

СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

ШТЕПА ВОЛОДИМИР МИКОЛАЙОВИЧ

УДК 504.04:006.91.001:628.2(043.5)

ДИСЕРТАЦІЯ

НАУКОВО-ТЕОРЕТИЧНІ ЗАСАДИ ЕКОЛОГІЧНО БЕЗПЕЧНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ОЧИЩЕННЯ ПРОМИСЛОВИХ СТІЧНИХ ВОД

Спеціальність 21.06.01 – екологічна безпека

Галузь знань – технічні науки

Подається на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

_____ В. М. Штепа

Суми – 2020

АНОТАЦІЯ

Штена В. М. Науково-теоретичні засади екологічно безпечних технологій очищення промислових стічних вод – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук (доктора наук) за спеціальністю 21.06.01 – екологічна безпека. – Сумський державний університет Міністерства науки і освіти України, Суми, 2020.

Захист дисертації відбудеться на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 55.051.04. Сумський державний університет Міністерства освіти і науки України, Суми, 2020.

Дисертацію присвячено розв'язанню 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.*

Науково-обґрунтовано методи удосконалення науково-теоретичних засад управління екологічною безпекою технологій промислового водоочищення, що забезпечує зменшення ризиків виникнення надзвичайних ситуацій, врахування вимог енергоефективності та сприятиме додержанню 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, з 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 виробництва 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 в 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».

Розроблення й оцінка моделей вимірювання еколого-енергетичних параметрів та збирання, опрацювання техніко-економічної інформації й екологічно безпечного використання промислового очищення стічних вод дали змогу: 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 дасть змогу враховувати дію надзвичайних ситуацій, комплексно встановивши вимоги щодо еколого-енергетичної та інвестиційно-фінансової складових водоочисних установок, врахувавши наявність «сірої» зони небезпечних виробництв.

За допомогою 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 й ті ж забруднювачі (розширення меж ефективного використання комбінованих технологій видалення забруднювачів зі стоків становить 5–40 %), які дають змогу 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.

Застосування віртуальної міри енергоефективності водоочищення дало змогу 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, унаслідок 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.

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 застосуванні методу ДДЗ, завдяки супутньому видаленню інших забруднювачів, зменшується кількість показників якості, які необхідно вимірювати (для м'ясопереробного підприємства мінімум у 3 рази).

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).

Комплексне використання удосконалених науково-теоретичних засад управління екологічною безпекою технологій промислового водоочищення дало змогу: покращити інвестиційно-фінансові характеристики виробництв, що підтверджено на основі застосування методики комплексного оцінювання 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 чинних 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».

Практична значущість роботи підтверджена результатами промислових випробувань розроблених екологічно безпечних технологій. У рамках апробацій та виробничих впроваджень створено: науко-практичні рекомендації затверджені на технічній раді Міністерства аграрної політики України та науково-технічній раді Державного підприємства «Науково-дослідний та конструкторсько-

технологічний інститут міського господарства»; 6 патентів України (3 із них на винаходи).

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

Список публікацій здобувача

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 методика 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. И., **Штепа В. Н.**, 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 методіку використання біореакторів для переробки органічних речовин.

9. Гончаров Ф. І., **Штепа В. М.** Обґрунтування, розроблення та техніко-економічні характеристики універсального багатоканального 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 методику 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., Nachkovska 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 водоочистки. *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.

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”.

The development and evaluation of models for measuring environmental and energy parameters and the collection, processing of technical and economic information and the safe use of industrial wastewater treatment made it possible: to provide, on the basis of an object-oriented approach, the creation of a conceptual model for collecting such information at industrial facilities; to substantiate and develop a virtual measure of energy efficiency of water treatment as a software and hardware tool for establishing energy costs for the removal of pollutants; to create an environmental and energy

efficiency criterion that shows specific energy costs to ensure the technical efficiency of water treatment, which are integrated with the created dependencies for assessing the risks of emergencies and research results obtained in a virtual water treatment energy efficiency measure; to improve the methods for developing technological regulations for wastewater treatment systems, which allow taking into account the effects of emergency situations, comprehensively setting the requirements for environmental-energy and investment-financial components of water treatment plants, taking into account the presence of a “gray” zone of insecure production.

