

Голові спеціалізованої вченої ради ДФ 64.707.036
Національного університету цивільного захисту України
доктору технічних наук, професору
Пономаренко Р.В.

РЕЦЕНЗІЯ

на дисертаційну роботу

Макарова Євгена Олексійовича «Підвищення екологічної безпеки процесу очистки стічних вод молокопереробних підприємств»,
подану на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю
183 – Технології захисту навколишнього середовища

Рецензія на дисертацію Макарова Є. О. за темою «Підвищення екологічної безпеки процесу очистки стічних вод молокопереробних підприємств» дозволяє сформулювати узагальнені висновки щодо її актуальності, ступеня обґрунтованості основних наукових положень, висновків, рекомендацій, достовірності, наукової новизни, практичного значення, а також загальної оцінки роботи.

Актуальність теми дисертаційного дослідження.

Очищення стічних вод являється надважливою екологічною проблемою народного господарства будь-якої країни, нехтування якою може призвести до значних негативних наслідків у вигляді екологічних катастроф національного масштабу. Саме тому її необхідно вирішувати використовуючи новітні очисні технології, устаткування та методи очищення.

Проблема очищення стічних вод є особливо актуальною для України, де через застосування морально застарілих технологій більшість стоків характеризуються високим рівнем хімічного та біологічного забруднення. І чи не основними джерелами забруднення довкілля тут постають

підприємства харчової промисловості та переробки сільськогосподарської продукції. Переважна більшість таких стічних вод скидається неочищеними у природні водойми, на поля фільтрації чи в каналізацію, створюючи відчутне екологічне навантаження на довкілля.

Для зменшення шкідливого впливу стічних вод на навколишнє середовище особливої актуальності набуває удосконалення існуючих і впровадження нових перспективних технологій водоочищення із застосуванням високоефективних методів здатних надійно знезаражувати і очищати воду незалежно від ступеня її хімічного чи біологічного забруднення.

Одне з перших місць за об'ємом і концентрацією забруднень стічних вод харчової промисловості займає молочна галузь, яка складається з низки підприємств: молокоприймальні пункти, сепараторні відділення, міські молочні заводи, сироробні і маслоробні заводи. На підприємствах молочної галузі стічні води складають 80-90% від використовуваної підприємствами води. Ці води відносяться до категорії висококонцентрованих вод, які є складними дисперсними системами з нестабільним хімічним складом, а внаслідок високого вмісту білкових речовин, вуглеводнів і жирів, стічні води швидко загнивають і закисають.

Таким чином висока концентрація забруднюючих речовин зумовлює розробку багатоступеневих схем очищення та доочищення стічних вод молокопереробних підприємств. Але існуючі схеми здебільшого є громіздкими (включають велику кількість стадій обробки), енергозатратними та подекуди екологічно небезпечними. Тому проблема підвищення екологічної безпеки окремих методів очистки та комплексних схем очищення в цілому, які включають використання декількох методів, залишається актуальною і вимагає подальшого вивчення.

У зв'язку з цим дисертаційне дослідження Макарова Є. О. за темою «Підвищення екологічної безпеки процесу очистки стічних вод молокопереробних підприємств» є назрілим та своєчасним.

Зв'язок роботи з науковими програмами.

Дисертаційну роботу виконано на кафедрі прикладної механіки та технологій захисту навколишнього середовища Національного університету цивільного захисту України (м. Харків) відповідно до Розпорядження КМУ від 21 квітня 2021 року № 443-р «Про схвалення Національного плану дій з охорони навколишнього природного середовища на період до 2025 року» та Указу Президента України №722/2019 від 30 вересня 2019 року «Про Цілі сталого розвитку України на період до 2030 року», у рамках науково-дослідної роботи «Підвищення екологічної безпеки процесу електрокоагуляційної очистки стічних вод молокопереробних підприємств» (№ ДР 0120U000007), в якій здобувач був відповідальним виконавцем.

Основні наукові положення, висновки і рекомендації, сформульовані в дисертації, ступень їх обґрунтованості і достовірності.

