

## ВІДГУК

офіційного опонента,

доктора технічних наук, професора Дичко Аліни Олегівни  
на дисертаційну роботу Шаманського Сергія Йосиповича за темою  
«Науково-технологічні засади удосконалення екологічно безпечних процесів  
водовідведення», подану на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук  
за спеціальністю 21.06.01 – екологічна безпека

### **Актуальність роботи.**

Важливою екологічною проблемою України є постійне збільшення антропогенного навантаження на навколишнє природне середовище. Науково-технічний розвиток з одного боку обумовив створення техносфери, а з іншого призвів до виникнення додаткового негативного антропогенного впливу на біосферу. Комбінована дія природних та антропогенних чинників знижує рівень екологічної безпеки і потребує пошуку ефективних заходів її підвищення.

Кризовий стан водопровідно-каналізаційного господарства України, зокрема незадовільний сучасний стан каналізаційних очисних споруд та низька ефективність технологічних процесів очищення стічних вод і утилізації їх осадів призводять до того, що стічні води є одним з головних факторів забруднення гідросфери, а їх осади – одним з суттєвих факторів забруднення літосфери. Це, у свою чергу, створює низку екологічних ризиків. Зокрема надходження у поверхневі водойми біогенних елементів (перш за все сполук фосфору) призводить до розвитку евтрофікаційних процесів, що є причиною деградації водних екосистем. В умовах постійного погіршення стану навколишнього природного середовища підвищення якості очищення стічних вод перед скиданням у водойми, а також поліпшення органолептичних та інших характеристик осадів, що утворюються, перед їх утилізацією є сьогодні актуальним завданням.

У Водній стратегії України до 2025 року серед першочергових завдань ставиться будівництво вискоелективних та енергозберігаючих очисних споруд на нових технологічних засадах. Це пов'язано з необхідністю підвищувати рівень екологічної безпеки, а також і шукати шляхи розв'язання енергетичних проблем.

Дисертаційну роботу присвячено вирішенню науково-прикладної проблеми зниження екологічних ризиків та підвищення екологічної безпеки систем водовідведення шляхом удосконалення існуючих та створення нових технологічних процесів та обладнання. Наряду з підвищення ефективності очищення стічних у нових технологічних процесах особливу увагу приділено отриманню додаткових альтернативних енергоносіїв, що додатково надає роботі

596/51.02  
21.05.19р

актуальності.

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

Дослідження, представлені у дисертаційній роботі, виконувались відповідно до пріоритетних напрямів розвитку науки і техніки: Енергетика та енергоефективність, Рациональне природокористування, визначених Законом України «Про пріоритетні напрями розвитку науки і техніки» від 11 липня 2001 року №2623-III; відповідно до пріоритетних тематичних напрямів наукових досліджень і науково-технічних розробок «Енергоефективні технології на транспорті», «Технології раціонального природокористування, підвищення ефективності очищення стічних вод та запобігання забрудненню водних об'єктів», «Технології розроблення та використання нових видів палива, відновлюваних і альтернативних джерел енергії та видів палива. Технології використання скидних енергоресурсів. Теплонасосні технології», затверджених постановою Кабінету Міністрів України від 7 вересня 2011 року № 942 «Про затвердження переліку пріоритетних тематичних напрямів наукових досліджень і науково-технічних розробок на період до 2020 року»; у рамках науково-дослідних тем кафедри екології Національного авіаційного університету: «Вдосконалення технології очищення господарсько-побутових стічних вод та обробки осадів господарсько-побутових стічних вод авіапідприємства» (державний реєстраційний номер 0116U008720), «Екотоксикологічна оцінка водних об'єктів мегаполісу на прикладі м. Києва» (державний реєстраційний номер 0118U004286). У даних науково-дослідних роботах автор брав участь як виконавець.

