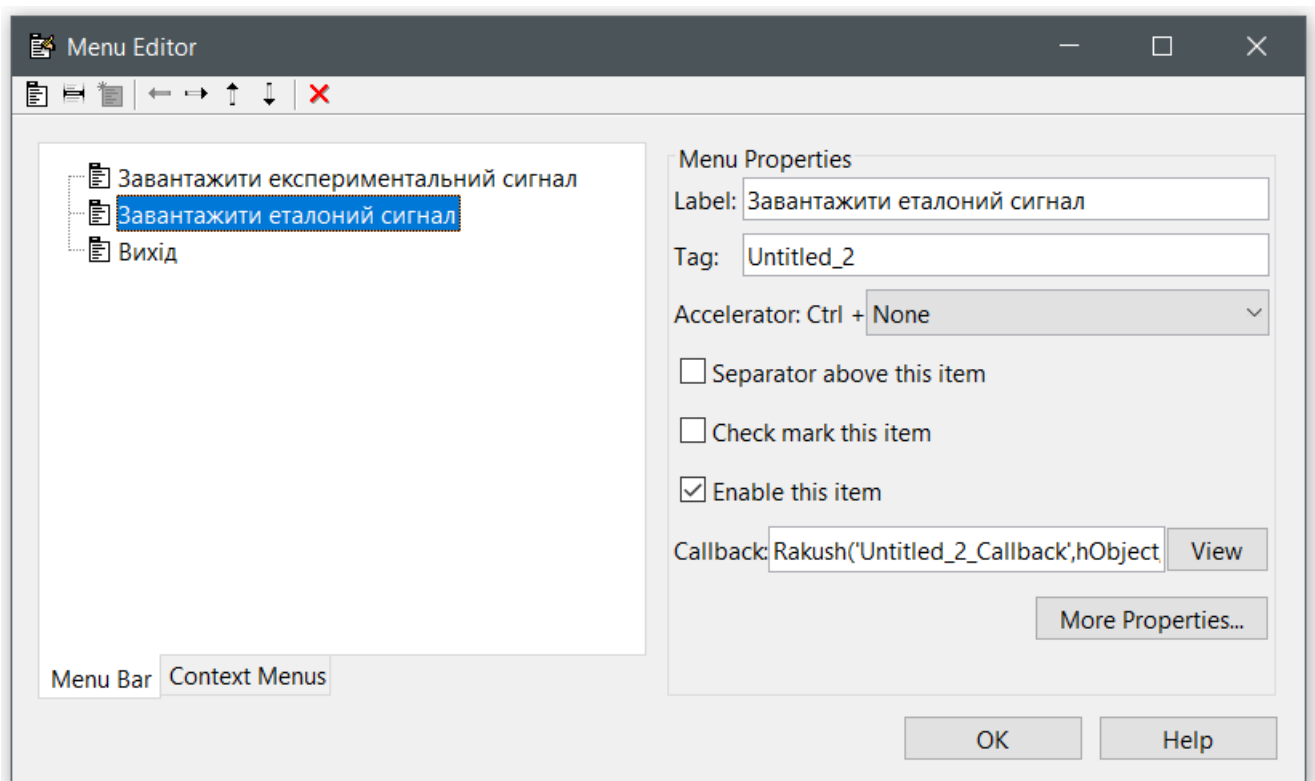


Рисунок 4.4. Меню програми

Реалізація завантаження експериментальних сигналів виконана наступним чином, а саме при натисненні на кнопки меню „Файл” → „ Завантажити експериментальний сигнал”, запускається функція `function Untitled_1_Callback(hObject, eventdata, handles)`.

В основі даної функції є команда `[namefile, namepath]=uigetfile(a,b)`, де `a`-розширення файлу, `b`- надпис вікна, запускається діалогове вікно (рис. 4.5), і

після вибору файлу дані записуються під змінні filename (ім'я вибраного файлу), pathname (шлях до файлу).

```
[file,path] = uigetfile('*.*dat;*.dat;', 'Завантажити експериментальний сигнал');
```

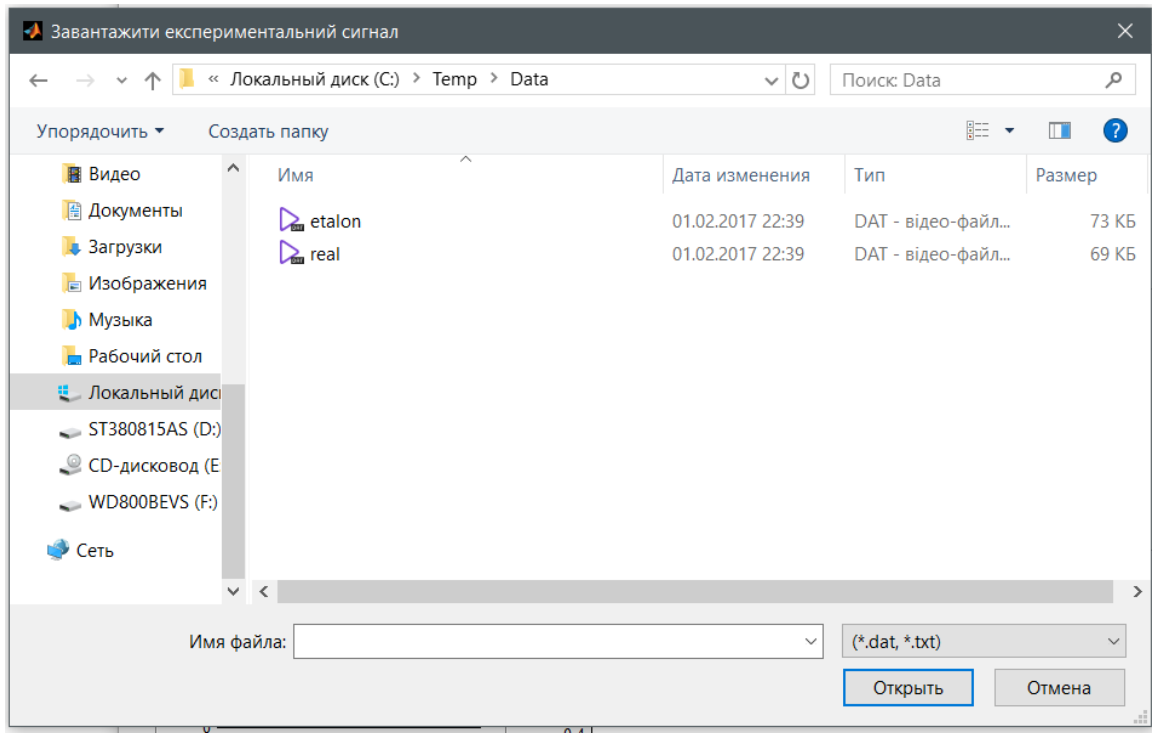


Рисунок 4.5. Діалогове вікно завантаження файлу даних

Якщо довжина назви файлу вибрана то записується повний шлях до файлу, тобто шляхом об'єднання шляху файлу до назви файлу під змінну dir:

```
if length(efile)>=1  
directory=[path file];  
end;
```

Команда load зчитає дані і зберігає їх під змінну x з подальшим Perezberzhenням даних в userdata кнопки pushbutton2:

```
x=load(directory);
```


Завантажені дані експериментальні із локальної зміни записуються під глобальну зміну елемента `pushbutton1.userdata`:

```
set(handles.pushbutton2,'userdata',x);
```

Із введеного параметру в елемент `edit1` під властивість `string` дані перезаписується під зміну `df`, яка відповідає значенню частоти дискретизації. Оскільки тип значень елемента `edit1` є текстовими, тому використання функції `str2num` дає змогу перетворити текстовий тип в числовий, який є придатний для математичних обрахунків.

```
df=str2num(get(handles.edit1,'string'));
```

Під зміну `t` формуємо масив числових даних, які відповідають осі часу, із використанням формули $t = \text{дискретний відлік} / df$:

```
t=(0:length(x)-1)/df;
```

Завантаженні дані виводяться на графічний елемент `axes2` за допомогою команди `plot(t,x)`, де `t`-масив часу, `x`-масив значень сигналу завантаженого:

```
axes(handles.axes2);
```

```
plot(t,x);
```

```
axis tight;
```

```
grid on;
```

```
xlabel('Час, сек');
```

```
ylabel('Амплітуда, мВ');
```

Для того, щоб здійснити процес виділення завантажуюмо еталон сигналу і виводимо на графік, по аналогії до попереднього графіку, за допомогою програми:

```
[file,path] = uigetfile('*.*.dat;*.dat;', 'Завантажити еталонний сигнал');
if length(file)>=1
directory=[path file];
x=load(directory);
set(handles.pushbutton1,'userdata',x);
df=str2num(get(handles.edit1,'string'))
t=(0:length(x)-1)/df;
axes(handles.axes1);
plot(t,x);
axis tight;
grid on;
xlabel('Час, сек');
ylabel('Амплітуда, мВ');
end;
```

Натиснувши кнопку „Виявити,, запускається функція function pushbutton8_Callback(hObject, eventdata, handles). В даній функції спочатку завантажуються еталонний та експериментальний сигнали із глобальних змін handles.pushbutton1,'userdata' та get(handles.pushbutton2,'userdata') в локальні s і ksi.

```
s=get(handles.pushbutton1,'userdata');
ksi=get(handles.pushbutton2,'userdata');
```

Оскільки довжина як еталонного сигналу s так і експериментального ksi може різнитися, тому здійснено нормування довжини за мінімальними значенням однією з довжин корисного або експериментального сигналів:

```
% Формування однорідності тривалості даних
```

```
if length(s)<length(ksi)
    ksitemp=ksi; ksi=0;
    ksi=ksitemp(1:length(stemp));
```

```
end;
```

```
if length(s)>length(ksi)
    stemp=s; s=0;
    s=stemp(1:length(ksi));
```

```
end;
```

Оскільки на виході фільтра формується максимальне відношення сигнал/шуму із імпульсною характеристикою h , яка числиться кодом:

```
% Імпульсна характеристика узгодженого фільтру
```

```
h=0;
```

```
for i=0:(length(s)-1)
    h(i+1)=c*(s(length(s)-i));
```

```
end;
```

Сигнал на виході фільтра рівний згортці, ядром якої є добуток імпульсної функції фільтра y на адитивну суміш корисного сигналу та завади $ksiinv$:

```
% Сигнал на виході фільтра
```

```
y=zeros(length(s),1);
```

```
for j=1:length(s)
```

```
for i=1:j
```

```
    y(j)=y(j)+h(i)*ksiinv(i);
```

```
end;
```

```
end;
```

Максимальне значення сигналу на виході фільтру рівне потужності сигналу, яке обчислюється додатком:

%Максимальне значення сигналу з фільтру

$E = \max(y);$

Шляхом віднімання корисного сигналу від суміші отримано шумову складову:

% Формування шумової складової у суміші

$n = k \cdot s_i - s;$

За припущення, що шумова складова є білим гаусівським шумом, обчислено її потужність як квадрат середньоквадратичного відхилення шумової складової:

% Обчислення потужності шумової складової

$N_0 = \sigma_{n^2};$

Відношення сигнал/шум SNR обчислено як відношення потужності корисного сигналу (максимальне значення на виході фільтра) E до потужності шумової складової N_0 :

% Відношення сигнал/шум

$SNR = E / N_0;$

У відповідності з критерієм Наймана-Піросна величина порогу U визначається з заданої умовної ймовірності помилки P_f ($P_f = \{0,1; 0,01; 0,001\}$):

% Значення імовірностей помилки

```
pf=[0.001 0.01 0.1];  
% Обчислення порогу прийняття рішень  
U=sqrt(SNR)*erfc(1-2*pf);
```

Значення помилок ($P_f = \{0, 1; 0, 01; 0, 001\}$) є регламентовані в теорії виявлення радіосигналів.

При обчислених значеннях порогів, відношення сигнал/шум обчислено значення достовірностей прийняття рішення при виділення корисної складової на фоні завади додатком:

```
% Обчислення значення достовірностей  
pd1=1-normpdf(((U(1)/SNR)-SNR),0,1);  
pd2=1-normpdf(((U(2)/SNR)-SNR),0,1);  
pd3=1-normpdf(((U(3)/SNR)-SNR),0,1);
```

Обчисленні значення виводи на екран додатком:

```
% Вивід значення достовірностей на вікно користувача  
set(handles.edit4,'string',num2str(pd1));  
set(handles.edit5,'string',num2str(pd2));  
set(handles.edit6,'string',num2str(pd3));
```

Згідно до кореляційного виявлення із застосуванням статичного критерію Неймана-Пірсона, перевіряємо умову вибору однієї з гіпотез: H_1 - сигнал присутній, якщо величина максимального значення сигналу з виходу фільтра перевищує поріг U ; H_2 – сигнал відсутній, якщо величина максимального значення сигналу з виходу фільтра не перевищує поріг U :

```
% Пошук факту перевищення порогу прийняття рішення  
if max(y)>U set(handles.edit3,'string','так');
```

```
else
    set(handles.edit3,'string','ні');
end;
```

Криві виділення побудовано на базі вище наведених виразів, а величина зміни дисперсії завади береться в три рази від поточної:

```
% Побудова кривих виявлення
j=0;
for snr=1:0.01:SNR*2
    j=j+1;
    U(1)=sqrt(snr)*erfc(1-2*pf(1));
    U(2)=sqrt(snr)*erfc(1-2*pf(2));
    U(3)=sqrt(snr)*erfc(1-2*pf(3));
    PD1(j)=1-normpdf(((U(1)/snr)-snr),0,1);
    PD2(j)=1-normpdf(((U(2)/snr)-snr),0,1);
    PD3(j)=1-normpdf(((U(3)/snr)-snr),0,1);
end;
```

Графік залежностей достовірностей від відношень сигнал-шум виведено на елемент axes3:

```
axes(handles.axes3);
plot(log(1:0.01:SNR*2),PD1);
hold on;
plot(log(1:0.01:SNR*2),PD2);
plot(log(1:0.01:SNR*2),PD3);
hold off;
axis tight;
grid on;
xlabel('Відношення сигнал/шум, Дб');
```

```
ylabel('Pd');  
set(handles.edit2,'string',num2str(log(SNR)));
```

На дисплеї також можна вивести:

- АЧХ корисного та експериментального сигналу за допомогою кнопок pushbutton 4 та pushbutton 5;
- імпульсну характеристику та АЧХ фільтру – pushbutton 2 та pushbutton 3;
- Сигнал з виходу фільтра за допомогою кнопки pushbutton 9;
- АЧХ сигналу з виходу фільтра за допомогою кнопки pushbutton 10;

Реалізацію програми виводу графік наведено в додатку А.