Мета, поставлена дисертантом, досягається завдяки вирішенню комплексу наукових завдань, а саме:

- Аналізу існуючих методів та принципів очистки стічних вод молокопереробних підприємств;
- Дослідженню хімічного складу, умови утворення та фізико-хімічних властивостей стічних вод молокозаводів;
- Встановленню колоїдно-хімічних закономірностей та хіміко-технологічних параметрів електрохімічного одержання коагулянтів на основі алюмінію для електрокоагуляційного очищення стічних вод молокозаводів;
- Розробці математичної моделі процесу осадження шламу в залежності від концентрації доданих реагентів та визначенню раціональних хіміко-технологічних параметрів очистки стічних вод молокопереробного підприємства, які забезпечують максимальний еколого-економічний ефект.

Для вирішення окреслених завдань та отримання необхідних результатів дисертант використав стандартні та спеціальні фізико-хімічні методи визначення складу стічних вод; лабораторні установки для

здійснення і дослідження закономірностей очистки стічних вод хімічними та електрохімічними методами; методи математичного моделювання для встановлення раціональних хіміко-технологічних параметрів процесів очистки, які дозволяють підвищити еколого-економічну характеристику технології.

Сформульовані дисертантом наукові положення, висновки та рекомендації є достатньо обґрунтованими.

Дисертаційна робота є закінченою. Загальний обсяг роботи 172 сторінки, з яких основний зміст роботи складає 115 сторінок; складається з анотації, змісту, переліку умовних позначень, вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел зі 76 найменувань і 2 додатків, містить 28 рисунків та 18 таблиць:

У вступі подано загальну характеристику дисертаційної роботи. Обґрунтована актуальність теми дисертації, сформульовано мету роботи та основні завдання дослідження, показано зв'язок роботи з науковими програмами. Наведено дані про особистий внесок здобувача, апробацію роботи та публікації;

У першому розділі визначені проблеми та перспективи розвитку галузі з урахуванням впливу воєнного стану, що був запроваджений після повномасштабного російського вторгнення. *Встановлено*, що вітчизняне виробництво молока та виробів з нього, не дивлячись на суттєві проблеми та навіть під час широкомасштабної війни, здатне не тільки вижити, а й повільно, але нарощувати об'єми виробництва та продажів. *Показано*, що при зростанні кількості і потужностей молокопереробних підприємств, збільшенні об'ємів готової продукції, зростатиме і кількість стічних вод, які за складом та властивостями є небезпечними для навколишнього середовища та потребують заходів для очищення і знешкодження. *На основі аналізу наукової та патентної літератури вивчено* хімічний склад, фізико-хімічні та санітарно-гігієнічні властивості стічних вод молокозаводів, встановлені шляхи потрапляння забруднювачів до стічних вод, визначені

найбільш небезпечні компоненти, які, при безвідповідальному скиду у водні джерела, можуть призвести до негативних наслідків у навколишньому середовищі. *Проаналізовано літературні джерела* щодо методів очищення стічних вод молокопереробних підприємств. *Визначені* найбільш використовувані в схемах очистки комбінації хімічних, механічних, фізико-хімічних, електрохімічних та біологічних методів, які дозволяють знизити концентрацію найбільш небезпечних забруднювачів в цих водах. Особливу увагу приділено електрохімічним методам, використання яких для очистки стічних вод молокозаводів є обґрунтованим та найбільш прийнятним з еколого-економічної точки зору. Надано порівняльну характеристику електрохімічних методів, визначені переваги та недоліки.

У другому розділі наведені матеріали та методи дослідження, які використовувались для досягнення мети та рішення основних завдань дисертаційної роботи. Надана хіміко-технологічна характеристика процесів утворення загального стоку, а також схем очистки стічних вод, яка складена на основі вивчення існуючих схем та споруд на молокопереробних підприємствах Сумської і Харківської областей. Описана технологічна схема очистки стічних вод на ТОВ «Богодухівський молзавод» Харківської області. Наведений опис лабораторних методів дослідження процесів хімічної та електрохімічної очистки стічних вод молокозаводів, а також лабораторні методики визначення хімічного складу, фізико-хімічних та санітарно-гігієнічних властивостей стічних вод. Наведені методи математичної обробки результатів експериментальних досліджень та основні прийоми, які використовувались для отримання максимально достовірних результатів.

