

Прійнято 90  
спеціалізованої вченї ради ФФ 08.822.005  
19.04.21 М.І. Негесен  
голова в.с.р

## ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу

**Лемеша Максима Вікторовича**

**«Удосконалення методів розрахунку споруд біологічної очистки»,**

представлену на здобуття наукового ступеня доктора філософії

з галузі знань 19 «Архітектура та будівництво» за спеціальністю

192 «Будівництво та цивільна інженерія»

Дисертаційна робота складається з анотації, вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел і додатків. Загальний обсяг роботи становить 143 сторінки, з них основний текст розміщено на 107 сторінках; містить 66 рисунків, 15 таблиць. Список використаних літературних джерел містить 126 бібліографічних назв.

### **Актуальність теми дисертаційної роботи.**

Біологічна очистка є одним з найпотужніших методів обробки стічних вод. Визначення ефективності цієї очистки на етапі проектування або реконструкції споруд, в яких здійснюється такий спосіб обробки стічних вод, потребує використання спеціальних математичних моделей та методів розрахунку. Більш того, ці теоретичні методи розрахунку є основним інструментарієм, оскільки проведення фізичного експерименту в галузі біологічної очистки завжди потребує значних затрат часу та коштовного обладнання. На сьогодні розроблена значна кількість математичних моделей, що дозволяють з різним ступенем наближення визначати ефективність роботи біореакторів. Але існуючі математичні моделі не враховують ряд важливих параметрів, що впливають на ефективність роботи біореакторів, таких як: геометрична форма та конструктивні особливості реакторів, гідродинаміку руху активного мулу та субстрату в них, наявність додаткових елементів, різні режими експлуатації. Тому розробка математичних моделей для оцінки ефективності роботи біологічних реакторів, що дозволяли б

враховувати вищевказані важливі фактори та швидко отримувати значення необхідних для проектувальника параметрів є важливою науковою задачею.

### **Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.**

Дисертація виконана відповідно до державної програми «Про концепцію розвитку водного господарства України». Робота пов'язана з планами науково-дослідних робіт Дніпровського національного університету «Моделювання масопереносу та гідродинаміки в системах водопостачання, водовідведення та в водних об'єктах» (номер держреєстрації 0115U007225), а також в рамках договору № 01/2015-I від 15.01.2015 про науково-технічне співробітництво між ДНУЗТ імені академіка В. Лазаряна і Дніпропетровським обласним управлінням водних ресурсів.

### **Наукова новизна отриманих результатів.**

У дисертації одержано такі нові наукові результати:

Уперше:

- розроблено метод оцінювання ефективності роботи біологічного реактора для очищення стічних вод, що базується на використанні двовимірних моделей гідродинаміки, масопереносу та біологічного очищення, який дозволяє швидко розрахувати ефективність очищення води в споруді з урахуванням її конструктивних особливостей, режиму роботи;

- розроблено метод оцінювання ефективності роботи біологічного реактора для очищення стічних вод, що базується на використанні тривимірних моделей гідродинаміки, масопереносу та біологічного очищення, який дозволяє швидко розрахувати ефективність очищення води в споруді з урахуванням її конструктивних особливостей, режиму роботи;

- розроблено метод оцінювання ефективності роботи біологічного реактора для очищення стічних вод, що базується на використанні двовимірних моделей гідродинаміки, масопереносу та біологічного очищення, який дозволяє швидко розрахувати ефективність очищення води в споруді з рухомим біоценозом.

Удосконалено:

- метод оцінювання ефективності роботи біореактора для очищення стічних вод, що базується на використанні нульвимірних моделей біологічного очищення стічних вод, який дозволяє, на відміну від існуючих, враховувати зміну з часом витрати та концентрації активного мулу, субстрату, що надходять у біореактор.