Отже, розроблена програма із графічним інтерфейсом має змогу автоматично та достовірно виявляти корисні сигнали на тлі завад, які присутні в експериментальних сигналах із легкою зміною їх параметрів та зручністю керування.

4.3 Результати виявлення сигналу

За допомогою розробленої програми із графічним інтерфейсом проведено автоматичне виявлення сигналу на базі узгодженої фільтрації, який наведений нижче по тексту.

При запуску програми з'являється діалогове вікно (рис. 4.6).

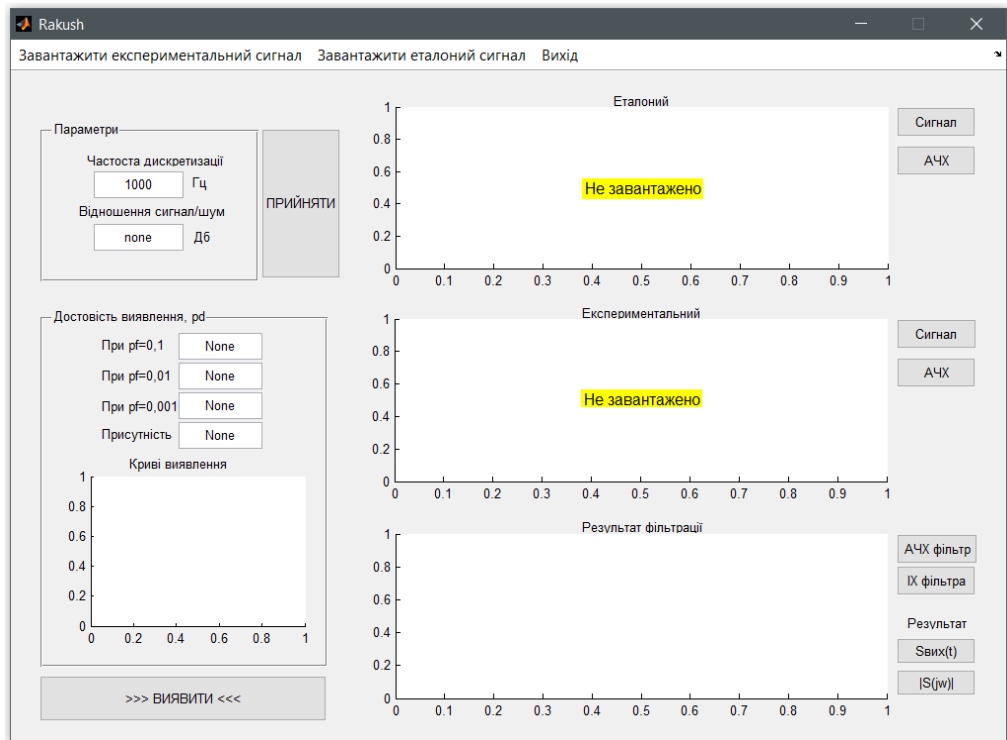


Рисунок 4.6. Діалогове вікно програми

Вибравши в меню опцію „Завантажити еталонний сигнал”, і вибравши файл даних отримали наступний результат, котрий наведений на рис.4.7

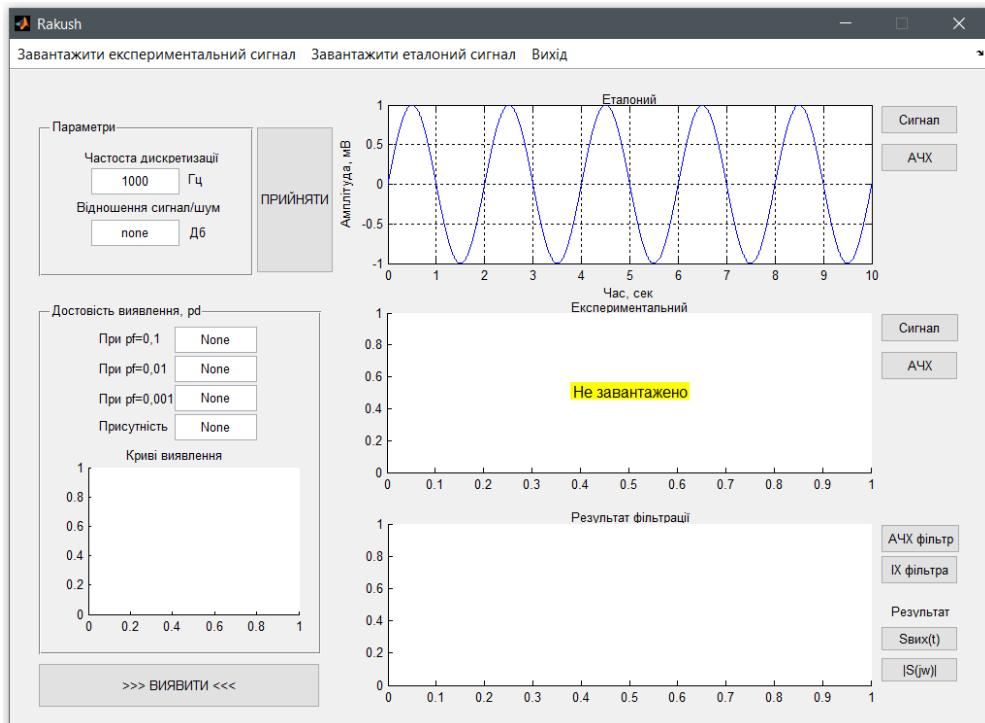


Рисунок 4.7. Завантажений корисний сигнал (норма)

Вибравши в меню опцію „Завантажити експериментальний сигнал”, і вибравши файл даних отримали наступний результат, рис.4.8

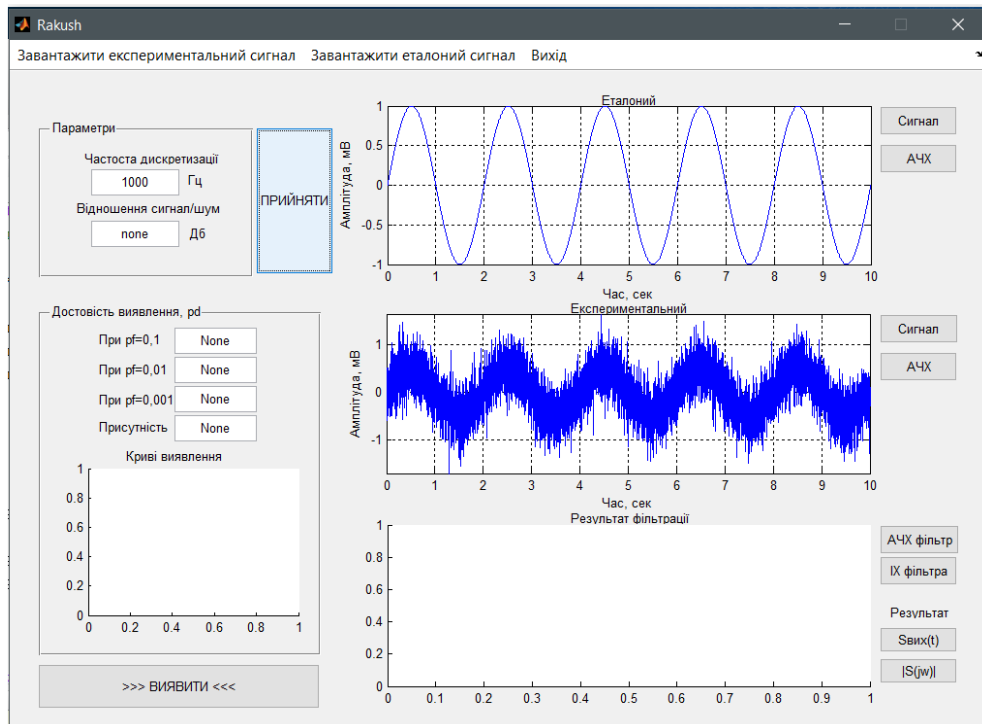


Рисунок 4.8. Завантажений експериментальний сигнал на фоні шуму

При натисненні на кнопку «АЧХ» біля корисного сигналу отримано АЧХ на рис.4.9.

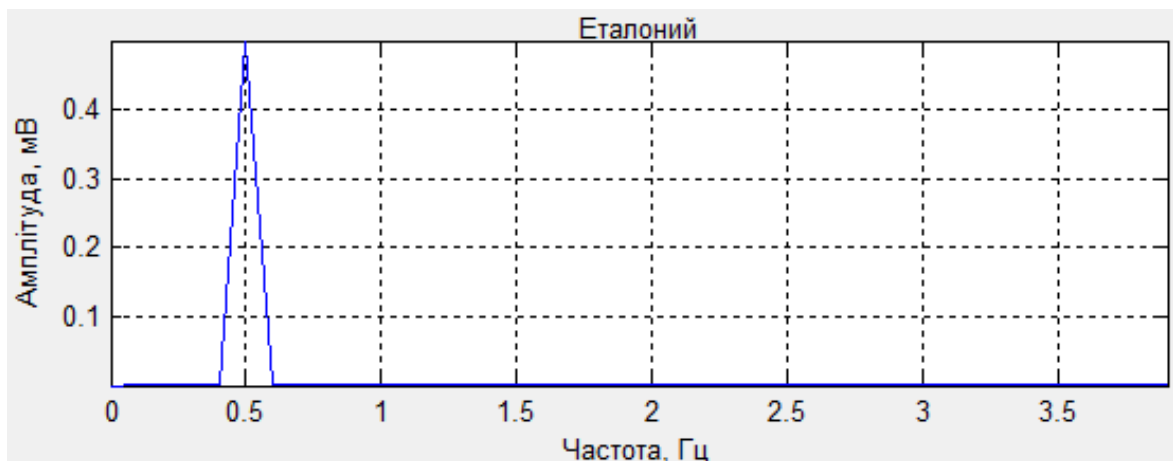


Рисунок 4.9. АЧХ корисного сигналу

Натиснувши на кнопку «АЧХ сигнал» біля експериментального сигналу обчислено його АЧХ, яка зображена на рис.4.10.



Рисунок 4.10. АЧХ експериментального сигналу

Вигляд амплітудно-частотної та імпульсної характеристики фільтру для даного випадку зображено на ри.4.11-4.12 (натиснення кнопок «АЧХ фільтр» та «ІХ фільтр»).



Рисунок 4.11. АЧХ цифрового узгодженого фільтру для еталону сигналу



Рисунок 4.12. ІХ цифрового узгодженого фільтру для еталону сигналу

Сигнал на виході узгодженого фільтра зображено на рис.4.13, і його АЧХ – на рис.4.14.

