

ВІДГУК ОФІЦІЙНОГО ОПОНЕНТА

на дисертаційну роботу **Черниш Єлізавети Юріївни**

- **«Наукові засади еколого-синергетичного підходу до процесу утилізації фосфогіпсу для зменшення техногенного навантаження на довкілля»,**
представлену на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук
за спеціальністю 21.06.01 – екологічна безпека

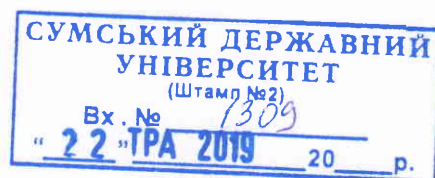
Актуальність теми дисертаційної роботи, її зв'язок з науковими програмами, планами, темами. Питання утилізації фосфогіпсу залишаються досить актуальними, що пояснюється тим, що зберігання й, при необхідності, транспортування фосфогіпсу ускладнюють експлуатацію підприємств, погіршують санітарний стан майданчиків заводів й прилеглих, а експлуатація відвалів є потенційною екологічною загрозою стану довкілля прилеглих до нього природних і селітебних ландшафтів.

Завдання формування еколого-синергетичного підходу щодо змін в екосистемах різного рівня організації визначається своєчасністю при актуалізації впливу антропогенного фактору, на прикладі фосфогіпсових відвалів. Розвиток синергетики екологічних процесів є важливим етапом розвитку загальної методології пізнання фізичного світу і необхідною умовою для збереження і розвитку соціуму.

Забруднення довкілля під час виробництва фосфорних добрив викликано такими екологічно небезпечними чинниками – викидами в атмосферу газоподібних, зокрема кислотоутворюючих сполук, утворенням стічних вод, шумовим забрудненням і утворенням багатотоннажного відходу – фосфогіпсу. Все більшої актуальності набуває розвиток та реалізація інтегрованого підходу щодо проблематики утилізації твердих відходів переробки фосфатної сировини в хімічній промисловості. На сьогодні в світі налічується 52 країни, в яких відбувається складування фосфогіпсу у відвалах, і загальні об'єми вже накопиченого становлять 5,6–7,0 млрд. т.

Отже, екосистемі процеси доцільно розглядати з точки зору еколого-синергетичної концепції наукового пізнання світу, що запропоновано автором роботи, з використанням цього підходу для проведення досліджень змін стану екосистеми при впливі процесу накопичення фосфогіпсу, що дозволить реалізовувати екологічно безпечні напрями його утилізації.

Дисертаційна робота Черниш Єлізавети Юріївни спрямована на розроблення та обґрунтування наукових засад еколого-синергетичного підходу щодо екологічно безпечного поводження з відходами на прикладі створення



технологій комплексної утилізації фосфогіпсу в системах очищення компонентів довкілля.

Актуальність обраної теми підтверджується тим, що тематика дисертаційної роботи відповідає пріоритетним напрямам розвитку науки і техніки в Україні на період до 2020 р. з розділу «Раціональне природокористування» і стратегічним пріоритетним напрямом інноваційної діяльності в Україні на 2011–2021 рр. «Широке застосування технологій більш чистого виробництва та охорони навколишнього природного середовища», та здійснювалась у відповідності до наукової проблематики кафедри прикладної екології Сумського державного університету і є складовою частиною держбюджетних тематик.

Ступінь обґрунтованості та достовірності наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації. Наукові положення, висновки та рекомендації, що сформульовані в дисертаційній роботі, базуються на значному обсязі теоретичних та експериментальних досліджень, є логічно обґрунтованими і підтверджуються результатами промислових випробувань, математичного моделювання. Достовірність результатів підтверджується також використанням сучасної виміральної техніки та сертифікованих методик обробки експериментальних даних.

