

67-72-86/2  
21.09.17р.

Голові спеціалізованої вченої ради  
Д 35.052.10 Національного університету  
«Львівська політехніка»

79013, м. Львів, вул. Ст. Бандери, 12, XI  
навчальний корпус

## ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу  
Баланюка Юрія Вікторовича «Методи удосконалення телевізійного  
сканувального мікроскопа з освітленням досліджуваних мікрооб'єктів в  
ультрафіолетовому діапазоні», яку подано на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук за спеціальністю  
05.12.17 – радіотехнічні та телевізійні системи

### **Актуальність обраної теми**

У різних галузях науки і техніки виникає потреба досліджувати мікрооб'єкти, розміри яких знаходяться в межах 0,3 – 100 мкм. Такими мікрооб'єктами можуть бути мікроорганізми, більшість рослинних і тваринних клітин, дрібні кристали, деталі мікроструктури металів і сплавів тощо. Для спостереження і вивчення цих об'єктів застосовують мікроскопи різних типів. Одним із важливих різновидів мікроскопів для таких досліджень є телевізійні сканувальні мікроскопи (ТСМ), в яких використано принцип послідовного в часі передавання інформації про елементи зображення шляхом сканування досліджуваного мікрооб'єкта світловим зондом.

Одним із можливих рішень є застосування електронно-променевої трубки (ЕПТ) високої роздільної здатності для формування сканувального растру в площині досліджуваного об'єкта. Найбільш конкурентоздатним серед телевізійних сканувальних мікроскопів може бути сканувальний мікроскоп із зондуванням досліджуваного об'єкта ультрафіолетовими променями.

Такі мікроскопи можна ефективно застосовувати для різноманітних досліджень в біології, медицині, органічній хімії, мистецтвознавстві, криміналістиці та інших галузях, де важливим є визначення параметрів різних за фізичними характеристиками об'єктів. Дисертацію присвячено поліпшенню технічних параметрів сканувальних телевізійних мікроскопів, зокрема чутливості, роздільної здатності, глибини різкості, інформативності зображення. Таким чином, тема дисертації, спрямованої на удосконалення сканувальних телевізійних мікроскопів є актуальною.

Одним зі шляхів зменшення енергоспоживання є розроблення

обчислювально-простих методів квантування зображень та відеопослідовностей. Саме вирішенню цього актуального завдання присвячена дисертаційна робота Кумиша В.Ю.

Додатковим свідченням актуальності питань порушених у дисертаційній роботі Баланюка Ю.В. є їх тісний зв'язок з основними напрямами розвитку наукових досліджень у наукових та освітніх закладах України. Тема дисертаційної роботи безпосередньо пов'язана з напрямами наукових досліджень, сформульованими у пунктах: : 3.2 – Інформаційні та комунікаційні технології; 3.2.1 – Наукова та (або) науково-технічна візуалізація об'єктно-орієнтованих інформаційних даних щодо визначення властивостей, явищ та процесів (фізичних, хімічних, біологічних, електромагнітних та ін.) у природних та штучних об'єктах, системах та середовищах. Неруйнівний контроль стану, складу і структури об'єктів (у т.ч. біомедичних); 3.2.1 – Розробка методів, технології та програмного забезпечення; 3.2.6 – Інформаційно-телекомунікаційні системи і технології переліку "Пріоритетних тематичних напрямів наукових досліджень і розробок вищих навчальних закладів III-VI рівнів акредитації та наукових установ Міністерства освіти і науки, молоді та спорту на 2012-2015 роки", затвердженого наказом Міністерства освіти і науки, молоді та спорту України № 535 від 07.06. 2011, дію яких продовжено до 2020 року зі змінами, внесеними Кабінетом Міністрів України постановою № 556 від 23 серпня 2016 р..

Результати дисертаційної роботи відображено в матеріалах науково-дослідних робіт, здійснених протягом 2009-2016 років у Національному університеті "Львівська політехніка". Автор дисертації брав участь як виконавець у таких держбюджетних роботах: ДБ/ФЛЮОР «Сканувальна телевізійно-оптична ультрафіолетова мікроскопія для дослідження біологічних мікрооб'єктів» (номер держ. реєстрації 0107U000832), ДБ/МІКРОСКОПІЯ «Сканувальна телевізійно-оптична мікроскопія для кріобіології та кріомедицини» (номер держ. реєстрації 0109U001154); ДБ-ЛЮМІНОФОР «Розроблення нанолюмінесцентного скануючого оптичного мікроскопа для дослідження функціонування мікроорганізмів під впливом низьких температур» (номер держ. реєстрації 0111U001227), ДБ/КРІОБ «Розроблення люмінесцентного скануючого оптичного мікроскопа з керованим швидким заморожуванням мікрооб'єкта для досліджень в кріобіології та нанотехнологіях» (номер держ. реєстрації 0113U001395).

