

## **ВІДГУК**

офіційного опонента

Авруніна Олега Григоровича

на дисертаційну роботу

Найдьонова Арсенія Олександровича

на тему «Гнучкі сенсори на основі наноцелюлози та її композитів для біомедичних застосувань»,

представлену на здобуття ступеня доктора філософії

в галузі знань 15 – Автоматизація та приладобудування  
за спеціальністю 153 – Мікро- та наносистемна техніка

### **Актуальність теми дисертації.**

Розвиток носимої електроніки, медичних трекерів та робототехнічних систем вимагає матеріалів і пристроїв, здатних працювати в умовах деформацій, згинання та розтягування. Гнучкі сенсори — одна з найперспективніших технологій, які забезпечують ергономіку, комфорт і точність вимірювань. У цьому контексті дослідження автора є своєчасним і цілком актуальним, оскільки спрямоване на створення сенсорів, здатних працювати на поверхні тіла людини без втрати чутливості.

### **Оцінка обґрунтованості наукових результатів дисертації, їх достовірності та новизни.**

Наукова новизна результатів дисертаційного дослідження полягає в наступному:

- 1) Вперше розроблено гнучкі сенсори вигину, створені на основі біополімерних композитів (наноцелюлози та полівінілового спирту) у поєднанні з металевими плівками, що характеризуються тензочутливістю, що перевищує характеристики відомих аналогів.
- 2) У роботі вперше створено гнучкі сенсори на основі композитів наноцелюлози та полівінілового спирту з графітом як функціональним наповнювачем, які одночасно виконують роль підкладки та чутливого елемента, що дозволило відмовитися від використання додаткових металевих плівок і забезпечити повну біорозкладність сенсорів.
- 3) Також вперше створено гнучкі сенсори на основі композитів наноцелюлози та полівінілового спирту із залізом як функціональним наповнювачем, які одночасно виконують роль підкладки та чутливого елемента, що дозволило відмовитися від використання додаткових металевих плівок і забезпечити повну біорозкладність сенсорів.

Наукову достовірність отриманих результатів підтверджує значна кількість публікацій за темою дисертаційного дослідження, частина з яких опублікована у визнаних міжнародних фахових виданнях, індексованих у базах Scopus і Web of Science. Окрім цього, результати дисертації були представлені на міжнародних науково-практичних конференціях, що засвідчує їх публічну апробацію. Дослідження відзначається цілісністю та послідовністю, з акцентом на оптимізацію технології виготовлення та вдосконалення чутливих властивостей сенсорів вигину.

Отже, в дисертаційній роботі поставлене наукове завдання синтезувати та дослідити плівки гнучких композитів на основі наноцелюлози для сенсорів вигину виконано повністю, здобувач повною мірою оволодів методологією наукової діяльності.

### **Оцінка змісту дисертації, її завершеність та дотримання принципів академічної доброчесності.**

За своїм змістом дисертаційна робота здобувача Найдьонова А. О. повністю відповідає Стандарту вищої освіти зі спеціальності 153 – Мікро- та наносистемна техніка та напрямкам досліджень відповідно до освітньої програми «Мікро- та наносистемна техніка».

Дисертаційна робота є завершеною науковою працею і свідчить про наявність особистого внеску здобувача у науковий напрям «Нові речовини і матеріали».

Розглянувши звіт подібності за результатами перевірки дисертаційної роботи на текстові співпадиння, можна зробити висновок, що дисертаційна Найдьонова Арсенія Олександровича є результатом самостійних досліджень здобувача і не містить елементів фальсифікації, компіляції, фабрикації, плагіату та запозичень. Використані ідеї, результати і тексти інших авторів мають належні посилання на відповідне джерело.

### **Мова та стиль викладення результатів.**

Дисертаційна робота написана українською мовою.

У дисертаційній роботі матеріал викладено послідовно, логічно та структуровано. Текст характеризується науковим стилем, витриманим у відповідності до вимог академічних робіт. Використано загальноприйнятну фахову термінологію у сфері мікро- та наносистемної техніки, біоматеріалів і сенсорики. Виклад доступний для розуміння фахівцями суміжних спеціальностей, складні технічні аспекти пояснено належним чином. Ілюстративний матеріал добре підібраний і супроводжується коректними поясненнями.

Дисертація складається зі вступу, 5 розділів, висновків, списку літератури та додатків. Загальний обсяг дисертації 193 сторінки.

Робота починається зі вступу, в якому автор не лише окреслює проблему надмірного використання синтетичних полімерів, а й пропонує екологічно безпечне рішення на основі наноцелюлози. Тут чітко визначено мету дослідження, завдання, наукову новизну та його практичну значущість.

Перший розділ містить огляд існуючих матеріалів і рішень у сфері гнучкої сенсорики, з акцентом на перевагах і недоліках наноцелюлозних структур.

У другому розділі автор моделює поведінку гнучких композитів матеріалів у сенсорних системах, досліджуючи, як змінюється опір залежно від складу і форми чутливих елементів на базі наноцелюлози.

