

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Сергеєв-Горчинський Олексій Олександрович



УДК 621.391:004.032.2:681.5.015(043.3)

**МЕТОДИ ТА МОДЕЛІ ПІДВИЩЕННЯ ЗАВАДОСТІЙКОСТІ
ІНФОРМАЦІЙНО-ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ СИСТЕМ
МЕДИЧНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ**

05.12.02 – телекомунікаційні системи та мережі

Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Київ – 2016

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Національному технічному університеті України «Київський політехнічний інститут» Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор
Рогоза Валерій Станіславович,
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут»,
професор кафедри системного проектування.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Мачалін Ігор Олексійович
Національний авіаційний університет, м. Київ,
професор кафедри телекомунікаційних систем;

доктор технічних наук, професор
Толюпа Сергій Васильович
Київський національний університет
ім. Тараса Шевченка,
професор кафедри кібербезпеки та захисту
інформації.

Захист відбудеться 27 квітня 2016 р. о 15:30 на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 26.062.17 при Національному авіаційному університеті за адресою: 03680, Київ, пр. Космонавта Комарова, 1, корпус 11, аудиторія 111.

З дисертацією можна ознайомитися в науково-технічній бібліотеці Національного авіаційного університету за адресою: 03680, Київ, пр. Космонавта Комарова, 1.

Автореферат розісланий 25 березня 2016 р.

В.о. ученого секретаря спеціалізованої
вченої ради Д 26.062.17
д.т.н., професор



В.П. Квасніков

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Сучасні етапи розвитку інформаційного суспільства розвинених країн світу характеризуються суттєвим впливом на них наукоємних інформаційних технологій, які проникають в усі сфери соціальної, політичної, військової й економічної діяльності держави та особистості.

Сучасну державу та її існування не можливо уявити без інтегрованих інформаційно-телекомунікаційних систем (ІТС), що забезпечують поширення інформаційних потоків різних класів, утворюючи глобальний інформаційний простір в суспільстві. Інформаційні комунікації є базовим чинником розвитку інноваційних процесів у державі, зокрема в машинобудуванні, авіації, транспортній галузі, банківській справі, освіті тощо, та, звичайно, медицині.

Розвиток сучасних ІТС та їх широке застосування в різних сферах людської життєдіяльності, обумовлює різке збільшення обсягів інформаційних потоків й різноманіття типів інформації, які передаються, зберігаються та обробляються в сучасних інформаційних системах. Згідно вітчизняних та міжнародних вимог відносно необхідності забезпечення високої якості обміну інформацією в ІТС медичного призначення існує важлива науково-прикладна задача: підвищення завадостійкості функціонування ІТС в умовах низьких значень відношення сигнал/шум (ВСШ, signal-to-noise ratio, SNR). Розв'язання такої науково-прикладної задачі, можливе на основі розробки і впровадження нових методів та моделей завадостійкої оптимальної цифрової фільтрації.

Питанням розробки ефективних ІТС присвячені дослідження багатьох вітчизняних та світових вчених, серед них: Баран П., Галлагер Р., Скляр Б., Хаффман Д., Шеннон К., Беркман Л.Н., Золотарьов В.В., Ільченко М.Ю., Конахович Г.Ф., Поповський В.В., Поляков П.Ф., Юдін О.К.

Дослідженню шляхів вирішення науково-прикладної задачі завадостійкої обробки дискретних квантованих сигналів присвячені наукові труди таких вчених та дослідників як: Айфічер Э., Оппенгейм А., Хассанпур Х., Ціхоцький А., Григорьев А.І., Дроздов Д.В., Ісаєв А.В., Логінов В.А., Орлов О.І., Сергієнко А.Б. Серед вітчизняних дослідників – Бих А.І., Білий В.Я., Владзимирський А.В., Глоба Л.С., Колодяжний В.М., Лях Ю.Є., Лазоришинець В.В., Ларіна Р.Р., Тулякова Н.О., Файнзільберг Л.С.

Зашумлення первинних дискретних квантованих біомедичних сигналів та цифрових сигналів мережевого обладнання ускладнює процес обміну інформацією за високих рівнів завад та малих потужностей первинного сигналу. Оптимальна цифрова фільтрація є одним з шляхів забезпечення ефективного функціонування ІТС медичного призначення. Оскільки не існує єдиного найбільш ефективного методу оптимальної цифрової фільтрації для різноманітних характеристик первинного сигналу та завад, підвищення завадостійкості функціонування ІТС медичного призначення на базі нових більш ефективних методів і моделей адаптивної дискретизації та оптимальної цифрової фільтрації є актуальною науково-прикладною задачею.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Наукові дослідження виконані відповідно до держбюджетної науково-дослідної роботи за темою «Дослідження нової концепції побудови динамічної архітектури проблемно-орієнтованого програмного забезпечення в грід-хмарному середовищі з елементами

постбінарних обчислень» (№ державної реєстрації 0114U003449) на кафедрі системного проектування ННК «ІПСА» МОН України та НАН України НТУУ «КПІ», в рамках вирішення задачі автоматизації процесу попередньої обробки технічної інформації.

Мета і задачі дослідження. Метою роботи є підвищення завадостійкості інформаційно-телекомунікаційних систем медичного призначення на базі нових методів і моделей оптимальної цифрової фільтрації за умов відсутності апріорних значень первинного сигналу та високих рівнів завад.

Досягнення поставленої мети передбачає розв'язання таких наукових задач:

1. Проведення аналізу структурно-функціональних моделей та технічних характеристик сучасних ІТС медичного призначення; проведення аналізу методів та моделей оптимальної цифрової фільтрації та визначення основних критеріїв оцінювання точності відновлення первинної інформації за наявності флуктуаційних (розподіл Гаусса), імпульсних (комбінація розподілів Гаусса та Бернуллі), зосереджених (побутова електрична мережа 50 Гц) завад.

2. Розроблення методу та структурно-аналітичної моделі оптимальної цифрової фільтрації за критерієм середньої абсолютної помилки (САП) для нестационарного сигналу за умови стаціонарного шуму, що базуються на оптимальному комбінуванні методу фільтрації та методу апроксимації дискретних квантованих значень первинного сигналу.

3. Розроблення методу та структурно-аналітичної моделі адаптивної дискретизації за критерієм мінімальності абсолютної різниці значень відношення сигнал/шум відфільтрованого первинного сигналу при двох послідовних значеннях частоти дискретизації, що дозволить визначити оптимальну частоту дискретизації за відсутності зразкового сигналу.

4. Розроблення структурно-аналітичної моделі вдосконаленої технології обробки інформації в ІТС медичного призначення в умовах підвищених рівнів завад на базі розроблених методів адаптивної дискретизації та оптимальної цифрової фільтрації, а також розроблення методики оцінювання завадостійкості ІТС при різних типах первинного сигналу та рівнях шуму. Розроблення програмного забезпечення вдосконаленої технології, проведення оцінювання ефективності розроблених методів і моделей завадостійкої обробки зашумлених сигналів (у тому числі за від'ємних SNR) в ІТС медичного призначення.

Об'єкт дослідження – процеси обробки та обміну інформацією в ІТС медичного призначення за умов відсутності апріорних значень первинного сигналу в задачах сліпої фільтрації за високих рівнів завад.

Предмет дослідження – методи та моделі підвищення завадостійкості ІТС медичного призначення на базі методів оптимальної обробки зашумлених дискретних квантованих сигналів.

Методи дослідження – імітаційне моделювання адитивних шумових складових (флуктуаційних, імпульсних, зосереджених), імітаційне моделювання стаціонарних та нестационарних тестових сигналів, статистичне оцінювання характеристик сигналу (математичне очікування, дисперсія), оцінювання відмінностей сигналів (середня абсолютна помилка, відстань Евкліда, відношення сигнал/шум), обробка дискретних квантованих сигналів (фільтрація, апроксимація), спектральний аналіз дискретних

квантованих сигналів (розрахунок Фур'є-образу), програмне моделювання технології обробки інформації в ІТС медичного призначення (реєстрація біомедичного сигналу, амплітудна, частотна, фазова цифрова модуляція/демодуляція бінарного повідомлення), розв'язання оптимізаційної задачі пошуку оптимальних параметрів фільтрації та апроксимації зашумлених дискретних квантованих сигналів.

Наукова новизна одержаних результатів:

1. Вперше розроблено метод та структурно-аналітичну модель оптимальної цифрової фільтрації нестационарних низькочастотних дискретних квантованих сигналів при стаціонарному шумі, які, на відміну від існуючих методів, базуються на пошуку оптимальної комбінації параметрів систем фільтрації рухомим середнім та апроксимації кусково-лінійною регресією при порівнянні оброблених значень за критерієм мінімальності середньої абсолютної помилки, що дозволило визначити параметр оптимальної цифрової фільтрації за відсутності зразкового сигналу.

2. Вперше розроблено метод та структурно-аналітичну модель адаптивної дискретизації нестационарних низькочастотних аналогових біомедичних сигналів при нестационарному шумі, які, на відміну від існуючих методів, базуються на адаптації частоти дискретизації зашумленого сигналу за критерієм мінімальності абсолютної різниці значень відношення сигнал/шум відфільтрованого первинного сигналу при двох послідовних значеннях частоти дискретизації, що дозволило визначити оптимальну частоту дискретизації за відсутності зразкового сигналу.

3. Вдосконалено технологію та структурно-аналітичну модель обробки інформації в ІТС медичного призначення за умов підвищених рівнів завад та малих потужностей первинного сигналу, яка, на відміну від існуючих моделей, не вимагає наявності зразкового сигналу та характеристик шумової складової, що дозволило збільшити кількість коректно відтворених бітів первинного бінарного повідомлення та підвищити завадостійкість ІТС медичного призначення.