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

У дисертації розв'язується актуальна науково-прикладна проблема зменшення шкідливого впливу на довкілля негативних чинників, пов'язаних функціонуванням комунальних систем водовідведення. В роботі теоретично узагальнено і запропоновано наукове вирішення проблеми підвищення екологічної безпеки процесів водовідведення, шляхом удосконалення існуючих і створення нових технологій та обладнання. Основну наукову новизну визначають такі теоретичні та експериментальні результати досліджень:

- наукове обґрунтування нової концепції водовідведення з підвищеним рівнем екологічної безпеки та економічної ефективності, наукове обґрунтування умови удосконалення господарсько-побутових каналізаційних очисних споруд з переведенням їх функціонування як техноекосистем першого виду до функціонування як техноекосистем другого виду;

- теоретичне та експериментальне підтвердження ефективності доочищення

стічних вод від біогенних елементів шляхом їх використання як культурального середовища для виробництва енергетичних мікроводоростей, що дає можливість отримувати сировину для виробництва біопалива третього покоління, а також екологічно безпечні органічні добрива;

- наукове обґрунтування ефективного використання нових методів змінного перепаду тиску для вимірювання витрат і кількостей стічних вод на каналізаційних очисних спорудах, що дозволяє удосконалювати управління потоками стічних вод і підвищувати рівень екологічної безпеки очисних споруд;

- наукове обґрунтування енергетичної ефективності застосування способів перекачування стічних вод і зворотного активного мулу зі збереженням його експлуатаційних якостей за допомогою шнекових насосів нової конструкції, що не тільки підвищує рівень екологічної безпеки очисних споруд, але і підвищує рівень їх енергетичної безпеки.

### **Практичне значення отриманих результатів.**

Основні практичні результати, що отримані в цій роботі, можна відзначити такі:

- нова технологічна схема очищення стічних вод, що функціонує як техноекосистема другого виду і дозволяє отримувати альтернативні енергоносії;

- нові конструктивні рішення установок для очищення стічних вод від біогенних елементів, що ґрунтуються на використанні стічних вод як культурального середовища для вирощування енергетичних мікроводоростей;

- нова технологічна схема чотиристадійного анаеробного зброджування осадів стічних вод, що дозволяє скоротити терміни бродіння та зменшити об'єми метантенків;

- нові конструктивні рішення метантенків, що дають змогу реалізувати чотиристадійну технологічну схему;

- нові конструктивні рішення лічильників кількості та витрати стічних вод змінного перепаду тиску з низькою похибкою вимірювання і високою стійкістю до збурень;

- нові конструктивні рішення шнекових насосів з високим коефіцієнтом корисної дії для перекачування стічних вод та рециркуляційного активного мулу;

Отримані практичні результати роботи підтверджено патентами України, розробленими нормативними документами, а також актами впровадження на підприємствах України.

### **Відповідність дисертаційної роботи спеціальності.**

Текст дисертації викладено стилем, що відповідає вимогам до наукових праць рівня докторської дисертації. Матеріал структуровано відповідно до теми, мети і задач дослідження. Зміст роботи відповідає формулі спеціальності 21.06.01 – екологічна безпека, зокрема пункту 3 напрямків досліджень з технічних наук «Удосконалення існуючих, створення нових екологічно безпечних процесів та устаткування, що забезпечуються раціональне використання природних ресурсів,

додержання нормативів шкідливих викидів на довкілля».

### **Оцінка змісту дисертації, її завершеності і оформлення.**

Дисертацію побудовано відповідно до прийнятих для наукового дослідження норма. Робота складається зі вступу, семи розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Загальний обсяг роботи складає 401 сторінку, у тому числі 368 сторінок основного тексту, 65 рисунків, 53 таблиці, 25 сторінок списку використаних джерел з 236 найменувань і 7 сторінок додатків. Таким чином, обсяг дисертаційної роботи відповідає нормам, встановленим для докторських дисертацій з технічних наук. Положення, що винесені на захист, висвітлені в тексті дисертації. Зміст роботи відповідає її назві. Дисертацію написано грамотною науковою мовою та оформлено відповідно до існуючих нормативних документів. Зміст автореферату повністю відповідає змісту дисертації і відображає її основні положення.

Нові наукові результати, які виносилися на захист кандидатської дисертації, не використані дисертантом у поданій на захист докторській дисертації.