### **Практична цінність дисертаційної роботи.**

Автор дисертаційної роботи розробив нові методи розрахунку споруд для біологічної очистки стічних вод. Ці методи дають можливість проектувальнику дуже швидко визначити ефективність очистки стічних вод на комп'ютерах малої та середньої потужності, тобто на комп'ютерах, що переважно використовуються в практиці проектних робіт. Важливим для практики є такі аспекти:

- можливість оцінювання ефективності очищення стічних вод в спорудах, що мають складну геометричну форму;

- можливість оцінювання ефективності очищення стічних вод в спорудах, що мають рухомий біоценоз;

- швидкість розрахунків – рішення задачі триває декілька секунд;

- запропоновані автором методи використовують типову початкову інформацію, тобто не потребують використання початкових даних, для отримання яких потрібно здійснювати додаткові дослідження.

Наукові розробки впроваджені в ТОВ «Енергосервіс-КР», а також використовуються в начальному процесі Дніпровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна для підготовки здобувачів вищої освіти за спеціальністю 192 «Будівництво та цивільна інженерія» спеціалізації «Водопостачання та водовідведення».

**Обґрунтованість наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації, забезпечується застосуванням фундаментальних моделей механіки суцільного середовища, адекватністю постановки мети та задач дослідження, строгістю математичних постановок задач, коректним застосуванням математичного апарату, а також порівнянням і збігом отриманих**

результатів з експериментом, з аналітичним рішенням задач, порівнянням результатів з даними інших авторів.

### **Аналіз основного змісту дисертаційної роботи.**

У **вступі** здобувач обґрунтував актуальність теми, сформульовано мету та основні завдання наукових досліджень, визначив об'єкт, предмет і методи досліджень, навів наукову новизну та практичну цінність результатів дисертаційної роботи, зазначив свій особистий внесок.

У **першому розділі** здобувач виконав критичний аналіз існуючих методів розрахунку споруд біологічної очистки стічних вод. В даному розділі проаналізовано існуючі методи для оцінки ефективності очистки стічних вод в біореакторах. Здобувач проаналізував переваги та недоліки цих методів та математичних моделей. Автор обґрунтовано сформулював висновок – існує дефіцит методів розрахунку споруд біологічної очистки стічних вод, що дозволяли б швидко визначати цю ефективність з урахуванням конструкції біореакторів та різних режимів їх експлуатації. Наприкінці розділу здобувач обґрунтував вибір напрямку дисертаційного дослідження.

У **другому розділі** розглядаються теоретичні основи моделювання процесу біологічної очистки стічних вод, на базі яких створено нові методи оцінки ефективності роботи біореакторів. В розділі здобувач навів три групи методів. Перша група розрахункових методів базується на використанні нульвимірних чисельних моделей роботи біореактору. Для отримання необхідних для розрахунку залежностей автор використав метод Ейлера, за допомогою якого виконується чисельне інтегрування моделюючих рівнянь. Друга група розрахункових методів базується на двовимірних рівняннях гідродинаміки, масопереносу активного мулу, субстрату та моделей, що описують безпосередньо процес біологічної очистки. Третя група розрахункових методів розроблена для моделювання тривимірного процесу руху активного мулу та субстрату в біореакторі. В цих методах використовується модель Моно для розрахунку процесу біологічного очищення. В розділі надається детальний опис моделюючих

рівнянь, розроблених методів розрахунку та опис розроблених здобувачем комп'ютерних програм, що реалізують побудовані методи розрахунку біореакторів. Слід підкреслити, що розроблені здобувачем методи дозволяють враховувати комплекс важливих факторів, що раніше не враховувались при розрахунку біореакторів.

**В третьому розділі** дисертації розглянуто побудову методів розрахунку очистки стічних вод в реакторах з рухомим біоценозом. Слід відзначити, що в світі існує дуже обмежена кількість методів для розрахунку таких реакторів. Здобувач розробив метод розрахунку, що дозволяє врахувати гідродинаміку течії в біореакторі, рух активного мулу, рух субстрату, рух носіїв біоценозу. Таким чином, побудована багатофакторна динамічна модель. В розділі наведено опис розроблених комп'ютерних програм, за допомогою яких здійснюється оцінка ефективності роботи біореактора з рухомим біоценозом. Важливо підкреслити, що розроблений метод розрахунку базується на фундаментальних рівняннях механіки суцільного середовища.