**Результати дисертаційної роботи реалізовано та впроваджено:**

– в науково-виробничому підприємстві ТОВ «МЕЛТА» для удосконалення прецизійної системи відображення, вимірювання та регулювання зазору між зрізом ливарного сопла та поверхнею гартувального диску для «Установки отримання металевих стрічок» (УОМС). Використано такі наукові результати: метод формування сканувальних растрів змінних розмірів для змінної роздільної здатності на екрані сканувальної електронно-променевої трубки; метод корекції амплітудно-частотної характеристики перетворювача напруга струм для забезпечення стійкості його роботи в

широкому динамічному діапазоні; метод розрахунку необхідного рівня світіння сканувальної електронно-променевої трубки для забезпечення заданого відношення сигнал-шум на виході перетворювача світло-сигнал;

- на підприємстві НДІ ЕЛВІТ в НДР ДБ-ТТХ «Розробка засад застосування та обробки сигналів перспективних сенсорів для космічних апаратів і для наземних камер». Використано такі наукові результати: метод формування сканувального растра різних розмірів та різної роздільної здатності; метод корекції амплітудно-частотної характеристики формувача сигналу відхилення електронного променя; метод розрахунку необхідної чутливості піровідника тепловізійної камери з метою отримати зображення досліджуваного об'єкта при заданому відношенні сигнал-шум;

- у держбюджетних роботах: ДБ/ФЛЮООР «Сканувальна телевізійно-оптична ультрафіолетова мікроскопія для дослідження біологічних мікрооб'єктів» (номер держ. реєстрації 0107U000832), ДБ/МІКРОСКОПІЯ «Сканувальна телевізійно-оптична мікроскопія для кріобіології та кріомедицини» (номер держ. реєстрації 0109U001154); ДБ-ЛЮМІНОФОР «Розроблення нанолюмінесцентного скануючого оптичного мікроскопа для дослідження функціонування мікроорганізмів під впливом низьких температур» (номер держ. реєстрації 0111U001227), ДБ/КРІОБ «Розроблення люмінесцентного скануючого оптичного мікроскопа з керованим швидким заморожуванням мікрооб'єкта для досліджень в кріобіології та нанотехнологіях» (номер держ. реєстрації 0113U001395)

- у навчальному процесі Національного університету «Львівська політехніка» на кафедрі «Радіоелектронні пристрої та системи» в навчальних курсах спеціальності 172 «Телекомунікації та радіотехніка» «Основи телебачення», «Телевізійні системи та пристрої відображення інформації», «Схемотехніка прецизійної радіоелектронної апаратури», що підтверджено відповідними актами.

### **Ступінь обґрунтованості наукових положень і достовірність результатів.**

Наукові положення, висновки за результатами досліджень та рекомендації щодо застосування отриманих результатів теоретично обґрунтовані і експериментально підтверджені. Результати дисертаційних досліджень отримано шляхом використання положень і методів теорії радіотехнічних та телевізійних пристроїв і систем, теорії оптико-електронних приладів та систем, теорії похибок. Експериментальні дослідження проведено з використанням фізичних та математичних методів, із застосуванням числового аналізу та комп'ютерного моделювання з використанням прикладних пакетів Mathcad та MATLAB.

**Наукову новизну** одержаних результатів можна охарактеризувати таким чином:

1. Запропоновано вперше:

- метод визначення динамічних параметрів досліджуваного об'єкта

при застосуванні сканувальних растрів різних розмірів (повноформатний растр, мінірастр), що дозволяє скоротити тривалість вимірювань внаслідок зменшення часу формування мінірастра і розширити діапазон вимірюваних параметрів досліджуваного об'єкта при збереженні точності вимірювання;

– метод формування зображення рухомого досліджуваного об'єкта в центральній частині екрана монітора при довільному його русі в площині об'єкта;

## 2. Удосконалено:

– метод визначення необхідної яскравості світіння електронно-променевої трубки з метою отримати задане відношення сигнал/шум на виході формувача відеосигналу, в якому, на відміну від відомого методу, враховано шуми електронно-променевої трубки та параметри оптичного каналу.