У вступі розкрито актуальність проблеми, сформульовано мету, задачу дослідження, а також їх об'єкт і предмет, сформульовано наукову новизну, положення, що виносяться на захист та практичну цінність отриманих результатів. Показано зв'язок роботи з науковими планами і темами, наведено методи дослідження, а також відомості про апробацію роботи та кількість публікацій.

**Перший розділ** присвячено аналізуванню основних принципів організації та технологічних схем процесів водовідведення, їх недолікам, що створюють технічні і екологічні проблемні ситуації. Показано, що традиційні технології біологічного очищення не забезпечують достатнього видалення біогенних елементів зі стічних вод. Відомо, що саме скидання у водойми сполук азоту і фосфору разом зі стічними водами є однією з основних причин розвитку евтрофікаційних процесів у водоймах. Проаналізовано такі технології доочищення стічних вод як: доочищення у біоставках; фотоочисних технології; біосорбційне технології; сорбційне доочищення на активованому вугіллі; сорбційне доочищення на мінеральних сорбентах; мембранні технології; денітрифікація; аноксидне окиснення амонію. Показано, що наявність суттєвих недоліків не дозволяє розглядати ці технології як цілком задовільні для видалення біогенних елементів.

Показано, що у процесі очищення тільки на комунальних каналізаційних очисних спорудах (КОС) України щороку утворюється більш ніж 40 млн. м<sup>3</sup> біологічно та бактеріологічно забрудненого осаду, які містять значну кількість

шкідливих мікроорганізмів. Осад, який утворюється також потребує утилізації.

Каналізаційні очисні споруди є потенційним джерелом отримання додаткових сировинних ресурсів, що розглядаються сьогодні як відходи, а також нетрадиційних енергоносіїв, потенціал яких у повній мірі не використовується, перш за все, через недоліки сучасних технологій очищення стічних вод. Загалом можна стверджувати, що сучасні очисні споруди працюють як техноекосистема першого виду (відкрита система, що на вході споживає ресурси і енергію, а на виході створює продукт і відходи, що не піддаються рециклінгу).

Показано, що відсутність системи вимірювання кількостей та витрат потоків стічних вод на очисних спорудах спричиняє складності у керуванні потоками і відповідно може бути причиною зниження ступеня очищення. Застосування фекальних відцентрових насосів для перекачування стічних вод і активного мулу призводить не тільки до перевитрат електроенергії через роботу з надлишковими напорами, але і до зниження ступеня очищення стічних вод на етапі біологічної очистки через зниження якості активного мулу спричинене значними динамічними навантаженнями при його проходженні через робоче колесо відцентрового насоса. Сформульовано основні завдання для подальшого дослідження.

**Другий розділ** присвячено дослідженню екологічні характеристики можливих технологічних схем організації. Запропоновано оновлену концепцію водовідведення, що дозволяє підвищувати ступінь очищення стічних вод від біогенних елементів, а також додатково отримувати екологічно безпечне добриво, моторне паливо та біогаз.

Першою принциповою відмінністю нової концепції є організація додаткового очищення стоків шляхом використання їх як середовища для вирощування енергетичних мікроводоростей у фотобіореакторах. Технологія передбачає вирощування культур мікроводоростей з високим вмістом вуглеводнів для подальшого виробництва з них рідкого моторного біопалива третього покоління, а також органічного добрива.

Другою принциповою відмінністю концепції є організація анаеробного зброджування осадів стічних вод разом залишковою біомасою мікроводоростей, після видалення з них вуглеводнів при виробництві біопалива. Процес зброджування організовується за новою технологією, яка дозволяє отримувати екологічно безпечне добриво, що не загниває і не містить патогенних мікроорганізмів, біогаз з підвищеним вмістом метану, а також вуглекислий газ, який може бути використаний для вирощування мікроводоростей у фотобіореакторах.