Наукова новизна результатів, отриманих дисертантом, полягає в тому, що запропоновано та обґрунтовано наукових засад еколого-синергетичного підходу щодо екологічно безпечного поводження з відходами та розроблено технологічні рішення комплексної утилізації фосфогіпсу в системах очищення компонентів природного середовища, у дисертації сформовано наукові положення, висновки та рекомендації, сукупність яких представляє нові науково обґрунтовані результати у галузі екологічної безпеки:

- уперше науково обґрунтовано еколого-синергетичну концепцію поводження з фосфогіпсовими відходами при оцінці його впливу на природні компоненти з урахуванням синергетичних характеристик розвитку екосистеми на різних рівнях її організації при впливі чинників техногенної небезпеки, що формуються у процесі накопичення масивів відходів у довкіллі;

- уперше розроблено еколого-синергетичні засади процесів безпечної утилізації відходів на прикладі фосфогіпсу при виготовленні на його основі мінерального носія в біосорбційних процесах захисту компонентів довкілля;

- уперше встановлено еколого-синергетичні механізми утворення біоактивного прошарку в фосфогіпсовому носії в процесі очищення газів різного генезису від сполук сірки з метою підвищення екологічної безпеки атмосферного басейну;

– уперше науково обґрунтовано еколого-синергетичні механізми виділення фосфат-іонів у рідку фазу при утилізації фосфогіпсу у системах анаеробної стабілізації стічних вод та їх осадів для інтенсифікації процесів детоксикації та дефосфатації, що дозволяє підвищити ефективність водоочищення на станціях біологічного очищення міських очисних споруд;

– уперше визначено синергетичні закономірності змін фракційного складу ВМ в системі «грунт - біокомпозит» як продукту сумісної конверсії мулових осадів та фосфогіпсу в процесі ремедіації забруднених ґрунтів з метою зниження техногенного навантаження на ґрунтовий комплекс;

– здійснено моделювання міграції ВМ у техногенному тілі фосфогіпсового відвалу та ґрунті з урахуванням процесу біовилуговування компонентів фосфогіпсу.

Оцінка висновків здобувача щодо значущості його роботи для науки і практики. Одержані дисертантом результати мають важливе значення для науки, оскільки вони сприяють розвитку науково-практичних аспектів управління екологічною безпекою в процесі накопичення та утилізації фосфогіпсу. **Наукова значимість роботи** полягає в розробленні наукових засад еколого-синергетичного підходу до проблематики поводження з фосфогіпсом, який дозволяє є здійснювати оцінювання екосистемних змін в умовах зростаючого впливу техногенного чинника з урахуванням синергетичних механізмів розвитку природньо-антропогенних процесів для обґрунтування напрямів екологічно безпечної утилізації фосфогіпсу у технологічних рішеннях захисту НС.

Практична значимість результатів роботи полягає в розробленні нових способів переробки фосфогіпсових відходів та відповідно отримано три патенти України. Розроблено технологію видалення сполук фосфору з мулових осадів за допомогою дигідратного фосфогіпсу у системах анаеробної мікробіологічної стабілізації, яка може розглядатися в якості важливого елемента стратегії поводження з такого роду відходами в Україні і може бути впроваджена на існуючих і проєктованих спорудах біологічного очищення комунально-побутових стічних вод. Розроблено технологію біохімічного окислення сполук сірки газової фази з використанням мінерального носія на основі фосфогіпсу, що дозволить забезпечити очищення біогазу до біометану з утворенням елементарної сірки як побічного продукту очищення. При цьому аеробні біофільтри із гранульованим завантаженням на основі фосфогіпсу можна використовувати для очищення промислових газових викидів із високою концентрацією сполук сірки. Розроблено спосіб рекультивації та ремедіації забруднених земель з використанням біокомпозитних матеріалів на основі дигідратного фосфогіпсу для підвищення агро-екологічного ефекту.

Загальна характеристика структури і змісту дисертаційної роботи та автореферату. Дисертація є завершеною науковою працею, повний обсяг якої 460 сторінок та складається з анотації, вступу, 7 розділів, загальних висновків, списку використаних джерел і додатків.