– метод визначення граничної швидкості переміщення світної плями на екрані електронно-променевої трубки високої роздільної здатності в телевізійному сканувальному мікроскопі, в якому, на відміну від відомого методу, враховано час післясвітіння використовуваного люмінофора.

### **Практичне значення результатів дисертаційної роботи:**

Результати отримані у дисертаційній роботі може бути використано для розроблення та удосконалення сканувальних телевізійних мікроскопів та інших пристроїв із застосуванням електронно-променевих трубок високої роздільної здатності.

Основними практичними результатами дисертаційної роботи є такі:

– обґрунтовано та сформульовано вимоги до електронно-променевої трубки з ультрафіолетовим світіння екрана стосовно її спектра світіння, роздільної здатності, мінімально необхідної яскравості, допустимого шуму люмінофора;

– удосконалено метод сканування досліджуваного об'єкта растрами різних розмірів та різної роздільної здатності, що дозволяє формувати фрагменти досліджуваного об'єкта в збільшеному масштабі без втрати роздільної здатності зображення;

– розроблено метод визначення граничної швидкості руху сканувального променя з урахуванням часу післясвітіння використовуваної електронно-променевої трубки;

– розроблено метод компенсації шумів люмінофора через виділення світлового потоку від світного растра, формування електричного сигналу від цього потоку та ділення сигналів від досліджуваного об'єкта на сигнал від світного растра, що дозволяє покращити відношення сигнал/шум на виході формувача відеосигналу;

– розроблено структурну схему та алгоритм роботи телевізійного сканувального мікроскопа, придатного до використання в кріобіології та кріомедицині для спостереження за надшвидким охолодженням фрагмента досліджуваного об'єкта;

– розроблено структурну схему та алгоритм роботи телевізійного

сканувального мікроскопа, придатного для вимірювання швидкості руху та прискорення досліджуваного об'єкта.

### **Структура та зміст дисертації**

В цілому дисертація є завершеним науковим дослідженням та складається зі вступу, чотирьох розділів, висновку, переліку використаної літератури та додатків. Загальний обсяг роботи складає 223 сторінки друкованого тексту, із них 178 сторінки основного тексту, список використаних джерел нараховує 114 найменувань. Робота містить 5 таблиць і 79 рисунків.

**У вступі** розкрито сутність та стан науково-технічної проблеми, обґрунтовано актуальність теми, визначено мету та завдання дослідження, наведено наукову новизну та практичну значущість отриманих результатів, наведено інформацію про особистий внесок здобувача, апробацію та впровадження наукових результатів роботи.

**У першому** розділі проаналізовано переваги та недоліки телевізійних сканувальних мікроскопів з освітленням досліджуваних мікрооб'єктів ЕПТ високої роздільної здатності. Проведено порівняльний аналіз ТСМ зі звичайними оптичними мікроскопами, камерними телевізійними мікроскопами, а також лазерними сканувальними мікроскопами. Серед основних переваг відзначено: зручність спостереження об'єкта на екрані телевізійного монітора; вищу просторову роздільну здатність; відсутність дифракційних контурних повторень на зображенні; точкове освітлення досліджуваного об'єкта (ДО) (і тому менш загрозливе щодо можливості руйнування об'єкта); можливість гнучкого вибору режиму освітлення об'єкта з метою зміни контрасту без використання комп'ютерної обробки; можливість зміни масштабу зображення без втрати роздільної здатності; можливість використання оптичного променя для вибіркового впливу на об'єкт. До недоліків віднесено: необхідність застосування високостабільних джерел керування і живлення сканувальної ЕПТ; відносно невелику інтенсивність сканувального оптичного променя; обмеження стосовно швидкості сканування, обумовлені післясвітінням люмінофора екрана; наявність відносно значного шуму порошкового екрана сканувальної ЕПТ. Зазначено необхідність розширити функціональні можливості ТСМ за рахунок використання зміни розмірів сканувального растра з метою масштабування зображення ДО без втрати роздільної здатності, внаслідок використання ЕПТ з освітленням ДО в ультрафіолетовому діапазоні, що дозволить досліджувати біологічні та медичні МО з використанням вторинної фотолюмінесценції. Показано, що найдоцільніше освітлювати ДО в діапазоні 320 – 400 нм (ближній ультрафіолет).

