

67-72-06/1  
01.02.2021

## ВІДГУК

офіційного опонента Райтера Петра Миколайовича  
на дисертаційну роботу **Реута Дмитра Тагіровича «Метод і пристрій  
для вимірювання концентрації мікропланктону»** подану  
на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю  
05.11.13 — прилади і методи контролю та визначення складу речовин

### 1. Актуальність теми дисертаційної роботи

Забруднення водойм є однією з важливих екологічних проблем сучасності. Якість поверхневих вод оцінюють за фізичними, хімічними та біологічними показниками. Традиційно для оцінки стану водойми виконується відбір проб води, які далі досліджуються в лабораторних умовах. Це зумовлює значне збільшення тривалості вимірювання. Для контролю деяких фізичних і хімічних показників існують прилади і пристрої для швидкого вимірювання на місці, автоматичні станції контролю якості води, проте вони не дозволяють визначати біологічні показники. Одним з біологічних показників є концентрація мікропланктону, яку визначають в лабораторних умовах із значними витратами часу та необхідністю ручної підготовки проби. Затримка доставки проб в лабораторію для віддалених точок відбору може сягати декількох годин, впродовж яких забруднення залишається невиявленим і не вживаються заходи щодо його усунення, тому актуальною є тема дисертаційної роботи Реута Д.Т., що присвячена розробці нового пристрою і методу вимірювання концентрації мікропланктону, які відрізняються зменшеною тривалістю вимірювання.

Дослідження та розробки, представлені в дисертаційній роботі, виконано відповідно до тематики науково-дослідних робіт кафедри автоматизації, електротехнічних та комп'ютерно-інтегрованих технологій Національного університету водного господарства: «Розробка та дослідження методів і систем контролю фізико-механічних параметрів рідин та газів (державна реєстрація теми № 0112U002523) та «Розробка та дослідження елементів і систем автоматизації та їх моделювання» (державна реєстрація теми № 0110U000823).

### 2. Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків, рекомендацій та їх достовірність

Обґрунтованість та достовірність наукових положень і висновків дисертації зумовлені проведенням порівняльним аналізом літературних джерел, які включають 74 найменувань стосовно теми дисертації, математичною та логічною строгістю побудови моделей, коректністю постановки й вирішення завдань досліджень, використанням широко апробованих методів теорії вимірювань, сучасних та класичних методів формування та опрацювання фото та відеозображень, методів теорії нечітких множин; методів теорії штучних нейронних мереж для класифікації організмів мікропланктону, методів теорії автоматичного управління; методів статистичного опрацювання результатів вимірювань з використанням засобів обчислювальної техніки, а також результатами аналізу значного об'єму лабораторних досліджень проб води з водойм, графо-

аналітичного та чисельного аналізу даних, виконання промислових випробувань, апробацією результатів на наукових конференціях.

### 3. Повнота висвітлення результатів в опублікованих працях, апробація роботи

Наукові положення та отримані автором теоретичні й практичні результати досліджень достатньо повно представлені в опублікованих наукових працях і апробовані на міжнародних й всеукраїнських конгресах та конференціях.

За темою дисертаційної роботи опубліковано 20 наукових праць, з них 6 - у вітчизняних виданнях, включених до переліку наукових фахових видань України, 1 стаття у закордонному виданні, 13 публікацій у матеріалах міжнародних і всеукраїнських науково-технічних конференцій, 1 патент України на винахід та 1 – на корисну модель. Внесок дисертанта у публікації, написані у спів-авторстві, є визначальним. Робота пройшла апробацію на 13 міжнародних та всеукраїнських конференціях. В публікаціях висвітлено основні результати дисертаційного дослідження.

### 4. Оцінка структури та змісту дисертаційної роботи

Дисертаційна робота Реута Д.Т. складається із вступу, чотирьох розділів, висновків, переліку використаних джерел (74 найменувань) і 6 додатків. Загальний обсяг дисертації складає 181 сторінку, зокрема містить 116 сторінок основного тексту, 44 рисунки, 14 таблиць та перелік використаних джерел на 10 сторінках. Додатки викладено на 38 сторінках.

У **вступі** наведено загальну характеристику дисертаційної роботи. Обґрунтовано актуальність теми, показано зв'язок вибраного напрямку досліджень з науковими програмами і планами, на підставі чого сформульована мета й основні задачі дослідження, обрано об'єкт та предмет дослідження, висвітлено наукову новизну, практичну цінність та впровадження отриманих результатів досліджень для вимірювання концентрації мікропланктону. Подано відомості про публікації, особистий внесок в них з добувача та апробацію роботи.

