

## ВІДГУК

офіційного опонента, доктора технічних наук, професора Петрушки Ігоря Михайловича на дисертаційну роботу Кватернюка Сергія Михайловича «Розвиток наукових основ мультиспектральних методів та технічних засобів контролю екологічного стану водних об'єктів», поданої на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 21.06.01 – екологічна безпека

**Актуальність теми дисертації.** Природоохоронна система України переживає етап її гармонізації із законодавством ЄС, у якому однією з важливих науково-практичних проблем є необхідність удосконалення системи контролю параметрів забруднення водних середовищ і відповідного оцінювання екологічного стану водних об'єктів. Важливою складовою екологічного моніторингу водних об'єктів є комплексне оцінювання їх екологічного стану при антропогенному забрудненні. Використання для цього лише фізико-хімічних показників ускладнюється синергетичною взаємодією більшості хімічних сполук. Отримати інтегральні показники забруднення водних середовищ та оцінити екологічний стан водних об'єктів можливо за допомогою біотестування та біоіндикації, однак існуючі методи і засоби вимірювання біологічних показників не забезпечують достатньої точності вимірювань, а, відповідно, і достовірності контролю. При цьому, актуальною є проблема розвитку наукових основ мультиспектральних методів та технічних засобів контролю, які підвищують ефективність екологічного контролю параметрів забруднення водних середовищ та оцінювання екологічного стану водних об'єктів, що буде передумовою та підґрунтям ефективного управління їх екологічною безпекою.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Наукові дослідження по дисертаційній роботі здійснювались відповідно до «Концепції національної екологічної політики України на період до 2020 року» та «Основним засадам (стратегії) державної екологічної політики України на період до 2020 року» у рамках проведення держбюджетних науково-дослідних робіт Вінницького національного технічного університету

“Розроблення заходів екологічної безпеки у сфері поводження з небезпечними відходами та дослідження їх впливу на водні об’єкти із використанням біосенсорних технологій” у 2018 р. (№ держреєстрації 0118U000208); “Розробка методів та засобів мультиспектрального телевізійного вимірювального контролю та діагностування параметрів неоднорідних біологічних середовищ” у 2016–2017 р. (№ держреєстрації 0116U004706); “Розробка методів та засобів вимірювального контролю оптичних параметрів неоднорідних середовищ на основі мультиспектральних зображень” у 2014–2015 р. (№ держреєстрації 0114U003459); “Розроблення оптичних засобів та вдосконалення методів контролю концентрації фітопланктону у водних об’єктах” комплексної держбюджетної НДР “Розроблення вимірювальних засобів та нових методів оперативного контролю інтегральних параметрів забруднення водних середовищ” у 2014-2015 р. (№ держреєстрації 0114U003739С); “Розроблення спектрополяриметричних методів та засобів локації і контролю для дослідження полідисперсних середовищ в екологічному моніторингу” у 2011-2013 рр. (№ держреєстрації 0111U001107); госпдоговірної науково-дослідної роботи “Еколого-економічне обґрунтування та розроблення природоохоронних заходів для водних об’єктів та прибережної території підприємства «Енергогарант» ТОВ” у 2014 р. (№ держреєстрації 0114U004573), у яких дисертант був відповідальним виконавцем.

**Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації.** Наведені в дисертаційній роботі наукові положення, теоретичні висновки та практичні рекомендації викладені в логічній послідовності, є достатніми і належним чином обґрунтованими. Для їх отримання автором проаналізовано і узагальнено світовий досвід, вдосконалено математичні моделі водних середовищ, розроблено мультиспектральні методи і технічні засоби контролю параметрів забруднення та оцінювання екологічного стану водних об’єктів, проведено експериментальні дослідження та розроблено науково-методичні рекомендації щодо реалізації запропонованих методів і засобів у системі управління екологічною безпекою водних об’єктів. Основні висновки

відповідають змісту роботи і логічно впливають із суті роботи та проведених теоретичних і експериментальних досліджень.

**Наукова новизна одержаних результатів** полягає у розвитку наукових основ мультиспектральних методів та технічних засобів, які підвищують ефективність контролю забрудненості водних середовищ та оцінювання екологічного стану водних об'єктів у системі управління їх екологічною безпекою.

Проаналізувавши матеріали дисертаційної роботи необхідно відмітити наукову новизну таких результатів:

1. Уперше розроблено метод мультиспектрального контролю екотоксичності, як інтегрального показника забруднення поверхневих вод з використанням опосередкованого вимірювання концентрації частинок мікроводоростей та обробленням результатів із застосуванням нейромережі та нейро-нечіткої мережі, що дозволило підвищити достовірність контролю.

