

Голові спеціалізованої вченої ради Д 64.051.02  
Харківського національного університету  
імені В. Н. Каразіна доктору фізико-  
математичних наук професору ШУЛЬЗІ С. М.  
61022, м. Харків, майдан Свободи, 4

## ВІДГУК

офіційного опонента заступника завідувача відділу твердотільної електроніки Інституту радіофізики та електроніки імені О. Я. Усикова НАН України наукового співробітника, кандидата фізико-математичних наук ШУБНОГО Олександра Івановича на дисертацію АНТОНЕНКА Євгенія Олександровича за темою «Система імпедансної спектроскопії біологічних рідин і суспензій», подану на здобуття наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук за спеціальністю 01.04.01 – фізика приладів, елементів і систем.

### **Актуальність дисертаційних досліджень.**

При виконанні багатьох задач дослідження рідких матеріалів на предмет аналізу концентраційних залежностей складових непрямыми і швидкими методами, особливу ефективність мають радіофізичні методи та радіотехнічні засоби вимірювання. Існуючі прилади та пристрої (діелектрометри, аналізатори імпедансу) функціонують на різних фізичних принципах у частотному діапазоні від постійного струму до оптичного. В залежності від обраного досліджуваного об'єкта, релаксаційні та дисперсійні явища в ньому, проявляються на різних частотах, що використовується як для ідентифікації речовин, так і для виявлення домішок у бінарних сполуках. Таким чином створення досконалих і водночас доступних апаратних засобів вимірювання електрофізичних властивостей рідких матеріалів у широкому діапазоні частот є перспективною й актуальною задачею.

Теоретичні та практичні підходи до розвитку методів вимірювання імпедансу, які по суті зводяться до вимірювання різності фаз і амплітуд гармонічних сигналів, мають особливості в залежності від обраного діапазону частот. На практиці, існує певна складність вимірювання різності фаз у широкому діапазоні частот. Тому особливої уваги потребує розробка теоретичних засад і практичних методів амплітудно-фазового детектування та цифрової обробки сигналів. Одну з ключових позицій в цій проблемі посідають питання вибору методу вимірювання та обробки сигналів із подальшим визначенням амплітуд і різності фаз у різних частотних діапазонах. Підвищення точності результатів визначення імпедансу безпосередньо залежить від адекватного вирішення цих питань, тобто від вибору апаратних і програмних засобів обробки та перетворення сигналів. Саме цьому й присвячена дисертаційна робота Є.О. Антоненка, яку представлено до захисту. Насамперед, мається на увазі розроблений автором апаратно-програмний комплекс – система імпедансної спектроскопії рідин і суспензій.

Зв'язок електрофізичних властивостей рідин з їх фізико-хімічними параметрами активно досліджується понад 70 років. Незважаючи на це, метод імпедансної спектроскопії знаходить нові галузі впровадження і є ключовим у створенні нових біосенсорів і датчиків. Наприклад, у галузях фармації, біофізики і хімії методи спектроскопії, ЯМР, хроматографії, ІЧ спектроскопії стали еталонними і дозволяють дізнатися про структуру та склад речовини. Однак, незважаючи на різноманітність методів дослідження та аналізу,

потреба доступних систем вимірювання і датчиків залишається гострою проблемою. Сучасний стан досліджень у цьому напрямку вказує на відсутність теоретичних методів визначення діелектричної проникності рідин. Існують емпіричні підходи, наприклад, рівняння Клазіуса-Моссотті, теорія Кірквуда та їхні розвідки. Але вони дієві лише для деяких одно- та двохатомних молекул газів. Для більш складних речовин теорії визначення електрофізичних параметрів наразі не існує. Можна стверджувати, що у цьому напрямку особливу важливість мають саме експериментальні дослідження, чому і присвячені третій та четвертий розділи дисертації.

### **Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій.**

1. Автор грамотно застосовує метод дискретного перетворення Фур'є та методи обчислювальної математики для вимірювання імпедансу на низьких та наднизьких частотах.
2. У роботі розвинуто метод трьох амплітуд для вимірювання різності фаз. Приводиться математичне пояснення методу. На основі методу побудовано електронний модуль широкосмугового амплітудно-фазового детектора з динамічним діапазоном 70 дБ. Розроблено алгоритм калібрування детектора.
3. При розробці програмної частини комплексу, автором запропоновано і реалізовано метод подвійного стиснення одновимірних даних. Перший етап стиснення полягає у вилученні візуальної надлишковості, другий – вилучення статистичної надлишковості методом Гафмана.
4. Представлені в дисертації експериментальні дослідження електрофізичних властивостей рідин різної фізичної природи повно та зрозуміло описані дисертантом. Усі отримані автором експериментальні результати мають конкретне застосування.

Результати дисертаційної роботи опубліковані в профільних виданнях і широко апробовані на Українських і міжнародних наукових конференціях високого рівня. За тематикою дисертаційної роботи автором отримано 2 патенти України на винахід.