Практичне значення одержаних результатів:

1. Впроваджено метод та структурно-аналітичну модель оптимальної цифрової фільтрації (ОЦФ) нестационарних низькочастотних дискретних квантованих сигналів при стаціонарному шумі, що на базі оптимальної цифрової фільтрації дозволило підвищити завадостійкість функціонування ІТС медичного призначення при передачі нестационарних тестових сигналів електрокардіограми (ЕКГ) та електроенцефалограми (ЕЕГ) при адитивному шумі з розподілом Гаусса. При $SNR = 5$ дБ і частоті дискретизації 1000 Гц, для сигналу ЕКГ розраховано систему ОЦФ «просте рухоме середнє» з $m = 19$ (розмір рухомого «вікна») та $\Delta SNR = 9$ дБ ($\Delta SNR = SNR_{відфільтр} - SNR_{зашум}$), а для сигналу ЕЕГ відповідно ОЦФ «просте рухоме середнє» з $m = 5$ та $\Delta SNR = 6$ дБ, що в 1.4 рази підвищило точність фільтрації порівняно з фільтром Баттерворта, на прикладі сигналу ЕКГ.

2. Впроваджено метод та структурно-аналітичну модель адаптивної дискретизації нестационарних аналогових біомедичних сигналів ЕКГ та ЕЕГ при нестационарному шумі, що на базі адаптації частоти дискретизації f_d при різних рівнях шуму дозволило підвищити точність відтворення біомедичного сигналу. Показано, що при збільшенні частоти дискретизації f_d та параметру m ОЦФ ПРС значення ΔSNR можна збільшити в 2 рази для сигналу ЕЕГ; при ймовірності імпульсних шумових відхилень $p = 0.5$ (значення «1» для розподілу Бернуллі) та $SNR_{зашум} = 5$ дБ первинний

сигнал можна відновити з $\Delta SNR = 6.28$ дБ та $m = 7$ при частоті дискретизації $f_{\delta} = 1000$ Гц, при збільшенні $f_{\delta} = 10000$ Гц відповідно з $\Delta SNR = 13.26$ дБ та $m = 23$.

3. Впроваджено структурно-аналітичну модель вдосконаленої технології обробки інформації в ІТС медичного призначення за умов підвищених рівнів завад та малих потужностей первинного сигналу, яка включає «Модуль генерування сигналу по функції», «Модуль генерування шумової складової», «Модуль обробки сигналу», «Модуль оцінки фільтрації», що при застосуванні адаптивної дискретизації та оптимальної цифрової фільтрації стаціонарного сигналу при $SNR = 0$ дБ порівняно з фільтром Вінера підвищило $SNR_{\text{відфільтр}}$ на 43.14 дБ, а з фільтром Савицького-Голея на базі сингулярної декомпозиції зашумленого сигналу підвищило $SNR_{\text{відфільтр}}$ у 1.8 разів (на 6.71 дБ).

4. У навчальний процес кафедри системного проектування ННК «Інститут прикладного системного аналізу» НТУУ «КПІ» впроваджено розроблені завдання для лабораторних практикумів з дисциплін «Комп'ютерні методи інтелектуальної обробки даних» та «Інтелектуальний аналіз даних».

5. Практичне значення отриманих результатів підтверджено їх застосуванням при розрахунку бази оптимальних цифрових фільтрів для тестових інформаційних сигналів при заданих характеристиках завад, що дозволило в 1.7 рази підвищити завадостійкість обробки зашумленого сигналу в ТОВ «Сервіс Телеком Україна» (акт впровадження від 08.12.2015 р.).

Особистий внесок здобувача. Основні положення і результати дисертаційної роботи, що виносяться до захисту, отримані автором самостійно. У роботах, написаних у співавторстві, автору належать: [1] – розробка методу оптимальної цифрової фільтрації на базі кускової апроксимації для періодичних сигналів; [2] – порівняння стохастичних алгоритмів розрахунку оптимального параметру рухомого середнього; [3] – вибір міри подібності дискретних квантованих сигналів для методу оптимальної цифрової фільтрації; [4] – порівняння стохастичних алгоритмів для розрахунку параметру фільтру нижніх частот; [5] – вибір міри подібності дискретних квантованих сигналів для стохастичного розрахунку оптимальних параметрів системи цифрової фільтрації (СЦФ) «просте рухоме середнє» (ПРС); [6] – оцінювання оптимальності фільтрації періодичних сигналів за допомогою оптимізованого на базі апроксимації розрахунку параметру СЦФ; [7] – розширений аналіз фільтрації періодичних сигналів за допомогою оптимізованого на базі апроксимації розрахунку оптимальних СЦФ; [8] – оцінювання впливу інтерполяції зашумленого сигналу на зміщення у часі результату фільтрації при застосуванні СЦФ ПРС; [9] – розробка структури програмного забезпечення вдосконаленої технології обробки інформації в ІТС медичного призначення, розробка стійкого до імпульсних завад методу розрахунку оптимальних СЦФ; [10] – аналіз фільтрації періодичних сигналів за допомогою оптимізованого на базі апроксимації розрахунку параметрів СЦФ; [11] – синтез набору оптимальних систем цифрової фільтрації для тестового стаціонарного сигналу.

Апробація результатів. Результати досліджень пройшли апробацію та одержали схвалення на 18-й міжнародній науковій конференції «International Conference on Systems Science» (Wroclaw, 2013), на 10-й міжнародній науково-практичній конференції «Intellectual Systems for Decision Making and Problems of

Computational Intelligence» (Залізний Порт, 2014), на 23-й міжнародній науковій конференції «International Conference on Systems Engineering» (Las Vegas, 2014), на 9-й та 11-й міжнародних науково-практичних конференціях «Наука в інформаційному просторі» (Дніпропетровськ, 2013, 2015), на 11-й міжнародній науково-практичній конференції «Новейшие научные достижения» (Софія, 2016).

Публікації. Основні результати дисертації опубліковано у 13 наукових працях, у тому числі – 7 статтях у фахових виданнях України (7 з яких входять до міжнародних наукометричних баз даних), 2 статтях у міжнародних фахових виданнях (2 з яких входять до міжнародних наукометричних баз даних) та 4 тезах доповідей на міжнародних конференціях (Україна, Польща, США, Болгарія).

Структура і зміст роботи. Дисертаційна робота складається із вступу, основної частини, що містить 4 розділи, висновків, списку літератури. Загальний обсяг роботи – 174 сторінок. Робота містить 57 рисунків, 9 таблиць. Список літератури включає 62 бібліографічних джерела.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** наведене обґрунтування актуальності роботи, визначені мета й задачі дослідження, наукова новизна та практичне значення отриманих результатів, наведені відомості про їх апробацію та публікацію основних результатів роботи, її обсяг та структуру.

У **першому розділі** дисертаційної роботи проведено аналіз та класифікацію сучасних ІТС медичного призначення, показано місце та роль досліджень спрямованих на підвищення завадостійкості функціонування ІТС загального і спеціального призначення на базі оптимальної цифрової фільтрації, проведено аналіз відомих методів оптимальної цифрової фільтрації, встановлено напрям подальшого науково-прикладного дослідження, а саме розробка нових методів оптимальної цифрової фільтрації стаціонарного (сума чотирьох гармонік) та нестационарних (ЕКГ, ЕЕГ, модульоване бінарне повідомлення) дискретних квантованих сигналів за наявності високих рівнів завад (у тому числі за від'ємних SNR).

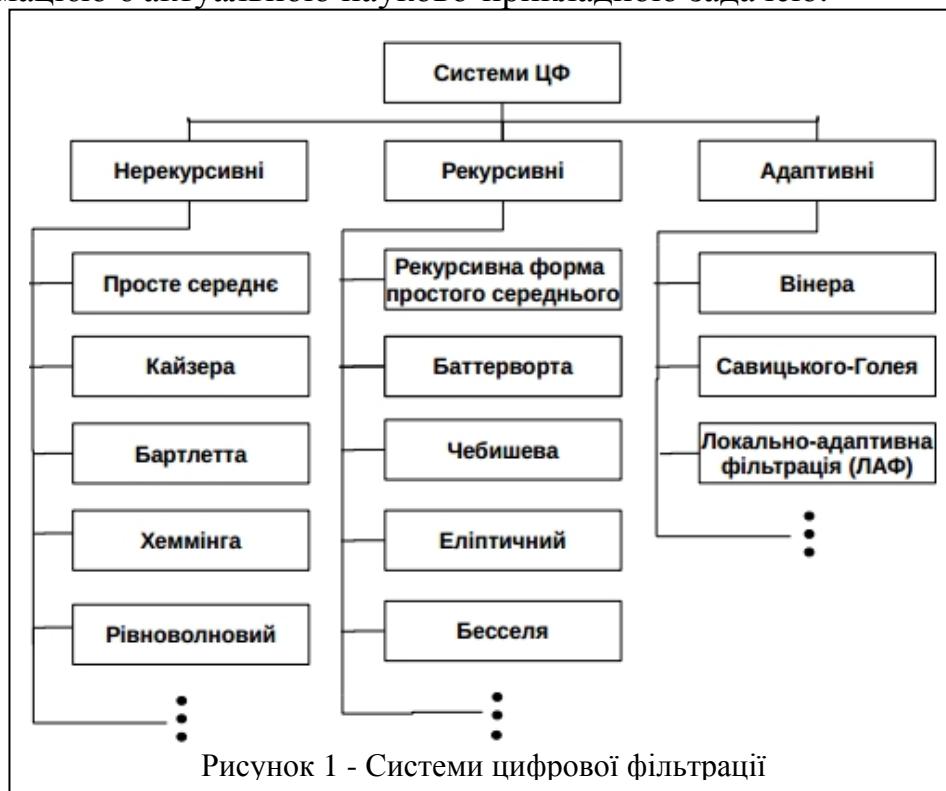
Сучасні ІТС медичного призначення є результатом поєднання технологій та моделей впровадження ІТС різних класів. ІТС медичного призначення різняться в залежності від методів їх інтеграції до ІТС загального або спеціального призначення. Різноманіття класів ІТС та структурно-функціональних схем їх реалізації обумовлене широким спектром типів застосовуваних сигналів, особливостями реалізації протоколів передачі даних, параметрами необхідного апаратного забезпечення.

Впровадження ІТС медичного призначення на сучасному етапі соціального розвитку є найбільш прогресивним та наукоємним напрямом розвитку медичної сфери держави. Стратегічне та тактичне завдання ІТС медичного призначення міститься у наданні медичних сервісів на базі ІТС різних класів за умов забезпечення гарантованої якості передачі, обробки, зберігання та аналізу медичної інформації.