2. Уперше запропоновано метод мультиспектрального контролю забруднення поверхневих вод, сутність якого, на відміну від відомих, полягає у визначенні відносних розмірів сегментів поверхні водного середовища з вищими водними рослинами, які мають морфологічні зміни за результатами аналізу мультиспектральних зображень, що дозволило підвищити достовірність контролю забруднення поверхневих вод.

3. Уперше за результатами моделювання процесу світлорозсіювання у шарах водного середовища з фітопланктоном із застосуванням удосконаленої математичної моделі виявлено внесок окремих шарів у загальний коефіцієнт дифузного відбиття, що дозволяє визначити глибину водного об'єкта, на якій такий внесок матиме значення в межах похибки вимірювань.

4. Удосконалено метод оцінювання екологічного стану водних об'єктів, який передбачає застосування мультиспектрального визначення видового складу фітопланктону з розрахунком індексів біорізноманіття.

5. Удосконалено метод оцінювання екологічного стану водних об'єктів, який полягає у опосередкованому мультиспектральному вимірюванні біомаси та співвідношення пігментних параметрів у приповерхневому шарі

водних об'єктів з використанням запропонованих регресійних рівнянь, що дозволило підвищити достовірність екологічного контролю до 0,974.

6. Набула подальшого розвитку математична модель процесу поширення випромінювання у водних середовищах з вищими водними рослинами, яка враховує ефект локалізованого поглинання випромінювання на їх спектральні характеристики.

7. Набуло подальшого розвитку застосування методу мультиспектрального контролю інтегральних параметрів забруднення стічних вод з використанням вищих водних рослин у очисному комплексі, який полягає у оцінюванні стану вищих водних рослин у біореакторі на основі аналізу їх мультиспектральних зображень із застосуванням експертної системи на базі нечіткої логіки або нейромережі.

**Практичне значення** одержаних результатів полягає у розробленні технічних засобів мультиспектрального контролю екологічного стану водних об'єктів для прикладних задач екологічного моніторингу на основі вдосконалених методів мультиспектральних вимірювань. Розроблені науково-методичні рекомендації щодо реалізації запропонованих наукових основ використання мультиспектральних методів та технічних засобів екологічного контролю, які врахували вплив їх метрологічних характеристик та параметрів на ефективність процесу контролю параметрів забруднення водних середовищ та екологічного стану водних об'єктів у системі управління їх екологічною безпекою. Результати дисертаційної роботи впроваджені у Вінницькому регіональному управлінні водних ресурсів, Олевській об'єднаній територіальній громаді та ПП «Інтер-Еко» для контролю токсичності стічних вод, небезпечних компонент побутових та промислових відходів, а також оцінювання їх комплексного впливу на водні об'єкти. Крім того, вони використовуються у навчально-методичному процесі Вінницького національного технічного університету при підготовці студентів за спеціальностями 101 – Екологія та 183 – Технології захисту навколишнього середовища, про що є відповідні акти у додатках до дисертації.

**Достовірність результатів** дисертаційної роботи підтверджується використанням здобувачем науково обґрунтованих методик досліджень та обробки експериментальних даних. Результати мультиспектрального дослідження параметрів водних об'єктів порівнювались із результатами експериментального вимірювання, отриманих традиційними фізико-хімічними методами і мають задовільну збіжність. Підтвердженням достовірності також є те, що за результатами роботи автором отримано патенти на корисну модель, а також здійснено впровадження результатів у природоохоронних установах, що відзначено відповідними актами у додатках.

#### **Повнота викладу наукових положень в опублікованих працях.**

За темою дисертації опубліковано 93 наукових праці, в тому числі 1 монографія, 3 розділи у монографіях, 28 статей у наукових фахових виданнях України, 12 публікацій у наукових періодичних виданнях інших держав, 6 патентів України на корисну модель, 42 тези на міжнародних конференціях. Рівень і кількість публікацій та апробації матеріалів дисертації відповідають вимогам Атестаційної колегії Міністерства освіти і науки України. Обсяг друкованих праць та їх кількість відповідають вимогам МОН України щодо публікації основного змісту дисертації на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук. Наведений у публікаціях матеріал повною мірою відображає основні результати та обґрунтовує наукові положення дисертаційної роботи.