By modeling combined water treatment systems and optimizing their modes, it was identified the potential opportunities for expanding the boundaries of environmental safety management of such equipment due to the cross action of different methods on the same pollutants (the expansion of the boundaries of the effective use of combined technologies for the removal of pollutants from effluents is 5-40%), which allow to create industrial wastewater treatment systems which can improve emergency response capabilities; Statistical data on pairwise cross-influences, recommended by normative documents pollutant removal methods for using during the technical regulation of relevant systems according to the criterion of minimizing the technogenic load on the environment were obtained.

The use of a virtual measure of energy efficiency of water treatment made it possible to implement an object-oriented approach for creating industrial water treatment systems fulfilling environmental safety management requirements and taking into account the potential impact of emergency situations; during its substantiation, development and research it was established: as a result of the use of combined water treatment systems, compliance with the MPC for key pollutants of the effluents of the studied objects is ensured, however, due to the different nature of the pollutants, it took a different amount of electricity (in terms of the entire volume of effluents): meat processing - up to 400 kW / day, wood processing - up to 76 kW / day, small metallurgy - up to 85 kW / day, production of household chemicals - up to 26 kW / day.

The knowledge base and analytical dependencies for improving the environmental safety management of technologies of industrial water treatment systems based on the use of the method of the dominant dynamic pollutant (DDP) were substantiated, researched, created. This approach has been confirmed by studies: in the case of combined waste water treatment systems of meat processing plants, where it has been experimentally established: as a result of the removal of DDP, the concentrations of other pollutants are reduced by 50-95%; the cleaning, not by its orientation to the primary elimination of remote sensing, but by the effect on other pollutants, showed a significant deterioration (by 30-90%) of the environmental and energy criterion of equipment operation; in the case of using the DDP method, due to the concomitant removal of other pollutants, the number of quality indicators that need to be measured is reduced (for a meat processing plant at least 3 times).

Based on the information and functional modeling of processing and environmentally safe use of technical and economic information on water treatment at industrial facilities, a method has been created to increase the environmental and energy efficiency of industrial water treatment taking into account emergency situations (in simulation, the relative error of the system response when reaching a specified value of pollutant removal quality was 3-5%; the proposed approach has been found to meet the requirements of adequacy, stability and sensitivity).

The integrated use of improved scientific and theoretical foundations for environmental safety management of industrial water treatment technologies allowed: to improve the investment and financial characteristics of production, which was confirmed by applying a comprehensive assessment of the profitability index and environmental and energy criterion (when modeling the reverse water supply scheme, the profitability index increased by 5-11%); to ensure the environmental and energy efficiency of combined systems for removing pollutants from aqueous solutions (the quality of the operation of the water treatment equipment has been established in production: meat processing enterprise - the deviation of the environmental and energy

criterion from the set value of $\pm 9.6\%$; small metallurgy - $\pm 3.4\%$); to reduce the anthropogenic load by ten times (compared to systems without controlling pollutant removal processes) the implementation of the current regulatory documents of Ukraine on the diversion of industrial effluents, creating objective prerequisites for enterprises to comply with the requirements of ISO 9001 “Quality Management System”, ISO 14001 “Environmental Management System”, ISO 50001 “Energy Management System”, ISO 31000 “Risk Management”

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

The number of publications of the applicant

Scientific works in which the main scientific results of the dissertation are published

Monographs

1. Lysenko V.P., Reshetuk V.M., **Shtepa V.M.**, Zayats N.A., Melnik V.A., Dudnik A.A. Artificial intelligence systems: fuzzy logic, neural networks, fuzzy neural networks, genetic algorithm. K.: Nubia P Ukraine, 2014.335 p.

The applicant developed the concept of the practical use of artificial intelligence systems in solving practical problems.

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 . -
 Киев : Tsentr Uchbovovii Literaturny, 2014. 240 p.

The applicant justified and implemented the use of neural networks to control multi-parameter biotechnological processes.

