

Голові разової спеціалізованої вченої ради
Київського національного університету імені Тараса
Шевченка доктору фізико-математичних наук,
професору, завідувачу кафедри математики та
теоретичної радіофізики факультету радіофізики,
електроніки та комп'ютерних систем Київського
національного університету імені Тараса Шевченка
Володимиру ВИСОЦЬКОМУ

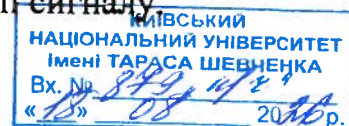
РЕЦЕНЗІЯ

рецензента **Оберемка Євгена Анатолійовича**
на дисертаційну роботу **Мамотенка Сергія Петровича**
**«Непараметричний аналіз спектрів сигналів відгуку для відновлення
даних магнітно-резонансної томографії»**,
що подана до захисту на здобуття ступеня доктора філософії з галузі знань
10 – Природничі науки за спеціальністю
105 – Прикладна фізика та наноматеріали

Актуальність теми дослідження.

Актуальність дисертаційного дослідження Мамотенка С. П. полягає в застосуванні методів непараметричного спектрального аналізу для обробки магнітно-резонансних зображень, зокрема для задачі зменшення шумових артефактів за різних умов. Значна частина поширених методів зменшення шуму застосовується до амплітудних МРТ-зображень і, відповідно, не використовує фазову складову комплексного сигналу. У зв'язку з цим спектральний аналіз МРТ-даних є актуальним напрямом для обробки комплексного сигналу безпосередньо в (к)-просторі, тобто у просторово-частотному поданні, до формування амплітудного зображення. Запропоновані підходи до розв'язання поставленої задачі включають застосування згладженої періодограми Денієлла для оцінювання спектральної густини потужності, поєднання періодограмної попередньої обробки зі згортковим автокодувальником для роботи з малими вибірками даних, а також розроблення двовимірною багатовіконного методу спектрального оцінювання для обробки комплексних даних у k-просторі.

Окрім задачі зменшення шумових артефактів, у дисертаційній роботі досліджено можливість застосування запропонованих підходів в умовах обмеженої кількості навчальних даних, а також формування спектральної оцінки без попереднього задання параметричної моделі сигналу.



Для реалізації поставлених в дисертаційній роботі науково-технічних задач, в роботі Мамотенка С. П. були поставлені наступні **завдання дослідження**:

- проаналізувати теоретичні основи формування МРТ-сигналу, природу шуму в комплексній області та особливості його прояву в амплітудних зображеннях і комплексних МРТ-даних;
- дослідити можливість застосування періодограмного оцінювання спектральної густини потужності для зменшення адитивного гауссівського шуму в МРТ-зображеннях;
- визначити залежність якості реконструкції від розміру вікна згладжування періодограми Деніелла та оцінити результати за кількісними метриками PSNR, SSIM і фрактальною розмірністю;
- визначити доцільність інтеграції періодограмної попередньої обробки зі згортковим автокодувальником для відновлення МРТ-зображень в умовах обмеженої навчальної вибірки;
- розробити двовимірний багатовіконний метод спектрального оцінювання для обробки комплексних МРТ-даних у k -просторі;
- оцінити ефективність запропонованого багатовіконного методу порівняно з попередніми підходами та визначити перспективи його застосування.

Сформульовані завдання є **актуальними**, а їх розв'язання має науково-практичне значення для обробки даних магнітно-резонансної томографії за наявності шумових артефактів..

Зв'язок теми дисертації з науковими програмами

Дисертаційна робота виконана в рамках тем наукових досліджень факультету радіофізики електроніки та комп'ютерних систем Київського національного університету імені Тараса Шевченка: «Дифузійні та електродинамічні явища у багатокомпонентних неоднорідних системах для медико-біологічних інформаційних технологій» НДР № 22 БФ 052-01, № ДР 0122U002024 (науковий керівник Нетреба А.В.) та «Методи формування та використання когерентних та кореляційних процесів в атомно-ядерних, астрофізичних та біомолекулярних клітинних системах» НДР № 22 БФ 052-03, № ДР 0122U001974 (науковий керівник Висоцький В.І.).

