

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу **ГАЗІ ФАРАЖ ХАМДАН БАНІ ХАЛЕД «Технологія виробництва електрохемілюмінесцентного сенсорного елемента для визначення поліциклічних ароматичних вуглеводнів»**, яку подано на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.27.06 – технологія, обладнання та виробництво електронної техніки

Цей відгук підготовлено за матеріалами дисертації, яка містить вступ, чотири розділи, висновок, список використаних джерел та додатки. Загальний обсяг дисертаційної роботи складає 150 основного тексту стор. і містить 41 рисунок, 12 таблиць, список використаних джерел, який складається з 168 найменувань. Автореферат викладений на 20 стор.

Актуальність теми.

Високий рівень захворюваності жителів України, обумовлений погіршенням екологічної й економічної ситуацій з одного боку, особливостями клініки хвороб і великого числа побічних реакцій на традиційну лікарську терапію з іншого боку, визначає актуальність розробки і впровадження немедикаментозних методів лікування і профілактики найбільш поширених і небезпечних захворювань людини.

Сьогодні онкологічні захворювання є однією з основних причин передчасної смертності в Україні та цілому у світі. Ці захворювання ініціюються генетичними факторами людини та зовнішніми факторами, що включають потрапляння в організм людини біологічно активних канцерогенних речовин з навколишнього середовища.

Завдяки великій гідрофобності, ПАВ присутні у водному середовищі у слідових концентраціях, тому їх визначення у водних об'єктах належить до числа складних аналітичних задач. Для їх вирішення застосовуються сучасні методи аналізу: високоефективна рідинна хроматографія з флуоресцентним спектроскопічним детектором. Недоліком даних методів є висока вартість обладнання. Більш дешевою альтернативою аналітичному обладнанню є використання хімічних сенсорів. Враховуючи, що ПАВи є хімічними канцерогенами, тому розроблення технології виробництва сенсорних елементів для визначення ПАВ з високою чутливістю і селективністю є актуальним завданням в технології виробництва електронної сенсорної техніки.

Враховуючи, що саме науково обґрунтована технологія створення подібних сенсорів значною мірою визначатиме їх аналітичні властивості (чутливість і селективність), тема дисертаційного дослідження Газі Халеда є актуальною.

Крім того, розробка новітніх та суттєве вдосконалення відомих методів та засобів визначення біологічно активних канцерогенних

речовин у рідиннофазних середовищах, таких як біорідини та водні об'єкти довкілля залишається актуальним завданням біомедичної та екологічної науки та практики, націленим на попередження та виявлення забруднення навколишнього середовища та потрапляння в організм людини.

Актуальність теми підтверджується також і тим, що робота виконана відповідно до держбюджетних тем, які виконувались на кафедрі біомедичної інженерії (у лабораторії аналітичної оптохемотроніки ім. проф. Рожицького) Харківського національного університету радіоелектроніки протягом тривалого часу, у яких здобувач брав участь.

Наукова новизна отриманих результатів полягає в тому, що автором вперше розроблено підхід, що дозволив суттєво знизити гостроту науково-прикладної проблеми, що полягає у складності забезпечення високої чутливості та селективності сенсорних елементів для визначення ПАВ.

У роботі показано, що за рахунок науково обґрунтованого вибору технологічних параметрів, розроблення сенсорного елемента для визначення ПАВ, можна досягнути пікомолярної межі визначення ПАВ (на прикладі 5,6,11,12-тетрафенілтетрацену (ТФА)) і підвищити селективність визначення ПАВ.

У процесі розв'язання зазначеної науково-технічної проблеми автором було отримано такі нові наукові результати:

- Вперше розроблено технологічний процес виробництва ЕХЛ-сенсорного елемента для детектування люмінесцентних ПАВ з пікомолярною межею визначення, який полягає у використанні методу Ленгмюра-Блоджетт і відрізняється від відомих технологічних процесів створення сенсорних ЕХЛ-елементів для визначення ПАВ відсутністю необхідності додаткового використання коштовних наноматеріалів і нестабільних біологічних матеріалів.
- Набув подальшого розвитку метод Ленгмюра-Блоджетт для створення з бінарними комплексами «гідрофобні люмінесцентні ПАВ - амфіфільні молекули», який відрізняється від відомих методів на основі ЛБ: (а) раціональним вибором амфіфільної матриці – за рахунок визначення енергій взаємодій бінарних комплексів; (б) визначенням та врахуванням вагомих факторів впливу на процес створення функціональних ЛБ-плівок сенсорного елемента для ЕХЛ-визначення слідових концентрацій люмінесцентних ПАВ.
- Вперше розроблено метод визначення слідових концентрацій люмінесцентних ПАВ, який полягає в створенні сенсорного елемента, що містить наночастиці молекул-аналіту, що дає можливість підвищити поверхневу концентрацію ПАВ і досягти низької межі їхнього визначення, за рахунок того, що процеси

переносу електрона і генерування квантів ЕХЛ відбуваються на поверхні електрода, а не в об'ємі розчину.

Практична цінність одержаних результатів

Отримані в процесі виконання дисертаційної роботи результати мають значну практичну цінність, яка полягає у наступному:

- Загальна схема технології виробництва електрохемілюмінесцентного сенсорного елементу для твердофазного визначення слідових концентрацій люмінесцентних ПАВ.
- Досягнуто пікомолярну межу визначення ТФА за допомогою виготовленого за розробленою технологією ЕХЛ-сенсорного елементу, що не потребує додаткового використання біоматеріалів і наноматеріалів (таких як, як квантові точки і нанотрубки).
- методика селективного визначення люмінесцентних ПАВ, що ґрунтується на підборі співреагенту, який відповідає термодинамічним вимогам формування збуджених станів молекулами ПАВ з подальшою емісією ЕХЛ.
- результати проведених досліджень використовуються в навчальному процесі ХНУРЕ під час підготовки фахівців за напрямом «Біомедична інженерія».

Повнота викладення наукових положень, висновків та рекомендацій в опублікованих працях

Основні наукові положення та практичні результати дисертаційного дослідження опубліковано в 13 наукових працях, у тому числі у 6 статтях (з них 1 – одноосібна), з них 4 – у вітчизняних фахових виданнях, 2 – у періодичних фахових виданнях інших держав з напрямом, з якого підготовлено дисертацію, що включено до міжнародної наукометричної бази Scopus; у 7 тезах доповідей у матеріалах наукових конференцій і симпозіумів (з них 1 – проводилась за кордоном, 2 – реферуються в Scopus).

Обсяг друкованих робіт та їх кількість і науковий рівень відповідають вимогам МОН України щодо публікації основного змісту дисертації на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук. Зміст дисертаційної роботи відповідає її назві. Зміст автореферату є ідентичним до змісту дисертації, достатньо повно відображає основні положення дослідження і не містить інформації, яка не відображена в самій роботі.

Ступінь обґрунтованості та достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих в дисертації. Наукові положення, висновки і рекомендації дисертації є достовірними та достатньо обґрунтованими. Це забезпечується детальним аналізом

літературних джерел та існуючих науково-технічних рішень; застосуванням сучасних розрахункових квантово-механічних методів класу теорії функціонала густини та верифікацією результатів розрахунків іншими незалежними методами:

- розрахунковими (метод квантової механіки);
- порівнянням фрагментів комплексів «мартиця-ПАВ» з даними кристалічних структур (використовуючи банк структурних даних Кембриджського кристалографічного центру);
- експериментальними методами (зокрема, УФ-спектроскопія, люмінесцентний метод, електрохемілюмінесцентний, атомно-силової мікроскопії).

Оцінка змісту дисертації. Дисертація складається із вступу, чотирьох розділів, висновків, переліку посилань, 6 додатків. Робота викладена на 150 сторінках, ілюстрована 12 таблицями та 41 рисунком. Перелік посилань містить 168 найменувань. Обсяг роботи з додатками – 165 сторінок.

У Вступі обґрунтовано актуальність теми дисертації, сформульовані мета і завдання дослідження, викладені наукова новизна та практична значимість отриманих результатів, наведені дані про особистий внесок здобувача, публікації та апробацію наукових результатів.