Articles in scientific publications from the list of the Ministry of Education and Science of Ukraine

3. Goncharov F.I., **Shtepa V.M.** Dynamics of the formation and deposition of substances suspended in water as a result of the action of variable gauge pressure. *Bulletin of the Zhytomyr National Agroecological University: scientific and theoretical collection.* 2009. No. 2 (25). P. 42-48.

On the basis of methods and mathematical statistics, the applicant verified the reliability of the obtained experimental dependences of the deposition of suspended particles

4. Goncharov F.I., **Shtepa V.M.** Study of the effect of vacuum pressure on particles suspended in water. *Scientific works of the National University of Food Technology: a scientific journal.* 2009. No. 32. P. 69-71.

The applicant developed the structure of a measuring complex for establishing the effect of vacuum pressure on suspended particles.

5. Goncharov F.I., **Shtepa V.M.** Water quality control system. *Bulletin of the Kharkov National Technical University of Agriculture named after P. Vasilenko: collection of scientific papers. Series: Modern trends in technology and mechanization of processing and food production processes.* 2009. Issue. 88. P. 267-274.

The applicant substantiated the methodology for measuring the quality of water supply.

6. Goncharov F.I. **Shtepa V. M.** Safety of water supply in emergency situations of natural origin. *Scientific Bulletin of the National University of Life and Environmental*

Sciences of Ukraine. Series: Technics and Energy of the AIC. 2010. No. 145. P. 309-314.

The applicant developed a framework for the use of technical means of water treatment in emergency situations.

7. Goncharov F.I., **Shtepa V. M.** Electrochemical means of protecting water sources from hazardous substances in emergency situations *Bulletin of the National Technical University "KhPI": collection of scientific papers. Series: Chemistry, Chemical Technology and Ecology.* 2010. No. 22. P. 55-60.

The applicant substantiated the composition of technological elements for protecting water sources from hazardous substances.

8. Goncharov F. I., **Shtepa V. M.**, Ochkolyas E. N. Justification of the scheme for processing organic substances. *Bulletin of the Kharkov National Automobile and Highway University: a collection of scientific papers.* 2010. Issue. 48. P. 166-169.

The applicant created a methodology for using bioreactors for processing organic substances.

9. Goncharov F. I., **Shtepa V. M.** Justification, development and technical and economic characteristics of a universal multi-chamber biogenerator. *Bulletin of Sumy State University. Series "Technology Science."* 2010. No 3. P. 172 - 176

The applicant justified the use of a waste water treatment flow chart at the output of a biogenerator unit.

10. Goncharov F. I., **Shtepa V. M.** Probabilistic aspects of providing water quality in water use systems under emergency situations. *Bulletin of the Kharkov National Automobile and Highway University: a collection of scientific papers.* 2011. Issue. 52. P. 138-142.

The applicant conducted a probabilistic assessment of the impact of emergency situations on water use systems.

11. **Shtepa V. M.**, Goncharov F. I., Sivorotka M. A. Substantiation and development of the criterion of energy efficiency of functioning of electrotechnological water treatment systems. *Scientific Bulletin of the National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine: a collection of scientific papers. Series: Technics and Energy of the AIC*. 2011. No. 1 61. P. 187-193.

The applicant justified the criterion of energy efficiency of water treatment systems.

12. Goncharov F.I., **Shtepa V.M.**, Sivorotka M.A. Scheme of the use of electrotechnological means of effective neutralization of infiltration effluents from places of accumulation of household industrial waste. *Scientific Bulletin of the National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine: a collection of scientific papers. Series: Technics and Energy of the AIC*. 2011. No. 166. P. 120-126.

The applicant has implemented structural and functional modeling of the scheme for the neutralization of infiltration effluents from the places of accumulation of domestic production care.

13. Goncharov F.I., **Shtepa V.M.** Methodology for enhancing the environmental safety of agricultural and food industries. *Technical and technological aspects of the development and testing of new equipment and technologies for agriculture in Ukraine: a collection of scientific papers*. 2012. Issue. 16 (30), book 2, P. 97-104.

The applicant developed schemes and algorithms of technological tools to improve environmental safety.