Наукова новизна отриманих результатів

Наукова новизна і практична доцільність розроблених в дисертаційній роботі підходів полягає в наступному:

- досліджено застосування згладженої періодограми Денієлла до амплітудних МРТ-зображень та встановлено залежність якості реконструкції від розміру вікна згладжування, а також визначено обмеження цього підходу;
- розроблено гібридний підхід, у якому результат періодограмної попередньої обробки використовується як додатковий вхідний канал згорткового автокодувальника, та досліджено ефективність такого поєднання в умовах обмеженої навчальної вибірки;
- встановлено, що перевага гібридного підходу порівняно з окремим автокодувальником найбільш виражена за малого обсягу навчальної вибірки та зменшується зі збільшенням кількості навчальних даних;
- розроблено двовимірний багатовіконний метод спектрального оцінювання для зменшення шумових артефактів у комплексних МРТ-даних у k -просторі;
- показано, що багатовіконний метод забезпечує стабільніше спектральне оцінювання порівняно з одновіконним періодограмним підходом та є конкурентоспроможним порівняно з методом нелокальних середніх за використаними показниками якості реконструкції.

Практична значимість отриманих результатів

Розроблені в дисертаційній роботі алгоритми можуть бути використані для попередньої обробки МРТ-даних з метою зменшення шумових артефактів. Запропоновані здобувачем підходи можуть застосовуватися в задачах цифрової реконструкції та аналізу медичних зображень, зокрема як етап попередньої обробки перед подальшим аналізом, сегментацією або візуалізацією даних.

Гібридний підхід, що поєднує періодограмну попередню обробку зі згортковим автокодувальником, продемонстрував перевагу в умовах обмеженої кількості навчальних даних. Розроблений багатовіконний метод призначений для обробки комплексних МРТ-даних у k -просторі та дозволяє виконувати зменшення шумових артефактів без переходу до амплітудного подання на етапі спектральної обробки. Для розв'язання сформульованої в роботі оберненої задачі відновлення МРТ-сигналу запропоновано застосування саме багатовіконного спектрального методу до комплексних даних у k -просторі.

Структура та зміст дисертаційної роботи. Ступінь обґрунтованості наукових положень.

Дисертація складається із вступу, чотирьох розділів, загальних висновків, списку використаних джерел та додатку. Обсяг дисертації становить 121 сторінку, включає 36 рисунків і 7 таблиць. Список використаних джерел налічує 101 найменування. Робота повністю відповідає вимогам щодо

оформлення дисертацій.

У *вступі* обґрунтовано актуальність обраної теми, сформульовані мета та задачі дослідження, показана наукова та практична цінність отриманих результатів.

Перший розділ присвячено огляду теоретичних та методологічних основ дослідження. Розглянуто особливості формування МРТ-сигналу, принципи представлення даних у k -просторі та застосування перетворення Фур'є. Проаналізовано природу шуму в МРТ, його статистичні характеристики та особливості прояву в комплексних даних і амплітудних зображеннях. Наведено огляд методів зменшення шумових артефактів, зокрема методів фільтрації, спектральної обробки та глибокого навчання. Також розглянуто кількісні метрики, що використовуються для об'єктивного оцінювання якості відновлених МРТ-зображень.

В *другому розділі* досліджено можливість застосування згладженої періодограми Денієлла для зменшення шумових артефактів у МРТ-зображеннях. Встановлено, що результат обробки суттєво залежить від розміру вікна згладжування та масштабу анатомічних структур.

В *третьому розділі* досліджено можливість поєднання періодограмної попередньої обробки з методом глибокого навчання в умовах обмеженої навчальної вибірки. Запропоновано гібридний метод, у якому на вхід згорткового автокодувальника подаються два канали: зашумлене зображення та результат його попередньої періодограмної обробки.

Запропонований гібридний підхід протестовано на T2-зважених МРТ-зображеннях пацієнта з розсіяним склерозом. Встановлено, що використання результату періодограмної попередньої обробки як додаткового вхідного каналу забезпечує вищі показники якості реконструкції порівняно з окремим автокодувальником за малого обсягу навчальної вибірки. Кількісний аналіз результатів виконано з використанням метрик SSIM та PSNR. Водночас зі збільшенням обсягу навчальної вибірки перевага гібридного підходу над окремим автокодувальником зменшується, що вказує на доцільність застосування такої схеми насамперед за умов дефіциту навчальних даних.

Четвертий розділ дисертаційної роботи присвячено розробленню двовимірного багатовіконного спектрального методу для зменшення шумових артефактів у комплексних МРТ-даних у k -просторі. Багатовіконне оцінювання використано для подолання обмежень, характерних для одновіконного періодограмного підходу. Для формування спектральної оцінки використано дискретні пролатні сфероїдальні послідовності (DPSS), спектральні властивості яких сприяють зменшенню спектрального витоку і дисперсії. Експериментальні дослідження на комплексних МРТ-даних зі штучно доданим гауссівським

шумом показали, що багатовіконний метод забезпечує вище значення PSNR порівняно з одновіконною періодограмою та методом нелокальних середніх (NLM).