У першому розділі здобувачем зроблено аналітичний огляд інформаційних матеріалів за розв'язуваною проблемою. Стисло, критично висвітлено роботи попередників, щодо чутливих елементів сенсорів для визначення ПАВ. Сформовано загальні вимоги до нового технологічного процесу створення сенсорного елемента для визначення ПАВ, який би:

(а) не вимагав додаткового застосування вищезазначених матеріалів, оскільки це ускладнює і здорожує технологію створення сенсорного елемента;

(б) не потребував використання біоматеріалів у складі сенсорної поверхні електроду, адже біоматеріалам характерні фізико-хімічна нестабільність та висока вартість;

(в) забезпечував можливість визначення ПАВ, що ґрунтувалась би на посиленні ЕХЛ-сигналу за наявності ПАВ. Сформульовано основні гіпотези (вихідні положення технології виготовлення ЕХЛ-сенсорного елемента) для визначення ПАВ.

У другому розділі обґрунтовано вихідні положення концепції нового технологічного процесу виробництва ЕХЛ-сенсорного елемента для визначення ПАВ. Описуються принципи дії і характеристики використаних програм та лабораторних методів і інструментарію.

У третьому розділі розвинуто сформульовані раніше вихідні положення технології виготовлення ЕХЛ-сенсорного елемента для визначення ПАВ. Наведено дані квантово-хімічних досліджень (з

використанням сучасних квантово-механічних методів класу теорії функціоналу густини) та експериментальних досліджень щодо визначення вагомих факторів впливу на технологію виготовлення сенсорного елемента.

У *четвертому розділі* наведено дані апробації розробленого сенсорного елемента щодо чутливості і селективності. У загальному вигляді розроблено модель технологічного процесу, що пов'язує параметр оптимізації (межу визначення ЕХЛ-сенсорного елемента) з факторами впливу.

Відповідність дисертаційної роботи вимогам ДАК України

Матеріал дисертації наданий досить логічно і обґрунтовано. Кожен з чотирьох розділів має свою специфіку, котра у сукупності свідчить про цілісність та завершеність дисертаційної роботи.

Таким чином, представлена дисертаційна робота є завершеним науковим дослідженням, яка написана науковою мовою. Зміст дисертації, структура, послідовність та повнота розв'язаних задач цілком відповідають темі роботи.

Недоліки та зауваження до роботи:

1. Формулювання мети дисертаційного дослідження потребує уточнень. Так, здобувачем поставлено за мету “розроблення нового технологічного процесу виробництва сенсорних електросхеми-люмінесцентних (ЕХЛ) елементів, що дозволяє **визначати** люмінесцентні поліциклічні ароматичні вуглеводи (ПАВ) з **високою чутливістю**, і не потребує додаткового використання нестабільних біоматеріалів і коштовних наноматеріалів”. По-перше, класичний метод електрохемилюмінесценції (ЕХЛ) є відомим методом аналітичних досліджень, зокрема для виявлення малих концентрацій ПАВ у відповідних розчинах **із високою чутливістю** і селективністю. По-друге, у ДР **відсутні кількісні оцінки підвищення чутливості** виявлення ПАВ запропонованими структурами сенсорів на елементах ЕХЛ у порівнянні з відомими, хоча у додатках наводиться порівняльна характеристика межі визначення та лінійного діапазону концентрацій визначення ПАВ різними типами сенсорів (флуоресцентних, електрохімічних тощо), але дані для відомих ЕХЛ-сенсорів на ПАВ не наводяться. Лише у четвертому розділі ДР здобувачем наведено порівняльний аналіз інтенсивності ЕХЛ-сигналу для різних матричних структур Ленгмюра-Блоджетт (ЛБ) як базових елементів сенсора, але при цьому відсутнє кількісне порівняння отриманих результатів із ЛБ-структурами аналогічних сенсорів на ЕХЛ, які містять наноматеріали та нестабільні біоматеріали.

