

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ШТЕПА ВОЛОДИМИР МИКОЛАЙОВИЧ



УДК 504.04:006.91.001:628.2(043.3)

**НАУКОВО-ТЕОРЕТИЧНІ ЗАСАДИ ЕКОЛОГІЧНО БЕЗПЕЧНИХ
ТЕХНОЛОГІЙ ОЧИЩЕННЯ ПРОМИСЛОВИХ СТІЧНИХ ВОД**

Спеціальність 21.06.01 – екологічна безпека

Автореферат

дисертації на здобуття наукового ступеня

доктора технічних наук

Суми – 2020

Дисертація є кваліфікаційною науковою працею на правах рукопису.

Робота виконана на кафедрі прикладної екології Сумського державного університету Міністерства освіти і науки України.

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, професор
Трохименко Ганна Григорівна,
Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова
Міністерства освіти і науки України,
завідувач кафедри екології та природоохоронних
технологій, м. Миколаїв;

доктор технічних наук, професор
Сакалова Галина Володимирівна,
Вінницький державний педагогічний університет
імені Михайла Коцюбинського
Міністерства освіти і науки України,
професор кафедри хімії та методики навчання
хімії, м. Вінниця;

доктор технічних наук, професор
Дядюра Костянтин Олександрович,
Сумський державний університет
Міністерства освіти і науки України,
професор кафедри «Технологія машинобудування,
верстати та інструменти», м. Суми.

Захист дисертації відбудеться 3 липня 2020 р. об 11 год 00 хв на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 55.051.04 в Сумському державному університеті за адресою: 40007, м. Суми, вул. Римського-Корсакова, 2, корп. Ц, ауд. 204.

Із дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Сумського державного університету за адресою: 40007, Україна, м. Суми, вул. Римського-Корсакова, 2, та на сайті спеціалізованої вченої ради Д 55.051.04 за електронною адресою: <https://sumdu.edu.ua/uk/science/science-info/scientific-infrastructure/specialized-council/102-55-051-04.html> .

Автореферат розісланий 1 червня 2020 року.

Учений секретар
спеціалізованої вченої ради Д 55.051.04



І. Ю. Аблєєва

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Першочерговими завданнями у галузі екологічної безпеки держави є забезпечення якісного та екологічно безпечного водокористування, зниження техногенного навантаження на водні об'єкти, передусім за рахунок додержання вимог нормативів і стандартів щодо очищення стічних вод та повернення їх до природної ланки водообміну. Всесвітня організація охорони здоров'я зазначає, що понад 80 % усіх захворювань людини безпосередньо пов'язані із вживанням неякісної води, до складу якої входять речовини, які можуть викликати токсичні ефекти різного характеру – від інтоксикації до летальних наслідків. Зважаючи на високий відсоток (близько 70 % за даними Державного агентства водних ресурсів) поверхневих джерел у системі централізованого водопостачання України, ефективне очищення стічних вод має особливо важливе значення, оскільки щорічно без очищення, згідно з даними Державної служби статистики, скидається значна кількість зворотних вод: у 2015 році – 184 млн м³, у 2016 році – 164 млн м³, у 2017 році – 158 млн м³.

Водночас, підсилення техногенного навантаження на водні об'єкти здійснюється за рахунок виникнення надзвичайних ситуацій (НС) природного характеру, кількість яких у 2017 році збільшилася на 11,4 % у порівнянні з 2016 роком. Ризик перевищення встановлених нормативів щодо якості очищення стічних вод пов'язаний не лише з хімічним, а й бактеріологічним забрудненням зворотних вод, зокрема у результаті поширення особливо небезпечних інфекційних захворювань сільськогосподарських тварин (зростання за зазначений вище період становить 43 %).

Встановлено, стічні води промислових об'єктів є найбільш забрудненими. Вартість видалення забруднювачів із 1 м³ цих стоків коливається в широких межах і залежить від параметрів води, яка подається на установки видалення забруднювачів, функціоналу такого обладнання та вимог щодо її показників після обладнання (повторне використання, скидання в природні водойми або каналізацію тощо). Є чинники, які викликають техногенне навантаження на навколишнє середовище та ускладнюють управління екологічною безпекою технологій водоочищення: можливість дії непередбачуваних НС природного й техногенного походження; відсутність повноти інформації щодо конкретних комбінованих процесів водоочищення (кожен об'єкт має свої особливості та параметри налаштування обладнання для ефективного функціонування); багатofакторність характеристик процесів; відсутність вимірювального обладнання показників якості стічних вод або низька точність і швидкодія сучасних технічних рішень.

Відсутність комплексного наукового підходу та відповідного нормативно-методичного забезпечення, які б залежно від динамічної зміни внутрішнього і зовнішнього середовищ усували (зменшували) негативний вплив таких чинників, ускладнює управління збереженням і відновленням довкілля та призводить до необґрунтованих витрат інформаційних, матеріальних та

енергетичних ресурсів. У зв'язку з означеним виникає потреба розв'язання актуальної науково-прикладної проблеми в галузі екологічної безпеки, яка полягає в розробленні методології удосконалення науково-теоретичних засад управління екологічною безпекою технологій промислового водоочищення зі зменшенням ризиків виникнення надзвичайних ситуацій та врахуванням вимог енергоефективності, що сприятиме дотриманню нормативів шкідливих впливів на довкілля.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дослідження та наукові результати дисертаційної роботи відповідають пріоритетним напрямкам розвитку науки й техніки України, а саме тематичному напрямку з Розділу 4 «Технології раціонального водокористування, підвищення ефективності очистки стічних вод та запобігання забрудненню водних об'єктів» та вимогам Закону України «Про Загальнодержавну програму адаптації законодавства України до законодавства Європейського Союзу».

Дослідження виконувалась у межах науково-дослідної тематики кафедри прикладної екології Сумського державного університету і є складовою частиною НДР «Зниження техногенного навантаження на навколишнє середовище підприємств хімічної, машинобудівної промисловості та теплоенергетики» (номер держреєстрації 0116U006606), та відповідно до науково-дослідних тематик Київського національного університету технологій та дизайну, Національного університету біоресурсів і природокористування України за такими НДР: «Розробка комп'ютерно-інтегрованих систем ефективного управління енергетичними ресурсами на птахофабриках» (номер держреєстрації 0108U001969); «Математичне моделювання в агротехнологіях» (номер держреєстрації 0101U000664); «Розробка теорії побудови систем управління агропромисловим виробництвом з біотехнічними об'єктами і особливостями природних збурень» (номер держреєстрації 0110U003609); «Наукове обґрунтування структурно-функціонального захисту водокористувачів від неприпустимих речовин в некерованих ситуаціях» (номер держреєстрації 0109U008132).

Мета і завдання дослідження. Метою роботи є зниження техногенного навантаження на довкілля шляхом удосконалення науково-теоретичних засад управління екологічною безпекою технологій очищення стічних вод промислових об'єктів з урахуванням ризиків виникнення надзвичайних ситуацій та вимог енергоефективності.

Для досягнення зазначеної мети поставлено та вирішено такі **завдання дослідження:**

- проаналізувати нормативні бази та засоби промислового водоочищення в контексті захисту навколишнього середовища та ризиків дії надзвичайних ситуацій;
- розробити та оцінити моделі вимірювання й опрацювання еколого-енергетичних параметрів промислового очищення стічних вод;

– обґрунтувати та розробити методи управління екологічною безпекою технологій водоочищення на підставі врахування перехресного впливу способів видалення забруднювачів;

– створити та дослідити математичні, апаратні і програмні засоби віртуальної міри енергоефективності водоочищення для мінімізації техногенного навантаження на довкілля;

– обґрунтувати та розробити метод домінуючого динамічного забруднювача й методики його застосування під час управління екологічною безпекою технологій водоочищення;

– створити моделі, методичне забезпечення опрацювання та екологічно безпечного використання еколого-енергетичної інформації промислового очищення стічних вод з урахуванням дії надзвичайних ситуацій;

– удосконалити практичну складову науково-теоретичних засад технологій очищення стоків із урахуванням ризиків виникнення надзвичайних ситуацій для поліпшення рентабельності та еколого-енергетичної ефективності впровадження ресурсозберігальних схем водозабезпечення згідно з вимогами систем екологічного менеджменту.

Об’єкт дослідження – екологічна безпека технологічних систем очищення стічних вод промислових об’єктів.

Предмет дослідження – процеси управління екологічною безпекою технологій промислового водоочищення та закономірності її підтримання із урахуванням ризиків виникнення надзвичайних ситуацій та вимог енергоефективності.

Методи дослідження. Для досягнення поставленої в роботі мети використано такі методи дослідження: активний та пасивний експерименти на дослідних установках і промислового обладнанні; системний аналіз, теорія вимірювань, методи математичної статистики, кластерного аналізу функціонально-структурного моделювання – під час опрацювання статистичних та експериментальних даних; методи робастно-оптимальних систем, концепції моделювання на основі: балансів тепломасоперенесення, когнітивного моделювання, самоорганізаційних карт Кохонена, Байєсівської статистики, теорії ігор – під час створення віртуальної міри енергоефективності та методичного забезпечення управління екологічною безпекою водоочищення.

Наукова новизна дисертаційної роботи полягає в розвитку теоретико-методологічних принципів екологічної безпеки промислового водоочищення.

У роботі одержані такі нові наукові результати:

1. Уперше науково-обґрунтовано принципи удосконалення науково-теоретичних засад управління екологічною безпекою технологій промислового водоочищення, що на відміну від існуючих підходів комплексно забезпечують зменшення ризиків виникнення надзвичайних ситуацій із урахуванням вимог енергоефективності та сприятиме додержанню нормативів шкідливих впливів на довкілля.

2. Уперше розроблено метод управління екологічною безпекою технологій водоочищення, який на відміну від аналогів оснований на встановленні та

застосуванні ефекту перехресного накладання дії різних способів на одні й ті ж самі забруднювачі, який відрізняється можливістю врахування ризиків виникнення надзвичайних ситуацій та агрегування обладнання систем видалення забруднювачів зі стоків.

3. Уперше обґрунтовано та розроблено метод управління екологічною безпекою водоочищення на основі домінуючого динамічного забруднювача, що на відміну від інших ґрунтується на встановленні за параметрами еколого-енергетичної ефективності забруднювача, який найскладніше усувається, та відрізняється конфігуруванням структури технологій водоочищення на основі комплексного видалення інших забруднювачів разом із домінуючим та обґрунтуванням зменшення кількості контрольованих у режимі реального часу показників якості стоків.

4. Уперше розроблено метод опрацювання та екологічно безпечного використання параметрів технологій промислового водоочищення на основі налаштувань у режимі реального часу нечітких когнітивних та нейромережових моделей, який на відміну від аналогів відрізняється можливістю поліпшення еколого-економічних показників виробництв із урахуванням ризиків виникнення надзвичайних ситуацій.

5. Удосконалено моделі вимірювання та опрацювання еколого-енергетичних параметрів видалення забруднювачів шляхом комплексного врахування взаємовпливів способів та прийомів їхнього усунення, що лягло в основу створення віртуальної міри енергоефективності водоочищення, яка на відміну від існуючих забезпечує відтворення, опрацювання та збереження значень екологічно безпечних параметрів систем очищення стоків на етапах проектування і під час експлуатації у режимі реального часу на виробничих об'єктах.

6. Отримали подальший розвиток методи побудови систем збирання, опрацювання і використання техніко-економічної інформації для управління екологічною безпекою очищення промислових стічних вод із використанням еколого-енергетичних параметрів, які відрізняється можливістю реалізації ресурсозберігаючого функціонування виробництв під час виконання вимог стандартів серії ISO 14000 «Системи екологічного менеджменту».

Практичне значення одержаних результатів. Практична реалізація розроблених науково-теоретичних засад щодо управління екологічною безпекою виробництв та довкілля у частині ефективності комбінованого очищення стічних вод промислових об'єктів, що відповідає дотриманню вимог нормативних документів, полягає у впровадженні на виробництвах: ДП «Навчально-дослідний племінний птахівничий завод» (акт впровадження від 26.10.2010 року), ВАТ «Пінський м'ясокомбінат» (акт впровадження від 09.12.2016 року), КП «Білгород-Дністровський водоканал» (акт впровадження від 30.06.2018 року), ТОВ «Топ-Метал» (акт впровадження від 12.11.2018 року), схвалені громадською організацією «Фонд водних досліджень» (лист від 21.03.2019 року).

Авторство захищене патентами України (44631, 85587, 86252, 98867, 95200, 95201, 108196, 120530, 133016). Переваги створених методів удосконалення використання технологій промислового водоочищення над сучасними аналогами, включно із закордонними, полягають у збиранні, опрацюванні та використанні техніко-економічної інформації, що підвищує екологічну безпеку та покращує еколого-енергетичну ефективність процесу управління збереженням та відновленням навколишнього середовища, із урахуванням ризиків виникнення надзвичайних ситуацій, на 10–15 %. Обґрунтовано, розроблено та апробовано структурні схеми й дослідні зразки обладнання, технологічні регламенти їхнього промислового застосування.

Рекомендації, де відображені концептуальні засади створення таких розробок, затверджені на технічній раді Міністерства аграрної політики України та науково-технічній раді Державного підприємства «Науково-дослідний та конструкторсько-технологічний інститут міського господарства».

Особистий внесок здобувача. Дисертаційна робота є самостійним науковим дослідженням. Автор особисто: науково обґрунтував концепцію поліпшення еколого-економічних параметрів технологій управління екологічною безпекою промислового водоочищення шляхом удосконалення науково-теоретичних засад з урахуванням вимог охорони довкілля та ризиків виникнення надзвичайних ситуацій на основі моделювання та інтелектуального опрацювання виробничої інформації; синтезував метод перехресних впливів різних способів на одні і ті ж забруднювачі стоків; обґрунтував критерій еколого-енергетичної ефективності використання обладнання опрацювання стоків; розробив віртуальну міру енергоефективності водоочищення (ВМЕВ) та дослідив її функціонування на промислових об'єктах; створив метод домінуючого динамічного забруднювача та апробував його у виробничих умовах для удосконалення науково-теоретичних засад управління екологічною безпекою технологій промислового водоочищення; удосконалив принципи створення технологічних регламентів комбінованих методів опрацювання стічних вод промислових об'єктів, із деталізацією для небезпечних виробництв.

Внесок автора в працях, опублікованих у співавторстві, наведений у списку праць за темою дисертації. Автор висловлює щирю подяку й шану за надання наукових консультацій та підтримку під час написання дисертаційної роботи к.т.н., доц. Ф. І. Гончарову, д.т.н., проф. В. В. Каплуну, д.т.н., доц. Н. А. Заєць, к.е.н., доц. С. П. Вертай.