**Перший** розділ присвячено детальному аналізу та класифікації відомих методів і засобів вимірювання концентрації організмів мікропланктону у воді. Розглянуто процес лабораторного вимірювання концентрації мікропланктону з виконанням класифікації організмів мікропланктону лаборантом або на базі реалізації алгоритмів штучних нейронних мереж. На підставі ґрунтового аналізу літературних джерел в дисертації проаналізовано використання проточних цитометрів, автономних підводних пристроїв і буїв. Встановлено, що методи, які передбачають транспортування проб в лабораторію, характеризуються значною тривалістю та трудомісткістю вимірювання. Водночас методи проточної цитометрії характеризуються меншою тривалістю вимірювання, але й відповідно меншою точністю вимірювання концентрації. Встановлено, що за умови виконання вимірювань за місцем відбору проби існує можливість мінімізувати тривалість вимірювання, що вимагає компактних та енергоефективних інструментів і засобів вимірювання, які можна легко транспортувати між точками пробовідбору та які в стані працювати без використання живлення від зовнішнього джерела.

На основі виконаного аналізу сформовано задачі дисертаційного дослідження.

У **другому** розділі викладено результати досліджень та розробки методу вимірювання концентрації, способу опису й класифікації мікропланктону. З цією метою автором запропоновано параметри для опису організмів мікропланктону та подальшої їх класифікації, зокрема які характеризують рух та зміну форми мікроорганізмів. Автором оригінально і технічно грамотно визначено межі нечітких множин, що використовуються для опису окремих класифікаційних груп мікропланктону.

Створено метод вимірювання концентрацій окремих класифікаційних груп мікропланктону, який полягає у отриманні відеопотоку із зображенням мікроорганізмів у проточній оптично прозорій комірці, в подальшому алгоритмічному опрацювання отриманого відеозапису та реалізації класифікації мікроорганізмів за допомогою нечіткої логіки.

На основі аналізу процесів реєстрації мікропланктону озроблено оригінальний алгоритм попередження повторного врахування мікроорганізму за умов його виходу з фокусу мікроскопа та повернення через деякий проміжок час у іншу ділянку кадру мікроскопа. Це дозволяє автору виключити завищення результату вимірювання концентрації таких мікроорганізмів.

Запропоновано новий спосіб вимірювання та регулювання швидкості потоку води в полі зору мікроскопа, який забезпечує досягнення і утримування не обхідної чіткості зображень мікропланктону в заданих межах. Проведені дослідження дали можливість на основі запропонованих автором класифікаційних параметрів застосувати алгоритми штучних нейронних мереж для класифікації мікропланктону. Завдяки використанню комп'ютерного моделювання оптимізовано структуру штучної нейронної мережі для класифікації мікропланктону, знайдено ваги та зміщення, що забезпечують меншу помилку класифікації та, відповідно, більшу точність вимірювання.

**Третій** розділ присвячений викладенню результатів розробки пристрою для автоматичного вимірювання концентрації мікропланктону. В ньому обґрунтовано вимоги до пристрою для вимірювання концентрації мікропланктону та запропоновано варіанти структурних схем для реалізації такого пристрою. Розроблено портативний пристрій для автоматичного вимірювання концентрації мікропланктону, який складається з оптично прозорої проточної комірки, перистальтичного насоса для подачі аналізованої води, цифрового мікроскопа, процесорного модуля, модуля введення-виведення, силового драйвера, датчик гідростатичного тиску, інфрачервоного датчик відстані, датчик подачі води в корпус пристрою, модуля людино-машинного інтерфейсу з рідкокристалічним дисплеєм та модуля живлення на базі підвищувального перетворювача напруги та літій-іонних акумуляторів. Детально описана структура складових модулів пристрою. Забір досліджуваної води запропоновано здійснювати за допомогою низькопродуктивних перистальтичних насосів.

Детально та ґрунтовно описано розроблене автором оригінальне програмне забезпечення для забезпечення функціонування на сучасній елементній базі модулів пристрою, яке забезпечує реалізацію запропонованого методу вимірювання концентрації мікропланктону, інтерфейс користувача, збереження результатів вимірювань на зовнішні накопичувачі інформації, доступ до результатів вимірю-

вань через комп'ютерні мережі й передачу результатів вимірювання концентрації на сервер. Наведена детально пропрацьована автором методика калібрування камери мікроскопа.

**Четвертий** розділ присвячено аналізу основних невизначеностей, що мають місце в процесі вимірювання концентрації розробленим методом та пристроєм, оцінці точності вимірювання концентрації мікропланктону розробленим пристроєм. З цією метою визначено стандартну невизначеність за типом А та відносну похибку вимірювання концентрації мікропланктону за кожною класифікаційною групою. Це дало змогу визначити, що найбільший внесок у сумарну невизначеність вносить класифікатор (на основі нечіткої логіки або штучна нейронна мережа), а точність вимірювання лінійних розмірів, що використовуються для класифікації, головним чином визначається розмірами пікселя мікроскопа.