2. Формулювання п. 1 наукової новизни є дещо декларативним. Виходячи з нього, здобувачем “**вперше розроблено технологічний процес** виробництва ЕХЛ-сенсорного елемента для чутливого детектування люмінесцентних ПАВ..., який відрізняється від відомих ... відсутністю необхідності додаткового використання дороговартісних наноматеріалів і нестабільних біологічних матеріалів. Таке формулювання більше підходить до практичної цінності, ніж до наукової новизни (для новизни більш коректно було б зазначити, наприклад, що **вперше розроблено /чи удосконалено/ наукові основи** для виробництва відповідного елемента ЕХЛ-сенсора та навести в чому саме це полягає...).
3. Формулювання п. 4 наукової новизни потребує роз'яснень у частині розвитку **моделі раціонального вибору** амфифільних молекул для утворення бінарних систем з молекулами ПАВ (термін раціональний є суб'єктивним і тому небажаним у термінології наукових досліджень).
4. У п. 4.2, який є важливою частиною експериментальних досліджень запропонованих структур ЕХЛ-сенсора, не наведені відомості щодо вимірювального обладнання, на якому отримані експериментальні залежності фотоструму та інтенсивності ЕХЛ від прикладеного потенціалу для відповідних зразків (рис.4.8-4.12), хоча у розділі 2 (на стор. 51) наведено обладнання для ЕХ-та ЕХЛ-досліджень (п.4.2).
5. Значна частина матеріалу, викладеного у п. 2.1, п.2.2 і п.2.5 другого розділу дисертації мають ознаки оглядового аналізу, отже повинні були бути представлені у першому розділі ДР.
6. У розділі 4 наведено загальному вигляді наведено розроблену модель технологічного процесу, що пов'язує параметр оптимізації (чутливість ЕХЛ сенсорного елемента) з факторами впливу. Однак, фактично, з матеріалів дисертації видно, що параметром оптимізації була інтенсивність ЕХЛ-сигналу, а не чутливість (як кількісна характеристика залежності інтенсивності від малих змін концентрації).
7. У розділі 4, під час дослідження чутливості сенсорного елемента для визначення модельних ПАВ не наводяться дані щодо відтворюваності результатів.
8. На калібрувальному графіку 5,6,11,12-тетрафенілтетрацену не наведено стандартне відхилення.
9. Під час дослідження селективності варто було б навести графіки, що дають можливість візуально порівняти інтенсивність ЕХЛ модельних ПАВ з використанням різних спів реагентів.
10. У бібліографічних даних посилань [91-95, 99] не наведено назви публікацій.
11. У посиланні [23] є тільки назва, але бракує інших бібліографічних даних.

12. Підписи на осях рисунків 4.11-4.15 наведено не українською, а англійською мовою.

Вважаю, що вказані недоліки та зауваження не впливають суттєво на новизну та практичну значущість отриманих результатів, загальну позитивну оцінку дисертаційної роботи та її значення для сенсорної електроніки.

Висновки щодо відповідності дисертації встановленим вимогам

Дисертаційна робота **Газі Фараж Хамдан Бані Халеда «Технологія виробництва електрохемілюмінесцентного сенсорного елемента для визначення поліциклічних ароматичних вуглеводнів»** є завершеною науковою працею, виконаною особисто здобувачем. У дисертації отримано нові науково обґрунтовані результати, які вирішують актуальну науково-технічну проблему, що має важливе значення для сенсорної електроніки.

За темою і змістом дисертація відповідає паспорту спеціальності 05.27.06 – технологія, обладнання та виробництво електронної техніки. Матеріал дисертації викладено логічно, чітко і зрозуміло. Висновки до розділів і до дисертації загалом відображають суть виконаних досліджень. Публікації автора в фахових наукових виданнях достатньо повно висвітлюють наукові положення і результати дисертації. В цілому, оформлення дисертації і автореферату, відповідає діючим нормативним документам.

Таким чином, вважаю, що дисертаційна робота за актуальністю, ступенем новизни, обґрунтованості, наукової та практичної цінності здобутих результатів задовольняє вимогам, що ставляться до дисертаційних робіт на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук згідно з п.п. 9, 10, 12 «Порядку присудження наукових ступенів і присвоєння вченого звання старшого наукового співробітника», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 24.07.2013 №567, а їх автор – **Газі Фараж Хамдан Бані Халед** заслуговує на присудження їй наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.27.06 – технологія, обладнання та виробництво електронної техніки.

Офіційний опонент,
доктор технічних наук, професор,
професор кафедри біомедичної інженерії,
Вінницького національного технічного університету



С.В. Павлов

Підпис *Павлова С.В.*
ПОСВІДЧУЮ
Зав. канцелярією *[Signature]*