Досліджено спектр випромінювання ЕПТ з білим світінням екрана. Встановлено, що в режимі сфокусованого променя спостерігається суттєве підвищення інтенсивності катодолюмінісценції. В результаті проведених експериментальних досліджень встановлено, що можна розробити ЕПТ, придатну до використання в ультрафіолетовій мікроскопії. Розроблено

вимоги до такої трубки стосовно її спектра світіння, роздільної здатності, мінімально необхідної яскравості, допустимого шуму люмінофора. Визначено вимоги до перетворювача світло-сигнал у ТСМ. Проаналізовано спектральні характеристики та чутливість ФЕП, придатних до використання в ТСМ.

У **другому розділі** здійснено дослідження щодо забезпечення стійкості перетворювача напруга-струм (ПНС), який використовують для високоточного формування сканувального растра. Запропоновано метод забезпечення стійкості ПНС шляхом шунтування індуктивного навантаження резистором.

Розроблено методику розрахунку опору резистора шунтування. Відповідно до цієї методики для різних навантажень розраховано оптимальні значення опору резистора шунтування навантаження. Відзначено також, що надмірне шунтування може призвести до самозбудження ПНС.

Запропоновано функціональну схему ПНС для аналізу часу устанавлення і обґрунтовано вимогу стосовно співвідношення частот полюсів амплітудо- частотної характеристики ПНС, що забезпечує стійкої його роботи.

Досліджено пасивний та активний режим роботи ТСМ. У пасивному режимі роботи код наступної координати елемента світлого растра надходить через проміжок часу, тривалість якого перевищує суму тривалості перехідного процесу встановлення максимального струму в навантаженні та тривалості світлового імпульсу. В активному режимі – наступної координати елемента світлого растра видається через час, що визначається тривалістю перехідного процесу устанавлення, після чого надходить імпульс готовності сформований після закінчення імпульсу підсвічування.

Запропоновано дві структурні схеми ПНС, які в активному режимі роботи ТСМ формують імпульси, тривалість яких дорівнює тривалості перехідного процесу встановлення струму в індуктивному навантаженні.

Розглянуто, як під час сканування однієї лінії растра змінюється яскравість (нормована до свого максимального значення) будь-якої точки екрана, що знаходиться на осі цієї лінії. Отримано вираз для закону розподілу яскравості в центральному перерізі світної плями з урахуванням інерційності люмінофора.

Отримано вираз для розподілу яскравості в рухомій світній плямі.

На основі отриманих співвідношень визначено вплив інерційності загасання люмінофора та швидкості сканування на роздільну здатність ТСМ.

Наведено коректні розрахунки роздільної здатності залежно від величини згаданих вище параметрів.

У **третьому розділі** наведено теоретичне обґрунтування запропонованих методів покращення технічних параметрів ТСМ.

Визначено мінімальну величину яскравості світіння елемента сканувальної ЕПТ  $V_{ЕПТ}$ , необхідну для забезпечення заданого відношення сигнал-шум на вході формувача сигналу з урахуванням характеристик оптичного тракту, ширини частотної смуги відеосигналу та опору

навантаження фотоелектронного помножувача.

Наведено розрахунок потрібної яскравості світіння світної плями електронно-променевої трубки у разі застосування високочутливого перетворювача R3896 виробництва японської фірми HAMAMATSU та високоякісного оптичного каналу. Зроблено висновок про те, що для забезпечення необхідної якості, формованого зображення мікроб'єкта із застосуванням ЕПТ з високою роздільною здатністю типу У4ТПІИ, необхідно зменшувати швидкість сканування і збільшувати опір навантаження фото-електронного перетворювача.

Запропоновано структурну схему ТСМ з масштабуванням зображення досліджуваного об'єкта, що забезпечує збереження роздільної здатності формованого зображення, яка розширює його функціональні можливості.

**Четвертий розділ** присвячено практичній реалізації ТСМ поліпшеними функціональними можливостями.

Розроблено вимоги до алгоритмічно-програмного забезпечення створення псевдокольорових зображень біологічних мікроб'єктів для мікроскопів з максимальними функціональними можливостями, у яких сканування здійснюють в ультрафіолетовому діапазоні оптичного випромінювання. Зроблено висновок, що застосовувати систему формування псевдо кольорових зображень доцільно в ТСМ з максимально можливими функціональними можливостями призначених для здійснення складних спеціалізованих досліджень. Наведено опис процесу формування зображення та функціональні можливості такого ТСМ.