**Третій розділ** присвячено очищенню стічних вод від біогенних елементів мікроводоростями. Оцінено можливу продуктивність культивування мікроводоростей для виробництва біопалива в погодних умовах України, виконано енергетичні і емісійні розрахунки балансів виробництва та спалювання біопалива і виконано оцінювання енергетичної ефективності відповідно до прийнятої схеми виробництва біопалива. Показано перспективність використання стічних вод як культурального середовища, що дозволить суттєво підвищити економічну ефективність процесу.

Запропоновано нові конструкції фотобіореакторів закритого типу, які, при збереженні переваг відомих конструкцій, мають індивідуальні переваги, та позбавлені багатьох недоліків. Побудовано математичну модель фотобіореактора і промодельовано зміну концентрації у стічних водах фосфорних сполук, амонійного азоту, а також нітратів у часі при використанні закритих фотобіореакторів. Запропоновано методику розрахунку таких установок, що передбачає визначення часу перебування стічних вод у фотобіореакторі для забезпечення заданого ступеню видалення біогенних сполук. Показано, що евтрофікаційний потенціал стічних вод, що пройшли доочищення мікроводоростями, знижується у 8,27 разу у порівнянні з біологічно очищеними за традиційними технологіями стічними водами.

**Четвертий розділ** присвячено методам утилізації осадів стічних вод, таким як: спалювання, висушування та використання як будівельний матеріал, захоронення, використання як техногенного ґрунту в будівництві, використання як харчової добавки для тварин (активний мул), використання як добрива на сільськогосподарських полях. Систематизовано та узагальнено сучасні дослідження процесів анаеробного зброджування, як найбільш перспективного для використання на комунальних очисних спорудах. Показано, що неврахування стадійності процесу при розробленні технологій зброджування призводить до тривалого часу бродіння, великих ємкостей метантенків, неповного розкладання органічних сполук, і, як результат, недоотримання біогазу як кінцевого продукту.

Процес бродіння розглянуто як такий, що складається з чотирьох послідовних стадій: гідролізу, кислотогенезу ацетогенезу і метаногенезу. Доведено доцільність застосування гідролізаторів для попереднього оброблення осадів перед подаванням у метантенки традиційної конструкції, що дозволяє інтенсифікувати подальший процес бродіння. Загальна його тривалість напряму залежить від тривалості першої стадії, оскільки до закінчення гідролізу беззольної речовини (перетворення її у прості речовини, розчинні у воді і доступні для подальшого бродіння) кислотогенез, ацетогенез та метаногенез проходять не

можуть, тобто гідроліз твердої фази є лімітуючою стадією всього процесу.

Розроблено чотиристадійну технологічну схему зброджування а також конструктивні рішення метантенка для реалізації запропонованої технологічної схеми. Показано, що впровадження нової технологічної схеми дозволяє не тільки інтенсифікувати процес, але і збільшити концентрацію метану у біогазі, а також отримувати товарний вуглекислий газ для його використання під час культивування мікробіодоростей у фотобіореакторі.

**П'ятий розділ** присвячено розробленню технологічних схем та конструктивних рішень щодо вимірювання кількостей та витрат стічних вод на каналізаційних очисних спорудах. Виявлено основні недоліки електромагнітних і ультразвукових пристроїв при їх застосуванні для вимірювання стічних вод. Показано, що робота приладів змінного перепаду тиску, яка ґрунтується на вимірюванні різниці тисків на звужуючому пристрої і обчисленні на підставі цього витрати, що проходить через звуження, позбавлена усіх найпоширеніших загальних недоліків. Запропоновано принципову схему вимірювання витрати та кількості стічних вод, а також структурну схему інтегруючого перетворювача. Обрахунок та індикація кількості стічних вод, що пройшли через лічильник, проводиться інтегруючим перетворювачем за величиною витрати, яка визначається первинним перетворювачем за величиною імпульсу перепаду тиску. Сам первинний перетворювач складається зі звужуючого пристрою, корпуса дифкамери, імпульсних трубок, підвідної та відвідної ділянки трубопроводу, дифманометра.

Виготовлено та випробувано дослідні зразки лічильників змінного перепаду тиску діаметром умовного проходу 50 та 80 мм. Теоретично обраховано та експериментально підтверджено можливість вимірювання кількостей стічних вод з похибкою у робочому діапазоні не вище 1,5% за умови використання стандартних діафрагм і стандартних сопел і у межах 2% за умови використання труб Вентурі.