Апробація результатів дисертації. Основні результати досліджень доповідалися й обговорювалися на таких наукових конференціях: Міжнародній науковій конференції “Інтелектуальні системи прийняття рішень і проблеми обчислювального інтелекту” (м. Євпаторія, 16–20 травня 2011 р.); Міжнародних наукових конференціях «Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України» (м. Харків, 2011–2014 рр.); Міжнародних наукових конференціях «Еколого-правові та економічні аспекти екологічної безпеки регіонів» (м. Харків, 2011–2016 рр.); Всеукраїнській науковій конференції “Інформаційно-вимірювальні технології, технічне регулювання та менеджмент

якості: стан, досягнення і перспективи” (м. Одеса, 5–6 квітня 2012 р.); Міжнародній науковій конференції «Contemporary Aspects of Production Engineering» (м. Варшава, 22–25 травня 2013 р.); Міжнародній науковій конференції «Сучасні методи, інформаційне, програмне та технічне забезпечення систем управління організаційно-технічними та технологічними комплексами» (м. Київ, 23 листопада 2016 р.), Міжнародній науковій конференції «Переработка и управление качеством сельскохозяйственной продукции» (м. Мінськ, 23–24 березня 2017 р.), Міжнародній науковій конференції «Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии» (м. Могильов, 27–28 квітня 2017 р.), Міжнародній науковій конференції «Перспективи майбутнього та реалії сьогодення в технологіях водопідготовки» (м. Київ, 2018, 2019 рр.); International Conference «Manufacturing & mechatronic systems 2018» (м. Харків, 25–26 жовтня 2018 р.); Міжнародній конференції «Машиноведение 2018» (м. Гомель, 22–23 листопада 2018 р.); Міжнародній науковій конференції «Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем» (м. Чернігів, 14–16 травня 2019 р.); Міжнародній науковій конференції «Управління якістю в освіті та промисловості: досвід, проблеми та перспективи» (м. Львів, 16–17 травня 2019 р.); Міжнародній науковій конференції метрологів «МКМ’2019» (м. Львів, 10–12 вересня 2019 р.).

Публікації. За темою дисертаційної роботи опубліковано 50 наукових праць автора, у яких викладено основний зміст виконаних досліджень. Із них 2 монографії, 26 статей у наукових фахових виданнях України, 10 статей у закордонних фахових виданнях, 6 тез доповідей у збірниках матеріалів конференцій, та 6 патентів України (3 патенти на винахід, 3 патенти на корисну модель).

Структура і обсяг роботи. Дисертаційна робота викладена на 537 сторінках тексту, у тому числі основного тексту – 312 сторінки. Дисертація складається з анотації, вступу, 5 розділів, висновків та 31 додатка на 114 сторінках, містить 46 таблиць, 180 рисунків. Список використаних літературних джерел включає 326 найменувань на 43 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі визначено актуальність теми і наукової проблеми, сформульовані мета й завдання досліджень, наведені основні наукові положення та практична цінність одержаних результатів, дані про особистий внесок здобувача, апробацію результатів дисертації, структуру й обсяг роботи тощо.

У першому розділі «Аналіз сучасного стану екологічної безпеки промислового водоочищення» для зниження техногенного навантаження на водні об’єкти проаналізовані методики та методи оцінювання стану навколишнього природного середовища в контексті показників якості водоскиду, нормативно-правового контролю очищення стічних вод, розроблення технологічних регламентів, вимірювального обладнання показників якості стічних вод, моделювання процесів водоочищення.

Промислові стоки складають приблизно 8–10 % від загального обсягу всіх стічних вод, але ступінь їхнього забруднення набагато вищий. Водночас правила скидання стічних вод нормуються та здійснюються згідно з рядом нормативно-правових документів, серед яких: Закон України «Про охорону навколишнього природного середовища», «Правила приймання стічних вод до систем централізованого водовідведення», Водний кодекс України.

Концептуальні питання екологічної безпеки в розрізі стандартів водовідведення досліджувалися такими спеціалістами, як Г. А. Білявський, Ю. А. Израель, І. П. Крайнов, М. Ф. Реймерс, Z. Song, С. Williams та іншими. Загалом стічні води відрізняються один від одного видами й концентрацією забруднювальних речовин, швидкістю надходження та іншими непередбачуваними чинниками. Дослідженнями способів видалення забруднень із стоків займалися науковці: І. Е. Апельцин, Ф. І. Гончаров, В. В. Гончарук, А. Г. Запольський, Л. А. Кульський, S. Adav, S. Kawamura, P. Pavan та інші.

Зважаючи на багатокomпонентність стічних вод, є такі базові способи очищення стічних вод: механічні (фізичні), фізико-хімічні, хімічні, біологічні та комбіновані. Загальним недоліком усіх способів є необхідність контролю в режимі реального часу (РРЧ) десятків параметрів якості води й технологічних процесів, а існують і надійно працюють на промислових об'єктах тільки одиниці вимірювального обладнання. Більшість показників досліджується в акредитованих лабораторіях протягом екологічно неприйнятно довгого часу (на понад 70 % українських промислових підприємств вони не функціонують – відібрані проби стоків транспортуються десятки кілометрів): від кількох годин до кількох діб. Така ситуація спричиняє неможливість оперативної реакції (екологічно безпечного управління) у випадку перевищення гранично-допустимих концентрацій (ГДК) забруднювачів, включно з токсичними сполуками, що створює значну техногенну небезпеку для довкілля.

Багатоваріантність оцінки показників якості стоків, що є наслідком багатоцільового застосування води у виробничих процесах, також призводить до того, що надійний висновок про склад стоків на основі інформації тільки про вміст у них окремих компонентів отримати практично неможливо. Водночас, недоліком існуючих моделей процесів технологій водоочищення є їх фрагментарний характер, неузгодженість результатів та нездатність відобразити найбільш загальні, фундаментальні нелінійні закономірності послідовного формування. Ця обставина підсилює необхідність розроблення теоретичних основ принципово інших підходів до комплексної оцінки параметрів екологічної безпеки водоочищення, наприклад, на підставі ефективності використання енергетичних ресурсів (згідно з ДСТУ ISO 50001).

Саме тому для вирішення завдань екологічно безпечного управління промисловим водоочищенням доцільно використати засоби моделювання (фізичного та математичного), що дозволить покращити спостережуваність (прогнозованість) процесів видалення забруднювачів, створить передумови дотримання нормативів шкідливих впливів на довкілля та ресурсоощадності із урахуванням потенційної дії НС.

У другому розділі «Дослідження науково-теоретичних засад екологічно безпечного промислового водоочищення» сформульовано процедуру досліджень на основі активних та пасивних експериментів на дослідних установках і промислового обладнанні, системного аналізу, теорії вимірювань, методів математичної статистики, кластерного та функціонально-структурного моделювань; створено концептуальні та функціональні моделі збирання й опрацювання техніко-економічної інформації промислового водоочищення; розроблено підхід щодо удосконалення використання нормативної бази на основі методу перехресних впливів на забруднювачі стоків; обґрунтовано віртуальну міру енергоефективності водоочищення (ВМЕВ) та створено науково-технічні засади (НТЗ) методичного забезпечення застосування технологій для видалення забруднювачів зі стоків на основі вимірювання параметрів еколого-енергетичної ефективності.

Аналіз роботи промислових систем, у разі комбінації базових способів очищення (обов'язково для опрацювання виробничих стоків), показав накладання дії різного обладнання на одні й ті самі забруднювачі: перехресний вплив різних засобів на один вид забруднювачів коливається в межах 5–40%. На підставі отриманих результатів обґрунтовано послідовність створення систем водоочищення із розширенням функціональних можливостей та їхньої здатності ефективніше протидіяти НС – *метод перехресних впливів способів видалення забруднювачів зі стоків*. Ключовими завданнями за практичної реалізації методу перехресних впливів є: наявність (розроблення) засобів, які б забезпечили дослідження водоочищення в РРЧ; встановлення обмежуючого екологічного критерію, який би враховував ресурсозатрати на водоочищення.

Реалізація методу перехресних впливів (рис. 1) за екологічно безпечного управління промисловим водоочищенням дозволила визначити можливість агрегування способів за видами забруднювачів (табл. 1).

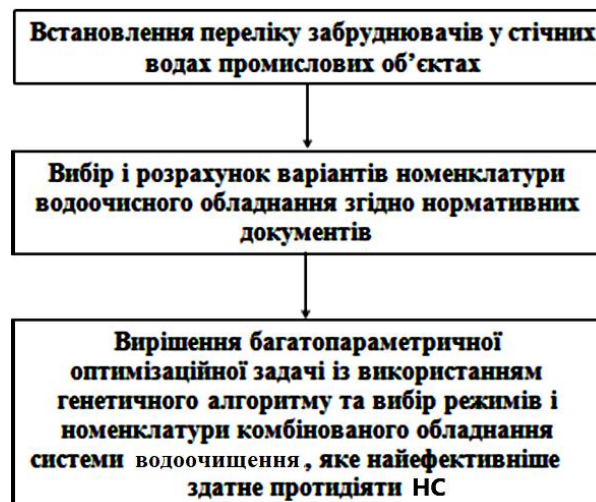


Рисунок 1 – Структурна схема вибору режимів і номенклатури обладнання системи водоочищення із врахуванням перехресних впливів способів видалення забруднювачів та підвищення ефективності протидії НС (методичний базис для удосконалення нормативних документів, наприклад, ДБН В.2.5-75:2013)

Таблиця 1 – Можливі виконання агрегування способів водоочищення згідно з методом перехресних впливів (за дотримання вимог щодо якості водоскиду)

	Очисні споруди, вказані у Розділі 10 ДБН В.2.5-75:2013	
	Споруди для освітлення стічних вод	Фізико-хімічне очищення стічних вод
	Ступінь потенційного агрегування	
Показники якості стоків згідно Наказу № 316 Міністерства регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України 15 січня 2018р. за N 56/31508	pH (6,5 – 9,0)	50-60 %
	Біологічне споживання кисню (БСК) – не більше 350 мгО ₂ /л	40-45 %
	Хімічне споживання кисню (ХСК) – до 500 мгО ₂ /л	30-35 %
	Завислі речовини – до 300 мг/л	40-50 %
	Азот загальний – до 50 мг/л	35-45 %
	Фосфор загальний – до 5 мг/л	45-55 %

Для встановлення електроенергетичних затрат на ефективне видалення забруднювача із стічних вод створено еколого-енергетичний критерій:

$$EF_v = \frac{\left[\left(\frac{LI_{вих} - ГДК1}{ГДК1} \cdot 100 \% \right) + \dots + \left(\frac{LN_{вих} - ГДКН}{ГДКН_{зад}} \cdot 100 \% \right) \right] \cdot \sum_{i=1}^N Q_i}{\sum_{i=1}^N W_i} \% / \text{кВт}, \quad (1)$$

де $LI_{вих}, \dots, LN_{вих}$ – фактичні значення відповідних показників якості стічних вод (в одиницях вимірювання згідно нормативних документів щодо оцінювання показників якості стічних вод); $ГДК1, \dots, ГДКН_{зад}$ – нормативні значення відповідних показників якості стічних вод (в одиницях вимірювання згідно з нормативними документами щодо оцінювання показників якості стічних вод); Q – час роботи технологічних агрегатів водоочищення, які забезпечують нормування відповідних показників якості стічних вод, год; W – електроенергія, що затрачена на водоочищення, кВт·год; N – кількість показників якості стічних вод, штук.

У випадку, якщо одна установка (комплекс очисних споруд) забезпечує нормування кількох параметрів, такий еколого-енергетичний критерій стає:

$$EF_v = \frac{\left[\left(\frac{LI_{вих} - ГДК1}{ГДК1} \cdot 100 \% \right) + \dots + \left(\frac{LN_{вих} - ГДКН}{ГДКН} \cdot 100 \% \right) \right] \cdot Q}{W} \% / \text{кВт}. \quad (2)$$

Технологічне завдання під час екологічно безпечного управління обладнанням – підтримувати значення критерію рівним (максимально близьким) до нуля, що відповідає режимові максимальної еколого-енергетичної ефективності водоочищення.

Водночас до однієї з методик оцінки якості поверхневих вод, у тому числі сформованих скиданням промислових стічних вод, належить методика визначення балів кратності перевищення забруднень. Для кожного інгредієнта на основі фактичних концентрацій розраховують бали кратності перевищення гранично-допустимих концентрацій K_i і повторюваності випадків перевищення H_i , а також загальний оцінний бал забрудненості водних ресурсів – B_i :

$$K_i = \frac{C_i}{ГДК_i}, \quad (3)$$

$$H_i = \frac{R_{ГДК_i}}{R_i}, \quad (4)$$

$$B_i = K_i \cdot H_i, \quad (5)$$

де C_i – концентрація у воді i -го інгредієнта (в одиницях вимірювання згідно з нормативними документами щодо оцінювання показників якості стічних вод); $ГДК_i$ – гранично допустима концентрація i -го інгредієнта; $R_{ГДК_i}$ – число випадків перевищення ГДК по i -му інгредієнту; R_i – загальна кількість вимірювань i -го інгредієнта.

Інгредієнти для яких величина загального оцінного балу більше або дорівнює 11, виділяються як лімітуючі показники забрудненості (ЛПЗ). За величиною комбінаторного індексу забрудненості встановлюється клас забрудненості води. Сам же комбінаторний індекс забруднення розраховується як сума загальних оцінних балів усіх інгредієнтів.

Тоді отримавши із (3) $ГДК_i$:

$$K_i = \frac{C_i}{ГДК_i}, \quad (6)$$

підставляємо (6) у (2), прийнявши, що $C_i = LN_{вих}$:

$$EF_y = \frac{\left[\left(\frac{LN_{вих} - \frac{L1_{вих}}{K_1}}{\frac{L1_{вих}}{K_1}} \cdot 100 \% \right) + \dots + \left(\frac{LN_{вих} - \frac{LN_{вих}}{K_N}}{\frac{LN_{вих}}{K_N}} \cdot 100 \% \right) \right] \cdot Q}{W}. \quad (7)$$

Звідси взаємозв'язок між екологічним показником балів кратності перевищення $ГДК$ та еколого-енергетичним критерієм (2):

$$K_1 + \dots + K_N = \frac{EF_y \cdot W}{100 \% \cdot Q} + N. \quad (8)$$

Тобто збільшення значення еколого-енергетичного критерію відповідатиме збільшенню суми балів кратності перевищення ГДК.