Медична інформація охоплює широкий спектр сигналів необхідних для прийняття кваліфікованого рішення, щодо стану здоров'я пацієнта. На даний момент існує широке різноманіття стандартів, які використовуються для передачі та обробки медичної інформації, наприклад: ASTM, ASC X12, IEEE/MEDIX, NCPDP, HL7, DICOM тощо. Застосування стандартів визначається особливостями технічних характеристик ІТС (дротових, бездротових, мішаних).

Оскільки в реальних умовах при обміні інформацією вона спотворюється, необхідним в ІТС медичного призначення є застосування блоків завадостійкої оптимальної цифрової фільтрації, призначених для підвищення ефективності функціонування ІТС та їх спроможності по наданню якісних медичних сервісів в умовах підвищених рівнів завад.

Різноманіття біомедичних сигналів по частотам та магнітудам та варіювання їх значень для різноманітних медичних приладів суттєво ускладнює оптимальну (за критерієм середньої абсолютної помилки) фільтрацію сигналів різної форми в одному медичному приладі, збільшує елементну базу, зменшує якість та швидкість обробки, саме тому розробка нових ефективних методів оптимальної цифрової фільтрації сильнозашумлених сигналів при апріорно невизначених характеристиках каналів обміну інформацією є актуальною науково-прикладною задачею.



В роботі проведено аналіз публікацій по методам фільтрації, зокрема двох оглядових публікацій по методам лінійної й нелінійної фільтрації дискретних зашумлених сигналів стаціонарної (сума чотирьох гармонік, штучний стаціонарний сигнал схожий за формою на електроенцефалограму) та нестаціонарної (електрокардіограма) форм.

На рис. 1 зображені основні типи систем цифрової фільтрації (СЦФ) серед яких нерекурсивні, рекурсивні та побудовані на базі них адаптивні СЦФ.

В одній з розглянутих публікацій виконано порівняння результатів фільтрації зашумленого сигналу квазіперіодичної форми за допомогою адаптивного фільтра Савицького-Голея на базі сингулярної декомпозиції зашумленого сигналу, ФНЧ Баттерворта, оптимального фільтра Вінера. Оцінювання ефективності розглянутих у публікації методів фільтрації виконано за відстанню Евкліда для значень відфільтрованого та незашумленого сигналів:

$$D(\{x_{\text{незашум}}[k]\}, \{y_{\text{відфільтр}}[k]\}) = \sqrt{\sum_{k=0}^{N-1} (x_{\text{незашум}}[k] - y_{\text{відфільтр}}[k])^2}, \quad (1)$$

де k – порядковий номер відліку, $x_{\text{незашум}}[k]$ – значення незашумленого сигналу, $y_{\text{відфільтр}}[k]$ – значення відфільтрованого сигналу, N – загальна кількість відліків (дискретних значень).

В іншій розглянутій публікації виконано порівняння методів оптимальної цифрової фільтрації зашумленого сигналу електрокардіограми (ЕКГ) за допомогою методу локальної адаптивної фільтрації (ЛАФ), ФНЧ Баттерворта, адаптивного фільтра Вінера на базі вейвлет-перетворень. Оцінювання ефективності розглянутих у даній публікації методів фільтрації виконано за SNR для значень відфільтрованого сигналу:

$$SNR_{\text{відфільтр}} = 10 \cdot \log_{10} \left(\frac{\sum_{k=0}^{N-1} (x_{\text{незашум}}[k])^2}{\sum_{k=0}^{N-1} (y_{\text{відфільтр}}[k] - x_{\text{незашум}}[k])^2} \right), \quad (2)$$

де k – порядковий номер відліку, N – загальна кількість часових відліків (дискретних значень), $x_{\text{незашум}}[k]$ – значення незашумленого сигналу, $y_{\text{відфільтр}}[k]$ – значення відфільтрованого сигналу.

Результат аналізу сучасних методів оптимальної цифрової фільтрації свідчить про те, що вони забезпечують оптимальну фільтрацію лише для конкретних первинних сигналів та конкретних величин шумової складової зашумленого сигналу, що суттєво зменшує область застосування цих методів в ІТС медичного призначення.

Враховуючи вищесказане, основне науково-прикладне завдання даної роботи міститься у розробці та реалізації нових універсальних методів та моделей оптимальної цифрової фільтрації стаціонарного (сума чотирьох гармонік) та нестаціонарних (ЕКГ, ЕЕГ, модульоване бінарне повідомлення) дискретних квантованих сигналів (за умов відсутності значень зразкового сигналу), використання яких забезпечить підвищення завадостійкості ІТС медичного призначення.

У другому розділі розроблено та обґрунтовано метод оптимальної цифрової фільтрації цифрових зашумлених нестаціонарних сигналів, представлених у вигляді суми інформаційної та завадової (шумової) частотних складових. На базі методу розроблена аналітична модель та програмна реалізація оптимальної цифрової фільтрації.

Визначено складові розробленого методу – система цифрової фільтрації (СЦФ) на базі методу «просте рухоме середнє» (ПРС) та система цифрової апроксимації (СЦА) на базі методу «кусково-лінійна регресія» (КЛР) за методом найменших квадратів (МНК).

СЦФ ПРС призначена для розрахунку k -го відліку вихідної послідовності як середнього арифметичного вхідних $(m_1 + m_2 + 1)$ значень зашумленого сигналу:

$$y_{\phi_m}[k] = \frac{1}{m_1 + m_2 + 1} \cdot \sum_{i=-m_1}^{m_2} x[k - i], \quad (3)$$

де k – номер відліку, i – положення зашумленого значення відносно відфільтрованого значення, $x[k]$ – значення зашумленого сигналу, $y_{\phi_m}[k]$ – значення відфільтрованого сигналу, m_1 – кількість зашумлених значень зліва відносно $y_{\phi_m}[k]$, m_2 – кількість зашумлених значень справа відносно $y_{\phi_m}[k]$

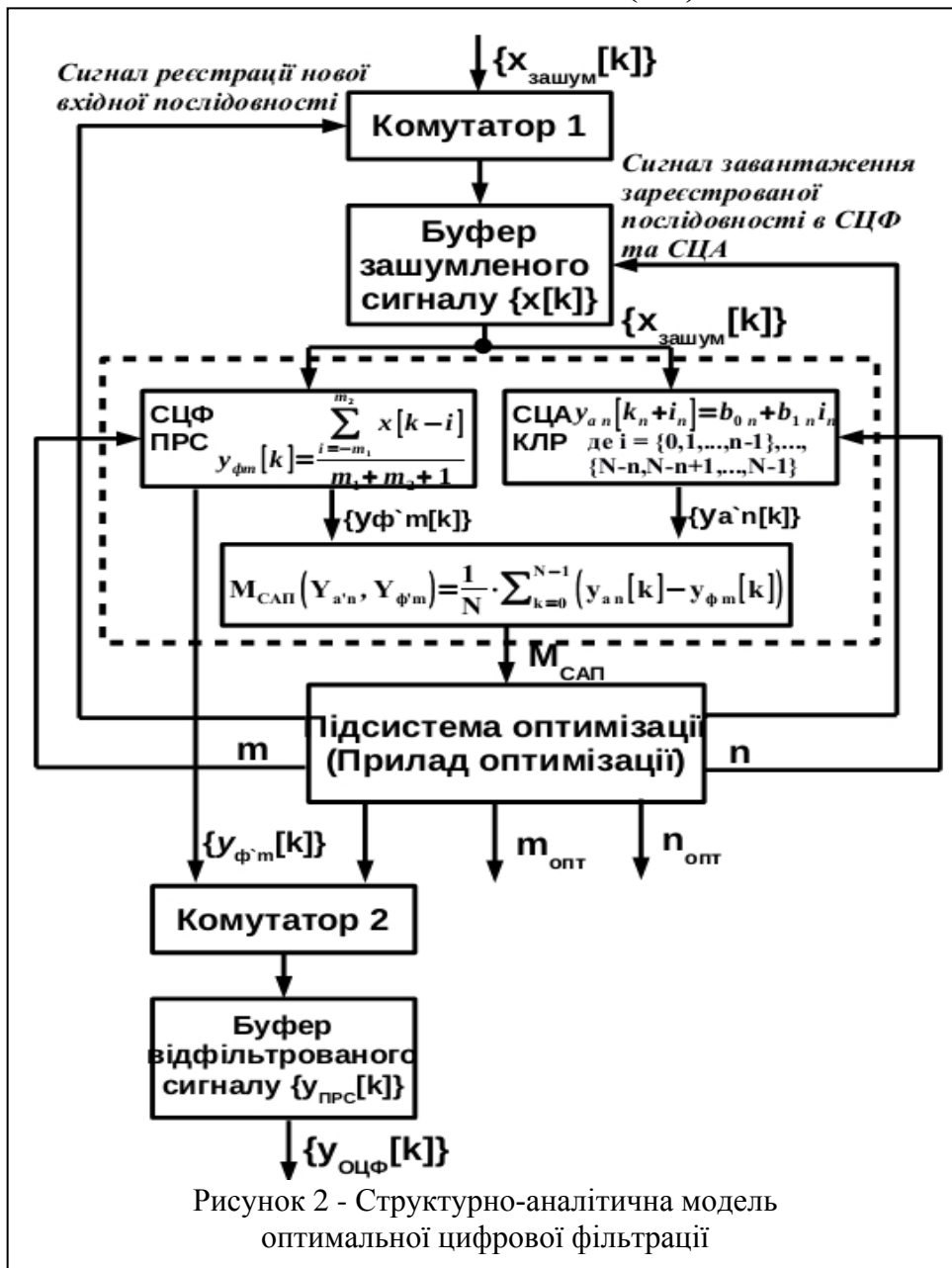
У СЦА КЛР зашумлений сигнал моделюється набором кусочно-лінійних рівнянь з фіксованою кількістю відліків і різними значеннями коефіцієнтів регресійної апроксимації b_{0_n} і b_{1_n} :

$$y_{a_n}[k_n + i_n] = b_{0_n} + b_{1_n} \cdot i_n, \quad (4)$$

де

$$b_{0_n} = \frac{1}{n} \cdot \left(\sum_{i=0}^{n-1} x[k_n + i] - b_{1_n} \cdot \sum_{i=0}^{n-1} i \right), \quad (5)$$

$$b_{1_n} = \frac{n \cdot \sum_{i=0}^{n-1} i \cdot x[k_n + i] - \sum_{i=0}^{n-1} i \cdot \sum_{i=0}^{n-1} x[k_n + i]}{n \cdot \sum_{i=0}^{n-1} i^2 - \left(\sum_{i=0}^{n-1} i \right)^2} \quad (6)$$