**Шостий розділ** присвячено дослідженню використання шнекових насосів для перекачування стічних вод і рециркуляційного активного. Показано, що завдяки перевагам, перш за все можливості роботи без значних надлишкових напорів, питоме споживання енергії під час використання шнекових насосів замість традиційних відцентрових може бути знижено у 1,5 – 2 рази. Відсутність динамічних навантажень під час роботи шнекових насосів робить їх перспективними для використання в системах транспортування активного мулу.

Проаналізовано недоліки існуючих конструкцій шнекових насосів і запропоновано нову конструктивну схему насоса з більш високим коефіцієнтом

корисної дії. Після побудови математичної моделі і проведення розрахунків показано, що з використанням нової конструкції шнекового насоса можливим є 3. перекачування стічних вод та активного мулу з коефіцієнтом корисної дії, що перевищує існуючі аналоги на 30 % без зниження експлуатаційних властивостей активного мулу.

**Сьомий розділ** присвячено розрахункам зміни екологічних ризиків функціонування каналізаційних очисних споруд після впровадження оновленої концепції водовідведення, а також розрахункам економічної ефективності впровадження удосконалених екологічно ефективних процесів водовідведення. Показано, що за рахунок більш ефективної організації процесів анаеробного бродіння досягається зменшення факторів впливу на довкілля: викидів метану на 64,77%, викидів вуглекислого газу на 93,3%. За рахунок використання стічних вод як культурального середовища для вирощування енергетичних мікроводоростей досягається зменшення фактору впливу на довкілля викидів вуглекислого газу на 5,36%, викидів фосфатів на 89,5%, викидів амонійного азоту на 94,4%, викидів нітратів на 70,7%. За рахунок впровадження шнекових насосів нової конструкції досягається зменшення факторів впливу на довкілля викидів вуглекислого газу на 61,3%. Загалом впровадження оновленої концепції водовідведення знижує екологічні ризики процесів водовідведення на 31,18%.

Розрахунками підтверджено економічний ефект від впровадження чотиристадійної технології зброджування на рівні  $273,61 \cdot 10^6$  грн/рік. Додатковий річний економічний ефект від впровадження когенерації з використанням виробленого біогазу – на рівні  $62,49 \cdot 10^6$  грн/рік. Річний економічний ефект від виробництва біодизелю з мікроводоростей – на рівні  $14,12 \cdot 10^6$  грн/рік. Показано також, що економічна ефективність виробництва біогазу з залишкової біомаси мікроводоростей може досягати  $10,45 \cdot 10^6$  грн/рік, економічний ефект від реалізації збродженої біомаси –  $6,53 \cdot 10^6$  грн/рік, економічний ефект від впровадження шнекових насосів нової конструкції –  $5,23 \cdot 10^6$  грн/рік. Наведені цифри свідчать про перспективність подальшого використання запропонованих у роботі рішень.

**Повнота результатів дисертаційних досліджень, викладених в опублікованих працях.**

За результатами дисертаційних досліджень опубліковано 54 роботи, серед яких: монографія, 2 розділи колективних монографій, 21 наукова стаття, 17 тез доповідей на наукових конференціях різного рівня. Зміст публікацій повною мірою відображає результати досліджень. Їх корисність підтверджена 7-ма патентами України, а також 6-ма нормативними документами державного рівня, у



яких дисертант брав участь як розробник.

**Дискусійні положення і зауваження до дисертаційної роботи.** В процесі ознайомлення з роботою виникли такі питання і зауваження.