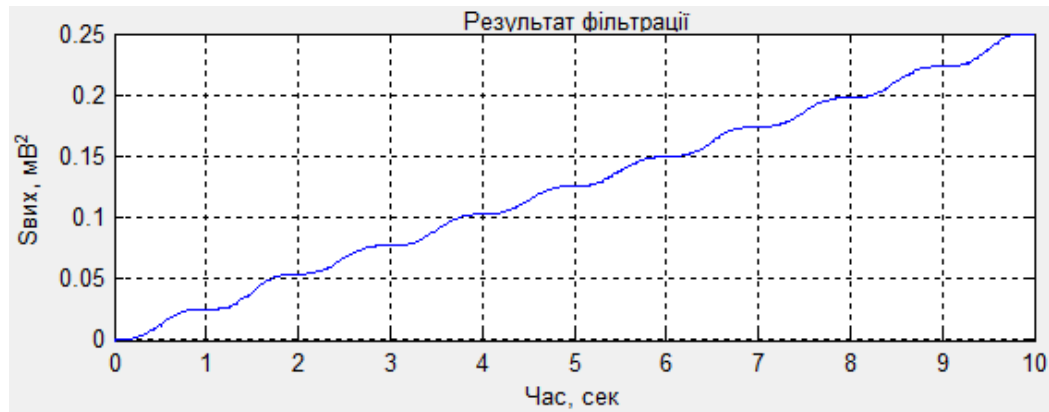


Рисунок 4.13. Сигнал на виході узгодженого фільтра

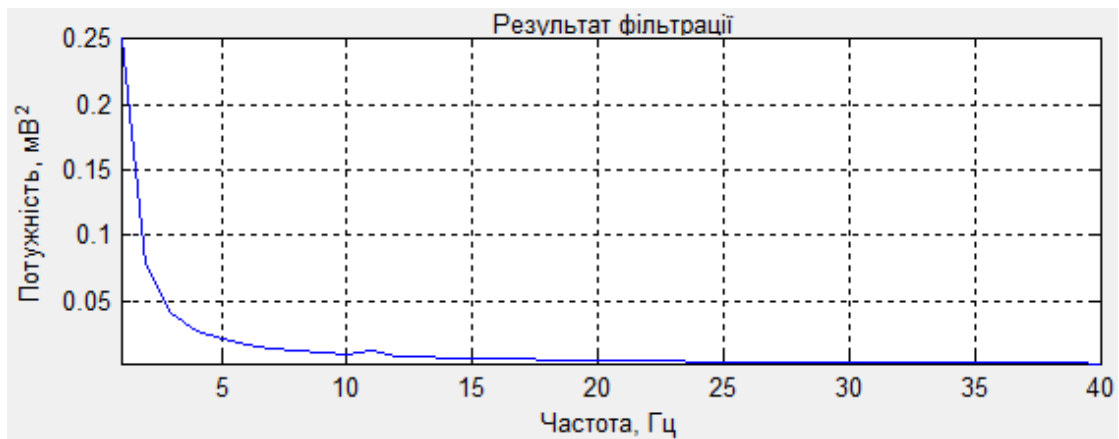
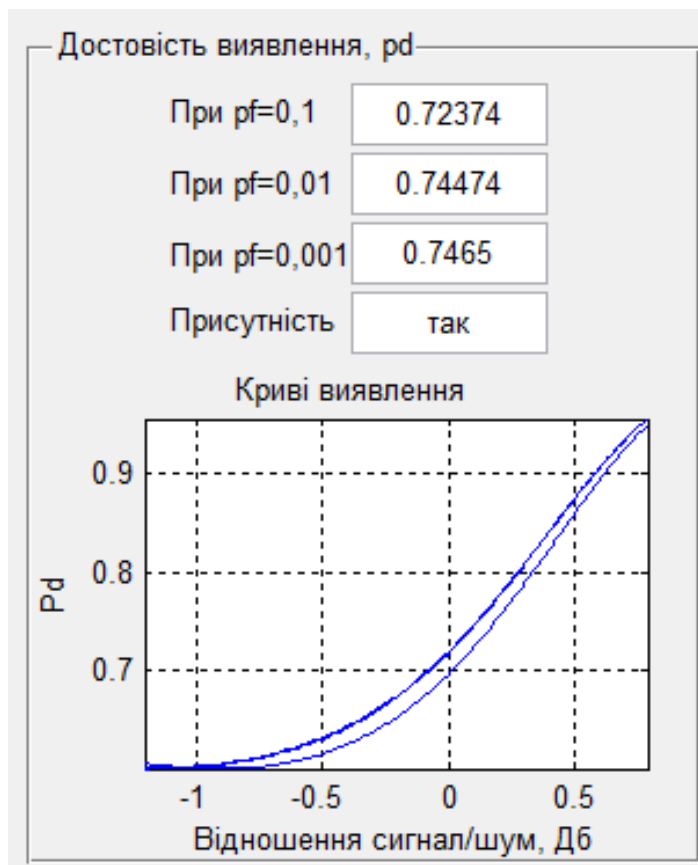


Рисунок 4.14. АЧХ сигналу на виході узгодженого фільтра

Для обчислення присутності корисного сигналу (рис.4.7) у експериментальному сигналі (рис.4.8) натиснуто кнопку «Виявити», і результат опрацювання зображено на рис.4.15.



Відношення сигнал/шум

0.09792	Дб
---------	----

Рисунок 4.15. Результат виділення корисного сигналу у експериментальному сигналі (суміші)

Із отриманих результатів (рис.4.15) можна сказати, що корисний сигнал присутній в експериментальному із достовірностями $p_d=0,72374; 0,74474; 0,7465$ при різних помилках за $pf=0,1; 0,01; 0,001$.

4.4 Висновки до розділу 4

Розроблений метод оптимального та достовірного виявлення корисного сигналу на тлі завад на базі узгодженої цифрової фільтрації. За допомогою програмного забезпечення Matlab і інтегрованої утиліти GUIDE створено програму із графічним інтерфейсом користувача для автоматичного виявлення корисного сигналу на тлі завад.

РОЗДІЛ 5

СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА

5.1 Призначення системи комп'ютерної програми MATLAB

Комп'ютерна математична система MATLAB (Matrix Laboratory) є універсальним програмним середовищем для виконання науково-дослідницьких та технічних розрахунків практично необмеженої складності. Як мова програмування, MATLAB була розроблена Клівом Моулером у кінці 1970-х років, у той час, коли він був деканом факультету комп'ютерних наук в Університеті Нью-Мексико. Метою цієї розробки була задача дати студентам факультету можливість використання програмних бібліотек Linpack і Eispack без необхідності вивчення мови програмування FORTRAN. Незабаром нова мова розповсюдилася серед інших університетів і була з великим інтересом прийнята вченими, що працюють в галузі прикладної математики. Дотепер в Інтернеті можна знайти версію 1982 року, написану на мові FORTRAN, яка розповсюджена з відкритим вихідним кодом [4]. У 1983 році під час візиту Кліва Моулера в Стенфордський Університет відбулося його знайомство з інженером Джоном Літтлом. Спільними зусиллями вони переписали MATLAB на мову C і заснували в 1984 компанію The MathWorks для подальшого розвитку цієї програми. Переписані на C бібліотеки довгий час були відомі під ім'ям JACKRAC. Спочатку система MATLAB широко використовувалася для викладання лінійної алгебри та чисельних методів, а також для проектування систем управління, але швидко завоювала популярність в багатьох інших наукових та інженерних галузях.

Нині система може використовуватися для розрахунків у багатьох галузях науки і техніки, таких як електро- і радіотехніка, динаміка, акустика, енергетика, економіка та ін. MATLAB є незамінним помічником у виконанні матричного аналізу, під час розв'язування завдань математичної фізики, статистичних,

оптимізаційних і фінансово-економічних завдань, у дослідженні й обробці сигналів і зображень, візуалізації даних, наукової і технічної графіки.

Проте найбільшою мірою система орієнтована на виконання інженерних розрахунків, оскільки її математичний апарат спирається на обчислення з матрицями і комплексними числами. MATLAB містить багато процедур і функцій, необхідних під час виконання складних числових розрахунків і моделювання технічних і фізичних систем.

Основною перевагою системи MATLAB є її відкритість. Іншими словами, процедури і функції MATLAB можна не тільки використовувати, але і модифікувати. Користувач має можливість вводити в систему нові команди або функції, створювати власні програми і процедури або адаптувати існуючі процедури відповідно до своїх потреб. Цьому сприяє проста вбудована мова програмування системи MATLAB. Проте набір вбудованих функцій MATLAB настільки обширний, що для розв'язання більшості завдань важко не знайти відповідну функцію.

Більшість команд і функцій системи зберігаються у вигляді текстових файлів із розширенням .m (так званих m-файлів). Зустрічаються також файли на мові C. Усі ці файли, як уже наголошувалося, доступні для редагування. Користувач може створювати як окремі файли, так і цілі бібліотеки файлів, що робить число команд і функцій практично необмеженим, так що MATLAB можна розглядати як майже відкритий програмний продукт. Згадані m-файли можна створювати як за допомогою редактора m-файлів системи MATLAB, так і будь-якого іншого текстового редактора, наприклад в Microsoft Word. Створені користувачем m-файли використовуються так само, як і вбудовані в MATLAB процедури і функції.

Крім роботи з програмами, обчислення за допомогою середовища MATLAB можна виконувати «в режимі калькулятора», тобто отримувати результат відразу ж після введення потрібного оператора або команди.

Графічна галерея системи пропонує величезний набір різних дво- і тривимірних графіків, достатній для візуалізації найрізноманітніших даних. З її

допомогою можна малювати лінії, поверхні, стовпчикові, кругові та інші діаграми. Водночас допускається вибір кольору, заливки, способу відображення ліній, поверхонь, масштабу, системи координат і безліч інших параметрів, необхідних для тонкого настроювання графіків. Зображення можна додатково забезпечувати поясненнями, графічними елементами і навіть складними математичними формулами, а після зберігати їх у внутрішньому форматі (з розширенням .fig) або в популярних графічних форматах.

Система MATLAB містить розроблені пакети розширень з додатковими функціями для їх використання під час розв'язування спеціалізованих завдань. Такі пакети називаються Toolboxes. Після встановлення системи MATLAB користувач може вибірково завантажити потрібні йому пакети.

5.2 Склад комп'ютерної програми MATLAB

Система MATLAB є об'єднанням математичного ядра, що включає мову програмування високого рівня, бібліотеки стандартних функцій, графічного інтерфейсу користувача і довідкової системи (рис. 5.1).

Application Development Tools – інструментальні засоби розробки додатків, що дозволяють створювати незалежні програмні продукти. До складу інструментальних засобів входять: MATLAB Compiler, MATLAB Web Server, MATLAB Runtime Server, MATLAB COM Builder і MATLAB Excel Builder.

За допомогою MATLAB Compiler, значно вдосконаленого в останній версії, майже будь-яку (з дуже незначними обмеженнями) програму на мові MATLAB можна на вибір перетворити у виконуваний модуль, бібліотеку C і C++, надбудову Microsoft Excel і COM-об'єкт (для створення двох останніх необхідні модулі Builder for Excel і Builder for COM відповідно).

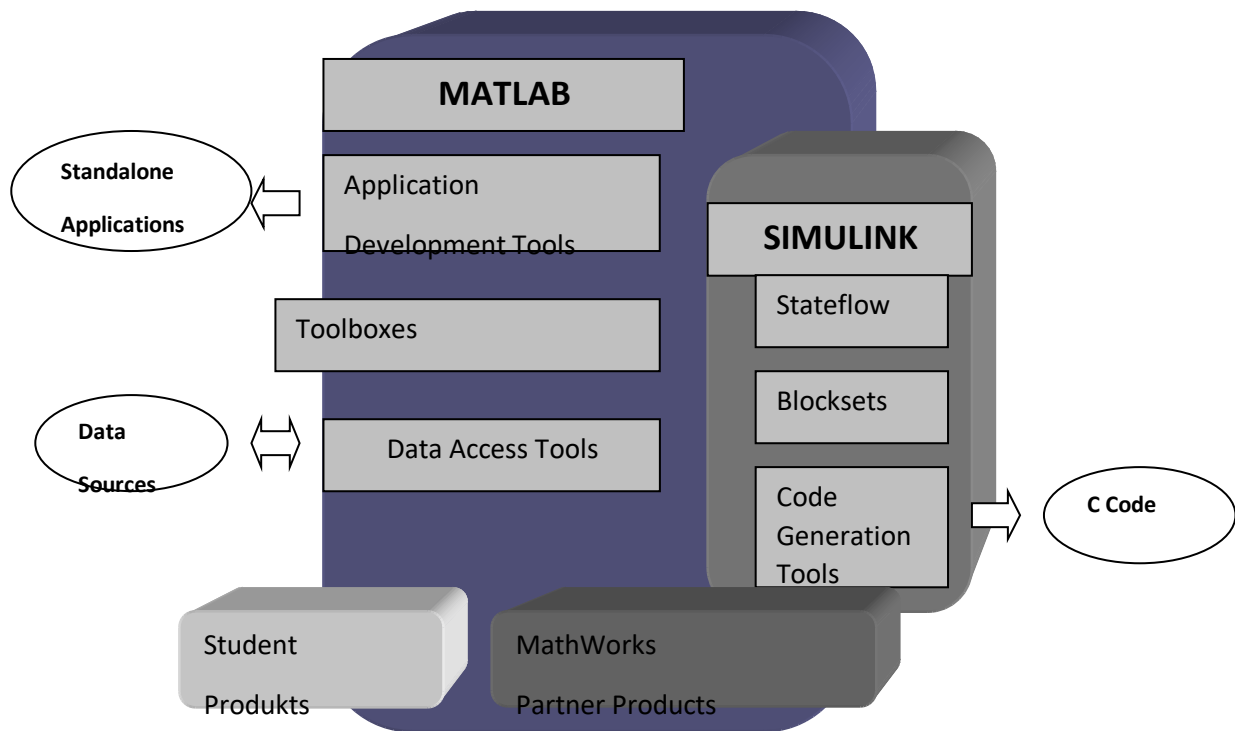


Рисунок 5.1. Склад системи MATLAB

Модуль MATLAB Web Server дозволяє користувачам системи MATLAB розробляти додатки для роботи у Web, що використовують стандартні компоненти MATLAB. HTML-документи служать графічним інтерфейсом для розподілених додатків MATLAB. Таким чином, користувачам додатку не обов'язково знати систему MATLAB, більш того, сама система у них може бути навіть не встановлена.

MATLAB RunTime Server – це обчислювальний процесор системи MATLAB, поширюваний разом із додатком MATLAB для підтримки його функціонування. Він дозволяє будь-який створений користувачем додаток MATLAB легко і без великих витрат перетворити на незалежний продукт і поширювати, не турбуючись про збереження кодів.

Toolboxes – пакети розширення, які призначені для збільшення можливостей систем MATLAB і SIMULINK у спеціалізованих галузях: Математика (Math and Analysis), Імпорт даних (Data acquisition and import), Обробка сигналів і зображень (Signal and Image Processing), Проектування систем управління (Control Design), Фінансові додатки (Financial Modelling and Analysis).

Data Acquisition and Access Tools – інструментальні засоби обміну даними, що застосовуються для обміну даних із зовнішніми пристроями (осцилографами, генераторами періодичних сигналів та ін.), базами даних (Oracle, Access) і іншими додатками.

MATLAB Student Version – студентська версія системи MATLAB, яка дає можливість студентам придбати MATLAB, SIMULINK і пакети символічної математики Symbolic/Extended Math Toolbox із значними знижками. Інформацію про вартість студентських версій системи MATLAB можна отримати на сайті <http://www.mathworks.com>.