Отримані результати підтверджують доцільність застосування непараметричного спектрального аналізу для зменшення шумових артефактів у даних магнітно-резонансної томографії. Одним з основних результатів дисертаційної роботи є двовимірний багатовіконний метод обробки комплексних МРТ-даних у k-просторі, який забезпечує стабільніше спектральне оцінювання порівняно з одновіконним періодограмним підходом та є конкурентоспроможним порівняно з методом нелокальних середніх.

Висновки містять основні результати роботи.

Дисертація Мамотенка С. П. «Непараметричний аналіз спектрів сигналів відгуку для відновлення даних магнітно-резонансної томографії», є завершеною науковою роботою.

Науково-обґрунтований вибір об'єкта та предмета досліджень, а також використання запропонованих методів дали змогу здобувачу отримати обґрунтовані результати щодо відновлення МРТ-даних та зменшення шумових артефактів у магнітно-резонансних зображеннях. Застосовані методи дослідження та проведений кількісний аналіз забезпечують належний рівень достовірності отриманих результатів. Тому дисертація Мамотенка С. П. повністю відповідає спеціальності 105 Прикладна фізика та наноматеріали галузі знань 10 Природничі науки.

Повнота викладення наукових положень, висновків і результатів в опублікованих працях.

Результати дисертаційної роботи висвітлені у 8 наукових працях, із них: 3 статті у періодичних наукових журналах, що індексуються у наукометричній базі Scopus; 5 тез доповідей у збірниках праць наукових конференцій.

Всі основні результати дисертаційної роботи є **новими** та вчасно опубліковані у наукових виданнях. **Особистий внесок здобувача** полягає в аналізі літературних джерел, виконанні основного обсягу експериментальних досліджень, обробці та аналізі експериментальних даних та написанні статей і дисертації.

Зроблені автором висновки цілком обґрунтовані та відповідають поставленій меті роботи та її змісту. Результати дисертаційної роботи відповідають змісту статей, що надруковані у фахових журналах

Питання, дискусійні положення і зауваження до дисертаційної роботи.

1. У розділі 3.1, присвяченому інтеграції періодограмного методу з нейронною мережею автокодувальника, вибір архітектури нейронної мережі потребує більш детального обґрунтування.
2. В цілому, взаємозв'язок між окремими розділами та підрозділами дисертації не завжди простежується достатньо чітко. У деяких випадках переходи між окремими етапами дослідження є доволі різкими.
3. Частина ілюстративних зображень містить підписи українською мовою, а інша частина – англійською. Бажано приводити позначення на всіх зображеннях до одного стилю/мови.
4. Опис Вінер-подібного оператора спектрального стискання в розділі 4 значною мірою зосереджений на його теоретичних передумовах. Доцільно детальніше пояснити практичну реалізацію оператора та його інтеграцію із запропонованим багатовіконним методом.

Загальний висновок рецензента.

Дисертаційна робота Мамотенка Сергія Петровича «Непараметричний аналіз спектрів сигналів відгуку для відновлення даних магнітно-резонансної томографії» є завершеним і самостійним науковим дослідженням. За актуальністю теми, її новизною та обґрунтованістю наукових результатів, теоретичним і практичним значенням дисертаційна робота відповідає вимогам до наукової кваліфікації ступеня доктора філософії, що встановлені «Порядком присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», затвердженого постановою № 44 Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 року, а Мамотенко Сергій Петрович **заслуговує присудження** наукового ступеня доктора філософії у галузі знань 10 Природничі науки за спеціальністю 105 Прикладна фізика та наноматеріали.

Кандидат фізико-математичних наук, доцент,
доцент кафедри квантової радіофізики
та наноелектроніки
факультету радіофізики, електроніки
та комп'ютерних систем
Київського національного університету
імені Тараса Шевченка



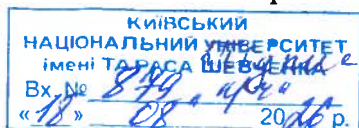
ЗАСВІДЧУЮ *Оберемка*

ЕКТОР З
ПЕДАГОГІЧНОЇ РОБОТИ
ІІ ГОЖИН



ОБЕРЕМОК

доц. Оберемка Є. А. завіряю



Керіменко СВ