**Четвертий розділ** присвячено дослідженню ефективності роботи реакторів для біологічної очистки стічних вод на базі розроблених методів. Здобувач навів рішення комплексу складних задач в галузі водовідведення. На початку цього розділу наведено результати рішення задач по визначенню ефективності роботи біореакторів при різних режимах експлуатації. Розрахунки здійснено на базі побудованих нульвимірних чисельних моделей. Далі здобувач навів результати дослідження ефективності роботи біореакторів на базі розроблених двовимірних чисельних моделей. Досліджено ефективність очистки стічних вод в біореакторах з додатковими елементами, що розташовані в робочій камері, при використанні додаткового вприскування активного мулу в біореакторі. Також в цьому розділі здобувач навів результати дослідження ефективності роботи біореактору на базі побудованої тривимірної моделі. Показано, що ця тривимірна модель дозволяє визначати ефективність роботи споруди з урахуванням додаткових пластин, що встановлені в робочій камері. Наприкінці розділу наведено результати

дослідження ефективності очистки стічних вод в біореакторах з рухомих біоценозом. Також в розділі наведено результати верифікації розроблених методів. Верифікація підтвердила адекватність нових методів, що запропонував здобувач.

Результати наукових досліджень добре ілюстровані, дають повну уявність про ефективність розроблених здобувачем нових методів розрахунку споруд біологічної очистки стічних вод.

У **висновках** узагальнено отримані в дисертації наукові та практичні результати.

У **додатках** наведено акти впровадження дисертаційної роботи та список публікацій здобувача за темою дисертації.

#### **Редакційний аналіз.**

Використана в роботі наукова термінологія є загальноприйнятною, стиль викладення результатів теоретичних і експериментальних досліджень, нових наукових положень, висновків і рекомендацій забезпечує їх доступне сприйняття та застосування.

Ознак порушення академічної доброчесності не виявлено.

**Повнота викладу результатів в наукових публікаціях, зарахованих за темою дисертації.**

За результатами дисертаційної роботи опубліковано 15 друкованих праць, в тому числі: 5 – статті у наукових фахових виданнях України, 1 у виданні, що входить до міжнародних наукометричних баз, 1 – у іншому науковому виданні, 8 - тези доповідей.

#### **Зауваження до роботи.**

1. В першому розділі дисертації виконано аналіз існуючих методів розрахунку реакторів для очистки стічних вод, але бажано було б також детально проаналізувати методи розрахунку кисневого режиму в біореакторах.

2. Результати верифікації розроблених методів було б доцільно навести в додатках, а не в основному тексті дисертації.

3. Деякі результати досліджень, що наведено в розділі 4, представлено у вигляді таблиць. Було б доцільно їх привести у вигляді графіків.

4. Доцільно було б побудувати метод розрахунку біореактору на базі рівнянь Нав'є-Стоксу.

5. Автор дисертації при розробці метода розрахунку очистки стічних вод в реакторі з рухомим біоценозом використав емпіричну модель Harremoes. Було б доцільно також розробити метод розрахунку такого біореактору, де використовувалась би модель Monod в зоні розташуванні рухомих носіїв біоценозу.

6. В дисертації не вказано, в чому є різниця між розробленими автором методами розрахунку біореакторів і моделями, що реалізовані в пакеті ANSYS CFX.

#### **Загальний висновок по дисертаційній роботі.**

У дисертаційній роботі вирішено важливе науково-практичне завдання – розробка методів оцінювання ефективності роботи реакторів для біологічного очищення стічних вод, що базується на використанні двовимірних та тривимірних моделей гідродинаміки, масопереносу та біологічного очищення стічних вод, які дозволяють швидко розраховувати ефективність очищення води в споруді з урахуванням її конструктивних особливостей, режиму роботи.

Зроблені зауваження не впливають на загальну позитивну оцінку даної дисертаційної роботи і не зменшують ступеня наукової обґрунтованості та достовірності основних результатів і висновків.