Третій розділ присвячено дослідженню сенсорів вигину, що складаються з металізованих плівок як чутливих шарів на поверхні підкладок з наноцелюлози та її композитів, з акцентом на їхню біорозкладність та можливість застосування на практиці.

У четвертому розділі представлено гнучкі сенсори, виготовлені на основі провідного композиту, що містить графіт як струмопровідний наповнювач. Проведено комплексне дослідження механічних і електричних властивостей отриманих композитів, а також тензочутливості та стабільності сигналу сенсорів вигину на їх основі. Оцінено функціональність сенсорів у задачах біомоніторингу, зокрема при реєстрації м'язових скорочень.

У п'ятому розділі досліджено сенсори, виготовлені на базі композиту з наноцелюлози, полівінілового спирту та частинок заліза, орієнтованих у магнітному полі під час формування структури. Розглянуто вплив орієнтації провідного наповнювача на електропровідність і тензочутливість матеріалу. Проведено експерименти з фіксації рухової активності кінцівок, оцінено точність та чутливість сенсорів до різних рівнів деформації. Окрему увагу приділено біорозкладності композиту та його перспективності для біосумісних застосувань.

У висновках узагальнено основні результати роботи, підтверджено досягнення поставленої мети, наведено висновки з кожного розділу та сформульовано практичні рекомендації щодо подальшого застосування та вдосконалення таких сенсорів.

Дисертаційна робота оформлена відповідно до вимог наказу МОН України від 12 січня 2017 р. № 40 «Про затвердження вимог до оформлення дисертації».

### **Оприлюднення результатів дисертаційної роботи.**

Наукові результати дисертації висвітлені у 11 наукових публікаціях здобувача, серед яких: 7 статей у наукових виданнях, включених на дату опублікування до переліку наукових фахових видань України; 3 статті у періодичних наукових виданнях, проіндексованих у базах даних Web of Science Core Collection та/або Scopus, з яких 2 статті у виданнях, віднесених до першого

– третього квартилів (Q1–Q3) відповідно до класифікації SCImago Journal and Country Rank або Journal Citation Reports.

Також результати дисертації були апробовані на 3 наукових фахових конференціях.

Публікації здобувача відображають актуальність і міждисциплінарний характер проведених досліджень. Представлені результати опубліковані у виданнях, які входять до міжнародних баз даних (Scopus, WoS), включаючи журнали Q3-квартиля, що свідчить про належний рівень визнання в науковій спільноті. У всіх наукових публікаціях дотримано принципів академічної доброчесності: наведено належні посилання на використані джерела, відсутні ознаки плагіату, результати досліджень чітко ідентифіковані як оригінальні.

Таким чином, наукові результати описані в дисертаційній роботі повністю висвітлені у наукових публікаціях здобувача.

### **Недоліки та зауваження до дисертаційної роботи.**

1. У дисертації в основному досліджуються короточасні характеристики сенсорів і недостатнє вивчення довготривалої стабільності в біологічному середовищі. Однак, для багатьох біомедичних застосувань важлива довготривала стабільність сенсорів у фізіологічних умовах. Необхідні дослідження для оцінки деградації матеріалів, зміни їхніх властивостей та збереження функціональності протягом тривалого часу.
2. Предмет дослідження сформульовано не зовсім коректно.
3. В більшості пунктах наукової новизни доцільно було б указати модифікацію відомих методів та теоретичних положень.
4. Дисертація не містить інформації про попередні клінічні випробування.
5. Загальні висновки доцільно було б розділити на більшу кількість пунктів і навести практичні рекомендації, а не констатацію розроблених положень.

Вважаю, що висловлені зауваження не є визначальними і не зменшують загальну наукову новизну та практичну значимість результатів та не впливають на позитивну оцінку дисертаційної роботи, але і не прикрашають її.

### **Висновок про дисертаційну роботу.**

Вважаю, що дисертаційна робота здобувача ступеня доктора філософії Найдюнова Арсенія Олександровича на тему «Гнучкі сенсори на основі наноцелюлози та її композитів для біомедичних застосувань» виконана на високому науковому рівні, не порушує принципів академічної доброчесності та є закінченим науковим дослідженням, сукупність теоретичних та практичних результатів якого розв'язує наукове завдання, що має істотне значення для галузі знань Автоматизація та приладобудування. Дисертаційна робота за актуальністю, практичною цінністю та науковою новизною повністю

відповідає вимогам чинного законодавства України, що передбачені в п.6 – 9 «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. № 44.

Здобувач Найдюнов Арсеній Олександрович заслуговує на присудження ступеня доктора філософії в галузі знань 15 – Автоматизація та приладобудування за спеціальністю 153 – Мікро- та наносистемна техніка.

**Опонент:**

завідувач кафедри біомедичної інженерії,

Харківського національного університету радіоелектроніки,

д. т. н, професор

/  /

Олег АВРУНІН

М.П.

«25» травня 2025 року

Підпис Олега АВРУНІНА засвідчено

Учений секретар





Ірина ЖАРИКОВА