**Достовірність і новизна отриманих результатів.** Усі отримані автором результати дисертації є новими. Найбільш важливі з них такі:

1. Розроблений автором малогабаритна система широкосмугової імпедансної спектроскопії є новим і конкурентоспроможним зразком аналітичного вимірювального обладнання з широким спектром застосувань.
2. Розроблено метод оцінки ступеню агрегації наночастинок у розчиннику за даними електричного імпедансу. Підтверджено ефективність непрямого методу реального часу для вимірювання масової частки наночастинок заліза та платини у водних суспензіях.
3. За результатами практичного застосування апаратно-програмного комплексу та методу широкосмугової імпедансної спектроскопії вперше:
  - запропоновано експрес-метод з оцінки концентрації складових розчинів антибіотиків амоксициліну та доксицикліну з солями кальцію, магнію та заліза за даними електричної

провідності та діелектричної проникності. Отримані результати перспективні для здійснення контролю хімічного складу на етапах виробництва лікарських засобів;

– автором роботи проведено дослідження щодобової зміни провідності молозива в процесі перетворення лактози у молочну кислоту, що доводить ефективність методу імпедансної спектроскопії для експрес-аналізу його нативності;

4. Вперше метод імпедансної спектроскопії використано для контролю зони заморожування при проведенні кріодеструкції біологічних тканин. Показано як змінюється імпеданс ділянки тіла під час фазового переходу першого роду. У медичній практиці дана методика дозволяє зменшити кількість рецидивів та запобігає пошкодженню здорових тканин при операціях.

5. При дослідженні біологічних тканин і рідин у дециметровому діапазоні методом коаксіального зонду, отримано діелектричні спектри водно-сольових розчинів, м'язової, з'єднувальної й епітеліальної тканин. Отримані експериментальні дані мають користь для удосконалення методів радіотермометрії та НВЧ гіпертермії.

6. Автором дисертації запропоновано мініатюрний мікросмужкового резонатор з мінімальною кількістю параметрів оптимізації для вимірювання електрофізичних параметрів матеріалів із одностороннім доступом. Цим датчиком зареєстровано зміну кровоплину – пульсову хвилю, що дозволяє використовувати його у якості первинного перетворювача у нових зразках медико-біологічного обладнання.

**Значущість для науки й практики.** Наукова значущість результатів і висновків, отриманих у дисертації Антоненка Є.О., полягає в тому, що в ній уперше розроблено і удосконалено фізико-математичне, інструментальне і методичне забезпечення для реалізації методу імпедансної спектроскопії. Отримані експериментальні результати мають фундаментальне значення для розвитку теоретичних методів визначення електрофізичних параметрів рідин.

**Практична значущість** роботи полягає в застосуванні створеного апаратно-програмного комплексу та методу імпедансної спектроскопії у біомедичних, фармацевтичних, фізичних та хімічних дослідженнях: для оцінки функціонального стану живих клітин, для оптимізації процесу продукування наночастинок, для створення вбудованих систем контролю об'ємних концентрацій складових медичних препаратів і ступеню очистки хімічних сполук.

**Повнота викладення наукових положень в опублікованих роботах.** Основні наукові результати дисертаційних досліджень повною мірою викладені у 2 патенти на винахід, 7 наукових статтях і пройшли апробацію на 14 наукових конференціях високого професійного рівня. З цих робіт 6 входять до наукометричної бази Scopus.

**Оцінка змісту дисертації й автореферату.** Зміст дисертації й автореферату повністю відображає сутність і послідовність проведення дисертаційних досліджень, нові наукові та практичні результати, висновки й рекомендації. Основні положення, висновки та результати дисертації й автореферату сформульовані логічно та зрозуміло. Графічний матеріал добре ілюструє та доповнює зміст роботи. Зміст автореферату повністю відображає зміст дисертації. Зміст дисертаційної роботи відповідає темі та паспорту спеціальності 01.04.01 – фізика приладів, елементів і систем, за якою вона представлена до захисту.

### Зауваження по роботі.

1. При розгляді характеристик розроблених автором дисертації пристроїв не всюди відображено питання впливу параметрів навколишнього середовища на результати вимірювань.
2. При проведенні досліджень біологічних тканин і рідин методом коаксіального зонду не вказується температура експериментальних зразків.
3. У пункті 4.3 «Дослідження рідин методом коаксіального резонатора» представлено епюри розподілу електричного та магнітного полів резонатора для першої моди коливань, але не вказано якими методами або засобами їх отримано.
4. На рисунках, де наведені фотографії пристроїв, не представлено масштабних порівняльних елементів, що затрудняє їх сприйняття.
5. Текст дисертації перевантажений технічними описами розроблених пристроїв, що відображає скоріш інженерну ніж наукову складову виконаної роботи.
6. Робота містить досить багато граматичних помилок технічного характеру.

### Загальний висновок.

Зазначені зауваження не знижують загальну позитивну оцінку роботи. Представлена Антоненком Є.О. дисертаційна робота за темою «Система імпедансної спектроскопії біологічних рідин і суспензій» є завершеною науковою працею, яка виконана автором самостійно на високому науковому рівні. У дисертаційній роботі сформульовано і вирішено актуальну науково-технічну задачу з удосконалення апаратурних засобів для здійснення методу імпедансної спектроскопії, який застосовується для дослідження та експрес-аналізу рідин різної фізичної природи. Автореферат відповідає змісту дисертаційної роботи. За змістом і оформленням дисертаційна робота і автореферат відповідають вимогам п.п. 9, 11, 12-14 "Порядку присудження наукових ступенів". За своєю тематичною спрямованістю дисертаційна робота відповідає паспорту спеціальності 01.04.01 – фізика приладів, елементів і систем, а її автор – Антоненко Євгеній Олександрович заслуговує присудження наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук.

Заступник завідувача відділу твердотільної електроніки

Інституту радіофізики та електроніки імені О.Я. Усикова НАН України,  
кандидат фізико-математичних наук

О.І. Шубний

Підпис заступника завідувача відділу твердотільної електроніки

Інституту радіофізики та електроніки імені О.Я. Усикова НАН України,  
кандидата фізико-математичних наук О.І. Шубного засвідчую:

Учений секретар ІРЕ НАН України



І.С. Почаніна

Відгук дисертацію 20 квітня 2021 р  
Учений секретар списрага