Встановлено, що загальний оцінний бал прямо пропорційний еколого-енергетичному критерію технологій водоочищення:

$$\frac{B_1}{H_1} + \dots + \frac{B_N}{H_N} = \frac{EF \cdot W}{100 \% \cdot Q} + N. \quad (9)$$

Для оцінки реалізації такого критерію еколого-енергетичної ефективності (ЕЕЕ) (2) розроблено методичне забезпечення проектування фізичної моделі (ФМ) водоочищення, як складової розвитку (удосконалення) інформаційно-вимірjuвальних систем (ІВС) у двох аспектах: структурному і функціональному (рис. 2). Водночас розширивши функціональні можливості ФМ та доповнивши її програмною реалізацією методичного забезпечення, яке реалізує відтворення та (або) збереження показників стоків на етапах проектування і під час експлуатації в режимі реального часу на виробничих об'єктах, обґрунтували *віртуальну міру енергоефективності водоочищення (ВМЕВ)*.

Провівши аналіз скиду стічних вод від промислових підприємств та користуючись матеріалами ДБН В.2.5-75:2013, на основі синтезованого агрегативного методу (див. рис. 1) сформована номенклатура технологічних засобів водоочищення ВМЕВ (відповідають патентам № 95201 UA та № 120530 UA) у складі: ємкість регулювання; електрохімічний деаератор (рН-коректор); електролізер-коагулятор; батарея електротехнологічних окиснювачів (із ультразвуковою інтенсифікацією); пінополістирольний фільтр із самопромивкою.

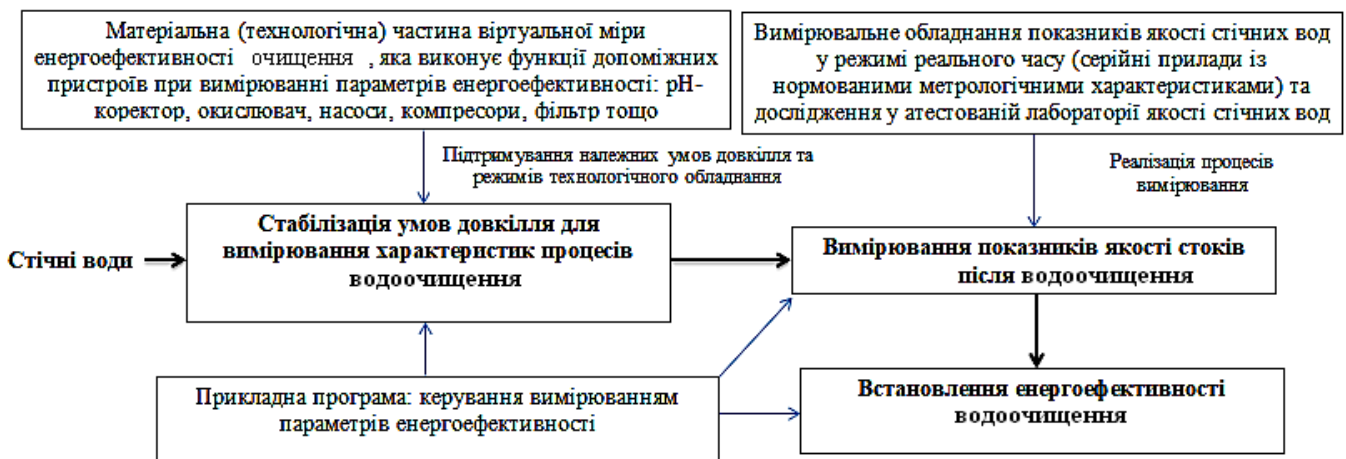


Рисунок 2 – Модель вимірювання еколого-енергетичних параметрів водоочищення на основі використання ВМЕВ

Водночас очищення стоків можна представити, як єдиний послідовний ланцюг, стічна вода по якому проходить послідовно через обладнання, що реалізує відповідні базові способи видалення забруднювачів і має відповідні ризики виникнення НС (згідно ISO 31000) і/або перевитрат ресурсів (рис. 3).



R_N^1 – рівень привнесеного ризику виникнення НС і перевитрат ресурсів відповідної ланки; R_N^2 – рівень власного ризику виникнення НС і перевитрат ресурсів відповідної ланки; N – кількість ланок (блоків водоочищення);
 R – рівень ризику виникнення НС і перевитрат ресурсів на водоочищення
 Рисунок 3 – Схема послідовного технологічного ланцюга очищення стічних вод

Прийнявши, що $R = EF_y$ (для всіх ланок та системи в цілому) на основі критерію еколого-енергетичної ефективності (2):

$$R^3 = \Delta - (\Delta - R^1)(\Delta - R^2). \quad (10)$$

Технологічним завданням є забезпечення значення рівня ризику НС та перевитрат ресурсів рівним « Δ » або максимально близьким до нього у разі виконання умови (2), як правило « Δ » = 0. Кожна i -ланка видалення забруднювачів характеризується рівнем привнесеного ризику R_i^1 , рівнем власного ризику R_i^2 і рівнем ризику R_{i+1}^1 , який одночасно являється рівнем привнесеного ризику для $(i+1)$ -ланки, де $i = 1, 2, \dots, N$. Загальний ризик R дорівнює ризику R_{N+1}^1 , що генерується заключною ланкою.

Тоді для схеми рисунку 3 запишемо:

$$R_{i+1}^1 = \Delta - (\Delta - R_i^1)(\Delta - R_i^2), \quad i = 1, 2, \dots, N-1, \quad (11)$$

$$R = \Delta - (\Delta - R_N^1)(\Delta - R_N^2). \quad (12)$$

Підставивши (11) у (12), отримуємо вираз для оцінки ризиків виникнення НС та перевитрат ресурсів з обов'язковим виконанням умови (2):

$$R = \Delta - (\Delta - R_i^1) \prod_{i=1}^N (\Delta - R_i^2). \quad (13)$$

Фізичний сенс такого виразу: за від'ємних значень R відбуваються перевитрати (неефективне використання) енергії, за додатних значень – забруднення довкілля (ризик виникнення НС).

Встановлено, що ключовий недолік методики розроблення технологічних регламентів (ТР) систем водоочищення: у разі їхньої розробки не враховується дія НС на процеси водоочищення, розраховується лише «постдія» – мінімізація наслідків після їхнього виникнення; комплексно не дотримуються вимоги оперативного управління екологічної безпеки промислових об'єктів та фінансових складових експлуатації водоочисних установок.

Між тим необхідно концептуально змінити підхід під час проектуванні схем водовідведення та відповідних технологічних регламентів небезпечних виробничих об'єктів – шляхом врахування «сірої зони» (канали водоскиду з усіх приміщень і територій, включно з адміністративно-побутовим комплексом

і лабораторіями, де існує ймовірність попадання забруднювачів, що визначають об'єкт, як «небезпечний») та очищення її стоків на спеціалізованому обладнанні.

Тоді концептуальні етапи розроблення технологічного регламенту (ТР) комбінованого очищення стічних вод різногалузевих промислових об'єктів ітераційні, з кінцевою метою розробки: технологічної схеми, функціональних режимів усунення дії потенційних надзвичайних ситуацій природного та техногенного характеру та врахуванням «сірої зони»; номенклатури та режимів роботи комбінованого водоочисного обладнання. Останнє ґрунтується на комплексному врахуванні інвестиційно-фінансових та еколого-енергетичних критеріїв із використанням засобів адаптивного налаштування систем водоочищення на мінімізацію техногенного навантаження на довкілля.

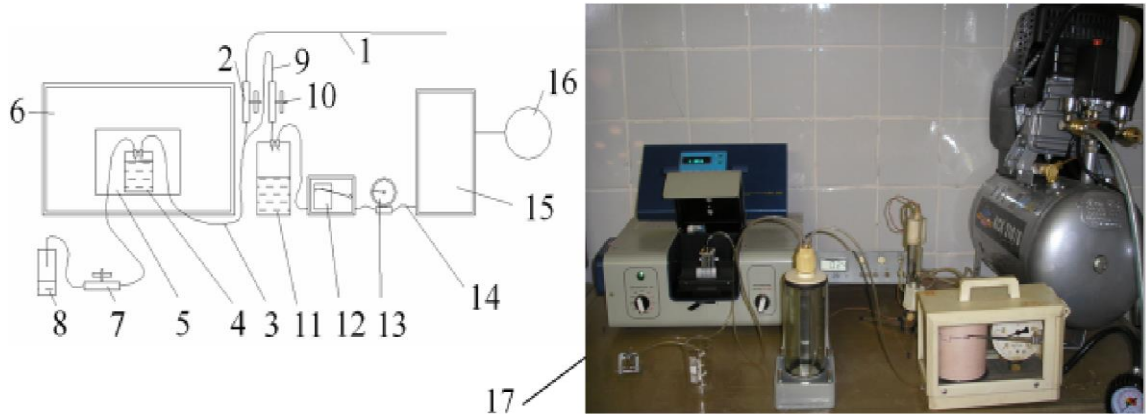
У третьому розділі «Обґрунтування та створення методу управління екологічною безпекою технологій водоочищення на основі домінуючого забруднювача» оцінено якісно-кількісні показники стоків промислових підприємств та експериментально досліджено умови вимірювання ЕЕЕ; створено ВМЕВ; обґрунтовано, синтезовано та практично апробовано метод домінуючого динамічного забруднювача (ДДЗ) удосконалення екологічної безпеки технологій водоочищення.

Експериментальні дослідження умов вимірювання параметрів ЕЕЕ виконували електротехнологічними засобами (табл. 2): електрохімічним рН-коректором, електролізним окислювачем-деструктором, електрофлокоагулятором, фільтром із плаваючим пінополістирольним завантаженням. Якість показників стоків оцінювалася в акредитованій лабораторії дослідження показників якості стічних вод ДП «Пінськводоканал».

Таблиця 2 – Результати досліджень умов вимірювання параметрів ЕЕЕ очищення промислових стічних вод

Промислові об'єкти	Ключові забруднювачі	Способи, які комбінувались при доведенні параметрів стоків до вимог ГДК	Енергозатрати (в перерахунку на об'єм стоків), кВт/добу
М'ясопереробне підприємство	Фосфор (до 50 мг/л), азот амонійний (до 40 мг/л), хлориди (до 1000 мг/л), завислі частинки (до 2000 мг/л)	Механічний, фізико-хімічний	До 400
Деревопереробне підприємство	Формальдегід (до 20 мг/л), азот амонійний (до 100 мг/л)	Механічний, фізико-хімічний	До 76
Підприємство малої металургії	Синтетичні поверхнево-активні речовини (СПАР) (до 10 мг/л), свинець (до 0,05 мг/л)	Механічний, фізико-хімічний	До 85
Підприємство виробництва побутової хімії	СПАР (до 866 мг/л); нафтопродукти (до 88 мг/л), ХСК (до 1500 мг/л), сухий залишок (до 2200 мг/л)	Механічний, фізико-хімічний	До 26

Оцінку неконтрольованих впливів на якість стоків здійснено на прикладі дії манометричного тиску на показники якості води; для дослідження розроблена та виготовлена лабораторна установка (рис. 4).



- 1 – мережа; 2 – кран; 3 – трубка подачі води до вимірювальної кювети;
 4– вимірювальна кювета високого тиску; 5– вимірювальна камера приладу;
 6 – прилад КФК із мікропроцесорним пристроєм керування; 7 – кран зливу;
 8 – зливна ємність; 9 – трубка подачі води до контрольної ємності; 10 – кран контрольної ємності; 11 – контрольна ємність; 12 – самописець тиску;
 13 – регулятор тиску; 14 – з'єднувальна трубка; 15 – компресор; 16 – манометр;
 17 – зовнішній вигляд лабораторної установки

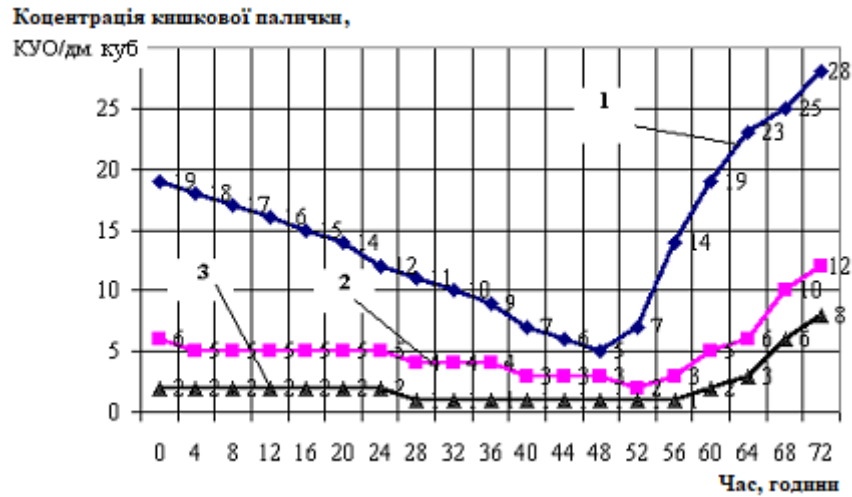
Рисунок 4 – Схема та зовнішній вигляд пристрою дослідження динаміки утворення та осадження речовин у воді мережі водовідведення у разі зміни манометричного тиску

Аналізуючи динаміку утворення та осадження завислих у воді частинок можна стверджувати, що за відбору води з мережі водовідведення та забезпеченні сталого тиску (умовно сталого режиму): у період із 0 до 80–100 хвилин відбувається збільшення каламутності (на 0,09–0,21 мг/л); у період із 80–100 до 1260–1270 хвилин каламутність зменшується до фактично нульового значення.

Подальші дослідження полягали у виокремленні особливостей зміни Coli-index (КУО/дм³) води в різні періоди роботи м'ясокомбінату (рис. 5): забій тварин, миття обладнання й умовно штатний скид.

Отримані результати (рис. 5) відповідають швидкості осадження завислих частинок згідно з їхньою гідравлічною крупністю, що залежить від параметрів тиску – тобто останній гідравлічний параметр має вплив на біологічну безпеку стоків, хоча в системах водовідведення такі параметри не пов'язують між собою.