Simulink – інтерактивний інструмент для моделювання, імітації та аналізу динамічних систем. Він дає можливість будувати графічні блок-діаграми, імітувати динамічні системи, досліджувати працездатність систем і вдосконалювати проекти.

Stateflow – середовище розробки і моделювання кінцевих автоматів.

Blocksets – набори спеціалізованих блоків, що розширюють можливості використання стандартної версії SIMULINK. Їх використання дозволяє моделювати складні механічні системи, системи гідро-, пневмо- і електроавтоматики.

Code Generation Tools – інструментальні засоби створення коду призначені з метою перетворення блок-схеми моделі, реалізованої в Simulink, в оптимальний код на мові програмування C для його подальшого запису у вмонтовані додатки.

Math Works Partner Products – пакети розширення, випущені партнерами фірми MathWorks Inc. Вони є надбудовою над стандартним набором пакетів розширення, що входять в систему MATLAB.

5.3 Висновки до розділу 5

У розділі описано програму MATLAB як програмне середовище для проведення експериментальних досліджень.

РОЗДІЛ 6

ОБГРУНТУВАННЯ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ

6.1 Розрахунок витрат на проведення науково-дослідної роботи

Розрахунок усіх витрат організації-виконавця НДР, пов'язаних з виконанням теми, дає можливість встановити її собівартість або кошторисну вартість.

Встановлення величини витрат на проведення робіт по темі в розрізі типових статей кошторисної вартості (калькуляції собівартості) НДР наводяться нижче.

6.1.1 Витрати на оплату праці. Витрати за цією статтею включають заробітну плату безпосередніх виконавців теми, а заробітна плата адміністративно-управлінського персоналу, працівників дослідних виробництв включаються в кошторисну вартість теми через статтю «Накладні витрати». Крім цього, слід враховувати, що для тем, які фінансуються за рахунок держбюджету прибуток не планується і тому в дану статтю витрат включається тільки основна заробітна плата (без премій та інших виплат, що здійснюються із прибутку). Витрати на оплату праці розраховують на основі даних про трудомісткість окремих робіт по темі (табл. 6.1) та посадових окладів безпосередніх їх виконавців.

Загальна трудомісткість робіт, що виконуються безпосередньо студентом (інженером - дослідником), визначається навчальним планом спеціальності магістра 163 «Біомедична інженерія».

Таблиця 6.1

Трудомісткість робіт по темі НДР

Найменування робіт по темі дослідження	Трудомісткість за виконавцями, людино-днів					
	Науковий керівник	Старший науковий співробітник	Молодший науковий співробітник	Інженер	Лаборант	Студент
1	2	3	4	5	7	8
1. Уточнення та конкретизація завдань по темі дослідження	1	–	–	–	–	1
2. Аналіз науково-технічних публікацій з теми	1	–	–	–	–	1
3. Розроблення математичної добового електроенцефалосигналу	1	–	–	–	–	1
4. Розроблення методу аналізу добового електроенцефалосигналу	1	–	–	–	–	1
5. Аналіз добового електроенцефалосигналу	1	–	–	–	–	1
6. Формування звіту по НДР	1	–	–	–	–	1
Разом за виконавцями теми	6	–	–	–	–	6

Подальші розрахунки витрат на оплату праці проводиться за алгоритмом, зрозумілим із табл. 6.2.

Середньоденна заробітна плата за категоріями виконавців розраховується шляхом ділення їх посадового місячного окладу на 21,2 (де 21,2 – усереднене число робочих днів за місяць).

Таблиця 6.2

Розрахунок витрат на оплату праці

Посада виконавців теми	Планова трудомісткість, люди-днів	Заробітна плата, грн		
		Посадовий місячний оклад	Середньоденна зарплата	Усього за виконавцями
1. Науковий керівник	1	4289,70	202,34	3237,44
2. Студент	1	1302	61,42	1289,82
Разом оплата праці з теми				4527,26

6.1.2 Відрахування на соціальні заходи. До цієї статті витрат належать виплати у вигляді єдиного соціального внеску, які здійснює організація – виконавець теми в пенсійний фонд в розмірі 37,26%, що становить 1686,86 грн. від загальних витрат на оплату праці.

Базою вказаного нарахування слугують загальні витрати на оплату праці по темі (табл.6.2).

6.1.3 Обладнання, необхідне для проведення досліджень. В даній статті враховують вартість усіх видів матеріалів, необхідних для проведення НДР, з вирахуванням вартості зворотних відходів.

Тематика дослідницьких робіт, які виконуються на факультеті прикладних інформаційних систем та електроінженерії, передбачає використання, перш за все, електроенцефалографа, комп'ютерів для аналізу добового електроенцефалосигналу та формування матеріалів звітності, оргтехніки та ін.

Розрахунки зведено за формою у табл.6.3

Таблиця 6.3

Розрахунки витрат на обладнання

Найменування обладнання	Одиниця виміру	Кількість	Ринкова ціна за одиницю, грн	Сума, грн.
1. Електроенцефалограф та електроди	шт	1	25520	25520
1. ПК (системний блок, монітор, клавіатура, мишка, кабель живлення)	шт	1	4000	4000
4 Принтер лазерний	шт	1	850	850
5 Кабелі для підключення електроенцефалографа до ПК	шт	1	100	100
Загальні витрати на матеріали				30470

6.1.4 Енергоносії для проведення досліджень. На підприємстві електроенергія використовується для електроенцефалографа, освітлення, живлення медобладнання, комп'ютерної техніки та оргтехніки []:

$$Z_{cm} = \sum_{i=1}^n P_i \cdot C_i, \quad (6.1)$$

де P_i – витрата i -го виду матеріального ресурсу, натуральні одиниці;

C_i - ціна за одиницю i -го виду матеріального ресурсу, грн.

i - вид матеріального ресурсу;

n - кількість видів матеріальних ресурсів.

Якщо для проведення НДР використовується електрообладнання, то необхідно розрахувати витрати на електроенергію за формою (6.1), наведеною в таблиці 6.4.

Таблиця 6.4

Витрати на електроенергію

Найменування обладнання	Паспортна потужність, Вт	Коефіцієнт використання потужності	Час роботи обладнання для розробку АІС, год	Ціна електроенергії, Грн/ (кВт/год)	Сума, грн.
Електроенцефалограф	100	0,25	3	2,68	201
ПК (системний блок, монітор, клавіатура, мишка, кабель живлення)	150	0,25	90	2,68	3618
Принтер лазерний	700	0,15	5	2,68	804
Лампи розжарювання (освітлення)	80	0,45	10	2,68	134
РАЗОМ витрати на електроенергію					4757

6.1.5 Витрати на службові відрядження. Дані витрати складаються із фактичних витрат на службові відрядження штатних працівників, зайнятих виконанням НДР: витрат на проїзд до місця відрядження і назад; витрат на проживання у готелі; добових витрат, які розраховуються на кожний день перебування у відрядженні, враховуючи час перебування в дорозі, та деякі інші.

Під час виконання НДР здійснюються ряд відряджень, які пов'язанні із доповідями на конференціях, які наведено у таблиці 6.5.

Таблиця 6.5

Приблизні витрати на службові відрядження

Тип відрядження	Кількість	Приблизна вартість відрядження
Конференція	5	2000
Здача звітів НДР	1	200
Впровадження результатів НДР	3	900
Всього	—	4600

6.1.6. Розроблення планової калькуляції кошторисної вартості теми. Планова калькуляція вартості проведення досліджень по темі складається на підставі виконаних розрахунків та нормативних даних (табл.6.6).

Таблиця 6.6

Планова калькуляція кошторисної вартості НДР (умовні дані)

Найменування статей витрат	Сума, грн	Обґрунтування
1	2	3
1.Витрати на оплату праці	4527,26	Відповідно до розрахунків
2.Відрахування на соціальні заходи	1686,86	Відповідно до діючих загальнодержавних нормативів
3.Обладнання для проведення досліджень	30470	Відповідно до розрахунків
4.Енергоносії для проведення досліджень	4757	Відповідно до розрахунків
5.Витрати на службові відрядження	4600	Відповідно до розрахунків
6.Інші невраховані прямі витрати по темі	4604,10	10% від суми прямих розрахованих витрат по темі
7.Кошторисна вартість теми	50645,20	Сума попередніх статей

Кінцевим результатом науково-дослідницьких робіт є досягнення наукового, науково-технічного, економічного, соціального, екологічного та інших видів ефектів.

Науковий ефект від виконання теми передбачає приріст наукових знань у певній сфері науки, а науково-технічний ефект характеризує можливість використання цих наукових знань в інших наукових напрямках та при розробці принципово нових технічних рішень. Економічний ефект відображає потенціал НДР в досягненні кращого співвідношення результатів виробництва до витрат і має прогнозний характер. Соціальний ефект заводить до збільшення числа робочих місць, поліпшення умов праці та побуту, скорочення тривалості робочого тижня, розвитку охорони здоров'я, науки, культури, освіти. Екологічний ефект полягає в поліпшенні стану навколишнього середовища, зменшенні електромагнітного та іонізуючого випромінювання тощо.

6.2 Науково-технічна ефективність науково-дослідної роботи

Економічна оцінка фундаментальних і пошукових НДР у вартісному вимірі, як правило, неможливо, бо ймовірність доведення результатів таких досліджень до конкретного практичного застосування невелике. Для таких досліджень рекомендується [25] визначати науковий та науково-технічний ефект, який враховує результати наукових досліджень та їх значущість для прискорення науково-технічного прогресу та розвитку національної економіки.

Науковий та науково-технічний ефект рекомендується оцінювати коефіцієнтом науково-технічної ефективності ($E_{нт}$) за допомогою формули [25]:

$$E_{нт} = \frac{\sum B_i \cdot B_{ij}}{\sum B_i \cdot B_{ij}^{\max}}, \quad (6.2)$$

де B_i – нормативні значення коефіцієнтів вагомості факторів науково-технічної ефективності (табл. 6.7);

B_{ij} – середнє значення балу, який виставляється експертами і-му фактору;

B_{ij}^{\max} – максимально можливе значення балу (табл. 6.8);

i – порядковий номер фактору;

j – відповідна характеристика і-го фактора.

Нормативні значення коефіцієнтів вагомості факторів науково-технічної ефективності наведені в табл. 6.7.

Таблиця 6.7

Нормативні значення коефіцієнтів вагомості факторів
науково-технічної ефективності

Фактори (i)	Коефіцієнти вагомості (B_i)
1.Новизна очікуваних або одержаних результатів	0,25
2.Глибина наукового опрацювання	0,16
3.Ступінь ймовірності успіху	0,09
4.Перспективність використання результатів	0,25
5.Масштаб можливої реалізації результатів	0,15
6.Завершеність одержаних результатів	0,10
Разом	1,00

Характеристика факторів науково-технічної ефективності НДР наведена в табл. 6.8.

Таблиця 6.8

Характеристика факторів науково-технічної ефективності НДР

Фактор наукової та науково-технічної ефективності	Характеристика фактора	Оцінка фактора	
		Якісна	Бальна A_{ij}^{\max}
1	2	3	4
1.Новизна одержаних або передбачуваних результатів	Одержані принципово нові результати, раніше невідомі в науці, розроблена нова теорія, відкрита нова закономірність	Висока	10

Продовження таблиці 6.8

1	2	3	4
	Встановлені деякі часткові закономірності, методи, способи, які дозволяють створити принципово нові види техніки	Середня	7
	Позитивне вирішення поставлених задач на підставі простих узагальнень, аналіз зв'язків між факторами, розповсюдження відомих наукових принципів на об'єкти	Недостатня	3
	Позитивне вирішення поставлених задач на підставі простих узагальнень, аналіз зв'язків між факторами, розповсюдження відомих наукових принципів на об'єкти	Недостатня	3
2.Глибина наукового опрацювання	Проведена значна кількість експериментів по нетрадиційним методикам, виконані складні теоретичні розрахунки, підтверджені експериментальними даними	Істотна	10
	Проведена обмежена кількість розрахунків по відомих методикам, виконані теоретичні розрахунки невисокої складності, частково перевірені експериментальними даними	Середня	6
	Проведена недостатня кількість експериментів, виконані прості теоретичні розрахунки без експериментальної перевірки	Несуттєва	1
3.Стінь ймовірності успіху	Висока ймовірність повного вирішення поставлених задач НДР	Значна	10
	Середня ймовірність вирішення більшості експериментальних або теоретичних задач	Помірна	6
	Низька ймовірність вирішення поставлених задач, отримання позитивних результатів сумнівне	Незначна	1
4.Масштаб використання результатів	Результати можуть бути використані в багатьох наукових напрямках, мають значення для розвитку суміжних наук	Широкий	10
	Результати можуть бути використані в конкретному науковому напрямку при розробці нових технічних рішень, спрямованих на суттєве підвищення продуктивності суспільної праці	Достатньо широкий	8
	Результати будуть використані при проведенні наступних НДР, при розробці нових технічних рішень в конкретній галузі	Достатній	5

Продовження таблиці 6.8

1	2	3	4
5. Ступінь реалізації результатів	Строк впровадження, роки: До 2	Висока	10
	До 4	Середня	7
	До 6	Достатня	4
	Більше 6	Недостатня	2
6. Завершення одержаних результатів	Авторське свідоцтво, стаття в фаховому виданні, методика, інструкція, класифікатор, стандарти, нормативи.	Висока	10
	Технічне завдання на прикладну НДР	Середня	8
	Рекомендації, розгорнутий аналіз, пропозиції	Достатня	6
	Огляд, інформаційне повідомлення	Недостатня	3

Кількісна оцінка факторів науково-технічної ефективності НДР здійснюється експертним шляхом за десятибальною шкалою і визначається як середньоарифметичне. Отримані результати зводять за формою табл. 6.9.