Отримані значення невизначеностей і похибок вказують на придатність використання розробленого пристрою для експрес-аналізу якості поверхневих вод.

Завершують дисертаційну роботу висновки про виконання кожного із завдань дослідження та список літературних джерел.

**В додатках** до дисертаційної роботи наведено параметри розробленої автором нейронної мережі для класифікації мікропланктону, коди програм мікроконтролера модуля введення-виведення та дисплейного модуля, коди програми аналізу відеопотоку з мікроскопа та класифікації, а також акти результатів впровадження наукових матеріалів дисертаційної роботи Реута Д.Т. на об'єкті «Каналізаційні очисні споруди Хатирчинського району Навоїської області Республіки Узбекистан» та використання в навчальному процесі Національного університету водного господарства та природокористування.

## 5. Наукова новизна дисертаційної роботи

До найбільш суттєвих наукових результатів дисертаційної роботи слід віднести:

- вперше створений новий метод неперервної ідентифікації та вимірювання концентрації мікропланктону, що передбачає аналіз відеопотоку з цифрової відеокамери мікроскопа з врахуванням змін вмісту поля зору мікроскопа з часом;
- вперше запропоновано автоматично, для досягнення необхідної чіткості зображення отримуваних кадрів, регулювати швидкість потоку води, ділянка якого перебуває в полі зору мікроскопа, що дозволяє досліджувати власний рух мікропланктону в потоці;
- вперше запропоновано метод класифікації організмів мікропланктону, що на основі використання нечіткої логіки дозволяє описати параметри мікроорганізмів з неконтрастними межами;
- отримав подальший розвиток метод визначення геометричних параметрів фітопланктону на основі використання алгоритмів нейронних мереж для опрацювання зображень потоку аналізованої води;
- удосконалено метод порогової фільтрації відеозображень для її використання за умов неперервного відстеження наявності та параметрів мікроорганізмів у відеопотоці зображень.

## 6. Практична цінність дисертаційної роботи

Практична цінність дисертаційної роботи Реута Д.Т. полягає у розробці методу і пристрою для вимірювання концентрації мікропланктону шляхом:

- розробки портативного пристрою для автоматичного вимірювання концентрації мікроорганізмів, який доцільно використовувати для оцінки екологічного стану водойми;

- розроблення методу обчислення концентрації мікроорганізмів у не перервному потоці води, що прокачується в полі зору мікроскопа;

- використання наукових результатів в навчальному процесі Національного університету водного господарства та природокористування та впроваджені в експлуатацію каналізаційних очисних споруд на базі фітотехнології глибокого біологічного очищення води об'єкті «Каналізаційні очисні споруди Хатирчинського району Навоїської області Республіки Узбекистан».

## 7. Особистий внесок здобувача

Дисертаційна робота є особистим науковим доробком здобувача. Особистий внесок здобувача полягає у визначенні мети і задач роботи, проведенні теоретичних та експериментальних досліджень з формуванням відповідних висновків, в тому числі, в розробці методів і алгоритмів визначення концентрації мікропланктону, в розробці пристрою визначення концентрації мікропланктону, в розробці структури та навчання нейронної мережі для класифікації мікропланктону, алгоритму керування швидкістю води в полі зору мікроскопа, у визначенні похибок вимірювань пристроєм.

## 8. Оцінка змісту дисертації, її завершеності та оформлення

Зміст дисертації розкриває вирішення поставлених задач та досягнення мети дослідження. Робота має характер завершені наукової праці. Текстова частина містить належним чином оформлені посилання на використані джерела. Дисертація та автореферат належним чином оформлені та проілюстровані таблицями та графічним матеріалом.

Робота побудована в логічній послідовності, викладений матеріал систематизовано, стиль викладення результатів досліджень забезпечує доступність їх сприйняття.

Зміст та структура автореферату ідентично відображають викладені у дисертації етапи проведення досліджень, основні наукові результати і висновки.

## 9. Відповідність паспорту спеціальності

Дисертаційна робота відповідає паспорту наукової спеціальності 05.11.13 - прилади і методи контролю та визначення складу речовин, зокрема за п. 9 напрямів досліджень.

## 10. Зауваження по дисертаційній роботі

1. В п.1 наукової новизни доцільно внести уточнення і викласти як "...що передбачає аналіз відеопотоку з цифрової відеокамери мікроскопа з врахуванням змін вмісту поля зору мікроскопа з часом».

2. На мою думку доцільно перефразувати п.2 наукової новизни в редакції «Вперше запропоновано автоматично, для досягнення необхідної чіткості зображення отримуваних кадрів, регулювати швидкість потоку води, ділянка якого перебуває в полі зору мікроскопа, що дозволяє досліджувати власний рух мікропланктону в потоці».