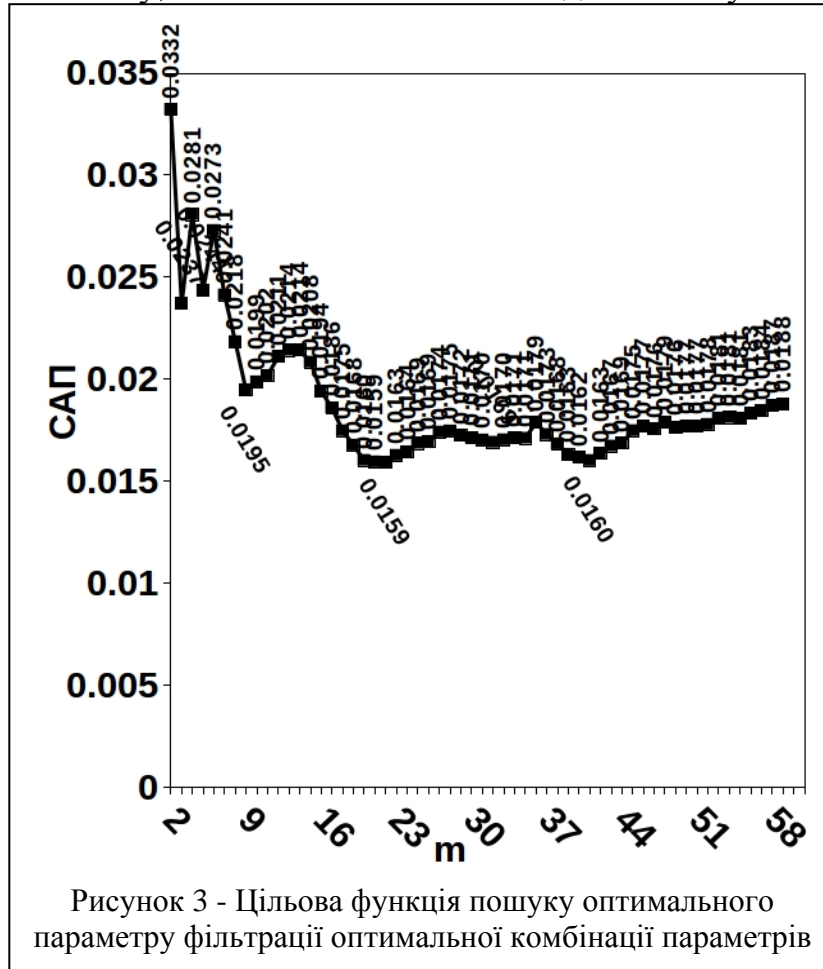
та $i = \{0, 1, 2, \dots, n-1\}$ – номер відліку в межах інтервалу апроксимації, k_n – номер початкового відліку в інтервалі апроксимації, n – інтервал апроксимації (кількість відліків для яких визначається емпіричне рівняння регресії, $n = \{2, 3, 4, \dots, N\}$),

$x[k_n+i_n]$ – значення зашумленого сигналу для відліку k_n+i_n , $y_{a_n}[k_n+i_n]$ – апроксимоване значення зашумленого сигналу (оцінка умовного математичного очікування) для відліку k_n+i_n .

Визначено оцінку розбіжності результатів фільтрації та апроксимації – «середня абсолютна помилка» (САП):

$$M_{САП}(\{y_{a_n}[k]\}, \{y_{\phi_m}[k]\}) = \frac{1}{N} \cdot \sum_{k=0}^{N-1} |y_{a_n}[k] - y_{\phi_m}[k]| \quad (7)$$

де k – номер відліку, $y_{a_n}[k]$ – значення апроксимованого сигналу, $y_{\phi_m}[k]$ – значення відфільтрованого сигналу, N – загальна кількість відліків зашумленого сигналу.

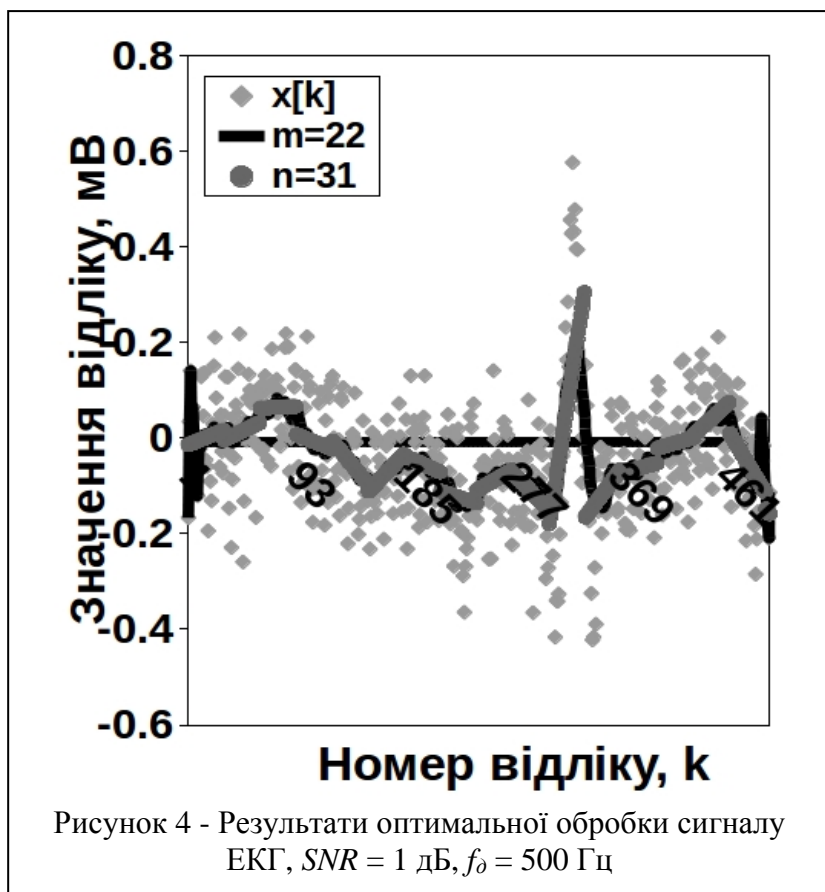


Для можливості розрахунку оптимальних значень параметрів обробки значень зашумленого первинного сигналу за відсутності зразкового сигналу методи ПРС та КЛР були об'єднанні в новий метод, аналітична модель якого зображена на рис. 2.

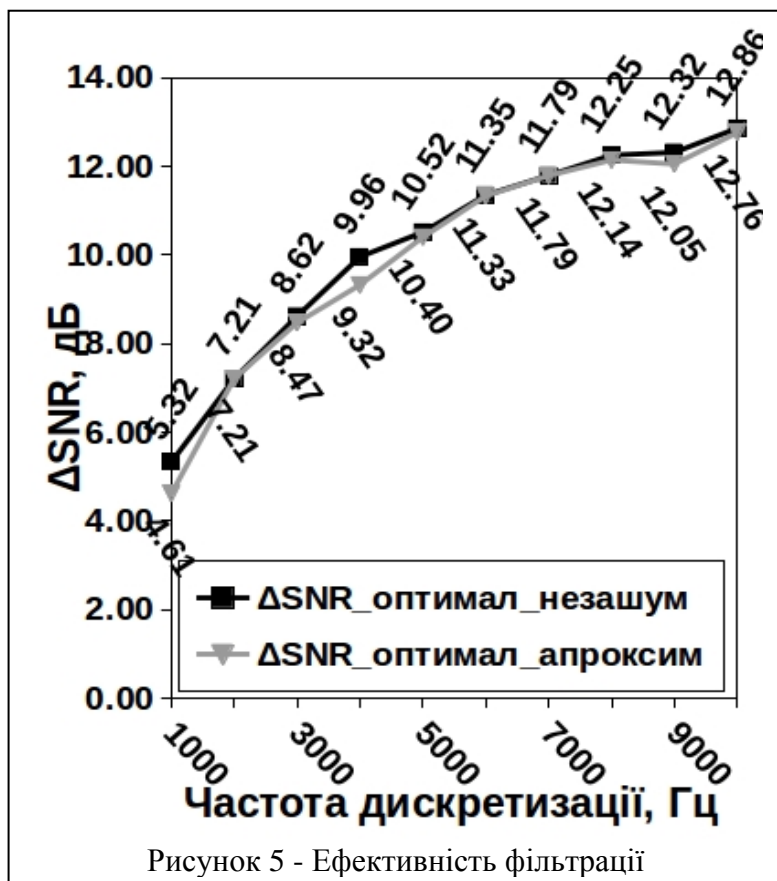
Реєстрація значень зашумленого сигналу виконується при подачі сигналу комутації на комутатор 1. Зареєстрований цифровий сигнал поступає на вхід системи цифрової фільтрації (СЦФ) «просте рухоме середнє» (ПРС) та на вхід системи цифрової апроксимації (СЦА) «кусово-лінійна регресійна апроксимація» (КЛР).

Після обробки зашумленого сигналу виконується порівняння значень відфільтрованого $\{u_{ПРС}[k]\}$ та апроксимованого $\{u_{КЛР}[k]\}$ сигналів для визначення міри їх розбіжності «середня абсолютна помилка» (САП).

Комбінація параметрів m СЦФ ПРС и n СЦА КЛР вважається оптимально підбраною, якщо міра розбіжності САП між значеннями двох оброблених сигналів має глобальне найменше значення.



