

Голові спеціалізованої вченої ради Д 26.062.17 у  
Національному авіаційному університеті

-----  
03680, м. Київ, пр. Космонавта Комарова, 1

## ВІДГУК

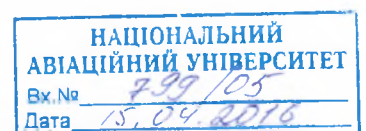
офіційного опонента доктора технічних наук, професора, професора кафедри «Кібербезпеки та захисту інформації» Київського національного університету ім. Тараса Шевченка Толіпи Сергія Васильовича на дисертаційну роботу Сергеева-Горчинського Олексія Олександровича на тему “Методи та моделі підвищення завадостійкості інформаційно-телекомунікаційних систем медичного призначення”, подану на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.12.02 – телекомунікаційні системи та мережі

**Актуальність теми.** Стрімкий розвиток сучасних інформаційно-телекомунікаційних систем (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 ІТС. 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. Розв’язання такої науково-прикладної задачі, можливе на основі розробки і впровадження нових методів та моделей завадостійкої оптимальної цифрової фільтрації.

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.

**Аналіз основного змісту, наукової новизни та практичної значимості дисертаційної роботи, оцінка достовірності та обґрунтованості отриманих результатів.**

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.



У вступі наведено 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 й 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).

У другому розділі розроблено та обґрунтовано метод оптимальної цифрової фільтрації цифрових зашумлених нестационарних сигналів, представлених у вигляді суми інформаційної та завадової (шумової) частотних складових. На базі методу розроблена аналітична модель та програмна реалізація 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 модель адаптивної дискретизації дозволяє визначити оптимальну частоту дискретизації  $f_0$  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».

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.

**Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих в дисертації** відповідає вимогам МОН України до кваліфікаційних робіт.

**Достовірність одержаних результатів** підтверджується адекватністю теоретичних та експериментальних результатів оцінки

**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:**

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

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  $\Delta SNR$  можна збільшити в 2 рази для сигналу ЕЕГ; при ймовірності імпульсних шумових відхилень  $p = 0,5$  (значення «1» для розподілу Бернуллі) та  $SNR_{\text{зашум}} = 5$  дБ первинний сигнал можна відновити з  $\Delta SNR = 6,28$  дБ та  $m = 7$  при частоті дискретизації  $f_d = 1000$  Гц, при збільшенні  $f_d = 10000$  Гц відповідно з  $\Delta SNR = 13,26$  дБ та  $m = 23$ ;

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);

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

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».

**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 НК «ІПСА» МОН України та НАН України НТУУ «КПІ», в рамках вирішення задачі автоматизації процесу попередньої обробки технічної інформації.

**При написанні кваліфікаційної роботи автор використовував наступні 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, що говорить про його добре володіння спеціалізованими програмними продуктами.

#### **Оцінка мови та стилю викладання дисертації та автореферату.**

Дисертація та автореферат написані достатньо грамотно, а стиль викладення в них матеріалів досліджень, наукових положень, висновків та рекомендацій в цілому забезпечує доступність їх сприйняття.

Зміст дисертації та ступень її завершеності відповідають вимогам МОН України щодо докторських дисертацій. Зміст автореферату в цілому передає основні положення дисертації.

**Повнота викладення наукових результатів дисертації в опублікованих роботах.** Основні положення та наукові результати дисертаційної роботи достатньо повно опубліковані здобувачем 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).

Слід також відмітити, що 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).

#### **Недоліки дисертаційної роботи.**

1. На рис. 10 автореферату зазначено  $\Delta\text{CAPI}$ , хоча в четвертому розділі мова йде про  $|\Delta\text{SNR}|$ .

2. На початку розділу 3 дисертації та автореферату не зрозуміло, що мається на увазі під «двома послідовними частотами»?

3. У тексті розділу 3 дисертації написано про визначення оптимальної частоти дискретизації за умовою виділення первинного сигналу з наперед заданою точністю, хоча далі у тексті мова йде про оцінювання зменшення відносної різниці двох послідовних  $\text{SNR}$  для відфільтрованих сигналів.

4. На початку розділу 2 автореферату написано, що розроблено метод та аналітичну модель, хоча на рис. 3 зображено структурно-аналітичну модель.

5. У коментарі до рис. 4 автореферату та дисертаційної роботи не зрозуміло, про які саме шумові та завадові складові йде мова.

6. На рис. 5 наведені значення  $\Delta SNR$  при  $SNR = 10$  дБ, хоча у кінці другого розділу написано про високий рівень завад.

Зазначені недоліки не впливають на загальне позитивне враження від роботи, не зменшують її якості, а також наукової та практичної цінності. Вони не є визначальними і можуть бути враховані як деякі напрямки подальших досліджень.

#### **Відповідність дисертаційної роботи встановленим вимогам та загальний висновок**

Дисертаційна робота Сергеева-Горчинського Олексія Олександровича на тему “Методи та моделі підвищення завадостійкості інформаційно-телекомунікаційних систем медичного призначення”, є завершеною, одноосібно написаною кваліфікаційною науковою працею, що:

- 1) являє собою системне дослідження, проведене з певною метою;
- 2) має внутрішню єдність і свідчить про особистий внесок автора в науку;
- 3) розв’язує актуальне завдання, яке має важливу наукову та технічну спрямованість та результати якого істотно впливають на підвищення завадостійкості функціонування ІТС медичного призначення на базі нових більш ефективних методів і моделей адаптивної дискретизації та оптимальної цифрової фільтрації.

За змістом, актуальністю, ступенем новизни, обґрунтованістю, науковою та практичною значимістю одержаних результатів дисертаційна робота Сергеева-Горчинського Олексія Олександровича відповідає паспорту спеціальності 05.12.02 – телекомунікаційні системи та мережі, а також вимогам “Порядку присудження наукових ступенів і присвоєння вченого звання старшого наукового співробітника”, а її автор заслуговує присудження наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.12.02 – телекомунікаційні системи та мережі.

#### **Офіційний опонент**

професор кафедри «Кібербезпеки та захисту інформації» Київського національного університету ім. Тараса Шевченка  
доктор технічних наук, професор



С.В. Толупа

Підпис засвідчую  
Вчений секретар  
КАРАУЛЬНА Н.В.  
18.04.2016р