**Апробація результатів дисертаційного дослідження.** Варто відзначити достатність оприлюднення основних результатів. Апробація результатів роботи проводилась на 23 наукових конференціях.

**Оцінка ідентичності змісту автореферату та основних положень дисертації.** Зміст та структура автореферату ідентично відображають викладені в дисертації дослідження, основні наукові результати та висновки.

**Структура та зміст роботи.** Дисертаційна робота Кватернюка С.М. є завершеною науковою працею і складається зі вступу, шести розділів, висновків, списку використаних джерел (564 найменування) та додатків.

Загальний обсяг дисертації становить 464 сторінки, серед яких 330 сторінок основного тексту. Робота містить 103 рисунки і 46 таблиць.

### **Загальна характеристика роботи.**

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми дисертаційної роботи, визначено її зв'язок із науковими програмами, планами і темами, сформульовано наукову проблему, ідею, мету та задачі досліджень, визначено наукову новизну й практичну цінність одержаних результатів, детально розкрито особистий внесок здобувача, наведено дані щодо наукових публікацій та апробації результатів, структури та обсягу роботи.

У **першому розділі** проведений аналіз методів контролю комплексного техногенного забруднення та оцінювання екологічного стану водних об'єктів підтвердив, що контроль інтегральних показників забруднення вод з урахуванням різних проявів взаємодії забруднювальних хімічних речовин, у відповідності до міжнародних зобов'язань України та необхідності гармонізації стратегії у галузі водної політики в Україні з Європейським законодавством, зокрема, Водною Рамковою Директивою 2000/60/ЄС, необхідно здійснювати за допомогою біотестування та біоіндикації. При цьому існуючі методи і засоби вимірювання біологічних показників не забезпечують достатньої точності вимірювань та достовірності контролю. Для забезпечення ефективності екологічного контролю комплексних параметрів забруднення водних середовищ та оцінювання екологічного стану водних об'єктів встановлено необхідність розвитку наукових основ мультиспектральних методів та розроблення відповідних технічних засобів екологічного контролю.

У **другому розділі** вдосконалено математичні моделі водних середовищ з фітопланктоном та вищими водними рослинами для вирішення прямої задачі формування їх мультиспектральних зображень технічними засобами мультиспектрального контролю. При цьому, для приповерхневого шару водного середовища встановлено відносний внесок окремих шарів у загальний коефіцієнт дифузного відбиття, що дозволяє оцінити глибину водного об'єкта до якої існує можливість проведення мультиспектральних вимірювань. Досліджено спектральні характеристики у водних середовищах

з вищими водними рослинами та оцінено вплив ефекту локалізованого поглинання випромінювання.

У **третьому розділі** розроблено методи і засоби мультиспектрального екологічного контролю параметрів забруднення водних середовищ та оцінювання екологічного стану водних об'єктів. Зокрема, розроблено метод мультиспектрального контролю екотоксичності, як інтегрального показника забруднення поверхневих вод, з використанням опосередкованого вимірювання концентрації частинок мікроводоростей з обробленням результатів із застосуванням нейромережі та нейро-нечіткої мережі. Запропоновано метод мультиспектрального контролю, що полягає у визначенні відносних розмірів сегментів поверхні водного середовища з вищими водними рослинами, які мають морфологічні зміни за результатами аналізу мультиспектральних зображень. Вдосконалено метод оцінювання екологічного стану водних об'єктів на основі мультиспектрального визначення видового складу фітопланктону з розрахунком індексів біорізноманіття. Вдосконалено метод мультиспектрального вимірювання біомаси та співвідношення пігментних параметрів у приповерхневому шарі водних об'єктів з використанням запропонованих регресійних рівнянь. Набуло подальшого розвитку застосування методу мультиспектрального контролю інтегральних параметрів забруднення стічних вод з використанням вищих водних рослин у очисному комплексі.

У **четвертому розділі** розроблено структурні схеми засобів мультиспектрального екологічного контролю та здійснено аналіз їх метрологічних характеристик. Обґрунтовано оптимальну кількість спектральних каналів та їх параметри для технічних засобів мультиспектрального екологічного контролю за допомогою покрокової множинної регресії. Науково обґрунтовано схемні рішення та виготовлено дослідні зразки удосконалених технічних засобів мультиспектрального екологічного контролю параметрів забруднення водних середовищ та екологічного стану водних об'єктів на основі опосередкованих вимірювань біомаси фітопланктону та вищих водних рослин, а також співвідношень між їх основними пігментами. Зокрема, розроблено засіб мультиспектрального

екологічного контролю водних об'єктів з використанням квадрокоптера та мультиспектральних камер серії CMS і проаналізовано його похибки вимірювань.