1. Чи відповідає склад стічних вод, що подаються на доочищення, збалансованому за мікроелементами складу культурального середовища культивування мікробіодоростей? Адже після біохімічного очищення господарсько-комунальні стічні води можуть містити підвищені концентрації Р чи N, токсичні компоненти тощо.
2. Як вплине на якість культуральної рідини введення димових газів та часткове розчинення в ній їхніх компонентів? Як при цьому зміниться рН та біохімічні реакції у середовищі? Як це вплине на продуктивність мікробіодоростей?
3. У дисертації процес перетворення органічних сполук у біогаз розглядається як окремі 4 стадії анаеробного бродіння. Проте така схема не пояснює механізм утворення метану. Нижчі жирні кислоти, які утворюються на першій стадії анаеробної ферментації, не можуть бути джерелом активного водню, необхідного для відновлення вуглекислого газу в метан. Процес анаеробного розкладання органічних сполук відбувається в одному організмі. Проміжні метаболіти метанового бродіння – ацетил КоА та піровиноградна кислота, що утворюється з нього, дають клітині будівельний матеріал, а в результаті процесу редукції карбонатів клітина забезпечується енергією. В процесі окиснення речовин утворюється активний водень для процесу редукції карбонатів. Разом з тим, дво- (чи більше) ступенева система реакторів дає змогу не лише досягти глибшого ступеня очищення, а й отримати біогаз з більшим вмістом метану. Газ, що утворився в першому метантенку, барботуючи крізь рідину в другому метантенку, за рахунок хемосорбції діоксиду карбону в рідині з підвищеним значенням рН збагачується метаном.
4. Час перебування стічних вод у робочій зоні біореактора пропонується визначати за складною формулою (3.68) із необхідністю використання експоненційного закону, визначення констант тощо, що є недоцільним для практичного використання на підприємстві. Разом з тим, швидкість потоку стічних вод у біореакторі визначається обернено пропорційною залежністю часу культивування мікроорганізмів в ньому за періодичного режиму.
5. Яким чином вирішується проблема біообрастання у фотобіореакторі?
6. При описі розробленої технологічної схеми процесу водовідведення не вказано, яким чином в установці для зброджування органічного субстрату

відокремлюється CO<sub>2</sub> від біогазу і здійснюється їхнє окреме відведення з установки.

7. Розділ 1.2 написаний у стилі підручника, а не наукового дослідження чи критичного аналізу, а більшу частину розділів 1.3-1.5 та 4.1 із викладенням загальновідомого матеріалу не доцільно наводити взагалі.
8. Дисертація перевантажена розрахунками технологічних та конструктивних рішень, що не становить наукової цінності роботи, а є лише її доповненням.
9. У «Практичному значенні отриманих результатів» йдеться про «холодну пору року». Проте доцільним було б вказати діапазон температур, оскільки таке уточнення збільшило б рівень інформативності, а також розширило спектр використання розробленої технології.

### **Загальний висновок.**

На підставі наданих матеріалів можна зробити висновок, що дисертаційна робота є завершеною науково-дослідною роботою, у якій автором виконано дослідження щодо удосконалення екологічно безпечних процесів водовідведення. Дисертацію спрямовано на вирішення актуальної науково-прикладної проблеми підвищення екологічної безпеки систем водовідведення. Дисертацію виконано на достатньо високому науковому рівні. Вона містить наукову новизну та має практичне значення. Результати роботи опубліковані у достатній кількості видань, а також мають достатню кількість впроваджень на підприємствах України. Зміст дисертації відповідає спеціальності 21.06.01 – екологічна безпека.

На підставі вищевикладеного вважаю, що дисертаційна робота «Науково-технологічні засади удосконалення екологічно безпечних процесів водовідведення» відповідає вимогам ДАК України, зокрема пп. 9, 10, 12, 13 та 14 Порядку присудження наукових ступенів (затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України від 24 липня 2013 р. № 567 зі змінами згідно Постанов Кабінету Міністрів України від 19.08.2015 р. № 656 і від 30.12.2015 р. № 1159), а автор дисертації, Шаманський Сергій Йосипович, заслуговує присудження йому наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 21.06.01 – екологічна безпека.

Професор кафедри інженерної екології  
Національного технічного університету України  
«Київський політехнічний інститут  
імені Ігоря Сікорського»,  
доктор технічних наук, професор

Підпис Дичко А.О. засвідчую

*Вчений секретар  
КПІ ім. Ігоря Сікорського*



А. О. Дичко

*Мельниченко*