складових у зашумленому нестационарному сигналі ЕКГ з глобальним мінімальним $CAI = 7.95$ при оптимальній фільтрації з $m = 22$ (в СЦФ ПРС) та апроксимації з $n = 31$ (в СЦА КЛР).



Значення цільової функції для тестового зашумленого сигналу ЕКГ ($SNR = 1$ дБ) зображені на рис. 3.

При аналізі локальних мінімумів цільової функції САП можна виділити відносні оптимальні комбінації параметрів m СЦФ ПРС та n СЦА КЛР.

З рис. 3. слідує, що глобальному мінімальному значенню САП відповідає оптимальна комбінація параметрів m СЦФ та n СЦА, за якої апроксимований сигнал максимально наближений до відфільтрованого.

Для демонстрації роботи методу на рис. 4 наведено зменшення шумової й завадової

Експериментально продемонстровано ефективність фільтрації нестационарного сигналу ЕЕГ при $SNR = 10$ дБ та різних f_d , виконано оптимальну відносно незашумленого сигналу та оптимальну відносно апроксимованого сигналу фільтрацію та розраховано ΔSNR ($\Delta BCII$) (див. рис. 5):

$$\Delta SNR = SNR_{\text{відфільтр}} - SNR_{\text{зашум}}, \quad (8)$$

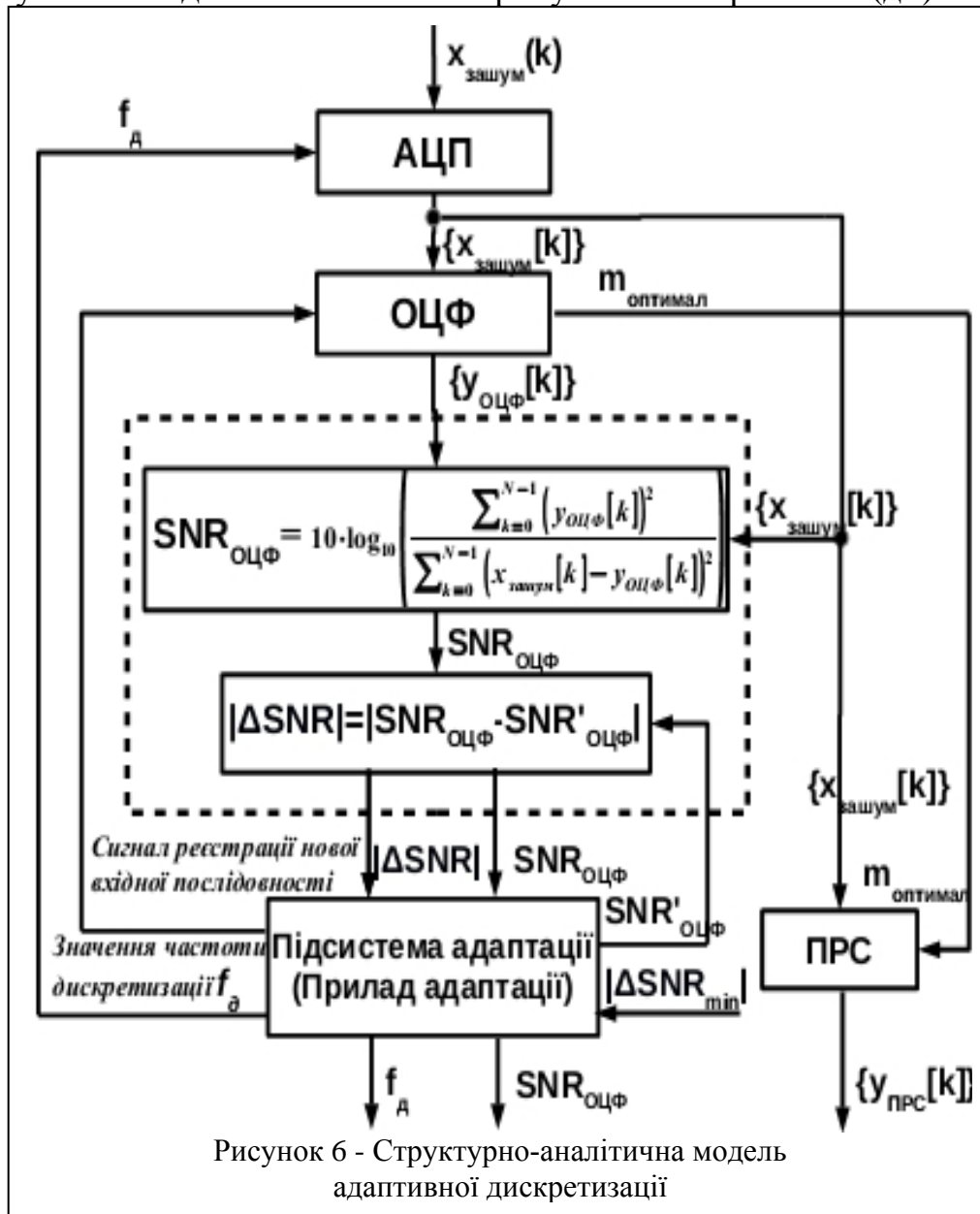
де $SNR_{\text{відфільтр}}$ – SNR оптимально відфільтрованого сигналу, $SNR_{\text{зашум}}$ – SNR зашумленого сигналу.

Таким чином, вперше розроблено метод та аналітичну модель оптимальної цифрової фільтрації, що, на відміну від існуючих моделей, враховує доцільність низькочастотної

кусково-лінійної регресійної апроксимації значень інформаційного сигналу при низьких SNR зашумленого сигналу.

У **третьому** розділі розроблено метод та структурно-аналітичну модель адаптивної дискретизації, що, на відміну від існуючих методів, базується на визначенні оптимальної частоти дискретизації, за якої при оптимальній фільтрації форма первинного біомедичного сигналу відтворюється з наперед заданою точністю.

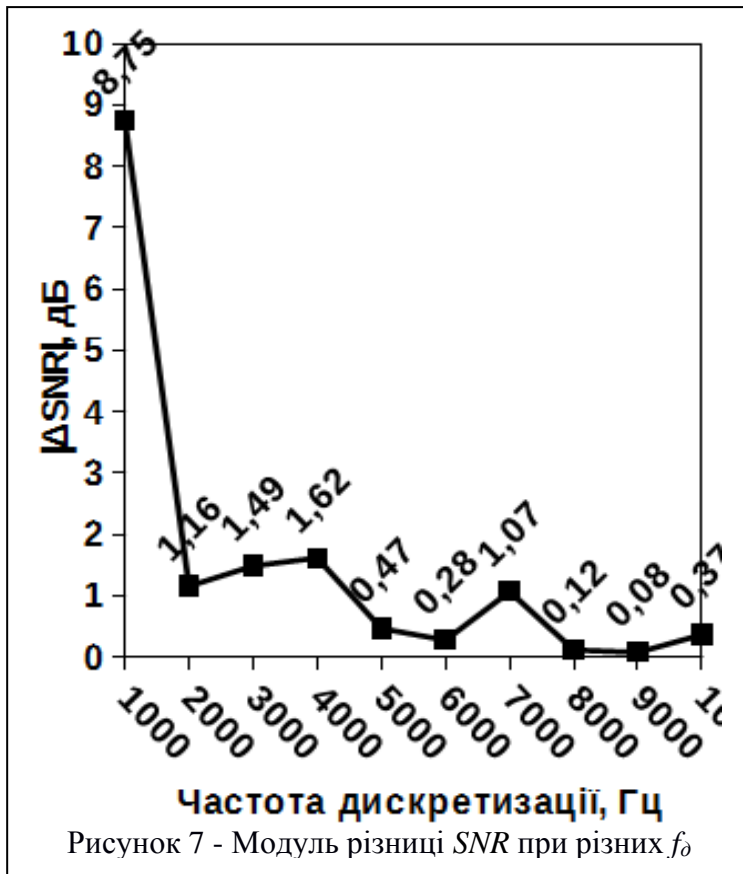
Розроблена структурно-аналітична модель адаптивної дискретизації (див. рис. 6) не вимагає апріорного знання значень граничних частот пропускання/затримання (Гц) та припустимих відхилень в полосах пропускання/затримання (дБ).



Адаптація частоти дискретизації виконується шляхом зменшення значення абсолютної різниці двох послідовних значень SNR ($|\Delta SNR|$) відфільтрованих сигналів до заданого граничного значення:

$$|\Delta SNR| = |SNR_{ОЦФ}(f_{\partial 2}) - SNR_{ОЦФ}(f_{\partial 1})|, \quad (9)$$

де



$$SNR_{ОЦФ}(f_\delta) = 10 \cdot \log_{10} \left(\frac{\sum_{k=0}^{N-1} (y_{ОЦФ}[k])^2}{\sum_{k=0}^{N-1} (x_{зашум}[k] - y_{ОЦФ}[k])^2} \right), \quad (10)$$