Дисертаційна робота **Лемеша Максима Вікторовича «Удосконалення методів розрахунку споруд біологічної очистки»** за актуальністю, новизною результатів, високим рівнем проведених досліджень та експериментів відповідає вимогам Наказу Міністерства освіти і науки України № 40 від 12 січня 2017 р. «Про затвердження Вимог до оформлення дисертації», та вимогам, передбаченим пунктом 10 «Порядку проведення експерименту з присудження ступеня доктора філософії» (Постанова Кабінету Міністрів України № 167 від 6 березня 2019 р.), а

її автор Лемеш Максим Вікторович заслуговує на присудження йому наукового ступеня доктора філософії з галузі знань 19 «Архітектура та будівництво» за спеціальністю 192 «Будівництво та цивільна інженерія».

Офіційний опонент -

Завідувач кафедри водопостачання, каналізації

і гідравліки Харківського національного

університету будівництва та архітектури,

доктор технічних наук, професор,

Заслужений працівник освіти України

С.М. Епоян



1004-48123  
вир 19.04.21



Прийнято 9.0  
спеціалізованої вченої ради ФД 08.822.005  
28.04.21  
М.І. Наталія  
М.І. Наталія

## ВІДГУК ОФІЦІЙНОГО ОПОНЕНТА

на дисертаційну роботу **Лемеша Максима Вікторовича**

на тему «Удосконалення методів розрахунку споруд біологічної очистки»,

подану на здобуття наукового ступеня доктора філософії

в галузі знань 19 «Архітектура та будівництво» за спеціальністю

192 «Будівництво та цивільна інженерія»

### Актуальність теми дисертаційної роботи.

Згідно національної доповіді «Цілі сталого розвитку: Україна» завдання 6.2 «Забезпечити доступність сучасних систем водовідведення, будівництво та реконструкцію водозабірних та каналізаційних очисних споруд із застосуванням новітніх технологій та обладнання» передбачає, що у 2030 році частка сільського населення, яке має доступ до покращених умов санітарії буде становити 80 % (2015 рік – 1,9 %), частка міського населення, яке має доступ до централізованих систем водовідведення 100 % (2015 рік – 87,1 %). Таким чином назріла нагальна потреба в реалізації принципово нових технологій, які б в умовах перманентних змін витрати та концентрації забруднень дозволили задовільнити вимоги щодо якості очищення муніципальних стічних вод.

Дисертаційна робота спрямована на вирішення важливої проблеми економіки України та населення – забезпечення належної якості очищення стічних вод, шляхом розробки і обґрунтування технічних заходів із зменшення собівартості її очищення, пошук раціональних конструкцій споруд очищення стічних вод. Таким чином реалізація дисертаційної роботи сприяє поетапному виконанню екологічної політики України.

### Обґрунтованість наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації.

Обґрунтованість та достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих в дисертації, підтверджено достатнім об'ємом проведених особисто автором теоретичних та експериментальних досліджень

моделювання процесів очищення стічних вод. Дослідження виконані на достатньому науково-методичному рівні, з вивченням наукових праць цього напрямку (як вітчизняних, так і закордонних).

#### **Наукова новизна отриманих результатів.**

Детальний розгляд дисертаційної роботи дозволив встановити, що наукова новизна полягає в науковому обґрунтуванні інтенсифікації процесів очищення стічних вод на різних етапах технологічної схеми.

#### **Практична цінність дисертаційної роботи.**

Розроблена методика, що дозволяє прогнозувати якість очищення стічних вод в залежності від гідравлічної конфігурації споруд і вихідного складу стічних вод.

Розроблена методика, пакети програм використані при роботі ТОВ «Енергосервіс-КР» та виконанні робіт, які пов'язані з реінжинірингом комплексу очисних споруд м. Кривий Ріг.

#### **Повнота викладу результатів в наукових публікаціях, зарахованих за темою дисертації.**

Результати дисертаційної роботи за темою роботи опубліковано здобувачем у 15 працях. Зокрема це 5 статей у наукових фахових виданнях України, 1 стаття у закордонному науковому періодичному виданні, 7 публікацій, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації та 1 наукова праця, яка додатково відображає наукові результати дисертації.