Таблиця 6.9

Результати розрахунків науково-технічної ефективності НДР

Фактори науково-технічної ефективності	Характеристика фактора	Розрахунок B_{ij}			B_{ij}^{\max}
		Експертні оцінки		B_{ij}	
		1	2		
1	2	3	4	5	6
1. Новизна очікуваних або одержаних результатів	Встановлені деякі часткові закономірності, методи, способи, які дозволяють створити принципово нові види техніки	5	5	5	10
2. Глибина наукового опрацювання	Проведена обмежена кількість розрахунків по відомим методикам, виконані теоретичні розрахунки невисокої складності, частково перевірені експериментальними даними	8	8	8	10

Продовження таблиці 6.9

1	2	3	4	5	6
3.Ступінь ймовірності успіху	Середня ймовірність вирішення більшості експериментальних або теоретичних задач	6	6	6	10
4.Перспективність використання результатів	Результати можуть бути використані в конкретному науковому напрямку при розробці нових технічних рішень, спрямованих на суттєве підвищення продуктивності суспільної праці	8	8	8	10
5.Масштаб можливої реалізації результатів	До 2 років	10	10	10	10
6.Завершеність одержаних результатів	Рекомендації, розгорнутий аналіз, пропозиції	6	6	6	10

Розраховане за формулою 6.2 значення $E_{нт}$ буде відображати рівень наукової та науково-технічної ефективності конкретної теми фундаментального чи пошукового дослідження:

$$E_{нт} = \frac{0.25 \cdot 5 + 0.16 \cdot 8 + 0.09 \cdot 6 + 8 \cdot 0.25 + 10 \cdot 0.15 + 6 \cdot 0.1}{1 \cdot 10} = 0,717.$$

Загальну оцінку бакалаврської НДР можна здійснити, користуючись даними табл. 6.10.

Загальна оцінка наукової та науково-технічної ефективності
фундаментальних та пошукових НДР

Загальна оцінка наукової та науково-технічної ефективності		Можливі рекомендації по результатам виконання НДР
Розраховане значення $E_{нт}$	Загальна якісна оцінка ефективності	
0,91-1,00	Відмінно	Оформлення авторського свідоцтва, публікація у фаховому виданні, продовження досліджень по даній тематиці
0,76-0,90	Дуже добре	
0,61-0,75	Добре	Рекомендації можуть бути сформульовані після ретельного аналізу отриманих результатів
0,36-0,60	Достатня	Переглянути технічне завдання у разі продовження досліджень по даній темі
Менш 0,35	Незадовільна	Здійснити всебічний аналіз отриманих результатів по темі

6.3 Висновки до розділу 6

У розділі на підставі виконаних розрахунків та нормативних даних встановлено, що планова калькуляція вартості проведення досліджень по темі становить 50645,20 грн., а кількісна оцінка науково-технічна ефективність науково-дослідної роботи, яка здійснюється експертним шляхом за десятибальною шкалою і визначається як середньоарифметичне, що складає 0,717 від максимального числа 1, а рекомендації по результатам виконання НДР можуть бути сформульовані після ретельного аналізу отриманих результатів.

РОЗДІЛ 7

ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

7.1 Охорона праці

7.1.1. Вимоги безпеки до лабораторних приміщень та обладнання для наукових досліджень

Технічні лабораторії необхідно розташовувати в окремих будівлях, у спеціальних прибудовах до виробничої будівлі або на верхніх поверхах виробничої будівлі, ізольовано від інших приміщень. Ступінь вогнестійкості будівель повинна бути не нижче третьої. Стіни і стелі технічної лабораторії забарвлюють фарбами, які запобігають адсорбції отруйних речовин і дозволяють проводити їх чистку, миття або дегазацію. Підлоги і поверхні робочих столів рекомендується виконувати з негорючих або важкогорючих антикорозійних матеріалів. До робочих столів повинні бути підведені постійний і змінний струм.

У кожній технічній лабораторії повинна бути передбачена можливість відключення подачі електроенергії. Рубильники закритого типу встановлюють поза робочих приміщень у легко доступних місцях.

Всі приміщення технічної лабораторії повинні бути обов'язково обладнані витяжною вентиляцією, витяжними шафами. У кожній лабораторії є перелік речовин, роботу з якими обов'язково виконують у витяжних шафах.

Ємності з речовинами, що викликають технічні опіки, наприклад, з кислотами і лугами, потрібно переносити удвох у спеціальних кошиках або на візках. Тверді луги слід брати тільки лабораторними щипцями або руками у гумових перчатках; при дробленні великих шматків використовувати щільну матерію (бельтинг). Роботу слід виконувати із застосуванням індивідуальних засобів захисту.

Горючі та легкозаймисті рідини повинні знаходитись у товстостінних скляних банках або ємностях з притертими пробками, що загвинчуються. Такі

ємності необхідно зберігати у металевих ящиках (шафах), які викладені всередині азбестом, а на дні мають насипаний шар піску. При роботі з цими речовинами необхідно користуватися витяжною шафою механічної вентиляції.

7.1.2. Органи державного нагляду за охороною праці. Основні принципи державного нагляду (контролю) у сфері господарської діяльності.

Відповідно до Закону України „Про охорону праці” (ст. 44) державний нагляд за додержанням законодавчих та інших нормативних актів про охорону праці здійснюють:

- Комітет по нагляду за охороною праці України (Держнагляд-охоронпраці);
- Державний комітет України з ядерної та радіаційної безпеки;
- органи державного пожежного нагляду управління пожежної охорони Міністерства внутрішніх справ України;
- органи та заклади санітарно-епідеміологічної служби Міністерства охорони здоров'я України.

Вищий нагляд за додержанням і правильним застосуванням законів про охорону праці здійснюється Генеральним прокурором України і і підпорядкованими йому прокурорами.

Органи державного нагляду за охороною праці не залежать від будь-яких господарських органів, об'єднань громадян, політичних формувань, місцевих державних адміністрацій і Рад народних депутатів та діють відповідно до положень, що затверджуються Кабінетом Міністрів України.

Посадові особи органів державного нагляду за охороною праці(державні інспектори) мають право:

- безперешкодно в будь-який час відвідувати підконтрольні підприємства для перевірки дотримання законодавства про охорону праці, одержувати від власника необхідні пояснення, матеріали та інформацію з даних питань;
- надсилати керівникам підприємств, а також їх посадовим особам, керівникам структурних підрозділів Ради Міністрів, місцевих Рад народних депутатів, міністерств та інших центральних органів державної виконавчої влади,

обов'язкові для виконання розпорядження (приписи) про усунення порушень і недоліків в галузі охорони праці;

- зупиняти експлуатацію підприємств, окремих виробництв, цехів, ділянок, робочих місць і обладнання до усунення порушень вимог щодо охорони праці, які створюють загрозу життю або здоров'ю працюючих;

- притягати до адміністративної відповідальності працівників, винних у порушенні законодавчих та інших нормативних актів про

- охорону праці;

- надсилати власникам, керівникам підприємств подання про невідповідність окремих посадових осіб займаній посаді, передавати в необхідних випадках матеріали органам прокуратури для притягнення їх до кримінальної відповідальності.

Органи державного нагляду за охороною праці встановлюють порядок опрацювання і затвердження власниками положень, інструкцій та інших актів про охорону праці, що діють на підприємствах, розробляють типові документи з цих питань.

Власник повинен безплатно створити необхідні умови для роботи представників органів державного нагляду за охороною праці.

Посадові особи органів державного нагляду за охороною праці несуть відповідальність за виконання покладених на них обов'язків згідно з законодавством.

Закон України "Про основні засади державного нагляду (контролю) у сфері господарської діяльності"

Цей Закон визначає правові та організаційні засади, основні принципи і порядок здійснення державного нагляду (контролю) у сфері господарської діяльності, повноваження органів державного нагляду (контролю), їх посадових осіб і права, обов'язки та відповідальність суб'єктів господарювання під час здійснення державного нагляду (контролю).

Державний нагляд (контроль) здійснюється за принципами:

- пріоритетності безпеки у питаннях життя і здоров'я людини, функціонування і розвитку суспільства, середовища проживання і життєдіяльності перед будь-якими іншими інтересами і цілями у сфері господарської діяльності;

- підконтрольності і підзвітності органу державного нагляду (контролю) відповідним органам державної влади;

- рівності прав і законних інтересів усіх суб'єктів господарювання;

- гарантування прав суб'єкту господарювання;

- об'єктивності та неупередженості здійснення державного нагляду (контролю);

- наявності підстав, визначених законом, для здійснення державного нагляду (контролю);

- відкритості, прозорості, плановості й системності державного нагляду (контролю);

- неприпустимості дублювання повноважень органів державного нагляду (контролю);

- невтручання органу державного нагляду (контролю) у статутну діяльність суб'єкта господарювання, якщо вона здійснюється в межах закону;

- відповідальності органу державного нагляду (контролю) та його посадових осіб за шкоду, заподіяну суб'єкту господарювання внаслідок порушення вимог законодавства;

- дотримання умов міжнародних договорів України;

- незалежності органів державного нагляду (контролю) від політичних партій та будь-яких інших об'єднань громадян.

7.1.3. Завдання страхування від нещасного випадку. Принципи та види страхування.

Всі питання страхування від нещасного випадку регламентовані Законом України «Про загальнообов'язкове державне соціальне страхування від нещасного випадку на виробництві та професійного захворювання, які спричинили втрату працездатності».

Завданнями страхування від нещасного випадку є:

- проведення профілактичних заходів, спрямованих на усунення шкідливих і небезпечних виробничих факторів, запобігання нещасним випадкам на виробництві, професійним захворюванням та іншим випадкам загрози здоров'ю застрахованих, викликаним умовами праці;
- відновлення здоров'я та працездатності потерпілих на виробництві від нещасних випадків або професійних захворювань;
- відшкодування шкоди, пов'язаної з втратою застрахованими особами заробітної плати або відповідної її частини під час виконання трудових обов'язків, надання їм соціальних послуг у зв'язку з ушкодженням здоров'я, а також у разі їх смерті здійснення страхових виплат непрацездатним членам їх сімей.

Страхування від нещасного випадку є самостійним видом загальнообов'язкового державного соціального страхування, за допомогою якого здійснюється соціальний захист, охорона життя та здоров'я громадян у процесі їх трудової діяльності.

Дія цього Закону поширюється на осіб, які працюють на умовах трудового договору (контракту) на підприємствах, в установах, організаціях, незалежно від їх форм власності та господарювання, у фізичних осіб, на осіб, які забезпечують себе роботою самостійно, та громадян – суб'єктів підприємницької діяльності.

Держава гарантує усім застрахованим громадянам забезпечення прав у страхуванні від нещасного випадку на виробництві та професійного захворювання.

Законодавство про страхування від нещасного випадку складається із Основ законодавства України про загальнообов'язкове державне соціальне страхування, цього Закону, Кодексу законів про працю України, Закону України "Про охорону праці" та інших нормативно-правових актів.

Якщо міжнародним договором України, згода на обов'язковість якого надана Верховною Радою України, встановлено інші норми, ніж ті, що передбачені законодавством про страхування від нещасного випадку, то застосовуються норми міжнародного договору.

Принципи та види страхування

Основними принципами страхування від нещасного випадку є:

- паритетність держави, представників застрахованих осіб та роботодавців в управлінні страхуванням від нещасного випадку;
- своєчасне та повне відшкодування шкоди страховиком;
- обов'язковість страхування від нещасного випадку осіб, які працюють на умовах трудового договору (контракту) та інших підставах, передбачених законодавством про працю, а також добровільність такого страхування для осіб, які забезпечують себе роботою самостійно, та громадян – суб'єктів підприємницької діяльності;
- надання державних гарантій реалізації застрахованими громадянами своїх прав;
- обов'язковість сплати страхувальником страхових внесків;
- формування та витрачання страхових коштів на солідарній основі;
- диференціювання страхового тарифу з урахуванням умов і стану безпеки праці, виробничого травматизму та професійної захворюваності на кожному підприємстві;
- економічна заінтересованість суб'єктів страхування в поліпшенні умов і безпеки праці.

Враховуючи різноманіття об'єктів, що підлягають страхуванню, відмінності в обсязі страхової відповідальності і категоріях страхувальників, всю сукупність відносин страхування можна поділити на п'ять наступних галузей: майнове страхування, соціальне страхування, особисте страхування, страхування відповідальності, страхування підприємницьких ризиків.

Об'єктами майнового страхування є матеріальні цінності; соціального страхування — рівень добробуту громадян; особистого страхування — життя, працездатність і здоров'я громадян.

7.2 Безпека в надзвичайних ситуаціях

Електробезпека користувачів персональних комп'ютерів

Приміщення із робочими місцями користувачів комп'ютерів для забезпечення електробезпеки обладнання, а також для захисту від ураження електричним струмом самих користувачів ПК повинні мати достатні технічні засоби захисту.

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, перейти на негорючу ізоляцію.

Лінія електромережі для живлення ЕОМ, периферійних пристроїв ЕОМ та устаткування для обслуговування, ремонту та налагодження ЕОМ виконується як окрема групова трипровідна мережа, шляхом прокладання фазового, нульового робочого та нульового захисного провідників. Нульовий захисний провідник використовується для заземлення (занулення) електроприймачів.

Використання нульового робочого провідника як нульового захисного провідника забороняється. Нульовий захисний провід прокладається від стійки групового розподільчого щита, розподільчого пункту до розеток живлення. Не допускається підключення на щиті до одного контактного затискача нульового робочого та нульового захисного провідників. Площа перерізу нульового робочого та нульового захисного провідника в груповій трипровідній мережі повинна бути не менше площі перерізу фазового провідника.