У третьому розділі представлені дослідження умов та закономірностей утворення і формування стічних вод молокопереробного підприємства. Досліджено хімічний склад стічних вод за основними показниками, які регламентуються при викиді стоків у систему водовідведення та на споруди біологічної очистки та визначено, що

хімічний склад загального стоку молокопереробного підприємства не відповідає вимогам скиду. Порівняно характеристику окремих виробництв та визначено, що найбільш забруднені стічні води утворюються в процесі виробництва масла (цех масла) і сиру (цех сиру). Меншими концентраціями забруднювачів характеризуються стічні води з відділення приймання сировини та цеху плавлених сирів. Наведені результати дослідження процесів реагентних (хімічних) методів очистки, встановлені хіміко-технологічні та колоїдно-хімічні закономірності, а також умови гідролізу солей металів FeSO_4 , $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ і FeCl_3 у стічних водах молокозаводів. Зазначається, що додавання солей металів має і негативні аспекти, а саме, вторинне забруднення стічних вод аніонами солей – хлорид- або сульфат-іонами. Показано, що використання методу реагентно-електрофлотаційної очистки стічних вод молокозаводів для видалення ЕРР та завислих речовин забезпечує необхідний ступінь очистки в області вивчених технологічних параметрів. Недоліком є утворення великої кількості флотошламу, який потребує спеціальної обробки та зневоднення, що збільшує експлуатаційні витрати. Встановлено, що комбінація реагентних (хімічних) методів очистки з електрофлотаційною обробкою не дозволяє отримати очищену стічну воду з достатнім ступенем очистки (за ЕРР цей показник не перевищує 88%). Проведені дослідження хіміко-технологічних та колоїдно-хімічних закономірностей електрохімічного одержання коагулянтів для електрокоагуляційного очищення стічних вод молокопереробних підприємств. Наявність електричного заряду забезпечує більш високий ступінь очистки стічних вод, оскільки при цьому реалізується змішаний механізм коагуляції: Проведені експериментальні дослідження ефективності використання лугів різної хімічної природи та агрегатного стану в процесі електрокоагуляційної очистки стічних вод молокозаводів. Проведені дослідження процесів освітлення очищених електрокоагуляцією стічних вод трьома способами: гідростатичним відстоюванням та додатково, напірною флотацією або центрифугуванням. Проведено дослідження

кінетики відстоювання очищених стічних вод після електрокоагуляції та встановлені закономірності утворення і осадження шламу в залежності від концентрації добавок.

У четвертому розділі розроблені технологічна схема, технологічний режим, характеристика матеріальних потоків, розрахована еколого-економічна ефективність електрокоагуляційної технології очистки та надані рекомендації для ефективного впровадження технологічних рішень у виробництво. Надана порівняльна характеристика ефективності впровадження хімічного (реагентного) та електрокоагуляційного методів. Встановлено раціональний технологічний режим електрокоагуляційної очистки, який забезпечує максимальний ефект очистки за показниками ХСК, БСК, ЕРР, сполук нітрогену та завислих речовин. Розрахований еколого-економічний ефект впровадження технологій очистки стічних вод молокозаводів та розроблені рекомендації по проектуванню очисних споруд та вибору обладнання для очистки найбільш забруднених стічних вод молокопереробного підприємства.

Наукова новизна дисертаційної роботи.

Вперше встановлені колоїдно-хімічні закономірності електрохімічного одержання коагулянтів на основі алюмінію для електрокоагуляційного очищення стічних вод молокозаводів, а саме, що при електрокоагуляції кислих та слабко кислих стічних вод ($4 < \text{pH} < 6$) утворюється колоїдний розчин малорозчинних частинок молекулярної будови $\text{Al}(\text{OH})_3$, які здійснюють коагулюючу дію і при цьому реалізується адсорбційний механізм коагуляції; при електрокоагуляції нейтральних та слабко лужних стічних вод ($9 > \text{pH} > 6$) в якості коагулянтів виступають заряджені мономерні та полімерні комплексні іони алюмінію, що забезпечує більш високий ступінь очистки, оскільки при цьому реалізується змішаний механізм коагуляції: поряд з адсорбційною здійснюється електростатична коагулююча дія.

Вперше розроблено математичну модель осадження шламу, яка є

системою із трьох нелінійних диференціальних рівнянь зі сталими коефіцієнтами, які було визначено на основі експериментальних даних з використанням методу найменших квадратів. Модель описує кінетику процесу осадження шламу в залежності від концентрації доданих реагентів – лужної добавки кальцію оксиду (СаО) та флокулянту поліакриламід (ПАА).

Удосконалено технологічну схему очистки висококонцентрованих стічних вод молокопереробного підприємства, яка включає видалення грубодисперсних механічних домішок відстоюванням і фільтруванням, електрокоагуляційну очистку, відстоювання після додавання лужної добавки та флокулянту, зневоднення шламу і флотоконденсату центрифугуванням. Впровадження удосконаленої схеми забезпечує високий ступінь очистки (98-99%) стічної води від жирів, білків та інших органічних етеророзчинних речовин (ЕРР), а також економію електроенергії.