У **п'ятому розділі** розроблено програмне забезпечення для технічних засобів мультиспектрального контролю параметрів забруднення водних середовищ та екологічного стану водних об'єктів, що здійснює управління технічними засобами контролю, а також сегментацію та фільтрацію мультиспектральних зображень і їх обробку з використанням регресійних рівнянь, нейромережі та нейро-нечіткої мережі.

У **шостому розділі** розроблено науково-методичні рекомендації та здійснено експериментальні дослідження роботи технічних засобів мультиспектрального екологічного вимірювального контролю інтегральних параметрів забруднення водних середовищ за допомогою біотестування, а також оцінювання екологічного стану водних об'єктів з використанням біоіндикації по фітопланктону та вищим водним рослинам. За допомогою запропонованих методів та розроблених засобів мультиспектрального екологічного контролю оцінено комплексний вплив небезпечних компонентів побутових та промислових відходів на екологічний стан водних об'єктів. Експериментальні дослідження екологічного стану водних об'єктів здійснено мультиспектральними методами на прикладі р. Південний Буг з використанням біоіндикації за характеристиками угруповань макрофітів. Крім того, розроблені технічні засоби контролю було використано для дослідження росту і розвитку рослин ейхорнії, що застосовувалась для біофільтрації води у водних об'єктах підприємства «Енергогарант» ТОВ.

**Висновки** достатньо детально та логічно відображають хід розв'язання поставлених у роботі завдань, містять основні результати дисертаційного дослідження, які достатньо повно характеризують науково-практичні досягнення дисертанта.

**Оформлення дисертації** за структурою, мовою та стилем викладення відповідає вимогам до оформлення дисертацій, затвердженим МОН України, наказ № 40 від 12 листопада 2017 року. Мова і стиль викладання дисертації і



автореферату чітко висвітлюють одержані науково-практичні результати, визначені метою досліджень.

**Зауваження щодо змісту та оформлення дисертації та автореферату:**

1. З результатів експериментальних досліджень не зрозуміло, яким чином оцінювалась селективність методу до певних хімічних сполук.

2. Яким чином оцінювався діапазон концентрацій хімічних речовин у водних середовищах, у якому адекватно працюють розроблені технічні засоби?

3. Чи дозволяють розроблені засоби мультиспектрального контролю забезпечити екологічну безпеку водних об'єктів?

4. Якими є умови використання розроблених методів та засобів мультиспектрального контролю?

5. Можна було б більш детально описати специфіку об'єктів контролю.

6. У тексті зустрічаються окремі неточності стилістичного та орфографічного характеру.

Однак, зазначені зауваження не зменшують наукової цінності роботи в цілому.

**Загальний висновок.**

Дисертаційна робота Кватернюка Сергій Михайловича «Розвиток наукових основ мультиспектральних методів та технічних засобів контролю екологічного стану водних об'єктів» повністю відповідає паспорту спеціальності 21.06.01 – екологічна безпека, зокрема, формулі спеціальності (розділ I) та п.п.2, 5 напрямків досліджень (розділ II).

Дисертація є завершеною науковою працею, в якій вирішено наукову проблему розвитку наукових основ мультиспектральних методів та технічних засобів контролю екологічного стану водних об'єктів, які враховують вплив їх характеристик на ефективність процесу контролю забрудненості водних середовищ та оцінювання екологічного стану водних об'єктів, що є підґрунтям ефективного управління їх екологічною безпекою.

У цілому, робота Кватернюка С.М. виконана на рівні вимог до дисертацій на здобуття наукового ступеня доктора наук у відповідності до п.п. 9, 10, 12–14 «Порядку присудження наукових ступенів», затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України від 24 липня 2013 р. № 567, а здобувач Кватернюк Сергій Михайлович заслуговує на присудження йому наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 21.06.01 – екологічна безпека.

Офіційний опонент,  
завідувач кафедри екологічної безпеки  
та природоохоронної діяльності  
Національного університету  
«Львівська політехніка», д.т.н., професор

І. М. Петрушка

Підпис І. М. Петрушки засвідчую  
Вчений секретар  
Національного університету  
«Львівська політехніка», д.т.н., доцент



Р.Б. Брилинський