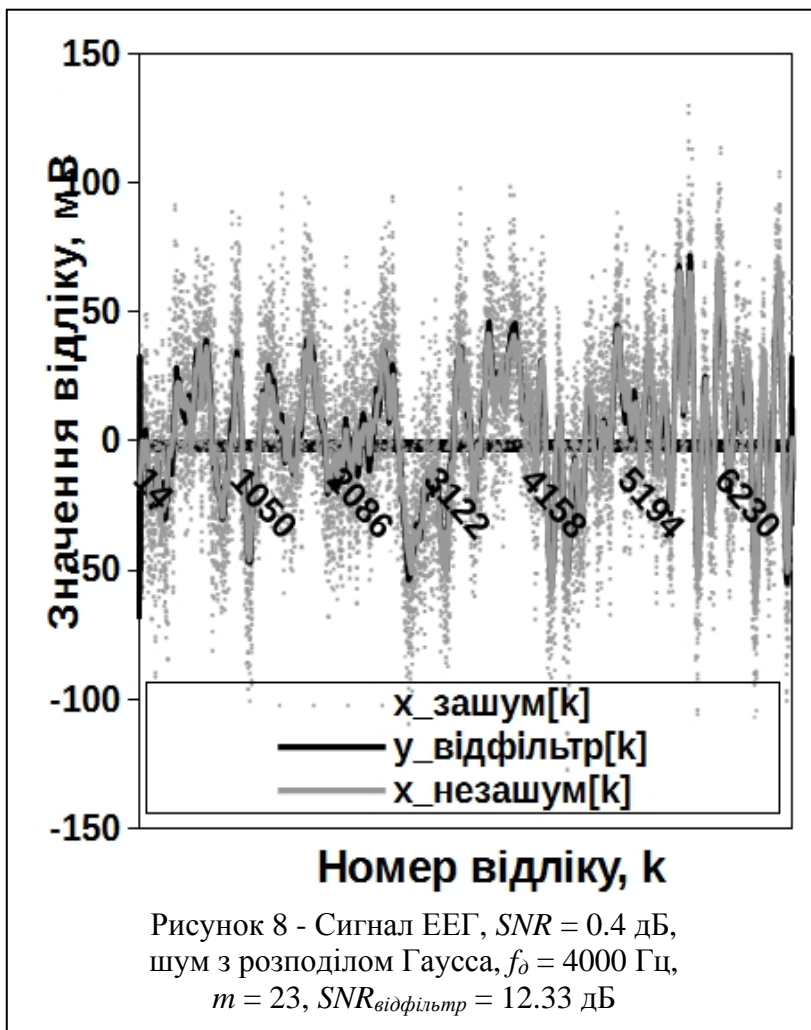
де k – номер відліку, N – загальна кількість часових відліків (дискретних значень), $x_{зашум}[k]$ – значення зашумленого сигналу, $y_{ОЦФ}[k]$ – значення відфільтрованого сигналу в ОЦФ.

Значення ΔSNR для двох послідовних частот дискретизації зашумленого сигналу ЕЕГ при $SNR = 0$ дБ зображено на рис. 7. Результат адаптованої дискретизації та оптимальної цифрової фільтрації зашумленого сигналу ЕЕГ $x(k)$ при $SNR = 0.4$ дБ зображено на рис. 8.

Таким чином, розроблена модель адаптивної дискретизації

дозволяє визначити оптимальну частоту дискретизації f_δ та оптимальний параметр цифрової фільтрації m СЦФ ПРС при різних характеристиках шумової складової.

У четвертому розділі проведено оцінювання результатів зменшення рівнів адитивного флуктуаційного та імпульсного шумів для різнотипних первинних сигналів за допомогою розроблених методів адаптивної дискретизації та оптимальної цифрової фільтрації. Проведено обробку дискретного квантованого сильнозашумленого модульованого бінарного повідомлення та порівняння точності відновлення бітів первинного бінарного повідомлення за допомогою існуючих методів амплітудної,



фазової та частотної цифрової демодуляції та методу «попередня обробка на базі розробленого методу оптимальної цифрової фільтрації + амплітудна демодуляція».

Точність відновлення бінарного повідомлення була оцінена за значенням коефіцієнта бітових помилок (bit error ratio, BER) за наступним співвідношенням:

$$BER = \frac{\sum_{i=0}^{N-1} (s_{\text{віднов}}[i] \oplus s_{\text{первин}}[i])}{N}, \quad (11)$$

де i – номер бінарного значення, N – кількість значень $\{0,1\}$ в бінарному повідомленні, BER – коефіцієнт бітових помилок, $s_{\text{первин}}$ – первинне бінарне значення, $s_{\text{віднов}}$ – відновлене бінарне значення.

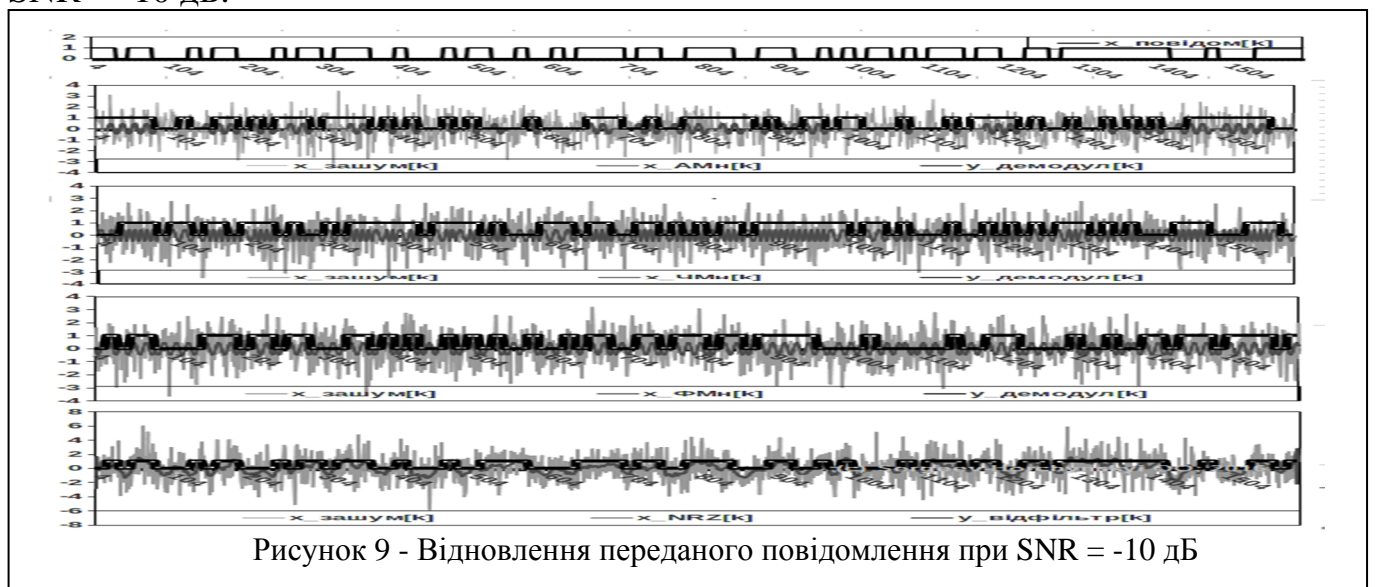
В таблиці 1 зображені значення BER для результатів демодуляції при різних рівнях SNR зашумленого бінарного повідомлення. Виконано порівняння результатів застосування існуючих методів амплітудної, частотної та фазової цифрової демодуляції та результату застосування «попередня обробка на базі розробленого методу оптимальної цифрової фільтрації + амплітудна демодуляція», що дозволило встановити зменшення значення BER за від'ємних SNR (від -12 дБ до -2 дБ) при застосуванні попередньої оптимальної цифрової фільтрації (див. табл. 1).

Таблиця 1

Значення коефіцієнта бітових помилок для різних методів демодуляції

| SNR , дБ | Амплітудний | Частотний | Фазовий | ОЦФ + амплітудний |
|------------|-------------|------------|---------|-------------------|
| -12 | 0,25 | 0,3 | 0,2 | 0,1 |
| -10 | 0,15 | 0,25 | 0,15 | 0,05 |
| -8 | 0,15 | 0,15 | 0,1 | 0,05 |
| -6 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,05 |
| -4 | 0,05 | 0,1 | 0,05 | $<10^{-2}$ |
| -2 | $<10^{-2}$ | $<10^{-2}$ | 0,05 | $<10^{-2}$ |

На рис. 9 зображені результати відновлення бінарного повідомлення при $SNR = -10$ дБ.

Рисунок 9 - Відновлення переданого повідомлення при $SNR = -10$ дБ

Розроблено структурно-аналітичну модель (див. рис. 10) вдосконаленої технології обробки інформації в ІТС медичного призначення.