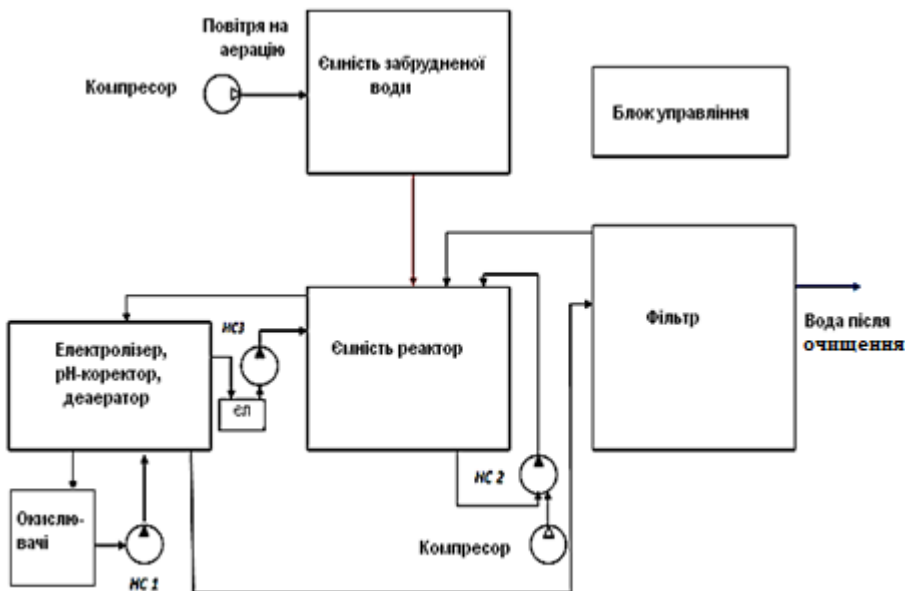
Системний аналіз ВМЕВ продемонстрував, що комбіновані системи водоочищення складні багатопараметричні об'єкти, у разі функціонування яких у режимі реального часу виникає задача координації роботи керованих підсистем, розв'язком якої є визначення взаємодії підсистем.



1 – під час забою; 2 – період миття обладнання; 3 – умовно штатний режим роботи

Рисунок 5 – Залежності отримані під час експериментального встановлення вмісту кишкової палички (Coli-index) у досліджуваних стоках м'ясопереробного підприємства

Водночас матеріальна частина ВМЕВ включає ряд електротехнологічних пристроїв (рис. 6), де встановлення значень показників якості води виконувалися вимірювальних обладнанням здатним працювати у режимі реального часу та в лабораторних умовах.



НС – насос, ЄЛ – ємність-локалізатор

Рисунок 6 – Структурна схема та зовнішній вигляд технологічного обладнання ВМЕВ-1 (патент № 85587 UA)

На основі блоків експериментальних досліджень для різних комбінацій показників якості стічних вод до й після очищення, встановлено такі екологічно

прийнятні діапазони значень невизначеностей за вимірювання параметрів енергоефективності: сумарна невизначеність водоочищення: 7,8–9,6 %/кВт, розширена невизначеність: 12,87–15,84 %/кВт (за $P = 0,95$).

Розраховані значення критерію ЕЕЕ (2), із використанням ВМЕВ за випадково вибраних значень забруднювачів із можливих діапазонів таблиці 1, підтверджують нелінійність процесів у системах водоочищення (рис. 7). Практична необхідність розроблення ВМЕВ, з інтеграцією в ній інтелектуальних моделюючих модулів, додатково була обґрунтована тим, що проведення експерименту (одна точка рисунку 7) займало понад 12 годин (формування блоку із 49 експериментів тривав понад 2 місяці).



Рисунок 7 – Експериментально отримані у ВМЕВ значення ЕЕЕ промислового водоочищення

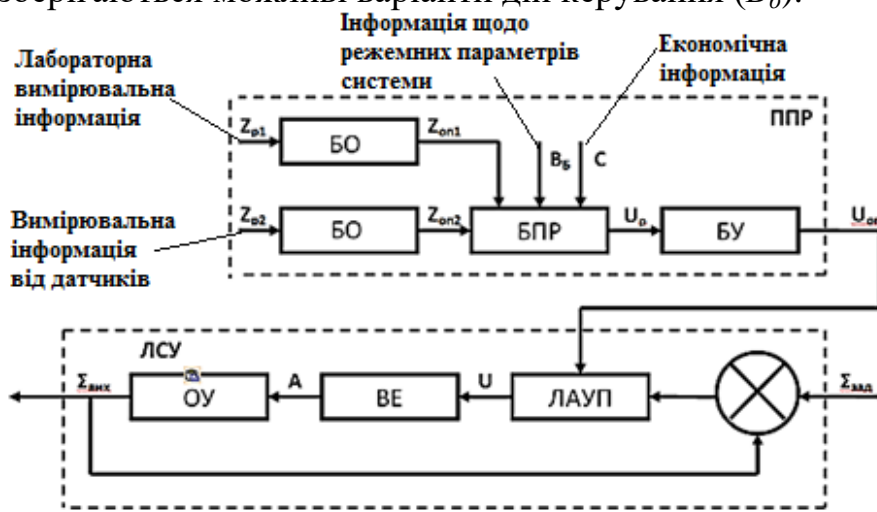
Аналіз роботи моделюючої нейронної мережі дозволив визначити залежність величини струму від параметрів вхідної води (температури та електропровідності) та обґрунтувати необхідність синтезу окремого контуру врахування впливу температури за керування умовами вимірювання параметрів еколого-енергетичної ефективності.

Використовуючи алгоритм μ -синтезу отримано передаточну функцію регулятора 12-го порядку, яку для подальшого використання було понижено до 4-го. Далі, застосовуючи метод пониження порядку на основі сингулярних значень за Ганкелем, отримали передатну функцію регулятора температури води у ВМЕВ шляхом коригування температури води з використанням теплообмінного агрегату:

$$K_{reduce}(s) = \frac{21,83s^3 + 24,98s^2 + 3,95s + 0,21}{s^4 + 6905s^3 + 1814s^2 + 179,5s + 5,29}. \quad (14)$$

На підставі проведених досліджень розробили схему інтелектуального керування умовами вимірювання параметрів ЕЕЕ у ВМЕВ (рис. 8), де, з

використанням блоку опрацювання (БО), інформація з вимірювального обладнання передається в блок підтримки прийняття рішень (БПР) сценаріїв екологічно безпечного управління водоочисним обладнанням, у базі даних якого зберігаються можливі варіанти дій керування (B_0).



А)

Б)

А – структурна схема системи керування умовами вимірювання еколого-енергетичних параметрів у ВМЕВ із метою мінімізації техногенного навантаження на довкілля: ППР – підсистема прийняття рішень; БО – блок опрацювання інформації; БПР – блок прийняття рішень; БУ – блок управління; ЛСУ – локальна система управління; ЛАУП – локальний автоматичний управляючий пристрій; ВЕ – виконавчі елементи; ОУ – об’єкт управління (патент № 86252 UA); Б – зовнішній вигляд ВМЕВ-1М

Рисунок 8 – Реалізація віртуальної міри енергоефективності водоочищення

На етапі аналізу якості очищення стоків реальних підприємств і модельних розчинів із застосуванням ВМЕВ виникла *гіпотеза щодо того, що для видалення одних забруднювачів необхідно спочатку усунути інші забруднювачі, які критично зменшують ефект видалення перших*. З огляду на результати досліджень зроблено висновок, що для удосконалення використання нормативних документів, наприклад, ДБН В.2.5-75:2013, раціонально запропонувати використання *методу домінуючого динамічного забруднювача (ДДЗ)*.

Тобто, ДДЗ – забруднювач багатокомпонентних стічних вод, який у даний момент часу за фактичного складу стоків необхідно першочергово видалити: встановивши із використанням ВМЕВ ДДЗ; визначивши, із використанням методу перехресних впливів, техніко-економічні режими його усунення; оцінивши наявність наступного ДДЗ та видаливши його; ітераційно повторюючи такі кроки до забезпечення нормативних вимог щодо якості стоків. У разі використання комбінованих систем водоочищення стоків м’ясопереробних підприємств (ДДЗ – жири), експериментально розраховано, що в результаті видалення такого ДДЗ, зменшуються мінімум на 50–95 %

концентрації інших забруднювачів (залежно від їх початкових концентрацій).

Прийнявши за функцію багатьох змінних обґрунтований критерій (2), сформульовано задачу мінімізації:

$$F(L, W) = \min \left(\frac{\left[\left(\frac{L1_{вих} - ГДК1}{ГДК1} \cdot 100 \% \right) + \dots + \left(\frac{LN_{вих} - ГДКН}{ГДКН_{зад}} \cdot 100 \% \right) \right] \cdot \sum_{i=1}^N Q_i}{\sum_{i=1}^N W_i} \right), \%/кВт, (15)$$

На підставі оптимізаційного методу покоординатного спуску (15) оцінюється кількість ітерацій досягнення умови зупинки чисельної оптимізації – із використанням ВМЕВ (формування статистики вимірювання параметрів промислового водоочищення: усі значення показників забруднення приймаються середніми, лише один задається максимально можливим, що встановлюється на основі об'єктно-орієнтованої оцінки водоскиду підприємства; затрати енергії поступово збільшуються до моменту виконання умов нормативних документів щодо якості стоків).

У якості ДДЗ приймається показник у якого найбільша кількість ітераційних спроб – із ранжуванням інших забруднювачів ґрунтуючись на такому же методичному підході. З огляду на те, що разом із видаленням ДДЗ видаляються супутні забруднювачі, розроблено методику зменшення кількості вимірювальних каналів технологій водоочищення, що дозволило збільшити ступінь агрегування систем видалення забруднювачів зі стоків (табл. 3).

Таблиця 3 – Ранжир ДДЗ для промислових підприємств (на основі створених у рамках досліджень водних технологічних паспортів)

Промислове підприємство	Ранжир ДДЗ	Підвищення ступеня агрегування обладнання водоочищення за рахунок методу ДДЗ (за ключовими забруднювачами, які контролюються на підприємствах)
Виробництва побутової хімії	1. СПАР 2. Сухий залишок	біля 50 %
М'ясопереробне підприємство	1. Азот амонійний 2. Завислі частинки 3. Хлориди	біля 25 %
Деревопереробне підприємство	1. Формальдегід 2. Азот амонійний	біля 25 %
Підприємство малої металургії	1. СПАР 2. Свинець	біля 25 %

Примітка: Підвищення ступеня агрегування обладнання водоочищення завдяки методу ДДЗ за іншими забруднювача із переліку Наказу № 316 Мінрегіонрозвитку та ЖКГ сягатиме порядку 75–85 % – відповідно, на стільки ж зменшується кількість показників якості стоків, які потрібно контролювати, у тому числі в РРЧ.

Результатом застосування методу ДДЗ та підходів нечітких нейронних мереж (відносна похибка генерації функцій приналежності термів – менше 2 %) для отримання нових еколого-технологічних знань щодо удосконалення регулювання процесів водоочищення на досліджуваних підприємствах стали (рис. 9): функції приналежності, які структурують значення забруднювачів під час визначення залежності ранжиру ДДЗ від їхніх значень; бази знань формування у режимі реального часу ранжування ДДЗ.

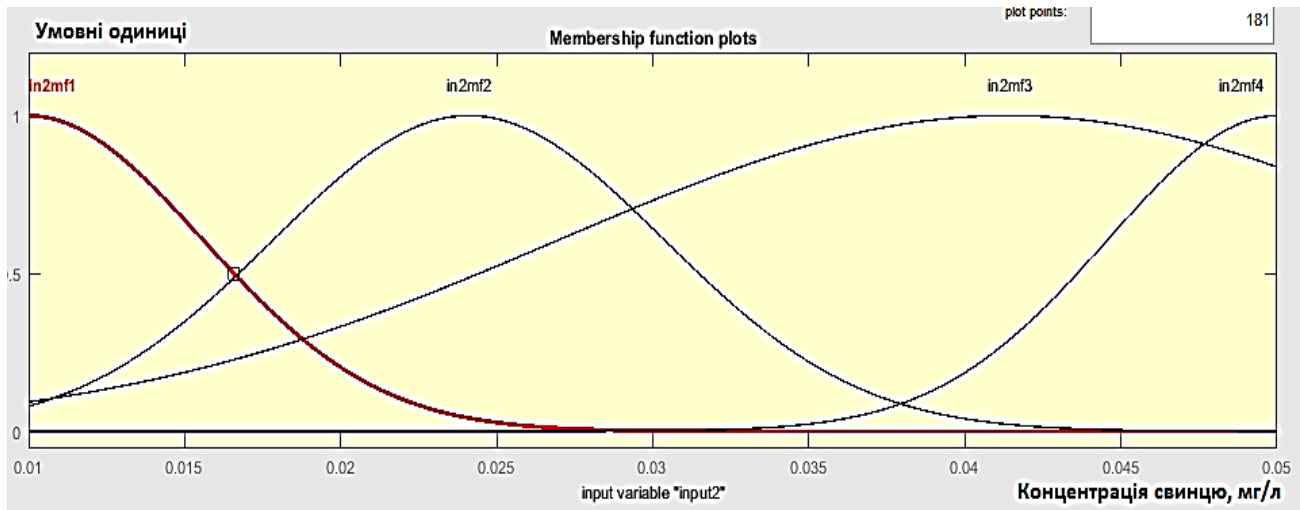


Рисунок 9 – Технологічна інформація щодо удосконалення екологічного регулювання процесами водоочищення згідно з методом ДДЗ на підприємстві малої металургії: функції приналежності забруднювача «концентрація в стічних водах свинцю» за визначення ранжиру домінуючих динамічних забруднювачів очищення стічних вод

Тоді сформувавши набори адекватних даних впливу незалежного чинника X_i (домінуючий динамічний забруднювач) на вихід моделі Y_i (еколого-енергетична ефективність), за допомогою використання пакету прикладних програм «Matlab» встановлено вид математичної моделі, яку доцільно застосовувати для коригування значень отриманих із використанням залежностей, наведених у нормативних документах, наприклад, ДБН В.2.5-75:2013), та розрахунку похибки ідентифікації (на прикладі м'ясопереробного підприємства, де похибки ідентифікації $SSE = 0,0044$, $R^2 = 0,985$):

$$Y = -0,000001045 \cdot e^{0,1773 \cdot X} + 0,03325 \cdot e^{-0,0986 \cdot X}. \quad (16)$$

Такий підхід підтримує використання ВМЕВ у режимі реального часу, де пропонується попереднє опрацювання стоків у віртуальній мірі з коригуванням, за результатами її функціонування, режимів застосування системи водоочищення як на етапі проектування, так і за штатного функціонування та можливістю підтримки валідації систем очищення стічних вод (рис. 10) з мінімізацією техногенного навантаження на довкілля.