Усі провідники повинні відповідати номінальним параметрам мережі та навантаження, умовам навколишнього середовища, умовам розподілу провідників, телектромагнітне полеєратурному режиму та типам апаратури захисту, вимогам Правил налаштування електроустанов.

У приміщенні, де одночасно експлуатується або обслуговується більше п'яти персональних ЕОМ, на помітному та доступному місці встановлюється

аварійний резервний вимикач, який може повністю вимкнути електричне живлення приміщення, крім освітлення.

ЕОМ, периферійні пристрої ЕОМ та устаткування для обслуговування, ремонту та налагодження ЕОМ повинні підключатися до електромережі тільки з допомогою справних штепсельних з'єднань і електророзеток заводського виготовлення. Штепсельні з'єднання та електророзетки крім контактів фазового та нульового робочого провідників повинні мати спеціальні контакти для підключення нульового захисного провідника. Конструкція їх 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. Необхідно унеможливити з'єднання контактів фазових провідників з контактами нульового захисного провідника.

Неприпустимим є підключення ЕОМ та периферійних пристроїв ЕОМ до звичайної двопровідної електромережі, в тому числі – з використанням перехідних пристроїв.

Електромережі штепсельних з'єднань та електророзеток для живлення ЕОМ, периферійних пристроїв слід виконувати за магістральною схемою, по 3...6 з'єднань або електророзеток в одному колі. Штепсельні з'єднання та електророзетки для напруги 12 В та 36 В за своєю конструкцією повинні відрізнятися від штепсельних з'єднань для напруги 127 В та 220 В і мають бути пофарбовані в колір, який візуально значно відрізняється від кольору штепсельних з'єднань, розрахованих на напругу 127 В та 220 В.

Індивідуальні та групові штепсельні з'єднання та електророзетки необхідно монтувати на негорючих або важкогорючих пластинах з урахуванням вимог Правил налаштування електроустанов та Правил пожежної безпеки в Україні.

Електромережу штепсельних розеток для живлення ЕОМ, периферійних пристроїв ЕОМ при розташуванні їх уздовж стін приміщення прокладають по підлозі поряд зі стінами приміщення, як правило, в металевих трубах і гнучких металевих рукавах з відводами відповідно до затвердженого плану розміщення обладнання та технічних характеристик обладнання.

При розташуванні в приміщенні за його периметром до 5 ЕОМ, використанні трипровідникового захищеного проводу або кабелю в оболонці з негорючого або важкогорючого матеріалу дозволяється прокладання їх без металевих труб та гнучких металевих рукавів.

Електромережу штепсельних розеток для живлення ЕОМ при розташуванні їх у центрі приміщення, прокладають у каналах або під знімною підлогою в металевих трубах або гнучких металевих рукавах. При цьому не дозволяється застосовувати провід і кабель в ізоляції з вулканізованої гуми та інші матеріали, що містять сірку. Відкрита прокладка кабелів під підлогою забороняється. Металеві труби та гнучкі металеві рукави повинні бути заземлені. Заземлення повинно відповідати вимогам НПАОП 40.1-1.21-98.

Для підключення переносної електроапаратури застосовують гнучкі проводи в надійній ізоляції.

Тимчасова електропроводка від переносних приладів до джерел живлення виконується найкоротшим шляхом без заплутування проводів у конструкціях машин, приладів та меблях. Доточувати проводи можна тільки шляхом паяння з наступним старанним ізолюванням місць з'єднання.

Є неприпустимими:

- експлуатація кабелів та проводів з пошкодженою або такою, що втратила захисні властивості за час експлуатації, ізоляцією; залишення під напругою кабелів та проводів з неізольованими провідниками;
- застосування саморобних подовжувачів, які не відповідають вимогам Правил влаштування електроустанов до переносних електропроводок;
- застосування для опалення приміщення нестандартного (саморобного) електронагрівального обладнання або ламп розжарювання;
- користування пошкодженими розетками, розгалужувальними та з'єднувальними коробками, вимикачами та іншими електровиробами, а також лампами, скло яких має сліди затемнення або випинання;

– підвішування світильників безпосередньо на струмопровідних проводах, обгортання електроламп і світильників папером, тканиною та іншими горючими матеріалами, експлуатація їх зі знятими ковпаками (розсіювачами);

– використання електроапаратури та приладів в умовах, що не відповідають вказівкам (рекомендаціям) підприємств-виготовлювачів.

7.3 Висновки до розділу 7

У підрозділі з охорони праці сформульовано рекомендації щодо вимог безпеки до лабораторних приміщень та обладнання для наукових досліджень, органи державного нагляду за охороною праці та завдання страхування від нещасного випадку. У підрозділі з безпеки в надзвичайних ситуаціях розглянуто питання електробезпеки користувачів персональних комп'ютерів.

РОЗДІЛ 8 ЕКОЛОГІЯ

8.1 Вплив радіолокаційних станцій на навколишнє середовище

Інтенсивний розвиток електроніки та радіотехніки викликав забруднення природного середовища електромагнітними випромінюваннями (полями). Головними їхніми джерелами є радіо-, телевізійні і радіолокаційні станції, високовольтні лінії електропередач, електротранспорт. Поблизу кожного обласного центру, багатьох районних центрів, великих міст розташовані телевізійні центри або ретранслятори, радіоцентри, засоби радіозв'язку різного призначення.

Рівень електромагнітних випромінювань у таких районах (діапазон радіочастот об'єктів може змінюватися від 50— 100 Гц до 100 ГГц) часто перевищує допустимі гігієнічні норми й дуже шкодить здоров'ю людей, що мешкають поруч.

Мірою забруднення електромагнітними полями є напруженість поля (В/м). Ці поля завдають шкоди перш за все нервовій системі. Так, напруженість поля 1000 В/м спричинює головний біль і сильну втому, більші значення зумовлюють розвиток неврозів, безсоння, важкі захворювання.

Існують розроблені на основі медико-біологічних досліджень санітарні норми та правила щодо радіотехнічних і електротехнічних об'єктів. Вони регламентують умови їхньої експлуатації з метою охорони населення від шкідливого впливу електромагнітних випромінювань.

Зростання енергетичних потужностей становить небезпеку для довкілля — розширюється мережа та зростає напруга повітряних ліній електропередач. Вони негативно впливають на нормальний розвиток тваринного та рослинного світу.

Спеціальні дослідження показали, що технічно найперспективнішими є лінії надвисокої та ультрависокої напруги (760— 1150 кВ), котрі становлять небезпеку.

Навколо них утворюються потужні електромагнітні поля, які негативно впливають на людину, порушують природну міграцію тварин, процеси росту рослин тощо.

Турботу про стан навколишнього середовища стимулювала, започаткована в 1972 році, міжнародна програма UNEP (United Nation Environment Protection — Охорона навколишнього середовища ООН), яка передбачає глобальний моніторинг навколишнього середовища. Під моніторингом розуміється система спостереження, контролю прогнозу та управління екологічними процесами. Моніторинг дозволяє виявляти критичні та екстремальні ситуації, фактори антропогенного впливу на довкілля, здійснювати оцінку та прогноз стану об'єктів спостереження, керувати процесами взаємовпливу об'єктів гідросфери, літосфери, атмосфери, біосфери та техносфери.

До заходів щодо зменшення впливу на працівників електромагнітних полів належать: організаційні, інженерно-технічні та лікарсько-профілактичні.

Організаційні заходи здійснюють органи санітарного нагляду. Вони проводять санітарний нагляд за об'єктами, в яких використовуються джерела електромагнітних випромінювань.

Інженерно-технічні заходи передбачають таке розташування джерел електромагнітного поля, яке б зводило до мінімуму їх вплив на працюючих, використання в умовах виробництва дистанційного керування апаратурою, що є джерелом випромінювання, екранування джерел випромінювання, застосування засобів індивідуального захисту (халатів, комбінезонів із металізованої тканини, з виводом на заземлюючий пристрій). Для захисту очей доцільно використовувати захисні окуляри ЗП5-90. Скло окулярів вкрито напівпровідниковим оловом, що послаблює інтенсивність електромагнітної енергії при світлопропусканні не нижче 75%.

Взагалі, засоби індивідуального захисту необхідно використовувати лише тоді, коли інші захисні засоби неможливі чи недостатньо ефективні: при проходженні через зони опромінення підвищеної інтенсивності, при ремонтних і налагоджувальних роботах в аварійних ситуаціях, під час короткочасного

контролю та при зміні інтенсивності опромінення. Такі засоби незручні в експлуатації, обмежують можливість виконання трудових операцій, погіршують гігієнічні умови.

У радіочастотному діапазоні засоби індивідуального захисту працюють за принципом екранування людини з використанням відбиття і поглинання електромагнітного поля. Для захисту тіла використовується одяг з металізованих тканин і рідіопоглинаючих матеріалів. Металізовану тканину роблять із бавовняних ниток з розміщеним всередині них тонким проводом, або з бавовняних чи капронових ниток, спірально обвитих металевим дротом. Така тканина, наче металева сітка, при відстані між нитками до 0,5 мм значно послаблює дію випромінювання. При зшиванні деталей захисного одягу треба забезпечити контакт ізольованих проводів. Тому електрогерметизацію швів здійснюють електропровідними масами чи клеями, які забезпечують гальванічний контакт або збільшують ємнісний зв'язок неконтактуючих проводів.

Лікарсько-профілактичні заходи передбачають проведення систематичних медичних оглядів працівників, які перебувають у зоні дії електромагнітного поля, обмеження в часі перебування людей в зоні підвищеної інтенсивності електромагнітних випромінювань, видачу працюючим безкоштовного лікарсько-профілактичного харчування, перерви санітарно-оздоровчого характеру.

8.2 Утилізація використаних антен

Проблема відходів електронного та електричного обладнання і використаних антен (вони мають скорочену назву «електронні відходи») в останні роки стала однією з головних екологічних проблем у всьому світі та вимагає найскорішого вирішення.

У Європейському Союзі, де стале управління відходами є однією з головних та пріоритетних сфер діяльності у напрямку охорони навколишнього середовища, і відповідні директиви складають основу керівних принципів щодо відходів у

цілому та електронних відходів зокрема, існує певний прогрес у вирішенні цієї проблеми.

Країни ЄС та розвинені країни світу вже подолали більшість перешкод на шляху вирішення проблеми електронних відходів – тут збирають та переробляють до 80 % цього типу відходів.

В Україні процес розбудови та гармонізації нормативно-правової бази щодо відходів проходить суперечливо. Відзначається, що останніми роками одночасно з послабленням регулюючої ролі органів управління йде не гармонізація, а деформація правового поля стосовно поводження з відходами.

Суб'єктам економічної діяльності вигідно не нести відповідальності за долю виготовлених та проданих ними товарів після закінчення їх експлуатації. І оскільки поки що екологічно відповідальний бізнес є нечисленним, то без законодавчого встановлення зобов'язань марно чекати зрушень.

Низький рівень використання відходів як вторинних ресурсів в Україні на відміну від країн ЄС, потребує створення та імплементації сучасних фінансово економічних важелів забезпечення розвитку вторинного ресурсо-користування.

Серед населення існує мала обізнаність щодо негативних наслідків неналежного поводження з електронними відходами для довкілля та суспільного здоров'я, внаслідок чого і суспільство, і влада на усіх рівнях ігнорують наявність проблеми та необхідність пошуку ефективних практичних шляхів її вирішення.

Проте, існують певні позитивні тенденції стосовно окремих виробників електронного обладнання. Наприклад, компанія Nokia безкоштовно приймає від населення відпрацьовані мобільні телефони Nokia в будь-якому фірмовому центрі обслуговування та потім направляє їх на утилізацію.

Дещо інша картина спостерігається стосовно збору електронних відходів від підприємств, установ, організацій та інших корпоративних користувачів.

Багато видів ЕЕО віднесено до основних фондів (вся офісна, промислова, лабораторна техніка). Згідно з чинним законодавством України основні фонди підприємства підлягають обліку та списанню з балансу підприємств відповідно до ЗУ «Про бухгалтерський облік та фінансову звітність в Україні». Документами,

що підтверджують знищення, розібрання або перетворення основного засобу залежно від групи такого засобу, можуть бути акти на їх списання відповідної форми, а також висновки відповідної експертної комісії щодо неможливості використання в майбутньому цих засобів за первісним призначенням.

Типові форми актів списання встановлено наказом Мінстату «Про затвердження типових форм первинного обліку». Списана з балансу підприємства техніка підлягає обов'язковому знищенню (утилізації) на спеціалізованих підприємствах. В інших випадках неправильна утилізація оргтехніки карається згідно з чинним законодавством.

8.3 Висновки до розділу 8

В розділі охорона праці розглянуто вплив радіолокаційних станцій на навколишнє середовище, та методи захисту від нього та проблему утилізації використаних антен.

ВИСНОВКИ

У роботі розв'язано актуальну наукову задачу - обґрунтування вибору цифрового фільтра в каналах радіозв'язку із підвищеною достовірністю прийнятого рішення.