У *вступі* обґрунтовано актуальність теми дисертаційної роботи, сформульовано мету та завдання досліджень, визначено наукову новизну й практичну цінність одержаних результатів, детально наведено особистий внесок здобувача, апробацію результатів дисертації, структуру та обсяг роботи.

У *першому розділі* здобувачем шляхом критичного аналізу результатів наукових досліджень впливу процесу утворення та накопичення фосфогіпсу на довкілля, встановлено, що проблема екологізації технологічних процесів його утилізації вимагає подальшого вирішення. Виходячи з проведеного аналізу наукових та практичних досягнень і виявлених при цьому недоліків за даним напрямком, дисертантом сформульовані мета та задачі досліджень. Процес поводження з цим відходом потребує розробки єдиного наукового підходу на еколого-синергетичних засадах.

У *другому розділі* дисертант встановила основні закономірності накопичення фосфогіпсу в регіоні та зміни фізико-хімічних характеристик фосфогіпсу в процесі його складування в довкіллі. Здійснено польові дослідження відвалу фосфогіпсу та визначено складові впливу на природні компоненти прилеглих екосистем. З метою вирішення поставлених у роботі завдань обґрунтовано здійснена розробка експериментальних установок та опис методик дослідження процесу утилізації фосфогіпсу в технологіях захисту довкілля.

У *третьому розділі* здійснено розроблення положень еколого-синергетичного підходу до оцінки ситуації на територіях техногенного навантаження на довкілля від фосфогіпсових відвалів. Запропоновано формалізовану форму з наданням стану екосистем на різних рівнях її організації з точки зору функціонування, стану самоорганізації, фізичного стану і деградаційних процесів та їх механізму як поєднання факторів, що впливають і властивостей екосистем при впливі чинників техногенного навантаження. Досліджено синергічний ефект сумісного впливу різних факторів у системі «НС – масив відвалів» для визначення основних факторів впливу відвалів фосфогіпсу на стан природних компонентів довкілля; розглянуто екосистемні зміни та напрями деградації природно-антропогенних ландшафтів поблизу відвалів.

У *четвертому розділі* з метою зниження техногенного навантаження на довкілля розроблено еколого-синергетичний підхід до процесів утилізації фосфогіпсу, що містить модель послідовності взаємодій етапів конверсії

фосфогіпсу в біосорбційних процесах захисту природних компонентів з інтеграцією окремих технологічних рішень захисту гідросфери, атмосферного повітря та ремедіації забруднених ґрунтів. Сформовано групи біогенних композитів на основі фосфогіпсу та здійснено еколого-синергетичне оцінювання впливу фосфогіпсу як вторинної сировини на довкілля у традиційних сферах його використання, так і в альтернативних технологічних рішеннях у рамках концепції екологічної безпеки поводження з відходами. Встановлено синергетичні закономірності розвитку біоплівки під час формування оптимальних еколого-біохімічних та фізико-хімічних властивостей модифікованих гранул фосфогіпсу для залучення їх у системи очищення компонентів довкілля. Розроблено спосіб іммобілізації мікроорганізмів у масі носія на основі техногенних відходів, що включає іммобілізацію мікроорганізмів у вигляді суспензії у гелеутворюючому реагенті з додаванням фосфогіпсу для отримання гранул із модифікованою поверхнею.

У *п'ятому розділі* досліджено оптимальні фізико - хімічні параметри роботи систем біодесульфуризації з використанням завантаження із фосфогіпсу для досягнення ефективності газоочищення вище ніж 95 % за різних рівнів навантаження за вмістом сполук сірки в газових потоках. Запропонована математична модель враховує еколого-синергетичні аспекти розвитку систем на принципах автокаталізу, зокрема дозволяє врахувати вплив величини біохімічної ємності завантаження із фосфогіпсу на зміну концентрації сірководню у часі в процесі очищення газових потоків. Для оптимізації оцінки окисної здатності біоплівки запропоновано враховувати біохімічні параметри системи і фізико-механічні властивості гранульованої завантаження, що здійснюється в рамках розвитку концепції еколого-синергетичного підходу. Розроблено принципову технологічну схему утилізації відвального фосфогіпсу з рециклінгом матеріальних потоків, що забезпечує його використання в технологіях захисту атмосферного повітря.