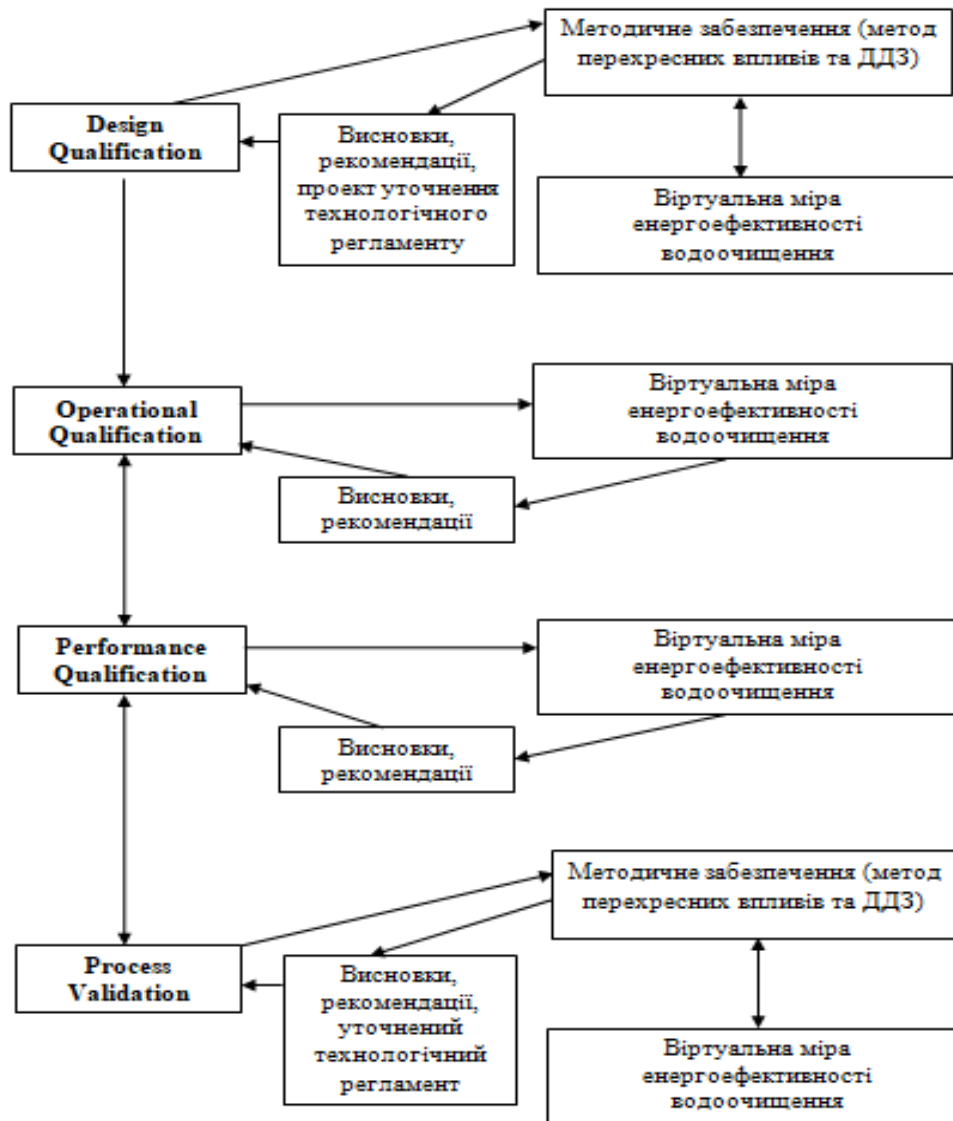


Рисунок 10 – Використання параметрів ЕЕЕ водоочищення (на основі методів перехресних впливів різних способів водоочищення, ДДЗ і функціонування ВМЕВ) для проведення валідації відповідних технічних систем

У четвертому розділі «*Опрацювання та екологічно безпечне використання еколого-енергетичної інформації промислового водоочищення з урахуванням дії надзвичайних ситуацій*» обґрунтовано, розроблено та перевірено на адекватність методи створення інформаційно-функціональних моделей опрацювання та екологічно безпечного використання еколого-енергетичної інформації систем водоочищення.

На основі результатів попередніх досліджень методів опрацювання техніко-економічної інформації комбінованого промислового очищення стічних вод, у матрицю взаємовпливу нечіткої когнітивної карти (НКК) включено такі елементи:

1. *Проміжні концепти*: Е1 – технічне й технологічне оснащення установок водоочищення; Е2 – ступінь використання обладнання; Е3 – управління виробництвом.

2. *Вхідні дії* (показники якості води вибрано на основі промислових досліджень): X1 – ціни енергоносіїв; X2 – витрати води; X3 – рН вхідної води; X4 – концентрація завислих частинок у вхідній воді; X5 – концентрація нітратів у вхідній воді; X6 – концентрація фосфатів у вхідній воді; X7 – БСК₅ вхідної води; X8 – концентрація СПАР у вхідній воді; X9 – температура вхідної води; X10 – рН вихідної води; X11 – концентрація завислих частинок у вихідній воді; X12 – концентрація нітратів у вихідній воді; X13 – концентрація фосфатів у вихідній воді; X14 – БСК₅ вихідної води; X15 – концентрація СПАР у вихідній воді.

3. *Вихідні дії*: Y1 – фінансові витрати; Y2 – критерій еколого-енергетичної ефективності.

Інформаційно-функціональну модель представлено у вигляді відповідного орграфа (нечіткої когнітивної карти), яка приведена на рисунку 11 й ілюструє множинні зв'язки й характер взаємодії чинників. Концепт ЕЕЕ (Y2) є інтегральним показником, що об'єднує екологічну безпеку і витрати енергії на водоочищення.

На основі синтезованої нейромережі типу радіально-базисної функції, згідно з архітектурою НКК, отримали значення коефіцієнтів, що встановлюються від даних ІВС. Під час розрахунку значень коефіцієнтів НКК таблиця експериментальних досліджень розширюється експертними оцінками, тим часом кожен з експертів давав три варіанти значення вагових коефіцієнтів (розширення експертної області). Для групування експертних оцінок (кластеризації) і визначення єдиних значень використано самоорганізаційні карти Кохонена. Задачу роботи в режимі реального часу вирішено шляхом застосування Байєсівських мереж (ймовірнісні нейронні мережі (PNN), які оцінюють ймовірність приналежності набору даних до встановленого кластеру.

Отримані значення вагових коефіцієнтів НКК (експертні оцінки в умовних одиницях): (E1 – Y1) – -0,77, (E1 – Y2) – 0,79, (E2 – Y1) – -0,78, (E2 – Y2) – 0,8, (E3 – Y1) – -0,89, (E3 – Y2) – -0,9 (рис. 12).

Реалізація імітаційних моделювань у пакеті MatLAB продемонструвала, що максимальна відносна похибка еколого-технологічно прийнятна – 4,12 %. Згідно з критерієм Колмогорова (Колмогорова-Смірнова) встановлено, що для вибірок даних неможливо застосувати параметричні підходи: вибрано результати роботи моделюючого комплексу промислового водоочищення за параметром якості води «Концентрація нітратів», де встановлено, що значущість результатів менше 5 % (фактично 0,5 %). Також статистична оцінка даних водних паспортів досліджуваних підприємств показала, що не всі отримані вибірки значень забруднювачів відповідають вимогам нормальності закону розподілу випадкових величин (порядку 20 % не відповідають), водночас згідно з положеннями ISO 16269-4-2017 встановлено відсутність викидів в отриманій на підприємствах інформації.

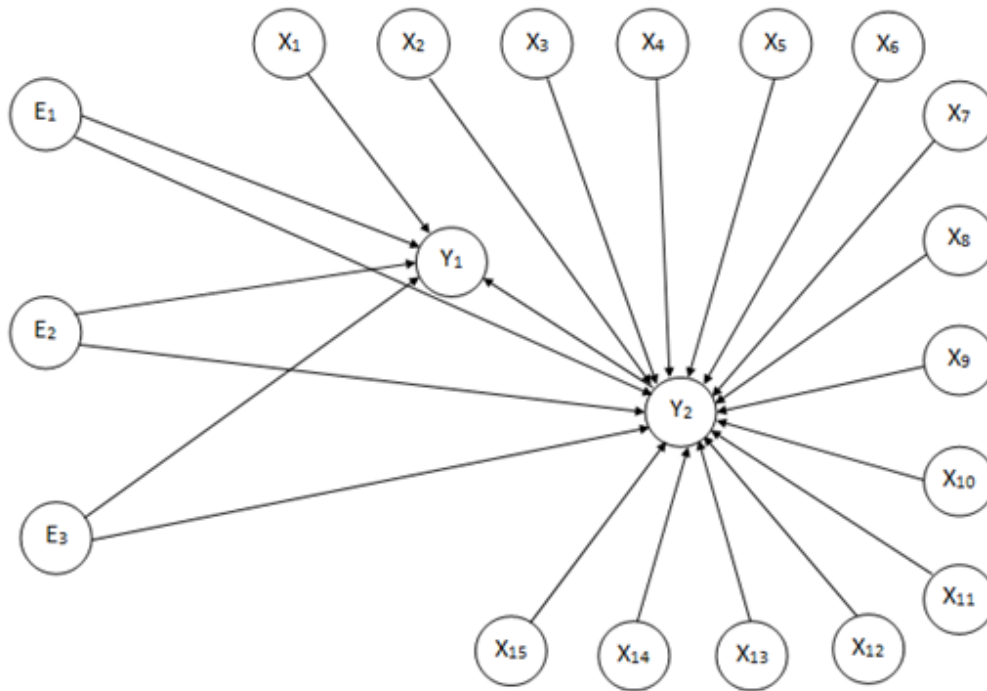


Рисунок 11 – Інформаційно-функціональна модель комбінованої системи водоочищення у вигляді нечіткої когнітивної карти

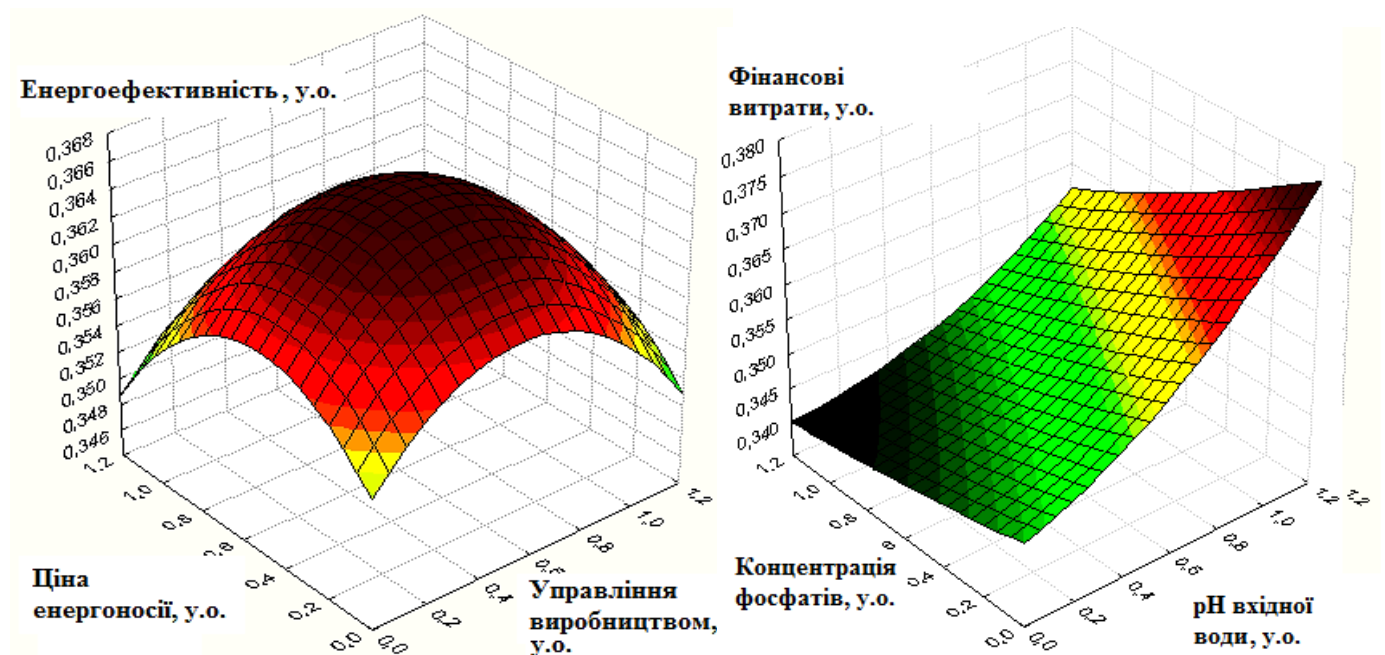


Рисунок 12 – Залежності вихідних концептів («Енергоефективність» і «Фінансові витрати») від проміжних і вхідних концептів (результати функціонування оптимізованої з використанням мурашиного алгоритму неймережі)

Застосувавши непараметричні підходи та проаналізувавши результати тесту Манна-Уїтні для всіх пар вибірок імітаційного моделювання (статистика

Джонкхіера (U) та ймовірність прийняття гіпотези H_0 (p) і розподіл вибірок енергоефективності різних реакцій) прийшли до висновку: гіпотеза H_0 приймається (найменші значення $U = 46,5$, а $p = 0,790953$): усі набори даних однорідні – результати роботи інтелектуальної інформаційно-функціональної моделі прийнятні і, відповідно, модель можна використовувати на промислових об'єктах, наприклад, у якості системи підтримки прийняття рішень (патент № 95200 UA).

На основі результатів моделювання розроблено структуру промислового об'єктно-орієнтованого використання ВМЕВ із урахуванням ризиків виникнення надзвичайних ситуацій та підвищенням ресурсощадності (рис. 13).



Рисунок 13 – Структурна модель отримання, опрацювання та екологічно безпечного використання техніко-економічної інформації з вимірюванням еколого-енергетичних параметрів у промислових умовах із застосуванням ВМЕВ

З огляду на підтвержену адекватність створених моделей та базуючись на використанні методів нечітких нейронних мереж (згідно з оптимізаційною методикою зворотного розповсюдження похибки), синтезовано функції приналежності вхідних параметрів (концентрацій: нітратів, фосфатів, завислих частинок, СПАР; значень: БСК₅, рН, витрат стоків) видалення забруднювачів зі стоків щодо ЕЕЕ режимів водоочищення (відносна похибка генерації функцій приналежності термів – 1,44%), яку рекомендується використовувати під час технічного регулювання функціонування відповідного комбінованого

обладнання на промислових об'єкта, включаючи, підприємства м'ясопереробки, деревопереробки, виробництва побутової хімії та малої металургії. Водночас для всіх вказаних вхідних параметрів використано терми: «Незначний вплив на енергоефективність», «Середній вплив на енергоефективність», «Значний вплив на енергоефективність» (приклад наведено на рисунку 14).