Практичне значення отриманих результатів.

Практичне значення роботи полягає в розробці раціонального технологічного режиму електрокоагуляційної очистки, який забезпечує максимальну ефективність очищення від забруднень за показниками ХСК, БСК, ЕРР, сполук нітрогену, завислих речовин.

Надана характеристика матеріальних потоків процесу очистки, розраховано еколого-економічний ефект від впровадження технологій очистки стічних вод молокозаводів.

Розроблені рекомендації по проектуванню очисних споруд та вибору обладнання для очистки висококонцентрованих стічних вод молокопереробного підприємства. Результати досліджень впроваджені у виробництво на ТОВ «Богодухівський молзавод» Харківської області.

Повнота викладення наукових положень, висновків та рекомендацій в опублікованих працях дисертанта.

Теоретичні викладки та практичні рекомендації, надані в дисертаційній роботі, достатньою мірою відображені в 16 публікаціях

автора, 2 з яких опубліковані у виданнях що входять до міжнародної наукометричної бази Scopus.

Загальні висновки по дисертації відповідають її змісту, конкретно висвітлюючи отримані наукові та практичні результати.

Слід зазначити, що дисертація є закінченою працею, в якій містяться наукові доробки, що мають певну теоретичну та практичну цінність.

Дискусійні положення та зауваження щодо дисертаційного дослідження.

Позитивно оцінюючи в цілому рецензоване дисертаційне дослідження Макарова Є. О., можливо висловити певні зауваження та вказати на дискусійний характер окремих положень:

- У розділі 1.3. «Методи очистки та знешкодження стічних вод молокозаводів» говориться про 12 сформованих принципів «зеленої» хімії. Не зовсім зрозуміло доцільність цього посилання, якщо ніякої прив'язки до «принципів» нема – зменшення витрат, об'ємів відходів, зниження токсичності побічних продуктів та ефективного використання ресурсів це мета впровадження нових технологій, а не нові наукові напрями;

- Не зрозуміло чому при дослідженні електрофлотаційної очистки стічних вод, а саме розділ 3.3 табл. 3.6. «Вплив технологічних параметрів обробки електрофлотаційної обробки на процес очистки», результати досліджень прив'язані до висоти стовпа стічної води над катодом;

- Не зрозуміло, чому економічна доцільність впровадження запропонованої технології на працюючому підприємстві розраховується як «збиток за скидання неочищених стічних вод», при цьому сума розрахованого ефекту складає близько 16 тис. грн, але не зазначена за який період, це багато чи ні? Який період окупності? Чи доцільно впровадження технології з фінансової точки зору, чи це необхідність у зв'язку з підвищенням навантаження на існуючі очисні споруди підприємства.

Зазначені зауваження не зменшують цінність отриманих дисертантом результатів і не мають принципового характеру.

Загальна оцінка дисертаційної роботи.

Дисертаційна робота Макарова Є.О. є завершеним науковим дослідженням, що вирішує важливу науково-практичну задачу у галузі технологій захисту навколишнього середовища, а саме: підвищення екологічної безпеки технології очистки стічних вод молокопереробних підприємств шляхом встановлення колоїдно-хімічних і хіміко-технологічних закономірностей очищення хімічними та електрохімічними методами.

Таким чином, представлена дисертаційна робота Макарова Є.О. за темою «Підвищення екологічної безпеки процесу очистки стічних вод молокопереробних підприємств» за актуальністю, ступенем новизни, обґрунтованості, наукової та практичної цінності здобутих результатів відповідає вимогам Постанови Кабінету Міністрів України «Про затвердження Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії» від 12 січня 2022 року № 44, а дисертант заслуговує на присудження наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 183 – Технології захисту навколишнього середовища.

Офіційний рецензент:

Доцент кафедри прикладної механіки та технологій захисту навколишнього середовища факультету техногенно-екологічної безпеки Національного університету цивільного захисту України, кандидат технічних наук, доцент



Станіслав ДУШКІН

Підпис *Станіслава Душкіна*
ЗАСВІДЧУЮ

УЧЕНИЙ СЕКРЕТАР КАНДИДАТ НАУК, СТАРШИЙ НАУКОВИЙ РАДИ