У *шостому розділі* науково обґрунтовано та досліджено еколого-синергетичні механізми стимулювання процесу вивільнення в анаеробних умовах фосфатів шляхом введення у систему дигідратного фосфогіпсу та відповідно стимулюванням розвитку сульфатредукторів, що виділяють продукти власного метаболізму у середовище та опосередковано стимулюють діяльність фосфатмобілізуювальних мікроорганізмів та інтенсифікують виділення фосфат-іонів у розчин. Здійснено дослідження впливу дози фосфогіпсу на процес дефосфатації в умовах біологічної сульфатредукції. При цьому кінцева концентрація фосфатів у рідкій фазі мулових осадів спостерігалась в 2,5–5,0 рази більша у порівнянні з вхідним потоком та в цілому досягається потенціал вилучення сполук фосфору – 80 %. Розроблено еколого-синергетична модель

конверсії сполук мулових осадів при дії добавки фосфогіпсу в технологіях захисту водних екосистем із формуванням напрямків перетворень органічного і мінерального складу суміші відходів, що піддаються обробці. Розроблено технологічні схеми реалізації процесу утилізації фосфогіпсу в технологіях захисту водних екосистем.

У цьому розділі на основі еколого-синергетичних закономірностей виявлено процеси автокатолітичного біохімічного зв'язування важких металів у структурі біокомпозиту, що є продуктом конверсії мулових осадів та фосфогіпсу. За результатами мікропольових досліджень процесу ремедіації забруднених земель з використанням біокомпозиту спостерігається значне збільшення відносної частки залишкової фракції ВМ при всіх рівнях кислотності відповідно з 5,6–9,05% до 45,3–51,7%. Здійснено розроблення еколого-синергетичної моделі впливу біогенного композиту на захисну функцію ґрунтового комплексу, що дозволяє визначити напрями трансформацій в системі «ґрунт – мікробний біом – токсикант» з утворенням низки екологічно безпечних продуктів взаємодії у процесі біохімічних перетворень компонентів біокомпозиту. У процесі математичного моделювання обґрунтовано механізми впливу біокомпозита на процес фіксації ВМ під час його дії на процес природного регулювання буферних властивостей ґрунтового комплексу.

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

Список використаних джерел містить 286 найменувань за темою дисертаційної роботи та у достатній мірі відображає інформацію за темою дослідження, що виконувала здобувач.

Оформлення дисертації за структурою, мовою та стилем викладення відповідає вимогам до оформлення дисертацій, затвердженим МОН України, наказ № 40 від 12 січня 2017 року. Мова і стиль викладання дисертації і автореферату чітко висвітлюють одержані науково-практичні результати, визначені метою досліджень.

Повнота викладення результатів дисертації у наукових фахових виданнях. Основні положення дисертації опубліковано у 80 наукових працях, з яких: 1 монографія у співавторстві, 40 статей, зокрема 24 статті у наукових фахових виданнях з переліку МОН України, 15 статей у закордонних наукових періодичних виданнях та у виданнях, що індексуються міжнародними наукометричними базами даних (Scopus та Web of Science), 1 стаття – в інших виданнях, 36 матеріалів доповідей у збірниках праць конференцій, 1 патент України на винахід та 2 патенти на корисну модель.

Наведений у публікаціях матеріал повною мірою відображає основні результати та обґрунтовує наукові положення дисертаційної роботи.

Апробація результатів дисертаційного дослідження. Матеріали дисертації доповідались та обговорювались на 16 профільних конференціях міжнародного рівня.