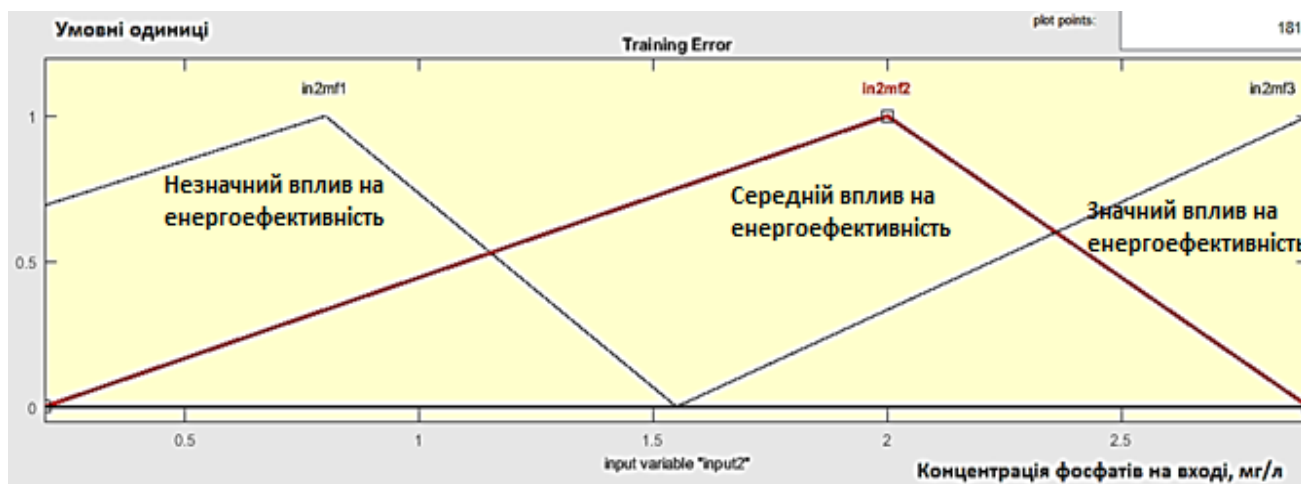


Рисунок 14 – Функція приналежності та терми параметрів очищення стічних вод промислових підприємства для забруднювача стоків «Фосфати»

У п'ятому розділі «*Використання удосконалених науково-теоретичних засад технологій промислового водоочищення для управління їхньою екологічною безпекою з урахуванням дії надзвичайних ситуацій*» розроблено архітектуру системи збирання, опрацювання та екологічно безпечного використання еколого-енергетичної інформації; розроблено методіку інвестиційно-фінансового обґрунтування виробничого впровадження водоочищення, проведено виробничі апробації створених НТЗ; синтезовано підхід щодо раціонального поводження із водними ресурсами згідно з міжнародними екологічними вимогами.

На основі застосування індексу рентабельності та коефіцієнта використання природних ресурсів статистично оцінено інвестиційно-фінансові передумови монтажу засобів водоочищення (під час імітаційного моделювання схеми оборотного водопостачання індекс рентабельності підвищився на 5–11 %) та удосконалено класичні критерії оцінки економічних показників, де у фінансові викладки додано ЕЕЕ (2):

$$\begin{cases} EF_y \rightarrow 0 \\ \text{ІндексРентабельності} \rightarrow \max \end{cases} \quad (17)$$

Виробнича апробація розроблених науково-теоретичних засад на основі отримання та опрацювання техніко-економічної інформації відбулася на підприємствах малої металургії та м'ясопереробки, використовуючи

технологічний комплекс згідно з патентом № 120530 UA. Досягнуті значення критерію (2) були в технологічно прийнятних межах: на підприємстві м'ясопереробки відхилення від нуля становили $\pm 9,6\%$, малої металургії – $\pm 3,4\%$.

Водночас, зважаючи на результати тесту Манна-Уїтні для пар вибірок результатів виробничого впровадження та інформаційно-функціонального моделювання, робимо висновки, що гіпотеза H_0 приймається (найменші значення $U = 46$, а $p = 0,923$): набори даних оцінки параметрів ЕЕЕ водоочищення однорідні – *концепція удосконалення управління екологічною безпекою технологій промислового водоочищення на основі їхньої еколого-енергетичної ефективності з урахуванням ризиків виникнення надзвичайних ситуацій виробничо прийнятна.*

Водночас оцінка антропогенного навантаження на досліджуваних промислових об'єктах, де впроваджувались створені НТЗ управління екологічною безпекою технологій водоочищення, виконувалася за відповідним індикатором:

- $P_{св} < 1,0$ – стан «без ризику»;
- $1,0 < P_{св} < 1,5$ – стан «можливо під ризиком»;
- $P_{св} > 1,5$ – стан «під ризиком».

З урахуванням якості функціонування очисних споруд встановлено, що водойми, куди здійснюють скид такі об'єкти перебувають у стані «під ризиком» (для підприємства м'ясопереробки максимальні значення індикатора – $73,8 \text{ м}^3/\text{с}$, малої металургії – $16,3 \text{ м}^3/\text{с}$).

Коригування режимів обладнання водоочищення згідно із завданням зменшення такого тиску (покращення еколого-енергетичної ефективності технологічних систем видалення забруднювачів із стоків) дозволило значно зменшити негативний вплив на водні об'єкти, що засвідчили покращення усереднених значень індикаторів антропогенного навантаження досліджуваних підприємств: м'ясопереробка – до $2,7 \text{ м}^3/\text{с}$, мала металургія – до $1,1 \text{ м}^3/\text{с}$. На етапі впровадження систем водоочищення не вдалось гарантовано досягнути стану «без ризику» через необхідність більш значних фінансових затрат промислових об'єктів на удосконалення технологічних схем видалення забруднювачів із стоків.

Разом із тим, виробничими дослідження підтверджено, що створені методи удосконалення науково-технічних засад управління екологічною безпекою технологій водоочищення підтримують реалізацію систем екологічного менеджменту, у тому числі і у режимі реального часу, а це і є метою розроблення технологічного регламенту, що є ефективним управлінським механізмом для виконання вимог міжнародних систем менеджменту якості (ISO 9001 «Системи менеджменту якості», ISO 14001 «Системи екологічного менеджменту», ISO 50001 «Системи енергетичного менеджменту», ISO 31000 «Менеджмент ризиків») (рис. 15).

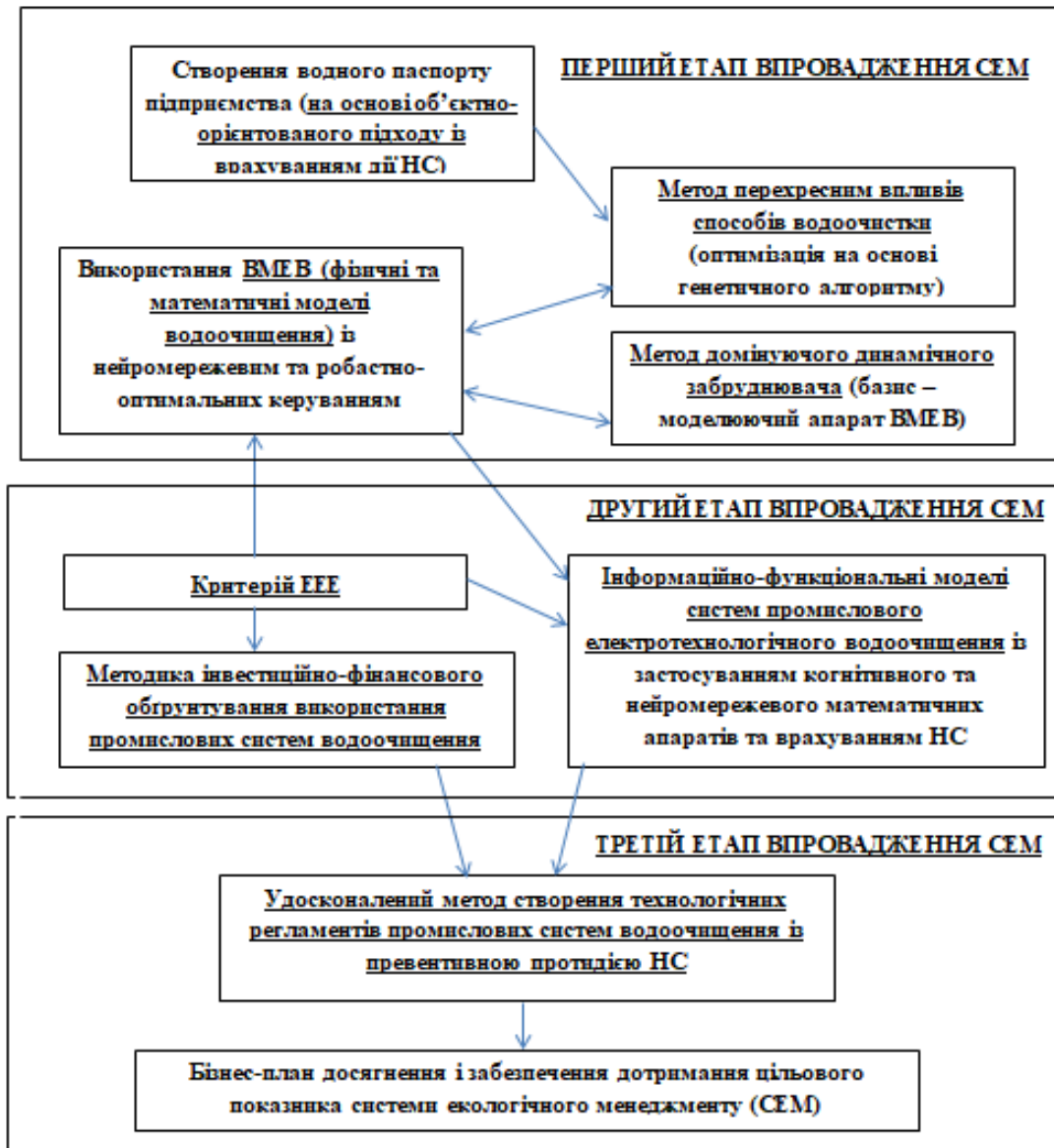


Рисунок 15 – Структура об'єктно-орієнтованого впровадження ISO 14001 «Системи екологічного менеджменту» на основі удосконалених науково-теоретичних засад управління екологічною безпекою технологій промислового водоочищення (ТЕІ – техніко-економічна інформація)

У додатках до дисертаційної роботи наведено акти випробувань та впроваджень результатів роботи на різногалузевих об'єктах.

Висновки

У дисертаційній роботі вирішена науково-прикладна проблема, яка полягає в розробленні методів удосконалення науково-теоретичних засад управління екологічною безпекою технологій промислового водоочищення зі зменшенням ризиків виникнення надзвичайних ситуацій та врахуванням вимог енергоефективності, що сприятиме дотриманню нормативів шкідливих впливів на довкілля.

Це дозволило сформувані такі висновки.

1. На основі аналізу нормативної бази та способів промислового водоочищення встановлено, що, навіть, з огляду на відносну відпрацьованість технологій, є чинники, які спричиняють або неякісне видалення забруднювачів, або перевитрати ресурсів, комплексно створюючи передумови щодо неефективності управління екологічною безпекою промислового водоочищення: некеровані та непередбачувані дії надзвичайних ситуацій природного та техногенного характеру; відсутність у режимі реального часу повноти інформації щодо конкретного комбінованого процесу водоочищення, складність його адекватного дослідження, навіть, у лабораторних умовах; відсутність і/або низькі точність та швидкодія сучасних технічних засобів вимірювань складу водних розчинів, особливо в промислових умовах.

2. Розроблення й оцінка моделей вимірювання еколого-енергетичних параметрів та збирання, опрацювання техніко-економічної інформації й екологічно безпечного використання промислового очищення стічних вод дозволили: на основі об'єктно-орієнтованого підходу забезпечити створення концептуальної моделі збирання такої інформації на промислових об'єктах; обґрунтувати й розробити віртуальну міру енергоефективності водоочищення як програмно-апаратний засіб встановлення енергетичних витрат на видалення забруднювачів; створити еколого-енергетичний критерій ефективності, який показує питомі енергозатрати для забезпечення технічної ефективності водоочищення, що інтегруються зі створеними залежностями оцінки ризиків виникнення надзвичайних ситуацій та результатами досліджень отриманими у ВМЕВ; удосконалити методики розроблення технологічних регламентів систем очищення стічних вод, що дозволить враховувати дію надзвичайних ситуацій, комплексно встановивши вимоги щодо еколого-енергетичної та інвестиційно-фінансової складових водоочисних установок, врахувавши наявність «сірої» зони небезпечних виробництв.

3. Шляхом моделювання комбінованих систем водоочищення та оптимізації їхніх режимів виявлено потенційні можливості розширення меж управління екологічною безпекою такого обладнання завдяки перехресній дії різних способів на одні і ті ж забруднювачі (розширення меж ефективного використання комбінованих технологій видалення забруднювачів із стоків становить 5–40 %), які дозволяють створювати системи очищення промислових стічних вод із покращенням можливості протидії надзвичайним ситуаціям; отримано статистичні дані попарних перехресних впливів рекомендованих нормативними документами способів видалення забруднювачів для використання під час технічного регулювання відповідних систем за критерієм мінімізації техногенного навантаження на довкілля.

4. Застосування віртуальної міри енергоефективності водоочищення дозволило реалізувати об'єктно-орієнтований підхід створення систем промислового водоочищення із виконанням вимог щодо управління екологічною безпекою та врахування потенційної дії надзвичайних ситуацій; під час її обґрунтування, розроблення та дослідження встановлено: у результаті

використання комбінованих систем водоочищення забезпечується дотримання ГДК за ключовими забруднювачами стоків досліджуваних об'єктів, однак, внаслідок різної природи забруднювачів, для цього затрачено різну кількість електроенергії (у перерахунку на весь об'єм стоків об'єктів): м'ясопереробка – до 400 кВт/добу, деревопереробка – до 76 кВт/добу, мала металургія – до 85 кВт/добу, виробництво продуктів побутової хімії – до 26 кВт/добу.

5. Обґрунтовано, досліджено, створено базу знань та аналітичні залежності удосконалення управління екологічною безпекою технологій промислових систем водоочищення на основі використання методу домінуючого динамічного забруднювача. Такий підхід підтверджено дослідженнями: у разі застосування комбінованих систем водоочищення стоків м'ясопереробних підприємств, де експериментально встановлено: у результаті видалення ДДЗ, зменшуються на 50–95 % концентрації інших забруднювачів; проведення очищення не з її орієнтуванням на першочергове усунення ДДЗ, а на дію на інші забруднювачі, продемонстрували значне погіршення (на 30–90 %) еколого-енергетичного критерію роботи обладнання; у разі застосування методу ДДЗ, завдяки супутньому видаленню інших забруднювачів, зменшується кількість показників якості, які необхідно вимірювати (для м'ясопереробного підприємства мінімум у 3 рази).