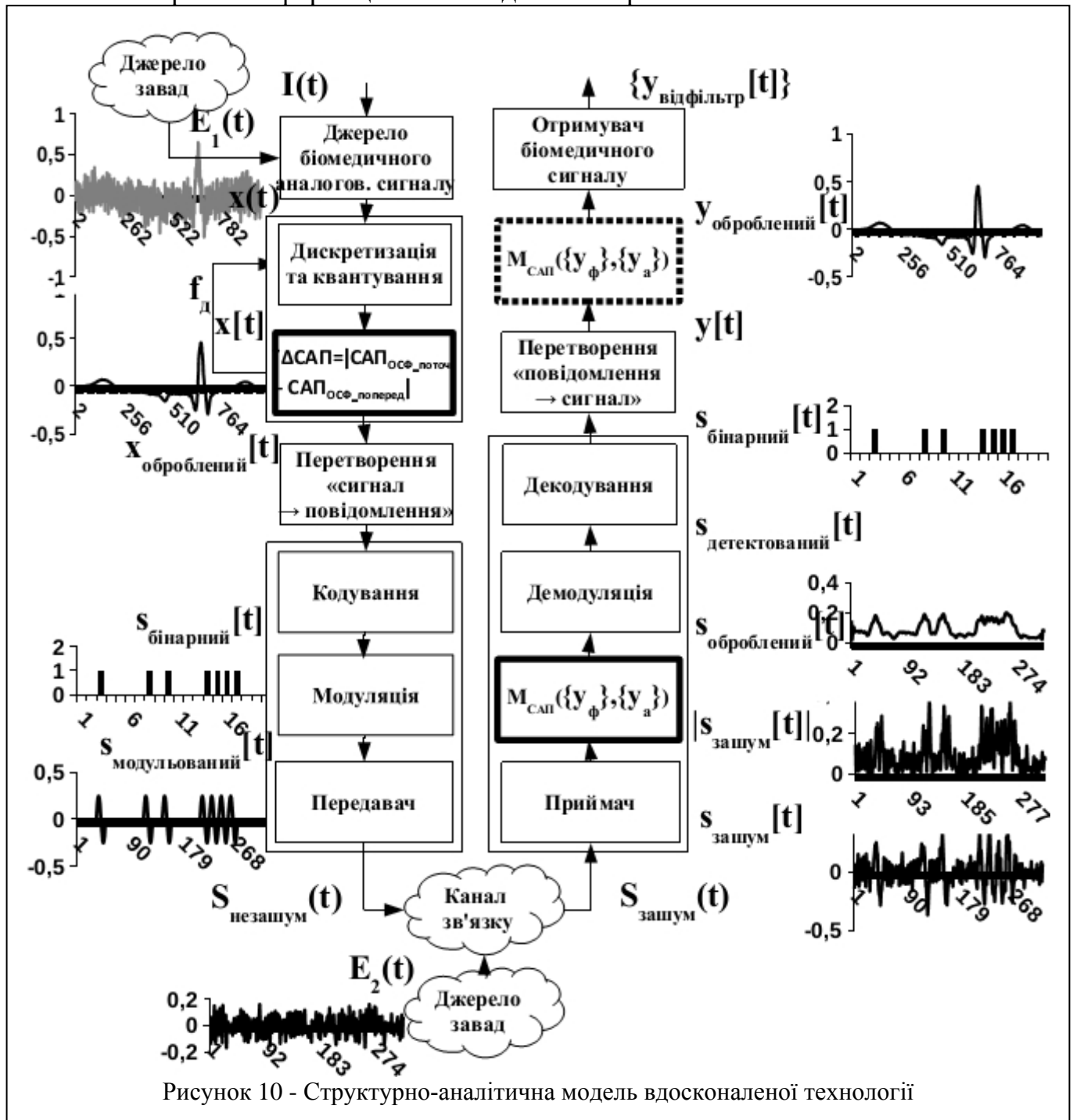


Рисунок 10 - Структурно-аналітична модель вдосконаленої технології

Розроблено програмне забезпечення (ПЗ), яке включає «Модуль генерування сигналу по функції», «Модуль генерування шумової складової», «Модуль обробки сигналу», «Модуль оцінки фільтрації». Розроблене ПЗ дозволило провести серії експериментів по оцінюванню результатів адаптивної дискретизації та оптимальної цифрової фільтрації різнотипних первинних сигналів при різноманітних характеристиках шумової складової.

Успішні результати експериментів, виконаних за допомогою розробленого ПЗ дозволили зробити висновок про досягнуту оптимальність та швидкість фільтрації сильнозашумлених нестационарних сигналів при концептуально притаманній простоті програмно-апаратної реалізації СЦФ ПРС.

ВИСНОВКИ

Головними результатами дисертаційної роботи є розроблені нові методи та моделі адаптивної дискретизації, оптимальної цифрової фільтрації та вдосконалена на базі них технологія обробки різнотипних зашумлених сигналів за умов відсутності апріорних значень первинного сигналу та високих рівнів завад, що дозволило розв'язати науково-прикладну задачу підвищення завадостійкості ІТС медичного призначення.

При виконанні дисертаційної роботи автором одержані основні результати:

1. Проведено аналіз структурно-логічних моделей та технічних характеристик сучасних ІТС медичного призначення, методів та моделей оптимальної цифрової фільтрації та визначено основні критерії оцінювання точності відновлення первинного сигналу за наявності шуму. Встановлено необхідність підвищення завадостійкості функціонування ІТС медичного призначення на базі нових методів і моделей оптимальної цифрової фільтрації за відсутності апріорних значень первинного сигналу («сліпої фільтрації», blind signal filtration) та високих рівнів завад (у тому числі за від'ємних SNR).

2. Вперше розроблено метод та структурно-аналітичну модель оптимальної цифрової фільтрації нестационарних низькочастотних дискретних квантованих сигналів при стаціонарному шумі, які, на відміну від існуючих методів, базуються на пошуку оптимальної комбінації параметрів системи фільтрації рухомим середнім та системи кусково-лінійної апроксимації при порівнянні оброблених значень за критерієм мінімальності середньої абсолютної помилки, що дозволяє визначити параметр оптимальної цифрової фільтрації за відсутності зразкового сигналу. Експериментально продемонстровано достатню близькість значень ΔSNR результатів обробки зашумленого нестационарного сигналу ЕЕГ при оптимальних параметрах m СЦФ ПКС розрахованих відносно незашумленого сигналу та відносно апроксимованого сигналу.

3. Вперше розроблено метод та структурно-аналітичну модель адаптивної дискретизації нестационарних низькочастотних аналогових біомедичних сигналів при нестационарному шумі, які, на відміну від існуючих методів, базуються на адаптації частоти дискретизації зашумленого сигналу за критерієм мінімальності абсолютної різниці двох послідовних значень відношення сигнал/шум відфільтрованого первинного сигналу при двох послідовних частотах дискретизації, що дозволяє визначити оптимальну частоту дискретизації за відсутності зразкового сигналу. Показано, що збільшення ΔSNR ($\Delta SNR = SNR_{відфільтр} - SNR_{зашум}$) для сигналу ЕЕГ в 2 рази можливе при збільшенні частоти дискретизації f_{δ} та значення оптимального параметру m СЦФ ПКС (наприклад, при ймовірності імпульсних шумових відхилень $p = 0.5$ та $SNR = 5$ дБ при частоті дискретизації $f_{\delta} = 1000$ Гц первинний сигнал можна відновити з $\Delta SNR = 6.28$ дБ та $m = 7$, при збільшенні $f_{\delta} = 10000$ Гц відповідно з $\Delta SNR = 13.26$ дБ та $m = 23$).

4. Вдосконалено технологію та структурно-аналітичну модель обробки інформації в ІТС медичного призначення за умов підвищених рівнів завад та малих потужностей первинного сигналу, яка, на відміну від існуючих моделей, не вимагає

наявності зразкового сигналу та характеристик шумової складової, що дозволило зменшити кількість некоректно відтворених бітів на прикладі бінарного повідомлення та підвищити завадостійкість ІТС медичного призначення. Виконано порівняння результатів застосування існуючих методів амплітудної, частотної та фазової цифрової демодуляції та результату застосування методу «попередня обробка на базі розробленого методу оптимальної цифрової фільтрації + амплітудна демодуляція», що дозволило встановити зменшення значення коефіцієнта бітових помилок (*BER*) за від'ємних *SNR* (від -12 дБ до -2 дБ) при застосуванні попередньої оптимальної цифрової фільтрації. Виконано порівняння результатів фільтрації зашумленого стаціонарного сигналу (сума чотирьох гармонік) за допомогою розробленого методу адаптивної дискретизації та існуючих методів оптимальної цифрової фільтрації (наприклад, при *SNR* = 0 дБ розроблений метод адаптивної дискретизації продемонстрував кращий результат (при адаптованій частоті дискретизації $f_{\delta} = 40$ кГц) фільтрації $d_{евкл} = 87$ у порівнянні з результатами фільтра Баттерворта $d_{евкл} = 325$ (при $f_{\delta} = 2$ кГц, для більших f_{δ} перерахунок оптимального фільтра ускладнюється), оптимального фільтра Вінера $d_{евкл} = 5628$ (при $f_{\delta} = 2$ кГц, для більших f_{δ} перерахунок оптимального фільтра ускладнюється), адаптивного фільтра Савицького-Голея (на базі сингулярної декомпозиції зашумленого сигналу) $d_{евкл} = 156$) (при $f_{\delta} = 2$ кГц, для більших f_{δ} перерахунок оптимального фільтра ускладнюється). У порівнянні з іншими методами, комбінування адаптивної дискретизації та оптимальної цифрової фільтрації має ряд переваг, серед яких стійкість при високих рівнях завад (у тому числі за від'ємних *SNR*), відсутність необхідності виконання матричної декомпозиції та розрахунку багаточленів високих степенів, концептуально притаманна простота програмно-апаратної реалізації та швидкість СЦФ ПРС.

5. У навчальний процес кафедри системного проектування ННК «Інститут прикладного системного аналізу» НТУУ «КПІ» впроваджено розроблені завдання для лабораторних практикумів з дисциплін «Комп'ютерні методи інтелектуальної обробки даних» та «Інтелектуальний аналіз даних».

6. Практичне значення отриманих результатів підтверджено їх застосуванням при розрахунку бази оптимальних цифрових фільтрів для тестових інформаційних сигналів при заданих характеристиках завад, що дозволило в 1.7 рази підвищити завадостійкість обробки зашумленого сигналу в ТОВ «Сервіс Телеком Україна» (акт впровадження від 08.12.2015 р.).

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ АВТОРА ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Рогоза В.С. Выбор меры подобия цифровых сигналов для расчета оптимальных параметров цифрового фильтра / В.С. Рогоза, А.А. Сергеев-Горчинский // Автоматизированные системы управления и приборы автоматики. – 2013. – Т. 164. – С. 50-57.

2. Рогоза В.С. Сравнение стохастических алгоритмов для расчета порядка фильтра нижних частот / В.С. Рогоза, А.А. Сергеев-Горчинский // Науковий вісник НЛТУ України. – 2014. – Т. 24, № 1. – С. 309-314.

3. Рогоза В.С. Выбор меры подобия цифровых сигналов для стохастического расчета оптимальных параметров цифрового фильтра / В.С. Рогоза, А.А. Сергеев-Горчинский // Наукові записки Українського науково-дослідного інституту зв'язку. –

2014. – Т. 29, № 1. – С. 57-64.

4. Rogoza V. The Comparison of the Stochastic Algorithms for the Filter Parameters Calculation / V. Rogoza, A. Sergeev // *Advances in Systems Science*. – Springer International Publishing, 2014. – Vol. 240. – P. 241-248.

5. Рогоза В.С. Оценка оптимальности фильтрации периодических сигналов при помощи оптимизированного на базе аппроксимации расчёта порядка цифрового фильтра / В.С. Рогоза, А.А. Сергеев-Горчинский // *Наукові записки Українського науково-дослідного інституту зв'язку*. – 2014. – Т. 30, № 2. – С. 76-84.

6. Sergeev-Horchynskiy A. Periodic signal filtration using digital filtering system calculation optimized by approximation / A. Sergeev-Horchynskiy, V. Rogoza // *Наукоємні технології*. – 2014. – Т. 23, № 3. – С. 284-288.

7. Рогоза В.С. Расширенный анализ фильтрации периодических сигналов с помощью оптимизированного на базе аппроксимации расчета порядка цифрового фильтра / В.С. Рогоза, А.А. Сергеев-Горчинский // *Наукові записки Українського науково-дослідного інституту зв'язку*. – 2014. – Т. 32, № 4. – С. 11-19.