Шляхи використання наукових і практичних результатів роботи і ступінь їх реалізації. Дослідно-промислові випробування технології біодесульфуризації з використанням мінерального носія з фосфогіпсу були проведені на Сумському ДНДІ «МІНДІП» м. Сум та підтвердили її працездатність (акт впровадження від 18 листопада 2016 р.). Розроблено практичні рекомендації щодо впровадження у виробництво екологічно безпечної технології утилізації фосфогіпсу.

Основні положення та результати дисертаційного дослідження використовуються у навчальному процесі Сумського державного університету (акт впровадження від 18 грудня 2018 р.).

Ідентичність змісту автореферату основним положенням дисертації.

Зміст автореферату відповідає розділам дисертації та її основним положенням.

Дисертація є одноособово створеною кваліфікаційною науковою працею, яка містить сукупність результатів та наукових положень, поданих автором для публічного захисту, має внутрішню єдність і свідчить про особистий внесок автора в науку.

Тематика досліджень відповідає паспорту спеціальності 21.06.01 – екологічна безпека, зокрема пункту «Удосконалення існуючих, створення нових екологічно безпечних технологічних процесів та устаткування, що забезпечують раціональне використання природних ресурсів, додержання нормативів шкідливих впливів на довкілля». Наведені результати визначають технічне спрямування дисертаційної роботи.

Зауваження щодо змісту та оформлення дисертації та автореферату:

1. Наведення рис. 1.3, на думку опонента, є недоцільним, інформацію, що відображена в діаграмі можна зазначити у тексті.

2. Доцільно було б окремим підпунктом у першому розділі виділити аналіз етапів розвитку синергетичної концепції наукового пізнання для ознайомлення із загальними особливостями інструментарію синергетики.

3. Варто було сформулювати у третьому розділі окремою таблицею або блок-схемою порівняння характеристик еколого-синергетичного підходу та власне синергетичного, що відображено за текстом дисертації.

4. За текстом дисертації описано еколого-синергетичні ефекти розвитку біоплівки на фосфогіпсових гранулах, а на рис. 4.17 зображено формування

внутрішнього біоактивного шару в структурі гранули з фосфогіпсу. У зв'язку з цим виникає питання, чи залежить розподіл еколого-трофічних груп у біоактивному шарі від еколого-синергетичні механізмів розвитку біоплівки?

5. У розділі 6, п.п. 6.3 здійснено скорочення «доза фосфогіпсу» як ФГ, логічним було б ввести позначення ДФ.

6. На рис. 6.21 доцільно було б замінити позначення для біореакторів (Б₁, Б₂ та Б₃) таким чином: аеробний біореактор як АБ₁, анаеробний біореактор для здійснення стадії денітрифікації – АБ₂ та анаеробний біореактор для здійснення стадії дефосфотації – АБ₃.

7. Не всі одиниці у дисертації виражені в системі СІ (ppm, мг/м³, доба тощо).

Вказані недоліки не впливають на обґрунтованість положень наукової новизни та позитивний характер одержаних у роботі наукових результатів, висновків і практичних рекомендацій.

Загальні висновки.

Дисертаційна робота Черниш Єлизавети Юріївни виконана на рівні вимог до дисертацій на здобуття наукового ступеня доктора наук у відповідності до п.п. 9, 10, 12, 13 «Порядку присудження наукових ступенів», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 24 липня 2013 р. № 567. Дисертація є завершеною науковою працею, що спрямована на розроблення наукових засад еколого-синергетичного підходу до процесу поводження з відходами на прикладі створення технологій комплексної утилізації фосфогіпсу в системах очищення компонентів НС. Практична реалізація отриманих дисертантом результатів дозволить оновити існуючі практики екологічно безпечного поводження з цим відходом, забезпечити більш раціональне використання природних ресурсів та дотримання нормативів шкідливих впливів на довкілля.

На основі вищезазначеного можна зробити висновок, що Черниш Єлизавети Юріївни заслуговує присудження їй 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», к.т.н., доцент



Р.Б. Брилинський