Наведено структурну схему ТСМ, який можна використовувати для визначення прискорення руху різних мікроб'єктів, які рухаються нерівномірно та за довільною траєкторією. ТСМ забезпечує вимірювання координат двох послідовних у часі положень мікроб'єкта у полі зору мікроскопа (відповідно до тривалості формування двох кадрів сканування) з метою визначення швидкості руху цих МО та наступного визначення прискорення їх руху (за наявності двох послідовних у часі значень швидкості руху МО).

Наведено структурну схему ТСМ, який можна використати для дослідження мікроб'єкта в процесі їх надшвидкого охолодження в галузях кріомедицини та кріобіології.

На екрані телевізійного монітора формується зображення досліджуваного об'єкта в процесі його охолодження. Режим роботи блока керування лазером вибирають так, щоб потужність його випромінювання забезпечувала температуру вибраного фрагмента, що дорівнює початковій температурі охолодження всього мікроб'єкта незалежно від температури його подальшого охолодження. Процес надшвидкого охолодження фрагмента досліджуваного об'єкта можна спостерігати на екрані телевізійного монітора.

### Повнота викладу основних матеріалів дисертації в опублікованих працях.

Роботу апробовано та обговорено на 12-ти міжнародних та всеукраїнських симпозиумах, науково-практичних та науково-технічних конференціях. Основні положення та результати дисертаційної роботи опубліковано в 26 наукових працях, зокрема у 8 статтях, опублікованих у наукових виданнях, які внесені до списку фахових видань України та до міжнародних наукометричних баз даних, 4 патентах України на корисну модель, а також у 14 працях – матеріалах міжнародних науково-технічних конференцій, з яких 2 – одноосібні.

Автореферат дисертації і публікації автора за темою дисертації у цілому відображають її зміст.

### Зауваження по роботі:

В роботі наявні не зовсім коректні висловлювання та формулювання, зокрема такі:

1. Назву підрозділу 4.1 (зміст с.24) «Телевізійний сканувальний мікроскоп з дослідженням мікрооб'єкта в ультрафіолетовому діапазоні і відтворенням зображення у видимому спектрі» більш коректно треба сформулювати, наприклад, як «Телевізійний сканувальний в ультрафіолетовому діапазоні мікроскоп з відтворенням зображення у видимому спектрі». Також треба уточнити назви підрозділів 4.2, 4.3 та 4.4.

2. У вступі (с.27, перший абзац) є речення «**Щоразу ширшого застосування набувають ТСМ на базі електронно-променевої трубки (ЕПТ) високої роздільної здатності**». Початок цього речення смислу не має. Крім того, сканувальні мікроскопи розглянутого типу мають обмежене застосування загалом і, якщо говорити про їх поширення та широке використання, то треба навести посилання для підтвердження. Вживати означення «на базі» неправильно, правильно сказати «із застосуванням».

3. В тексті роботи зустрічаються деякі помилково використані слова та словосполучення, зокрема, замість «сфера застосування» використано «область застосування» (с. 28), замість «брав участь» використано «**приймав участь**» (с. 34), замість «винятково» використано «**виключно**» (с. 35), замість «нескінченність» вжито «**безмежність**» (с.102). Недоречно 17 разів використано словосполучення «з точки зору», наприклад, «з точки зору формування відеосигналу», що звучить некоректно.

4. У підрозділі вступу «Практичне значення» (с. 30) перший пункт краще почати зі слів «**обґрунтовано та сформульовано**», а не «**встановлено вимоги до електронно-променевої трубки...**», як це наведено в тексті дисертації та реферату.

Четвертий пункт цього ж підрозділу також треба уточнити, оскільки в ньому використано некоректне висловлювання, а саме: «... **ділення сигналів** від досліджуваного об'єкта на сигнал від світного растра, що дозволяє покращити відношення сигнал/шум на виході формувача відеосигналу».



Вислів «*ділення сигналів*» не має смислу, оскільки із самого означення поняття *сигнал* випливає, що з ним не можна зробити таку процедуру. Можна поділити якісь одноіменні параметри різних сигналів, які мають кількісну оцінку.