6. На основі інформаційно-функціонального моделювання опрацювання та екологічно безпечного використання техніко-економічної інформації водоочищення на промислових об'єктах створено метод підвищення еколого-енергетичної ефективності промислового водоочищення із врахуванням дії надзвичайних ситуацій (за імітаційного моделювання відносна похибка реакції системи за виходу на задане значення якості видалення забруднювачів становила 3–5 %; встановлено відповідність запропонованого підходу вимогам адекватності, стійкості та чутливості).

7. Комплексне використання удосконалених науково-теоретичних засад управління екологічною безпекою технологій промислового водоочищення дозволило: покращити інвестиційно-фінансові характеристики виробництв, що підтверджено на основі застосування методики комплексної оцінки індексу рентабельності та еколого-енергетичного критерію (під час моделювання схеми оборотного водопостачання індекс рентабельності підвищився на 5–11 %); забезпечити еколого-енергетичну ефективність комбінованих систем видалення із водних розчинів забруднювачів (виробничо встановлено таку якість функціонування водоочисного обладнання: м'ясопереробне підприємство – відхилення еколого-енергетичного критерію від заданого значення $\pm 9,6$ %; мала металургія – $\pm 3,4$ %); у десятки разів зменшити антропогенне навантаження (у порівнянні із системами без керування процесами видалення забруднювачів); виконання діючих нормативних документів України щодо відведення промислових стоків, створюючи об'єктивні передумови для дотримання підприємствами вимог стандартів ISO 9001 «Системи менеджменту якості», ISO 14001 «Системи екологічного менеджменту», ISO 50001 «Системи енергетичного менеджменту», ISO 31000 «Менеджмент ризиків».

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації

Монографії

1. Лисенко В. П., Решетюк В. М., **Штепа В. М.**, Заєць Н. А., Мірошник В. О., Дудник А. О. Системи штучного інтелекту: нечітка логіка, нейронні мережі, нечіткі нейронні мережі, генетичний алгоритм. К.: НУБіП України, 2014. 335 с.

Здобувач розробив концепцію практичного використання систем штучного інтелекту при вирішенні практичних задач.

2. Chochowski A., Chernyshenko I., Kozyrskyi V., Kyshenko V., Ladaniuk A., Lysenko V., Reshetiuk V., Smitiukh I., **Shtepa V.**, Shcherbatiuk V. Innovative energy-saving technologies in biotechnological objects control : monograph. Warsaw University of Life Sciences (WULS – SGGW), National University of Food Technologies, National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine. – Київ: Tsentr Uchbovoii Literatury, 2014. 240 p.

Здобувач обґрунтував та реалізував використання нейронних мереж для управління багатопараметричними біотехнологічними процесами.

Статті у фахових наукових виданнях із переліку МОН України

3. Гончаров Ф. І., **Штепа В. М.** Динаміка утворення та осадження завислих у воді речовин внаслідок дії змінного манометричного тиску. *Вісник Житомирського національного агроекологічного університету: науково-теоретичний збірник*. 2009. № 2 (25). С. 42–48.

Здобувач виконав на основі методів математичної статистики перевірку достовірності отриманих експериментальних залежностей осадження завислих частинок.

4. Гончаров Ф. І., **Штепа В. М.** Дослідження впливу вакууметричного тиску на завислі у воді частинки. *Наукові праці Національного університету харчових технологій: науковий журнал*. 2009. № 32. С. 69–71.

Здобувач розробив структуру вимірювального комплексу встановлення впливу вакууметричного тиску на завислі частинки.

5. Гончаров Ф. І., **Штепа В. М.** Система контролю якості водопостачання. *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. П. Василенка: збірник наукових праць. Серія: Сучасні напрямки технології та механізації процесів переробних і харчових виробництв*. 2009. Вип. 88. С. 267–274.

Здобувач обґрунтував методику вимірювання якості водопостачання.

6. Гончаров Ф. І., **Штепа В. М.** Безпека водопостачання в умовах надзвичайних ситуацій природного походження. *Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: Техніка та енергетика АПК*. 2010. № 145. С. 309–314.

Здобувач розробив структуру застосування технічних засобів водоочищення в умовах дії надзвичайних ситуацій.

7. Гончаров Ф. І., Штепа В. М. Електрохімічні засоби захисту водних джерел від небезпечних речовин в умовах дії надзвичайних ситуацій *Вісник Національного технічного університету "ХПІ": збірник наукових праць. Серія: Хімія, хімічна технологія та екологія.* 2010. № 22. С. 55–60.

Здобувач обґрунтував склад технологічних елементів захисту водних джерел від небезпечних речовин.

8. Гончаров Ф. І., Штепа В. М., Очколяс Е. Н. Обоснование схемы переработки органических веществ. *Вісник Харківського національного автомобільно-дорожнього університету: збірник наукових праць.* 2010. Вип. 48. С. 166–169.

Здобувач створив методику використання біореакторів для переробки органічних речовин.

9. Гончаров Ф. І., Штепа В. М. Обґрунтування, розроблення та техніко-економічні характеристики універсального багатокамерного біогенератора. *Вісник Сумського державного університету. Серія «Технічні науки».* 2010. № 3. С. 172–176

Здобувач обґрунтував застосування технологічної схеми очищення стоків на виході біогенераторного блоку.

10. Гончаров Ф. І., Штепа В. М. Ймовірнісні аспекти забезпечення якісної води в системах водокористування в умовах дії надзвичайних ситуацій. *Вісник Харківського національного автомобільно-дорожнього університету: збірник наукових праць.* 2011. Вип. 52. С. 138–142.

Здобувач провів ймовірнісну оцінку дії надзвичайних ситуацій на системи водокористування.

11. Штепа В. М., Гончаров Ф. І., Сироватка М. А. Обґрунтування та розробка критерію енергоефективності функціонування електротехнологічних систем водопідготовки. *Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України: збірник наукових праць. Серія: Техніка та енергетика АПК.* 2011. № 161. С. 187–193.

Здобувач обґрунтував критерій енергоефективності систем водопідготовки.

12. Гончаров Ф. І., Штепа В. М., Сироватка М. А. Схема використання електротехнологічних засобів ефективного знешкодження інфільтраційних стоків з місць накопичення побутово-виробничих відходів. *Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України: збірник наукових праць. Серія: Техніка та енергетика АПК.* 2011. № 166. С. 120–126.

Здобувач реалізував структурно-функціональне моделювання схеми знешкодження інфільтраційних стоків з місць накопичення побутово-виробничих відходів

13. Гончаров Ф. І., Штепа В. М. Методологія підвищення екологічної безпеки об'єктів агропромислового та харчової індустрій. *Техніко-технологічні*

аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства України : збірник наукових праць. 2012. Вип. 16 (30), кн. 2. С. 97–104.

Здобувач розробив схеми та алгоритми технологічних засобів підвищення екологічної безпеки

14. Винниченко М. Г., Решетюк В. М., **Штепа В. М.** Інформаційно-управляючі системи біотехнічними об'єктами з інтелектуальними підсистемами. *Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: Обчислювальна техніка та автоматизація.* 2013. № 3 (25). С. 190–197.

Здобувач розробив структурну схему інформаційно-управляючої системи біотехнічними об'єктами.

15. Ленков С. В., **Штепа В. М.**, Дудник А. О., Шворов С. А. Методичні засади застосування нейронних мереж у задачах прогнозування та керування. *Інформатика та математичні методи в моделюванні: науковий журнал.* 2013. Т.3, № 3. С. 233–239.

Здобувач розробив методичне забезпечення використання нейромереж при керуванні багатопараметричними об'єктами.

16. Штепа В. М. Обґрунтування архітектури системи управління комплексними методами очищення стічних вод промислових об'єктів. *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. П. Василенка. Технічні науки: збірник наукових праць. Серія: Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України.* 2014. Вип. 154. С. 48–50.

17. Штепа В. М. Оцінка енергетичних характеристик процесів очищення стічних вод агропромислових підприємств електротехнічними комплексами. *Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України: збірник наукових праць. Серія: Техніка та енергетика АПК.* 2014. № 194, ч. 3. С. 259–265.

18. Штепа В. Н. Використання самоорганізаційних карт Кохонена для синтезу систем керування водоочисним обладнанням. *Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України: збірник наукових праць. Серія: Техніка та енергетика АПК.* 2015. № 209, ч. 1. С. 206–211.

19. **Штепа В. Н.**, Янковский И. А. Этапы создания информационно-аналитических систем обеспечения регионального рационального водопользования. *Вісник Харківського національного автомобільно-дорожнього університету: збірник наукових праць.* 2015. № 70. С. 119–121.

Здобувач розробив концептуальну схему інформаційно-аналітичних систем оцінки природокористування.

20. Вертай С. П., **Штепа В. Н.** Обоснование структуры и заданий системы поддержки принятия решений обобщённой оценки перспективности инновационных технологий. *Науковий вісник Національного університету*

біоресурсів і природокористування України: збірник наукових праць. Серія: Техніка та енергетика АПК. 2016. № 240. С. 86–93.

Здобувач синтезував математичне забезпечення системи підтримки прийняття рішень оцінки інновацій.

21. Кузнецов А. А., Штепа В. Н., Кот Р. Є., Морголь А. В. Проектирование программного обеспечения систем автоматизации комбинированных установок водоочистки с применением нотаций UML. *Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України: збірник наукових праць. Серія: Техніка та енергетика АПК.* 2016. № 256. С. 46–54.

Здобувач розробив схему технічної основи метрологічного забезпечення систем водоочищення.

22. Штепа В. М., Каплун В. В. Метод побудови систем енергоефективного управління комбінованою електротехнологічною очисткою стічних вод різногалузевих промислових об'єктів. *Вісник Київського національного університету технологій та дизайну. Серія "Технічні науки".* 2017. № 2(108). С. 27–37.

Здобувач обґрунтував метод побудови систем управління електротехнологічним водоочищенням.

23. Штепа В. М. Концепція вдосконалення нормативної бази проектування систем водоочищення шляхом урахування дії нештатних ситуацій. *Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України: збірник наукових праць. Серія: Техніка та енергетика АПК.* 2017. № 268. С. 43–55.

24. Заєць Н. А., Штепа В. М. Систематизація електротехнологічних комплексів водоочищення харчових виробництв. *Енергетика і автоматика.* 2018. № 4. С. 49–62. URL: <http://journals.nubip.edu.ua/index.php/Energiya/article/view/11554>

Здобувач розробив критерії поєднання комплексів водоочищення згідно параметрів стоків.

25. Заєць Н. А., Штепа В. М. Використання когнітивного моделювання при управлінні біотехнологічними об'єктами харчових виробництв. *Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України: збірник наукових праць. Серія: Техніка та енергетика АПК.* 2018. № 283. С. 29–38.

Здобувач розробив методу корегування у режимі реального часу концептів когнітивної карти

26. Штепа В. М., Пляцук Л. Д. Використання методу домінуючого динамічного забруднювача для управління екологічною безпекою систем очищення промислових стоків. *Енергетика і автоматика.* 2019. № 6. С. 214 – 228. URL: <http://journals.nubip.edu.ua/index.php/Energiya/article/view/energiya2019.06.214>

Здобувач розробив методичне забезпечення використання методу домінуючого динамічного забруднювача для управління екологічною безпекою систем очищення стічних вод промислових об'єктів.

27. Zaiets N., Pavlov P., **Shtepa V.**, Elperin I., Hachkovska M. Development of a resource–process approach to increasing the efficiency of electrical equipment for food production. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2019. Vol 5. No 8(101). P. 59–65.

Здобувач сформулював концепцію виробничої апробації ресурсно-процесного математичного апарату.

28. **Штепа В. М.**, Пляцук Л. Д., Аблєєва І. Ю., Гурець Л. Л., Шерстюк М. М., Пономаренко Р. В. Обґрунтування еколого-енергетичного підходу до удосконалення технологічних регламентів систем водоочищення. *Технологічний аудит та резерви виробництва*. 2020. № 3(51). С. 3–19.

Здобувач обґрунтував методику використання критерію енергоефективності водоочищення для удосконалення технологічних регламентів систем видалення забруднювачів із стоків.

Статті в міжнародних фахових виданнях

29. Lysenko V., Golovinskyi B., Reshetiuk V., Shcherbatyuk V., **Shtepa V.** Energy-efficient modes for management of biotechnical objects based on natural disturbances prediction. *Annals of Warsaw University of Life Sciences – SGGWAgriculture*. 2015. № 65. P. 111–118.

Здобувач обґрунтував методику використання нейромереж для поліпшення техніко-економічних характеристик біотехнологій.

30. Штепа В. Н. Энергетические критерии производственного внедрения экологически безопасных технологий (канал управления – очистка сточных вод (водоподготовка)). *Инновации в сельском хозяйстве: теоретический и научно-практический журнал*. 2014. Выпуск № 4 (9). С. 167–171.

31. Штепа В. Н. Экспериментально-аналитические исследования комбинированных систем водоочищения. *Агропанорама: научно-технический журнал*. 2015. № 6(112) С. 31 – 37.

32. Пындак В. И., Новиков А. Е., **Штепа В. Н.**, Межевова А. С. Капиллярно-сорбционные эффекты в почве после чизелевания и внесения нетрадиционных удобрений-мелиорантов. *Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование: научный журнал*. 2016. № 3(43) С. 252–257.

Здобувач оцінив достовірність експериментальних досліджень сорбційних ефектів.

33. Штепа В. Н. Концептуальные основы энергоэффективной системы управления комбинированными системами водоочистки. *Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ. Энергетика: научно-технический журнал*. 2016. № 5. С. 479–487.

34. Штепа В. Н. Оптимизация функционирования нечетких когнитивных карт с использованием нейронных сетей (на примере управления процессами

водоочистки). *Вестник ГГТУ имени П. О. Сухого: научно-практический журнал*. 2016. № 4(67). С. 97–105.

35. **Штепа В. Н.**, Прокопеня О. Н., Кот Р. Е. Повышение качества водоочистки средствами автоматизации в условиях чрезвычайных ситуаций природного происхождения. *Вестник Брестского государственного технического университета. Серия: Водохозяйственное строительство, теплоэнергетика и геоэкология: научно-теоретический журнал*. 2016. № 2(98) С. 61–64.

Здобувач розробив елементи метрологічного забезпечення систем автоматизації водоочищення.

36. Пындак В. И., Новиков А. Е., **Штепа В. Н.** Оптимизация систем очистки органосодержащих сточных вод и обработки иловых осадков. *Проблемы машиностроения и надежности машин: научный журнал*. 2017. № 5. С. 103–107.