8. Sergeev-Horchynskiy A. The Periodic Signal Filtration Using the Robust Digital Filter Order Calculation Optimized by Approximation / A. Sergeev-Horchynskiy, V. Rogoza // *Progress in Systems Engineering*. – Springer International Publishing, 2015. – Vol. 366. – P. 251-256.

9. Юдін О.К. Теоретичні основи організації сучасних інформаційно-телекомунікаційних систем медичного призначення / О.К. Юдін, А.В. Ільєнко, Р.В. Зюбіна, О.О. Сергеев-Горчинський // *Наукоємні технології*. – 2015. – Т. 28, № 4. – С. 311-316.

10. Рогоза В.С. Оценка влияния интерполяции сигнала на задержку возникающую при его сглаживании / В.С. Рогоза, А.А. Сергеев-Горчинский // *Наука в інформаційному просторі: матеріали ІХ міжнар. наук.-практ. конф., Дніпропетровськ, 10-11 жовт. 2013 г.* – Біла К.О., 2013. – С. 46-51.

11. Рогоза В.С. Фильтрация периодических сигналов при помощи оптимизированного на базе аппроксимации расчета порядка цифрового фильтра / В.С. Рогоза, А.А. Сергеев-Горчинский // *Intellectual Systems for Decision Making and Problems of Computational Intelligence: матеріали конференції Х міжнар. наук. конф., Залізний Порт, 28-31 трав. 2014 г.* – Херсон: ХНТУ, 2014. – С. 160-162.

12. Сергеев-Горчинский А.А. Автоматизация синтеза оптимальных систем цифровой фильтрации / А.А. Сергеев-Горчинский // *Наука в інформаційному просторі: матеріали ХІ міжнар. наук.-практ. конф., Дніпропетровськ, 23-24 груд. 2015 р.* – Біла К.О., 2015. – С. 28-31.

13. Сергеев-Горчинский А.А. Формирование резервного канала связи медицинского назначения на базе механических колебаний / А.А. Сергеев-Горчинский // *Новейшие научные достижения – 2016: материалы ХІ междунар. наук.-практ. конф., София, 15-22 март 2016 г.* – Бялгород-БГ ООД, 2016. – С. 40-43.

АНОТАЦІЯ

Сергеев-Горчинський О.О. Методи та моделі підвищення завадостійкості інформаційно-телекомунікаційних систем медичного призначення. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.12.02 – телекомунікаційні системи та мережі. – Національний авіаційний університет МОН України, Київ, 2016.

У роботі проведено аналіз структур сучасних медичних інформаційно-телекомунікаційних систем, каналів зв'язку, технологій обміну медичною інформацією, типів біомедичних сигналів, методів оптимальної цифрової фільтрації й обґрунтована доцільність розробки нових методів оптимальної цифрової фільтрації нестационарних сигналів при відсутності апріорної інформації про характеристики первинного сигналу й шуму. Розроблені метод і структурно-аналітична модель оптимальної цифрової фільтрації при стаціонарному шумі, засновані на мінімізації відмінності відфільтрованого й апроксимованого сигналів за критерієм мінімальності середньої абсолютної помилки. Для підвищення точності відновлення первинного сигналу при нестационарному шумі розроблені метод та структурно-аналітична модель адаптивної дискретизації зашумленого сигналу за критерієм мінімальності абсолютної різниці двох послідовних значень відношення сигнал/шум відфільтрованого первинного сигналу при двох послідовних частотах дискретизації. Розроблено структурно-аналітичну модель вдосконаленої технології обміну інформацією в ІТС медичного призначення. Розроблені методи оптимальної дискретизації та цифрової фільтрації дозволяють відновлювати інформаційний сигнал при відсутності зразкового сигналу й характеристик шумової складової, зменшити потужність первинного сигналу, зменшити коефіцієнт бітових помилок, зменшити вимоги до якості апаратного забезпечення медичної системи.

Ключові слова: цифровий сигнал, сліпа обробка, оптимальна фільтрація, просте ковзне середнє, кусково-лінійна регресія, середня абсолютна помилка, частота дискретизації, адаптивна дискретизація.

АННОТАЦИЯ

Сергеев-Горчинский А.А. Методы и модели повышения помехоустойчивости информационно-телекоммуникационных систем медицинского назначения. – Рукопись.

Диссертация на соискание научной степени кандидата технических наук по специальности 05.12.02 – телекоммуникационные системы и сети. – Национальный авиационный университет МОН Украины, Киев, 2016.

В работе проведен анализ структур современных медицинских информационно-телекоммуникационных систем (ИТС), каналов связи, технологий обмена медицинской информацией, типов биомедицинских сигналов, методов оптимальной цифровой фильтрации и обоснована целесообразность разработки новых методов оптимальной фильтрации нестационарных сигналов (в том числе при отрицательных SNR) при отсутствии апріорной информации о характеристиках первичного сигнала и шума. Разработаны метод и структурно-аналитическая модель оптимальной фильтрации при стаціонарном шуме, основанные на минимизации различия отфильтрованного и аппроксимированного сигналов по критерию минимальности средней абсолютной ошибки. Экспериментально продемонстрирована сходимость

процесса поиска оптимальных параметров низкочастотной фильтрации (простое скользящее среднее) и кусочно-линейной аппроксимации. Установлено увеличение точности восстановления первичного сигнала при увеличении частоты дискретизации зашумленного сигнала. Разработаны метод и структурно-аналитическая модель адаптивной дискретизации зашумленного сигнала по критерию минимальности абсолютного различия двух последовательных значений отношения сигнал/шум для результатов оптимальной фильтрации и аппроксимации при двух последовательных частотах дискретизации, что позволило повысить точность восстановления первичного сигнала при нестационарном шуме. Разработана структурно-аналитическая модель усовершенствованной технологии обмена информацией в ИТС медицинского назначения. Разработано программное обеспечение, включающее модуль генерирования информационной и шумовой составляющих зашумленного сигнала, модуль обработки зашумленного сигнала, модуль оценивания результатов фильтрации и аппроксимации. Проведена серия экспериментов по оцениванию результатов фильтрации цифровых стационарных (сумма четырёх гармоник) и нестационарных (электрокардиограмма, электроэнцефалограмма, модулированная бинарная последовательность) сигналов на фоне высоких уровней аддитивных шумов флюктуационного (распределение Гаусса) и импульсного (распределение Бернулли) типов. Сравнение результатов амплитудной, частотной и фазовой видов цифровой демодуляции и результата «предварительная обработка на базе разработанного метода оптимальной цифровой фильтрации + амплитудная демодуляция» позволило экспериментально установить уменьшение значения коэффициента битовых ошибок при применении предварительной оптимальной цифровой фильтрации. Разработанные методы оптимальной дискретизации и цифровой фильтрации позволяют восстанавливать первичный сигнал при отсутствии образцового сигнала и характеристик шумовой составляющей (слепая обработка, *blind signal processing*), уменьшить энергопотребление (мощность первичного сигнала) в автономном биомедицинском оборудовании, уменьшить коэффициент битовых ошибок (*bit error ratio*), ослабить требования к качеству аппаратного обеспечения медицинской системы (биомедицинских датчиков, передатчиков / приёмников, накопителей и т.д.).

Ключевые слова: цифровой сигнал, слепая обработка, оптимальная фильтрация, простое скользящее среднее, кусочно-линейная регрессия, средняя абсолютная ошибка, частота дискретизации, адаптивная дискретизация.

ABSTRACT

Sergeev-Horchynskiy O. Methods and models for improving interference immunity of medical information-telecommunication systems. – Manuscript.

Thesis submitted for the PhD in Eng. degree on specialty 05.12.02 – Telecommunication systems and networks, National Aviation University, Kyiv, 2016.

In the thesis, the analysis of modern medical information-telecommunication system (ITS) structures, communication channel types, health information interchange techniques, biomedical signal types, optimal digital filtration methods have been carried out, and necessity of development of new methods of optimal non-stationary noisy signal (including the negative SNR) filtration without having a priori information about signal and noise characteristics has been justified. The method and corresponding structural-analytical model

of optimal signal filtration in stationary noise environments based on the minimization of the difference between filtered and approximated signals by the criterion of minimum mean absolute error have been developed. To improve an information signal recovery accuracy in the case of non-stationary noise, the method and corresponding structural-analytical model of the adaptive sampling by the criterion of the minimization the absolute difference of two consecutive values of signal-to-noise ratio estimated for noisy signal optimal filtration and approximation results (estimated correspondingly for two consecutive sampling rates) have been developed. The structural analytical model of advanced data communication in medical information-telecommunication systems has been developed. Software, which includes a module for generating information and noise components of noisy signal, a noisy signal processing module, a filtration and approximation result evaluation module, has been developed. A series of experiments on evaluating results of the stationary (the sum of four harmonics) and non-stationary (electrocardiogram, electroencephalogram, modulated binary sequence) noisy digital signal optimal filtration in the presence of high additive fluctuation (Gauss distribution) and impulse (Bernoulli distribution) noise levels has been carried out. The developed methods of optimal signal sampling and filtration allow us to restore information signal without having a reference signal and noise characteristics (blind signal processing, BSP), to reduce power consumption in the autonomous biomedical equipment, to reduce the bit error ratio (BER), to reduce the medical system hardware (biomedical sensors, transmitters/receivers, storages, etc.) quality demands.

Key words: digital signal, blind signal processing, optimal filtration, simple moving average, piecewise linear regression, mean absolute error, sampling rate, adaptive sampling.

**Підписано до друку 25.03.2016 р. Формат 60х90 1/16.
Папір офсетний. Умовн. др. арк. 0,9
Друк різнограф. Тираж 100 прим. Зам. № 2503/01.**

**Підприємство Підприємство «УВОІ «Допомога» УСІ»
Свідоцтво про державну реєстрацію №31245580
03056, м. Київ, пров. Політехнічний, 6, корп. 5 (КШ)
Тел.: 277-80-08.**