**Структура, оцінка мови, стилю та оформлення дисертації.** Дисертація містить: анотацію, вступ, чотири розділи, висновки, список використаних джерел, додатки. Загалом, обсяг дисертації – 143 сторінки, основний текст – 138 сторінок. В дисертації міститься 66 рисунків та 15 таблиць. Список використаних джерел складається зі 126 бібліографічних назв.

У вступі вказано актуальність теми, її зв'язок з науковими програмами і планами, сформульовано мету роботи та задачі досліджень, описано об'єкт, предмет і методи досліджень, сформульована наукова новизна і практичне

значення одержаних результатів роботи. Описано особистий внесок у наукові результати і стисло викладено апробацію результатів досліджень.

У *першому розділі* здобувач навів різні типи біологічних реакторів для очищення стічних вод. Ним проаналізовані існуючі методи, які використовуються для розрахунку біореакторів, вказані їх недоліки та переваги. Зроблені висновки про доцільність фізичного експерименту процесів біологічного очищення стічних вод та встановлення відповідних коефіцієнтів та констант моделей. Вибрано напрямок дисертаційного дослідження.

У *другому розділі* здобувачем розглянута специфіка процесів біологічного очищення стічних вод, камерна модель біологічного очищення води в умовах, що не лімітуються киснем, виконаний аналіз рівняння Моно. Сформовані чисельні нульвимірні, тривимірні та двовимірні моделі біологічного очищення стічних вод, що враховують нерівномірність розподілу концентрації субстрату та активного мулу в споруді (аеротенку).

В *третьому розділі* здобувачем запропонована модель біологічного очищення стічних вод в аеротенку, в якому додатково розміщені носії для іммобілізації мікроорганізмів. Розглянуті рівняння моделювання роботи реактору з відсутністю та наявністю носіїв для іммобілізації мікроорганізмів. Здобувачем виконаний чисельний розв'язок запропонованих рівнянь. Для кодування рівнянь моделі використаний FORTRAN та ряд кодів.

В *четвертому розділі* здобувачем розглянуто 6 сценарій моделювання роботи реакторів, де відбувається зміна концентрації вхідної речовини, проаналізовані результати такого моделювання. Оцінена робота двовимірної моделі роботи реактору за допомогою 7 сценаріїв його роботи, для підвищення ефекту зниження значення вихідних показників додатково запропоновано розмістити в об'ємі споруди 1-2 додаткових елементи у вигляді пластин. Здобувачем запропоновано впорскувати активний мул в певних точках об'єму реактору з метою зниження величини вихідних показників, виконане моделювання таких сценарій а також їх комбінації з влаштуванням додатково елементів у вигляді пластин. Виконане

моделювання роботи реакторів з розміщенням в їх об'ємі носіїв, розглянутий ряд сценаріїв моделювання, проаналізовані підсумки моделювання. Верифікація розроблених методів виконана шляхом розгляду 6-ти задач.

У *висновках* представлено основні наукові та практичні результати дисертаційної роботи.

У *додатках* представлено результати впровадження отриманих результатів та список публікацій здобувача, що відображають результати наукових досліджень.

*Редакційний аналіз.* Дисертаційна робота написані достатньо грамотно, доброю літературною мовою, всі рисунки оформлені чітко, читання формул не викликає труднощів.

#### **Зауваження по дисертації:**

1. Твердження здобувача, про те, що перевагою реакторів типу BBR (*Bed Biofilm Reactor*) є простота в експлуатації (с.24) потребує обґрунтування, адже розміщення в реакторі додаткових носіїв для іммобілізації мікроорганізмів вимагає відповідних заходів.

2. Висновок автора, що очевидним є дефіцит моделей, що дозволяють розрахувати гідродинаміку та процеси масопереносу в біореакторі (с.33), варто детально пояснити, оскільки ринок програмного забезпечення для здійснення таких розрахунків розвивається досить динамічно.