3. В дисертаційній роботі доцільно б було навести обґрунтування об'єму та вимог до формування вибірки зображень мікропланктону з метою формування навчальної множини зображень для його ідентифікації на базі алгоритмів нейронних мереж. На мою думку це забезпечує вимоги репрезентативності вибірки, як частини генеральної сукупності даних можливих зображень мікропланктону.

4. Доцільно більш детально пояснити використаного автором терміну «середній колір» ст.49, оскільки цей параметр важливий для визначення контуру зображень мікропланктону.

5. В роботі не вказано, чи розглядалась автором можливість ідентифікації і відокремлення від цільових зображень мікропланктону зображень твердих мікровключень, які можуть бути присутні у воді у вигляді суспензії, як до прикладу, автор розглядає присутність повітряних бульбашок.

6. Доцільно дати пояснення, що автор розуміє під твердженням «підвищення колірності води» в твердженні автора на ст.69-70 дисертаційної роботи «після зменшення освітленості поля зору мікроскопа (що еквівалентно підвищенню колірності води) так, що середня інтенсивність фону у 8-бітній палітрі відтінків сірого збільшилась з 30 до 68».

7. В обґрунтуванні порогу фільтра  $L_0$  (ст.69) як критерію оптимальності його вибору є мінімізація модуля різниці між площами контуру зображення об'єкта отриманого автором з використанням цього порогу  $L_0$  та площі, обмеженої контуром, отриманим за алгоритмом Кенні. Чи не можлива ситуація, що форма зображення об'єкта не опукла, і тоді дана умова буде виконуватись, але оптимальне значення контуру мікроорганізму не буде досягнуто?

8. Доцільно пояснити, яким чином автор виконує перерахунок швидкості руху води, коли вказує її значення «10 пікселів за кадр, що відповідає приблизно 0,1 мм/с» ст.70.

9. Доцільно уточнити орієнтовний розмір «найбільшої групи об'єктів у полі зору мікроскопу» для визначення швидкості потоку, коли автор стверджує на ст.119 «За швидкість потоку води приймається швидкість найбільшої групи об'єктів у полі зору мікроскопа» виходячи із заявленого ним на ст. 116 коефіцієнта перетворення оптичної системи відеокамери 1,8194 пікселя на мікрометр.

10. Розділ 1.2 дисертаційної роботи дещо переобтяжений детальним описом патентної інформації про відомі методи вимірювання концентрації мікропланктону. Вказані описи можна було скоротити або перенести в додатки роботи.

Зроблені зауваження не стосуються основних положень дисертації, мають частковий характер та суттєво не впливають на позитивну оцінку роботи.

## 11. Висновок по дисертаційній роботі в цілому

Дисертація Реута Дмитра Тагіровича "Метод і пристрій для вимірювання концентрації мікропланктону" є завершеною науковою працею, її написано технічно грамотною українською мовою, вона добре ілюстрована та оформлена відповідно до вимог Державного стандарту України та вимог атестаційної колегії Міністерства освіти і науки України.

Зміст дисертаційної роботи цілком відповідає спеціальності 05.11.13 – прилади та методи контролю та визначення складу речовин, за якою вона подана до захисту.

Автореферат дисертації адекватно відображає основний зміст, наукові положення, висновки, рекомендації дисертаційної роботи та відповідає вимогам, що встановлено вищою атестаційною колегією Міністерства освіти і науки України до авторефератів.

Дисертаційна робота Реута Д.Т. є науковою працею, в якій отримані нові науково обґрунтовані теоретичні і експериментальні результати, що в сукупності вирішують важливе науково-технічне завдання, яке полягає в забезпеченні неперервного вимірювання концентрації мікропланктону у відкритих водоймах, за умов значного зменшення тривалості вимірювання, для чого автором розроблено новий метод і вимірювальний пристрій.

Вважаю, що дисертаційна робота "Метод і пристрій для вимірювання концентрації мікропланктону" за актуальністю, науковим рівнем розробок та їх практичним втіленням, необхідною кількістю публікацій та апробацій повністю відповідає вимогам пунктів 9, 11 і 13 «Порядку присудження наукових ступенів», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 24 липня 2013 р. №567, щодо кандидатських дисертацій, а її автор Реут Дмитро Тагірович заслуговує присудження наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.11.13 - прилади і методи контролю та визначення складу речовин.

Офіційний опонент, завідувач кафедри енергетичного менеджменту і технічної діагностики Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу, докт. техн. наук, професор

П.М.Райтер

Підпис засвідчую:

" " \_\_\_\_\_ 2021 р.

Підпис(и)	<i>П. М. Райтера</i>
посвідчую	<i>В. Процюк</i>
Учасні комісії (Д.Т.Р.)	<i>28.01.21</i>