При цьому отримано результати:

1. Із проведеного порівняльного аналізу відомих методів виявлення сигналів у суміші із завадами встановлено, що виникає необхідність обґрунтування вибору цифрового фільтру, який би дав змогу виявити сигнал.
2. Розроблено модель сигналу для задачі виявлення та фільтрації у вигляді адитивної суміші корисного сигналу і завади у вигляді білого гаусівського шуму.
3. Розроблено метод адаптивного виявлення сигналу у суміші із завадами та критерій достовірності прийнятого рішення на базі цифрової узгодженої фільтрації.
4. Розроблено програмне забезпечення адаптивного виявлення сигналу у суміші із завадами та на базі цифрової адаптивної фільтрації.
5. Проведено експериментальні дослідження з метою тестування розробленого методу та обґрунтованого фільтру для виявлення корисного сигналу.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Чердынцев В.А. Радиотехнические системы. – М-ск: Вышэйш. шк., 1988. – 369 с.
2. Нефедов В.И. Основы радиоэлектроники. – М.: Высш. шк., 2000. – 399 с.
3. Гуткин Л.С. Проектирование радиосистем и радиоустройств. – М.: Радио и связь, 1986. – 288 с.
4. Сотніков О.М., Хударковський К.І. та ін. Електромагнітна сумісність ра-діоелектронних засобів. – Х.: ХВУ, 2003. – 106 с.
5. Богданович Б.М., Окулин Н.И. Радиоприемные устройства. – М-ск: Вышэйш. шк., 1991. – 428 с.
6. Бабак В. П. Обробка сигналів: підручник./ В.П. Бабак, В.С. Хандецький, Е. Шрюфер. – К: Либідь, 1999. – 250 с.
7. Баскаков С.И. Радиотехнические цепи и сигналы: Учеб. для вузов по спец. «Радиотехника» . 3-е изд., перераб. и .доп. - М.: Высш.шк., 2000. – 462 с.
8. Вайнштейн Л.А. Выделение сигналов на фоне случайных помех / Л.А.Вайнштейн, В.Д.Зубаков. – Сов. радио, 1960.
9. Ван Трис Г. Теория обнаружения ,оценивания и модуляция. Том 1. Пер. с англ. / Г.Ван Трис. Г. – М.: Сов. Радио, 1972. – 744 с.
10. Галкин В.А. Цифровая мобильная радиосвязь: Учеб. пособие для вузов. – М.: Горячая линия-Телеком, 2007. – 432 с.
11. Гуревич М.С. Спектры радиосигналов. — М.: Связьиздат, 1963. — 321с.
12. Гуткин Л.С. Теория оптимальных методов радиоприема при флуктуационных помехах. 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Советское радио, 1972.-448с.
13. Гольденберг Л.М., Матюшкин Б.Д., Поляк М.Н. Цифровая обработка сигналов: Справочник. М.: Радио и связь, 1985. 312 с.

14. Гоноровский И.С. Радиотехнические цепи и сигналы: Учебник для вузов. Изд. 3-е, перераб. и доп. М.: Советское радио, 1977. -608 с.54.
<http://www.analog.com/UploadedFiles/Data Sheets/346669145AP1674c.pdf>
15. Жалуд В. Шумы в полупроводниковых устройствах / Под ред. Нарышкина А.К. / В.Жалуд, В.Н.Кулешів. – М.: Сов. Радио, 1977. – 416 с.
16. Зюко А.Г. Помехоустойчивость и эффективность систем связи. — М.: Связь, 1972. 360 с.7 899 отчет МККР, XV Пленарная Ассамблея. Женева, 1982 - Т. 8.
17. Коган И. М. Прикладная теория информации [Текст] / И. М. Коган. – М. : Радио и связь, 1981. – 216 с.
18. Куликов Е.И. Оценка параметров сигналов на фоне помех / Е.И.Куликов, А.П.Трифонов. – М.: Сов. Радио, 1978. – 296 с.
19. Кловский Д.Д. Передача дискретных сообщений по радиоканалам. — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Связь, 1979. 252 с.
20. Левин Б.Р. Теоретические основы статистической радиотехники: В 3 т. / Б.Р.Левин. – М.: Сов. Радио, 1976. Т.3. – 288 с.
21. Назаров М.В. Теория передачи сигналов / М.В.Назаров, Б.И.Кувшинов, О.В.Попов. – М.: Связь, 1970. – 368 с.
22. Обнаружение стохастических сигналов с неизвестными параметрами /Трифонов А.П. и др., Воронеж: – Воронеж. гос. ун-т. , 1991, – 246 с.
23. Сверхширокополосные технологии в радиолокации / Под редакцией Тейлора Д.Д. // Бока Ратон, Лондон, Нью-Йорк, Вашингтон, 2000.
24. Скляр Б. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение. – 2-е изд., испр. / Пер. с англ. – М.: Изд. дом “Вильямс”, 2001. – 1104 с. – Парал. тит. англ.
25. Теория передачи сигналов: Учеб. для вузов / А.Г. Зюко, Д.Д. Кловский, М.В., Назаров, Л.М. Финк. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Радио и связь, 1986. – 304 с.
26. Тихонов В.И. Статистическая радиотехника: монография / В.И.Тихонов. - 2-е изд., перераб. и доп. - М. : Радио и связь, 1982. – 624 с.

27. Тихонов В.И. Статистический анализ радиотехнических устройств и систем: Учебное пособие для высших учебных заведений / В.И. Тихонов, В.Н. Харисов. – М.: Радио и связь, 1991. – 608с.
28. Тихонов В.И. Оптимальный прием сигналов / В.И. Тихонов. – М.: Радио и связь, 1983. – 320 с.
29. Теория обнаружения сигналов / [П.С.Акимов., А.П.Бакут., В.А.Богданович и др].; Под ред. П.А Бакута. – М.: Радио и связь, 1984. – 440 с.
30. Урывский Л. А. Основы прикладной теории информации для телекоммуникаций [Текст] : диссертация доктора технических наук : 05.12.02 / Л. А. Урывский; Киев, НТУУ «КПИ». – К. : 2009. – 377 с.
31. Феер Л. Беспроводная цифровая связь. Методы модуляции и расширения спектра [Текст] / Л. Феер // Пер. с англ. М.: Радио и связь, 2000. – 520 с.
32. Харкевич А.А. Спектры и анализ / А.А. Харкевич – М.: Физматгиз, 1962. – 134 с.
33. Безпека життєдіяльності (забезпечення соціальної, техногенної та природної безпеки): Навч. посібник/ В.В. Бегун, І.М. Науменко. – К.: Видавництво УАННП “Фенікс”, 2004. – 328с.
34. Білявський Г. О. Основи екології [Текст] : підручник для студ. вищих навч. закладів / Г. О. Білявський, Р. С. Фурдуй, І. Ю. Костіков. – К. : Либідь, 2004. - 408 с. – ISBN 966-06-0289-8.
35. Жалуд В. Шумы в полупроводниковых устройствах / Под ред. Нарышкина А.К. / В.Жалуд, В.Н.Кулешів. – М.: Сов. Радио, 1977. – 416 с.
36. Жидецький В. Ц. Основи охорони праці [Текст] : підруч. / В. Ц. Жидецький ; М-во освіти і науки України. Наук.-метод. центр вищої освіти. Укр. акад. друкарства ; рец.: Г. Г. Гогіташвілі, І. І. Даценко, Б. С. Штангрет. — 3-тє вид., перероб. і доп. — Львів : Укр. акад. друкарства, 2006. — 336 с. — Бібліогр.: с. 329–330. — ISBN 966-8013-11-5
37. Йохна М.А., Стадник В.В. Економіка і організація інноваційної діяльності: Навч. посіб. – К.: Видавничий центр «Академія», 2005. – 400с.

ДОДАТКИ

ДОДАТОК А
Програмна реалізація автоматичного виявлення сигналів

```
function varargout = Rakush(varargin)
% RAKUSH MATLAB code for Rakush.fig
%   RAKUSH, by itself, creates a new RAKUSH or raises the existing
%   singleton*.
%
%   H = RAKUSH returns the handle to a new RAKUSH or the handle to
%   the existing singleton*.
%
%   RAKUSH('CALLBACK',hObject,eventData,handles,...) calls the local
%   function named CALLBACK in RAKUSH.M with the given input arguments.
%
%   RAKUSH('Property','Value',...) creates a new RAKUSH or raises the
%   existing singleton*. Starting from the left, property value pairs are
%   applied to the GUI before Rakush_OpeningFcn gets called. An
%   unrecognized property name or invalid value makes property application
%   stop. All inputs are passed to Rakush_OpeningFcn via varargin.
%
%   *See GUI Options on GUIDE's Tools menu. Choose "GUI allows only one
%   instance to run (singleton)".
%
% See also: GUIDE, GUIDATA, GUIHANDLES

% Edit the above text to modify the response to help Rakush

% Last Modified by GUIDE v2.5 01-Feb-2017 22:21:16

% Begin initialization code - DO NOT EDIT
gui_Singleton = 1;
gui_State = struct('gui_Name',    mfilename, ...
                  'gui_Singleton', gui_Singleton, ...
                  'gui_OpeningFcn', @Rakush_OpeningFcn, ...
                  'gui_OutputFcn', @Rakush_OutputFcn, ...
                  'gui_LayoutFcn', [] , ...
                  'gui_Callback', []);
if nargin && ischar(varargin{1})
    gui_State.gui_Callback = str2func(varargin{1});
end

if nargout
    [varargout{1:nargout}] = gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
else
```

```
gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});  
end
```

```
% End initialization code - DO NOT EDIT
```

```
% --- Executes just before Rakush is made visible.
```

```
function Rakush_OpeningFcn(hObject, eventdata, handles, varargin)  
% This function has no output args, see OutputFcn.  
% hObject handle to figure  
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB  
% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)  
% varargin command line arguments to Rakush (see VARARGIN)
```

```
% Choose default command line output for Rakush
```

```
handles.output = hObject;
```

```
% Update handles structure
```

```
guidata(hObject, handles);
```

```
% UIWAIT makes Rakush wait for user response (see UIRESUME)
```

```
% uiwait(handles.figure1);  
set(handles.text13, 'visible', 'on');  
set(handles.text14, 'visible', 'on');
```

```
% --- Outputs from this function are returned to the command line.
```

```
function varargout = Rakush_OutputFcn(hObject, eventdata, handles)  
% varargout cell array for returning output args (see VARARGOUT);  
% hObject handle to figure  
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB  
% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)
```

```
% Get default command line output from handles structure
```

```
varargout{1} = handles.output;
```

```
% --- Executes on button press in pushbutton1.
```

```
function pushbutton1_Callback(hObject, eventdata, handles)  
% hObject handle to pushbutton1 (see GCBO)  
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB  
% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)  
x1=get(handles.pushbutton1, 'userdata');  
df=str2num(get(handles.edit1, 'string'))
```

```
t=(0:length(x1)-1)/df;
axes(handles.axes1);
plot(t,x1);
axis tight;
grid on;
xlabel('Час, сек');
ylabel('Амплітуда, мВ');
```

```
% --- Executes on button press in pushbutton2.
```

```
function pushbutton2_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to pushbutton2 (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)
x=get(handles.pushbutton1,'userdata');
fd=str2num(get(handles.edit1,'string'));
t=(0:length(x)-1)/fd;
% Коефіцієнт s
s=1/(abs(max(x)));
s=1;
% Імпульсна характеристика узгодженого фільтру
for i=0:(length(x)-1)
    h(i+1)=s*(x(length(x)-i));
end;
axes(handles.axes4);
plot(t,h);
axis tight;
grid on;
xlabel('Час, сек');
ylabel('h(t)=k*s(t0-t), мВ');
```

```
% --- Executes on button press in pushbutton3.
```

```
function pushbutton3_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to pushbutton3 (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)
x=get(handles.pushbutton1,'userdata');
fd=str2num(get(handles.edit1,'string'));
% Коефіцієнт s
s=1/(abs(max(x)));
s=1;
% Імпульсна характеристика узгодженого фільтру
for i=0:(length(x)-1)
    h(i+1)=s*(x(length(x)-i));
```

```

end;
% Частотна характеристика фільтра
sph=abs(fft(h))/length(h);
% Вивід графіку
N=length(sph);
df=fd/N;
f=0:df:fd-df;
axes(handles.axes4);
plot(f(1:40),sph(1:40));
axis tight;
grid on;
xlabel('Частота, Гц');
ylabel('Амплітуда, мВ');

```

```

% --- Executes on button press in pushbutton4.
function pushbutton4_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to pushbutton4 (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)
x=get(handles.pushbutton1,'userdata');
fd=str2num(get(handles.edit1,'string'));
y=abs(fft(x));
N=length(x);
y=y./N;
df=fd/N;
f=0:df:fd-df;
axes(handles.axes1);
plot(f(1:40),y(1:40));
axis tight;
grid on;
xlabel('Частота, Гц');
ylabel('Амплітуда, мВ');

```

```

% --- Executes on button press in pushbutton5.
function pushbutton5_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to pushbutton5 (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)
x2=get(handles.pushbutton2,'userdata');
fd=str2num(get(handles.edit1,'string'));
y=abs(fft(x2));
N=length(x2);