3. Позначення складових формули (2.3), варто уточнити з загальноприйнятим емпіричним рівнянням Моно та вказати розмірність цих складових. Варто обґрунтувати використання слова «Monod» замість загальноприйнятого в Україні – рівняння Моно.

4. Не зрозуміло, чому автор при такому напрямі моделювання взяв за основу дещо застарілі моделі, а не застосував сучасні наробки з теорії детермінованого хаосу, наприклад у вигляді опрацьованих для біологічних систем дивних атракторів Лоренца чи Рьослера, або не використав готові пакети імітаційного моделювання на базі нейтронних мереж подібно до загально інженерного пакету

GPS-X (Hydromantis) або Matlab з додатком Simulynk, та не навів порівняння отриманих за допомогою різних моделей результатів.

5. Автору, варто було пояснити, які саме процеси біологічного очищення є в основі його моделей адже наприклад у моделях ASM розглядаються 23 процеси, які можна розділити на 4 групи: гідроліз біологічно розкладної частини завислих речовин; зростання і лізис гетеротрофних організмів; зростання і лізис нітрифікуючих автотрофних мікроорганізмів; зростання і лізис. В запропонованих моделях потрібно врахувати і вплив концентрації кисню на процеси, температури, рН, початкових та кінцевих концентрацій забруднень стічних вод тощо.

6. Відомо, що аеротенк це споруда, в якій в умовах безперерної штучної аерації здійснюється біологічне очищення стічних вод за допомогою вільноплаваючого активного мулу, проте відсутність аерації та перемішування мулової суміші при розгляді сценаріїв моделювання роботи аеротенків (реакторів) рис 4.8-4.30, потребує пояснення. Прийняті коефіцієнти і константи варто обґрунтувати.

7. Не зрозуміло, як технологу реагувати на зміни концентрації забруднень або зміни витрати стічних вод, наприклад рис. 4.1,4.6., яка витрата активного мулу чи коефіцієнт рециркуляції при цьому. Потрібно дати пояснення який саме тип аеротенків розглядає автор: аеротенки-змішувачі, аеротенки-витиснювачі, аеротенки з нерівномірно розсередженим впуском стічних вод, з регенерацією чи без регенерації активного мулу тощо.

8. Автор роботи виконує верифікацію розроблених ним методів (розділ 4.6) за допомогою тестових задач, проте доцільно пояснити процеси, що будуть відбуватися якщо в споруді біологічного очищення води встановити запропоновані автором прямокутні пластини з температурою 1800 °C (задача №1) чи 2000 °C (задача №2) або яким чином відбувається верифікація методу біологічного очищення (задача №5) в якому визначається концентрація солі на ділянці лотка, де встановлено дві мінігрєблі.

### Загальні висновки.

Кваліфікаційна наукова праця Лемеша Максима Вікторовича присвячена розробці моделей очищення стічних вод та підвищенні ефективності роботи споруд, що дозволить враховувати гідродинаміку течії в біореакторі та геометричну форму реактору.

Кваліфікаційна наукова праця Лемеша Максима Вікторовича «Удосконалення методів розрахунку споруд біологічної очистки» відповідає вимогам Наказу Міністерства освіти і науки України № 40 від 12 січня 2017 р. «Про затвердження Вимог до оформлення дисертації», та вимогам, передбаченим пунктом 10 «Порядку проведення експерименту з присудження ступеня доктора філософії» (Постанова Кабінету Міністрів України № 167 від 6 березня 2019 р.), а її автор Лемеш Максим Вікторович заслуговує на присудження йому ступеня доктора філософії з галузі 19 «Архітектура та будівництво» за спеціальністю 192 «Будівництво та цивільна інженерія».

Офіційний опонент

кандидат технічних наук, доцент,  
заступник директора навчально-наукового  
інституту будівництва та архітектури,  
доцент кафедри теплогазопостачання,  
вентиляції та санітарної техніки  
Національного університету водного  
господарства та природокористування

О. О. Грицина

*Грицина О.О.*  
*Чесно*

*Грицина*

*1804-48/169*  
*вп 28.04.21*