5. Підпис під рисунком 1.3 (с.44): «Залежність коефіцієнта відбиття  $r$  шару алюмінію від довжини хвилі  $\lambda$ , *виміряна відразу після напилювання в ультрафіолетовому вакуумі...*» треба скоригувати або десь дати пояснення що таке ультрафіолетовий вакуум.

6. На с. 37 наведено негативні характеристики приладів із зарядовим зв'язком (ПЗЗ): «*При інтенсивному освітленні для CCD є характерним розтікання заряду на чутливій поверхні, що еквівалентно збільшенню розміру пікселя і, отже, зниженню просторової роздільної здатності [27, 33]*». Цю інформацію використано не зовсім коректно оскільки зазначену ваду ПЗЗ давно подолали і щонайменше 20 років у камерах використовують удосконалені сенсори HAD-CCD (Hole-Accumulation Diode), в яких застосовано діодні структури для відведення надлишкових накопичених зарядів (дірок).

7. На с.42 наведено переваги УФ мікроскопії: «*Перевагою УФ мікроскопії є можливість підвищення роздільної здатності внаслідок зменшення довжини хвилі УФ-випромінювання порівняно з видимим світлом та підвищення контрасту зображення досліджуваного МО внаслідок великого коефіцієнта поглинання УФ-променів багатьма речовинами. УФ-мікроскопія використовується в біології, медицині, мінералогії, металографії, хімії тощо [87, 89]*», але посилання, що підтверджують достовірність таких оцінок зроблено тільки на роботи власної дослідницької групи. Такі твердження не є достатньо переконливими.

8. На початку підрозділу 3.4 сказано; «*Роздільна здатність використовуваних в ТСМ ЕПТ (більше 4000 елементів розкладу зображення по кожній координаті з використанням ЕПТ типу У4ТПІИ)...*». В той же час вище наведено параметри цієї ЕПТ (діаметр світного екрану 30 мм, діаметр світної плями 10 мкм), із застосуванням яких можна оцінити, що максимальна роздільна здатність складе 3000 елементів на діаметр, а у прямокутному растрі буде ще менше. Зазначені в тексті 4000 елементів треба пояснити.

9. На с.130 наведено вислів «*Розроблену структурну схему цифро-аналогового методу формування сканувального растра високої роздільної здатності...наведено на рисунку*». Насправді ж розроблено і наведено на рисунку структурну схему системи формування растра, тому треба зробити відповідну корекцію.

У той же час слід зазначити, що наведені зауваження не впливають на загальну позитивну оцінку та цінність дисертаційної роботи, оскільки робота має завершеність, положення, висновки і рекомендації науково обґрунтовано.

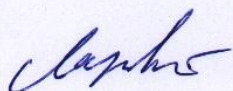
## Висновки

Дисертаційну роботу написано загальноприйнятою науковою мовою, із використанням сучасної наукової термінології. Дослідження здійснено на високому науковому рівні, а робота є завершеною науковою працею, яка має важливе практичне значення та вирішує актуальне наукове завдання щодо удосконалення телевізійного сканувального мікроскопа з освітленням досліджуваних мікрооб'єктів в ультрафіолетовому діапазоні.

За актуальністю теми, мірою обґрунтованості наукових положень, достовірністю, новизною, теоретичною та практичною цінністю одержаних результатів дисертаційна робота Баланюка Юрія Вікторовича на тему «Методи удосконалення телевізійного сканувального мікроскопа з освітленням досліджуваних мікрооб'єктів в ультрафіолетовому діапазоні» повністю відповідає вимогам п. 9 та 11 «Порядку присудження наукових ступенів» щодо кандидатських дисертацій, затвердженого Наказом МОН України від 24.07.2013 р., № 567 (зі змінами), та паспорту спеціальності 05.12.17 – радіотехнічні та телевізійні системи, а Баланюк Юрій Вікторович заслуговує присудження йому наукового ступеня кандидата технічних наук.

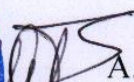
## ОФІЦІЙНИЙ ОПОНЕНТ

кандидат технічних наук, доцент,  
доцент кафедри звукотехніки та реєстрації  
інформації КПІ ім. Ігоря Сікорського

 В. С. Лазебний

Підпис Лазебного В.С. засвідчую  
Вчений секретар Ради Національного  
технічного університету України  
«Київський політехнічний інститут імені  
Ігоря Сікорського»



 А.А. Мельниченко