```

```
y=y./N;
df=fd/N;
f=0:df:fd-df;
axes(handles.axes2);
plot(f(1:40),y(1:40));
axis tight;
grid on;
xlabel('Частота, Гц');
ylabel('Амплітуда, мВ');
```

```
% --- Executes on button press in pushbutton10.
```

```
function pushbutton6_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to pushbutton10 (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)
x2=get(handles.pushbutton2,'userdata');
df=str2num(get(handles.edit1,'string'))
t=(0:length(x2)-1)/df;
axes(handles.axes2);
plot(t,x2);
axis tight;
grid on;
xlabel('Час, сек');
ylabel('Амплітуда, мВ');
```

```
% --- Executes on button press in pushbutton7.
```

```
function pushbutton7_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to pushbutton7 (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)
s=get(handles.pushbutton1,'userdata');
ksi=get(handles.pushbutton2,'userdata');
if length(s)<length(ksi)
    ksitemp=ksi; ksi=0;
    s=ksitemp(1:length(s));
end;
if length(s)>length(ksi)
    stemp=s; s=0;
    ksi=stemp(1:length(ksi));
end;
```

```
df=str2num(get(handles.edit1,'string'))
t=(0:length(s)-1)/df;
```

```
axes(handles.axes2);
plot(t,ksi);
axis tight;
grid on;
xlabel('Час, сек');
ylabel('Амплітуда, мВ');
```

```
axes(handles.axes1);
plot(t,s);
axis tight;
grid on;
xlabel('Час, сек');
ylabel('Амплітуда, мВ');
```

```
% --- Executes on button press in pushbutton8.
function pushbutton8_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to pushbutton8 (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)
s=get(handles.pushbutton1,'userdata');
ksi=get(handles.pushbutton2,'userdata');
```

```
% Формування однорідності тривалості даних
```

```
if length(s)<length(ksi)
    ksitemp=ksi; ksi=0;
    ksi=ksitemp(1:length(stemp));
end;
if length(s)>length(ksi)
    stemp=s; s=0;
    s=stemp(1:length(ksi));
end;
```

```
% Виділення
```

```
% Нормовочний коефіцієнт с узгодженого фільтра
```

```
c=1/(abs(max(s)));
```

```
c=1;
```

```
% Імпульсна характеристика узгодженого фільтра
```

```
h=0;
```

```
for i=0:(length(s)-1)
```

```
    h(i+1)=c*(s(length(s)-i));
```

```
end;
```

```
% Формування ksi(t-u)
```

```
for i=0:(length(ksi)-1)
```

```
    ksiinv(i+1)=(ksi(length(ksi)-i));
```

```

end;
% Сигнал на виході фільтра
y=zeros(length(s),1);
for j=1:length(s)
for i=1:j
    y(j)=y(j)+h(i)*ksiinv(i);
end;
end;
y=y/length(y);
%Максимальне значення сигналу з фільтра
E=max(y);
% Формування шумової складової у суміші
n=ksi-s;
% Обчислення середньоквадратичного відхилення суміші шумової складової
sigman=std(n);
% Обчислення потужності шумової складової
N0=sigman^2;
% Відношення сигнал/шум
SNR=E/N0
% Значення імовірностей помилки
pf=[0.001 0.01 0.1];
% Обчислення поргу прийняття рішень
U=sqrt(SNR)*erfc(1-2*pf);
% Обчислення значення достовірностей
pd1=1-normpdf(((U(1)/SNR)-SNR),0,1);
pd2=1-normpdf(((U(2)/SNR)-SNR),0,1);
pd3=1-normpdf(((U(3)/SNR)-SNR),0,1);
% Вивід значення достовірностей на вікно користувача
set(handles.edit4,'string',num2str(pd1));
set(handles.edit5,'string',num2str(pd2));
set(handles.edit6,'string',num2str(pd3));
% Пошук факту перевищення порогу прийняття рішення
if max(y)>U set(handles.edit3,'string','так');
else
    set(handles.edit3,'string','ні');
end;
set(handles.edit3,'string','так');
% Побудова кривих виділення
j=0
for snr=0.3:0.01:SNR*2
    j=j+1;
    U(1)=sqrt(snr)*erfc(1-2*pf(1));
    U(2)=sqrt(snr)*erfc(1-2*pf(2));
    U(3)=sqrt(snr)*erfc(1-2*pf(3));

```



```

    PD1(j)=1-normpdf(((U(1)/snr)-snr),0,1)
    PD2(j)=1-normpdf(((U(2)/snr)-snr),0,1);
    PD3(j)=1-normpdf(((U(3)/snr)-snr),0,1);
    end;
axes(handles.axes3);
plot(log(0.3:0.01:SNR*2),PD1);
hold on;
plot(log(0.3:0.01:SNR*2),PD2);
plot(log(0.3:0.01:SNR*2),PD3);
hold off;
axis tight;
grid on;
xlabel('Відношення сигнал/шум, Дб');
ylabel('Pd');
set(handles.edit2,'string',num2str(log(SNR)));

```

```

% --- Executes on button press in pushbutton9.
function pushbutton9_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to pushbutton9 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
%-----Фільтрація-----
s=get(handles.pushbutton1,'userdata');
ksi=get(handles.pushbutton2,'userdata');

fd=str2num(get(handles.edit1,'string'));
t=(0:length(s)-1)/fd;

% Імпульсна характеристика узгодженого фільтру
% Коефіцієнт c
c=1/(abs(max(s)));
c=1;
h=0;
for i=0:(length(s)-1)
    h(i+1)=c*(s(length(s)-i));
end;

% Формування ksi(t-u)
for i=0:(length(ksi)-1)
    ksiinv(i+1)=(ksi(length(ksi)-i));
end;

```

```
% Сигнал на виході фільтра
```

```
y=zeros(length(s),1);  
for j=1:length(s)  
for i=1:j  
y(j)=y(j)+h(i)*ksiinv(i);  
end;  
end;  
y=y/length(y);
```

```
% Вивід графіку фільтрації
```

```
axes(handles.axes4);  
plot(t,y);  
axis tight;  
grid on;  
xlabel('Час, сек');  
ylabel('Свих, мВ^2');
```

```
% --- Executes on button press in pushbutton10.
```

```
function pushbutton10_Callback(hObject, eventdata, handles)  
% hObject handle to pushbutton10 (see GCBO)  
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB  
% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)  
s=get(handles.pushbutton1,'userdata');  
ksi=get(handles.pushbutton2,'userdata');
```

```
fd=str2num(get(handles.edit1,'string'));  
t=(0:length(s)-1)/fd;
```

```
% Імпульсна характеристика узгодженого фільтра
```

```
% Коефіцієнт c  
c=1/(abs(max(s)));  
h=0;  
for i=0:(length(s)-1)  
h(i+1)=c*(s(length(s)-i));  
end;
```

```
% Формування ksi(t-u)
```

```
for i=0:(length(ksi)-1)  
ksiinv(i+1)=(ksi(length(ksi)-i));  
end;
```

```
% Сигнал на виході фільтра
```

```
n=zeros(length(s),1);
```

```
for j=1:length(s)
```

```
for i=1:j
```

```
    n(j)=n(j)+h(i)*ksiinv(i);
```

```
end;
```

```
end;
```

```
n=n/length(n);
```

```
spn=abs(fft(n))/length(n)*2;
```

```
plot(spn(1:40))
```

```
axis tight;
```

```
grid on;
```

```
xlabel('Частота, Гц');
```

```
ylabel('Потужність, мВ ^2');
```

```
function edit3_Callback(hObject, eventdata, handles)
```

```
% hObject handle to edit3 (see GCBO)
```

```
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
```

```
% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)
```

```
% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit3 as text
```

```
% str2double(get(hObject,'String')) returns contents of edit3 as a double
```

```
% --- Executes during object creation, after setting all properties.
```

```
function edit3_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
```

```
% hObject handle to edit3 (see GCBO)
```

```
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
```

```
% handles empty - handles not created until after all CreateFcns called
```

```
% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
```

```
% See ISPC and COMPUTER.
```

```
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
```

```
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
```

```
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
```

```
end
```

```
function edit4_Callback(hObject, eventdata, handles)
```

```
% hObject handle to edit4 (see GCBO)
```

```
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
```

```

% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit4 as text
%        str2double(get(hObject,'String')) returns contents of edit4 as a double

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function edit4_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit4 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%        See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

```

```

function edit5_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit5 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit5 as text
%        str2double(get(hObject,'String')) returns contents of edit5 as a double

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function edit5_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit5 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%        See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

```

```
% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function edit6_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit6 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns called
```

```
% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%     See ISPC and COMPUTER.
```

```
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end
```

```
function edit1_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit1 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
```

```
% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit1 as text
%     str2double(get(hObject,'String')) returns contents of edit1 as a double
```

```
% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function edit1_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit1 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns called
```

```
% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%     See ISPC and COMPUTER.
```

```
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end
```

```
function edit2_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit2 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
```

```
% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit2 as text
%      str2double(get(hObject,'String')) returns contents of edit2 as a double
```

```
% --- Executes during object creation, after setting all properties.
```

```
function edit2_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
```

```
% hObject    handle to edit2 (see GCBO)
```

```
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
```

```
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns called
```

```
% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
```

```
%      See ISPC and COMPUTER.
```

```
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
```

```
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
```

```
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
```

```
end
```

```
% -----
```

```
function Untitled_1_Callback(hObject, eventdata, handles)
```

```
% hObject    handle to Untitled_1 (see GCBO)
```

```
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
```

```
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
```

```
[file,path] = uigetfile('*.dat;*.txt;', 'Завантажити експериментальний сигнал');
```

```
if length(file)>=1
```

```
    directory=[path file];
```

```
end;
```

```
x=load(directory);
```

```
x=x./2;
```

```
l=size(x);
```

```
if l(1)==1
```

```
    x=x';
```

```
end;
```

```
n=normrnd(0,0.3,length(x),1);
```

```
x=x+n;
```

```
set(handles.pushbutton2,'userdata',x);
```

```
set(handles.text14,'visible','off');
```

```
df=str2num(get(handles.edit1,'string'));
```

```
t=(0:length(x)-1)/df;
```

```
axes(handles.axes2);
```

```
plot(t,x);
```

```
axis tight;
```

```
grid on;
```

```

xlabel('Час, сек');
ylabel('Амплітуда, мВ');
% -----
function Untitled_2_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject   handle to Untitled_2 (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles   structure with handles and user data (see GUIDATA)
[file,path] = uigetfile('*.dat;*.txt;', 'Завантажити еталоний сигнал');
if length(file)>=1
directory=[path file];
end;
x=load(directory);
l=size(x);
if l(1)==1
    x=x';
end;
set(handles.pushbutton1,'userdata',x);
set(handles.text13,'visible','off');
df=str2num(get(handles.edit1,'string'));
t=(0:length(x)-1)/df;
axes(handles.axes1);
plot(t,x);
axis tight;
grid on;
xlabel('Час, сек');
ylabel('Амплітуда, мВ');
% -----
function Untitled_3_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject   handle to Untitled_3 (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles   structure with handles and user data (see GUIDATA)

% --- Executes on button press in pushbutton12.
function pushbutton12_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject   handle to pushbutton12 (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles   structure with handles and user data (see GUIDATA)
s=get(handles.pushbutton1,'userdata');
fd=str2num(get(handles.edit1,'string'));
t=(0:length(s)-1)/fd;
v=s./max(abs(s));
axes(handles.axes4);
plot(t,v);

```

```
axis tight;  
grid on;  
xlabel('Час, сек');  
ylabel('signal/|max(signal)|');
```


ДОДАТОК Б

УДК 621.394.623

Л. Тучапський, М. Поліщук

(Тернопільський державний технічний університет імені Івана Пулюя)

ЦИФРОВА ФІЛЬТРАЦІЯ РАДІОСИГНАЛІВ

Завдання фільтрації є однією з найважливіших завдань цифрової обробки сигналів і є актуальною у багатьох прикладних областях. Проблема ефективного аналізу і визначення характеристик сигналів, в тому числі і апріорно невідомих, в присутності завад різної природи на сьогодні являє собою один з найважливіших напрямків досліджень теорії виявлення сигналів. Тому обґрунтування оптимального цифрового фільтра для виявлення сигналу у суміші із завад на базі цифрової фільтрації із підвищеною достовірністю прийнятого рішення є актуальною науковою задачею.

Для вирішення поставленої задачі, використано цифровий узгоджений фільтр який зображено на рис.1.

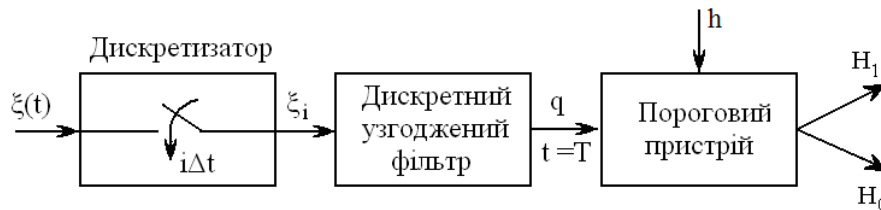


Рисунок 1. Структура виявлення сигналу у суміші із завадами:

$$q(t = T) = \max(q) - \text{максимальне значення } q \text{ в момент часу } T$$

Згідно цієї схеми аналоговий сигнал поступає на вхід дискретизатора, де сигнал дискретизується по часу із кроком Δt , після чого дискретний сигнал поступає цифровий узгоджений фільтр, який на виході формує максимально можливе відношення сигнал/шум, і з виходу фільтра обчислюється величина q , яка в подальшому порівнюється із величиною h за допомогою порогового пристрою.

На підставі результатів порівняння q з h , висувається рішення щодо присутності або відсутності корисного сигналу у суміші:

$$D^3 \phi \hat{a} \hat{t} \hat{y} = \begin{cases} (I_1) \text{ нєаїає ідєñóðí³é,} & q > h \\ (I_0) \text{ нєаїає а³аñóðí³é,} & q < h \end{cases}$$

Для виявлення корисного сигналу у суміші із завад використано лінійний узгоджений фільтр, тому що:

1) Серед лінійних фільтрів, узгоджений фільтр дає змогу отримати на виході максимальне відношення пікового значення сигналу до середньоквадратичного значення шуму, яке рівне $\sqrt{2E/N_0}$, причому це значення не залежить від форми сигналу.

2) Корисний сигнал на виході узгодженого фільтра співпадає з «кореляційною функцією» вхідного корисного шуму, і кореляційна функція вхідного шуму має вид «кореляційної функції» вхідного сигналу.

Отже, на базі теорії цифрової узгодженої фільтрації та статичного критерію прийняття рішення Неймана-Пірсона розроблено структуру оптимального виділення корисного сигналу на фоні завад, та розв'язано актуальну наукову задачу розроблення методу оптимального виявлення сигналу у суміші із завад із підвищеною достовірністю прийнятого рішення.