Здобувач провів математичну оптимізацію експериментальних досліджень очищення стічних вод.

37. **Штепа В. Н.**, Заец Н. А., Прокопеня О. Н., Луцкая Н. Н. Вероятностные нейронные сети в задачах управления комбинированными системами водоочистки. *Вестник Брестского государственного технического университета. Сер. Водохозяйственное строительство, теплоэнергетика и геоэкология: научно теоретический журнал*. 2018. № 2(110). С. 88–90.

Здобувач розробив концепцію використання ймовірних нейромереж при управлінні комбінованою водоочисткою.

38. Lutska N., Zaiets N., Vlasenko L., **Shtepa V.** Effective robust optimal control system for a lamellar pasteurization-cooling unit under the conditions of intense external perturbations. *Ukrainian Food Journal*. 2018. Vol. 7. Issue 3. P. 511–521.

Здобувач оцінив ефективність реалізації робастного регулятора при пастеризації.

Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:

39. Штепа В. Н. Концепция построения интеллектуальных систем управления биотехническими объектами с учётом влияния природных факторов. *Энергообеспечение и энергосбережение в сельском хозяйстве: труды 9-й международной научно-технической конференции, 21–22 мая 2014 года, г. Москва, ГНУ ВИЭСХ2014. Ч. 5: Инфокоммуникационные технологии и нанотехнологии*. С. 14–19.

40. Штепа В. Н. Обоснование методики использования нечётких сетей Петри при синтезе нейросетевых систем управления технологическими процессами (на примере комбинированных установок водоочистки). *Современные тенденции развития и перспективы внедрения инновационных технологий в машиностроении, образовании и экономике: материалы III Международной научно-практической конференции, Азов, 25 мая 2016 года. Азов: ООО "АзовПечать", 2016. С. 38–41.*

41. **Штепа В. Н.**, Кот Р. Е., Морголь А. В., Вертай С. П., Заец Н. А. Экологически безопасные полигоны бытовых и производственных отходов. *Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии: материалы международной научно-технической конференции*, Могилев, 27–28 апреля 2017 года. Могилев: Белорусско-Российский университет, 2017. С. 378–379.

42. **Штепа В. М.**, Заец Н. А. Практичний досвід використання автоматизованого водоочищення на основі систем безпечного водопостачання. *Перспективи майбутнього та реалії сьогодення в технологіях водопідготовки: матеріали II Міжнародної науково-практичної конференції*, 19–20 квітня 2018 року. Київ: НУХТ, 2018. С. 166–169.

43. **Штепа В. М.**, Вертай С. П., Заец Н. А. Методичне забезпечення автоматизованих систем водоочищення. *Виробництво & Мехатронні Системи 2018: матеріали II-й Міжнародної конференції*, Харків, 25–26 жовтня 2018 року. Харків, 2018. С. 38–41.

44. **Штепа В. Н.**, Заец Н. А. Метрологические характеристики автоматизированных измерительных комплексов рабочей меры эффективности электротехнологической водоочистки. *Современные проблемы машиноведения: материалы XII Международной научно-технической конференции (научные чтения, посвященные П. О. Сухому)*, Гомель, 22–23 ноября 2018 года. Гомель: ГГТУ им. П. О. Сухого, 2018. С. 154–156.

Наукові праці, які додатково відображають наукові результати дисертації

45. Пат. 98228 UA, МПК Е 02 В 11/00 (2012.01) Меліоративна система / Ф. І. Гончаров, **В. М. Штепа**; заявники і власники Ф. І. Гончаров, **В. М. Штепа**. – № а 2010 14441; заявл. 25.06.2011; опубл. 25.04.12, Бюл. № 8. 4 с.

Здобувач розробив концепцію використання насосного обладнання для зневоднення меліоративної системи.

46. Пат. 98867 UA, МПК А 01 С 3/00 (2012.01) Бродильна камера для біогазових установок / Ф. І. Гончаров, **В. М. Штепа**; заявники і власники Ф. І. Гончаров, **В. М. Штепа**. – № а20104860; заявл. 25.06.2012; опубл. 25.12.12, Бюл. № 12. 6 с.

Здобувач створив схему очищення стоків після біогенератора.

47. Пат. 95201 UA, МПК Е 03 В 7/00 (2014.01) Водопровідна насосна станція / В. О. Маркович, **В. М. Штепа**; заявники і власники В. О. Маркович, **В. М. Штепа**. – № u20147743; заявл. 10.12.2014; опубл. 10.12.14, Бюл. № 23. 4 с.

Здобувач створив концепцію технологічної схеми водопровідної насосної станції.

48. Пат. 108196 UA, МПК В 01 D 29/11, В 01 D 21/00, С 02 F 1/52 (2006.01) Фільтр / Ф. І. Гончаров, **В. М. Штепа**; заявники і власники Ф. І. Гончаров, **В. М. Штепа**. – № а20110583; заявл. 01.09.2011; опубл. 10.04.15, Бюл. № 7. 4 с.

Здобувач розробив схему використання фільтруючого елемента тонкого водоочищення.

49. Пат. 120530 UA, МПК 02F 9/06 (2006.01), F04D 15/00, F04D 13/06 (2006.01) Автоматична насосна станція / **В. М. Штепа**, Р. Є. Кот; заявники і

власники **В. М. Штепа**, Р. Є. Кот. – № u201703999; заявл. 24.04.2017; опубл. 10.11.2017, Бюл. № 21. 8 с.

Здобувач обґрунтував та реалізував схему автоматичної насосної станції.

50. Пат. на корисну модель 138978 UA, МПК G05 13/00 (2006.01) Система управління водоочищенням та водопідготовкою / **В. М. Штепа**; заявник **В. М. Штепа**, власник **В. М. Штепа**. – № u 201906421; заявл. 10.12.2019; опубл. 10.06.2019, Бюл. № 23. 4 с.

АНОТАЦІЯ

Штепа В. М. Науково-теоретичні засади екологічно безпечних технологій очищення промислових стічних вод. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 21.06.01 – екологічна безпека. Сумський державний університет, 2020. Спеціалізована вчена рада Д 55.051.04.

Дисертацію присвячено розв'язанню науково-прикладної проблеми в галузі екологічної безпеки, яка полягає в розробленні методів удосконалення науково-теоретичних засад управління екологічною безпекою технологій промислового водоочищення зі зменшенням ризиків виникнення надзвичайних ситуацій та врахуванням вимог енергоефективності, що сприятиме дотриманню нормативів шкідливих впливів на довкілля.

Науково-обґрунтовано методи удосконалення науково-теоретичних засад управління екологічною безпекою технологій промислового водоочищення, що забезпечує зменшення ризиків виникнення надзвичайних ситуацій, із урахуванням вимог енергоефективності та сприятиме додержанню нормативів шкідливих впливів на довкілля.

Розроблено метод управління екологічною безпекою технологій водоочищення, оснований на встановленні та застосуванні ефекту перехресного накладання дії різних способів на одні й ті ж самі забруднювачі, який відрізняється можливістю врахування ризиків виникнення надзвичайних ситуацій та агрегування обладнання систем видалення забруднювачів зі стоків.

Обґрунтовано та розроблено метод управління екологічною безпекою водоочищення на основі домінуючого динамічного забруднювача, що ґрунтується на встановленні за параметрами еколого-енергетичної ефективності забруднювача, який найскладніше усувається, та відрізняється конфігуруванням структури технологій водоочищення на основі комплексного видалення інших забруднювачів разом із домінуючим та обґрунтуванням зменшення кількості контрольованих у режимі реального часу показників якості стоків.

Розроблено метод опрацювання та екологічно безпечного використання параметрів технологій промислового водоочищення на основі налаштувань у режимі реального часу нечітких когнітивних та нейромережевих моделей, який відрізняється можливістю поліпшення еколого-економічних показників виробництв із урахуванням ризиків виникнення надзвичайних ситуацій.

Удосконалено моделі вимірювання та опрацювання еколого-енергетичних параметрів видалення забруднювачів шляхом комплексного врахування взаємовпливів способів та прийомів їхнього усунення, що лягло в основу створення віртуальної міри енергоефективності водоочищення, яка забезпечує відтворення, опрацювання та збереження значень екологічно безпечних параметрів систем очищення стоків на етапах проектування і під час експлуатації у режимі реального часу на виробничих об'єктах.

Отримали подальший розвиток методи побудови систем збирання, опрацювання і використання техніко-економічної інформації для управління екологічною безпекою очищення промислових стічних вод із використанням еколого-енергетичних параметрів, які відрізняється можливістю реалізації ресурсозберігаючого функціонування виробництв під час виконання вимог стандартів серії ISO 14000 «Системи екологічного менеджменту».

Ключові слова: екологічна безпека, техногенне навантаження, нормативна база, промислові стічні води, надзвичайна ситуація, технології водоочищення, еколого-енергетична ефективність, технологічний регламент.

АННОТАЦІЯ

Штепа В. Н. Научно-теоретические основы экологически безопасных технологий очистки промышленных сточных вод. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 21.06.01 – экологическая безопасность. Сумской государственный университет, 2020. Специализированный ученый совет Д 55.051.04.

Диссертация посвящена решению научно-прикладной проблемы в области экологической безопасности, которая заключается в разработке методов совершенствования научно-теоретических основ управления экологической безопасностью технологий промышленной водоочистки с уменьшением риска возникновения чрезвычайных ситуаций и учетом требований энергоэффективности, что будет способствовать соблюдению нормативов вредных воздействий на окружающую среду.

Научно-обоснованно методы совершенствования научно-теоретических основ управления экологической безопасностью технологий промышленной водоочистки, что обеспечивает уменьшение рисков возникновения чрезвычайных ситуаций, с учетом требований энергоэффективности и способствовать соблюдению нормативов вредных воздействий на окружающую среду.

Разработан метод управления экологической безопасностью технологий водоочистки, основанный на установлении и применении эффекта перекрестного наложения действия различных способов на одни и те же загрязнители, который отличается возможностью учета рисков возникновения чрезвычайных ситуаций и агрегирования оборудования систем удаления загрязнителей из стоков.

Обоснован и разработан метод управления экологической безопасностью водоочистки на основе доминирующего динамического загрязнителя, основанной на установлении по параметрам эколого-энергетической эффективности загрязнителя, который сложнее устраняется, и отличается конфигурированием структуры технологий водоочистки на основе комплексного удаления других загрязнителей вместе с доминирующим и обоснованием уменьшения количества контролируемых в режиме реального времени показателей качества стоков.

Разработан метод обработки и экологически безопасного использования параметров технологий промышленной водоочистки на основе настроек в режиме реального времени нечетких когнитивных и нейросетевых моделей, который отличается возможностью улучшения эколого-экономических показателей производств с учетом рисков возникновения чрезвычайных ситуаций.

Усовершенствованы модели измерения и обработки эколого-энергетических параметров удаления загрязнителей путем комплексного учета взаимовлияния способов и приемов их устранения, легло в основу создания виртуальной меры энергоэффективности водоочистки, которая обеспечивает воспроизведение, обработку и сохранение значений экологически безопасных параметров систем очистки стоков на этапах проектирования и эксплуатации в режиме реального времени на производственных объектах.

Получили дальнейшее развитие методы построения систем сбора, обработки и использования технико-экономической информации для управления экологической безопасностью очистки промышленных сточных вод с использованием эколого-энергетических параметров, которые отличаются возможностью реализации ресурсосберегающего функционирования производств при выполнении требований стандартов серии ISO 14000 «Системы экологического менеджмента».

Ключевые слова: экологическая безопасность, техногенная нагрузка, нормативная база, промышленные сточные воды, чрезвычайная ситуация, технологии водоочистки, эколого-энергетическая эффективность, технологический регламент.

ABSTRACT

Shtepa V.M. Scientific and theoretical principles of ecologically safe industrial wastewater treatment technologies – Manuscript.

The dissertation for the degree of Doctor of Engineering Sciences, Specialty 21.06.01 – ecological safety. Sumy State University, 2020. Specialized Scientific Council D 55.051

The dissertation is devoted to the solution of a scientific and applied problem in the field of environmental safety, which consists in developing methods for improving the scientific and theoretical foundations for managing environmental safety of industrial water treatment technologies with a reduction in the risk of

emergencies and taking into account energy efficiency requirements, which will contribute to compliance with the standards of harmful environmental impacts.

Scientifically substantiated methods for improving the scientific and theoretical foundations of environmental safety management of industrial water treatment technologies, which reduces the risk of emergencies, taking into account energy efficiency requirements and contribute to compliance with standards for harmful environmental impacts.

A method for managing the environmental safety of water treatment technologies has been developed. It is based on the establishment and application of the effect of cross-superposition of the action of different methods on the same pollutants, which is distinguished by the possibility of taking into account the risks of emergencies and aggregating the equipment of systems for removing pollutants from effluents.

It's justified and developed a method for managing the environmental safety of water treatment based on a dominant dynamic pollutant based on the establishment of a pollutant that is more difficult to eliminate by environmental and energy efficiency parameters has been substantiated and differs in the configuration of the water treatment technology based on the integrated removal of other pollutants, together with the dominant one and the rationale for reducing the number of real-time stock quality indicators.

A method for processing and environmentally safe use of the parameters of industrial water treatment technologies based on real-time settings of fuzzy cognitive and neural network models has been developed. It is distinguished by the ability to improve the environmental and economic indicators of production, taking into account the risks of emergency situations.

We have improved the models for measuring and processing the environmental and energy parameters of pollutant removal by comprehensively taking into account the mutual influence of methods and methods for their elimination, which formed the basis for creating a virtual measure of energy efficiency of water treatment, which ensures the reproduction, processing and preservation of the values of environmentally friendly parameters of wastewater treatment systems at the design and real-time operation at industrial facilities.

The methods of constructing systems for collecting, processing and using technical and economic information were further developed for environmental safety management of industrial wastewater treatment using environmental and energy parameters, which are distinguished by the possibility of implementing resource-saving production operations when fulfilling the requirements of the standards of the ISO 14000 series "Environmental Management System".

Key words: ecological safety, technogenic load, regulatory framework, industrial wastewater, emergency, water treatment technologies, environmental and energy efficiency, technological regulations.

Підписано до друку 22.05.2020 р. Зам. № 518
Формат 60×84 1/16. Папір офсетний. Друк – цифровий
Наклад 100 прим. Ум. друк. арк. 1,7.
Друк ЦП «КОМПРИНТ», Свідоцтво ДК № 4131 від 04.08.2011 р.
м. Київ, вул. Предславинська, 28
095-941-84-99, 067-209-54-30
email: komprint@ukr.net