14. Vinnichenko N. G., Reshetuk V. M., **Shtepa V. M.** Information management systems of biotechnological objects with intelligent subsystems. *Scientific works of Donetsk National Technical University. Series: Computing Technology and Automation*. 2013. No. 3 (25). P. 190-197.

The applicant has developed a structural diagram of the information management system of biotechnological facilities.

15. Lenkov S.V., **Shtepa V.M.**, Dudnik A.O., Shvorov S.A. Methodological principles of the use of neural networks in forecasting and control problems. *Computer science and mathematical methods in modeling: a scientific journal*. 2013. Vol. 3, No. 3. P. 233-239.

The applicant developed methodological support for the use of neural networks in the management of multi-parameter objects.

16. Shtepa V. M. Justification of the architecture of the control system of integrated methods for wastewater treatment of industrial facilities. *Bulletin of the Kharkov National Technical University of Agriculture named after P. Vasilenko. Engineering: a collection of scientific papers. Series: Problems of energy supply and energy conservation in the agricultural sector of Ukraine*. 2014. Issue. 154. P. 48-50.

17. Shtepa V. M. Evaluation of the energy characteristics of the secondary water treatment processes of agro-industrial enterprises by electrical complexes. *Scientific Bulletin of the National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine: a collection of scientific papers. Series: Technology and Energy of the AIC*. 2014. No. 194, part 3. P. 259-265.

18. Shtepa V. M. Use of Kohonen self-organizing maps for the synthesis of water treatment equipment control systems. *Scientific Bulletin of the National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine: a collection of scientific papers. Series: Technics and Energy of the AIC*. 2015 No. 209, part 1. P. 206-211.

19. **Shtepa V.M.**, Yankovsky I.A. Stages of creating information-analytical systems for ensuring regional rational water use. *Bulletin of the Kharkov National Automobile and Highway University: a collection of scientific papers*. 2015 No. 70. P. 119-121.

The applicant developed a conceptual framework for information and analytical systems for assessing environmental management.

20. Vertay S. P., **Shtepa V. M.** Justification of the structure and the given decision support system for a generalized assessment of the prospects of innovative technologies.

Scientific Bulletin of the National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine: a collection of scientific papers. Series: Technics and Energy of the AIC. 2016. No. 240. P. 86-93.

The applicant synthesized the software for the system and the decision-making system for evaluating innovation.

21. Kuznetsov A. A., **Shtepa V. M.**, Kot R. E., Morgol A. V. Designing software for automation systems for combined water treatment plants using UML notations. *Scientific Bulletin of the National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine: a collection of scientific papers. Series: Technics and Energy of the AIC. 2016. No. 256. P. 46-54.*

The applicant developed a technical scheme for the metrological support of water treatment systems.

22. **Shtepa V. M.**, Kaplun V. V. A method for constructing energy-efficient control systems for combined electrotechnological wastewater treatment of diverse industrial facilities. *Bulletin of the Kiev National University of Technology and Design. Series "Technology Science". 2017. No. 2 (108). P. 27-37.*

The applicant substantiated a method for constructing control systems for Electro technological water treatment.

23. Shtepa V. M. The concept of improving the regulatory framework for the design of water treatment systems by taking into account the effects of emergency situations. *Scientific Bulletin of the National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine: a collection of scientific papers. Series: Technology and Energy of the AIC. 2017. No. 268. P. 43-55.*

24. Zayats N. A., **Shtepa V. M.** Systematization of electrotechnological complexes for water treatment of food production. *Energy and automation. 2018. No. 4. P. 49-62.*
URL: <http://journals.nubip.edu.ua/index.php/Energiya/article/view/11554>

The applicant developed criteria for the combination of water purification complexes according to runoff parameters.

25. Zayats N. A., **Shtepa V. M.** Use of cognitive modeling in the management of biotechnological objects in food production. *Scientific Bulletin of the National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine: a collection of scientific papers. Series: Technology and Energy of the AIC*. 2018. No. 283. P. 29-38.

The applicant developed a real-time adjustment technique for cognitive map concepts

26. **Shtepa V. M.**, Plyatsuk L. D. The use of the dominant dynamic pollutant method to control the environmental safety of industrial wastewater treatment systems. *Energy and automation*. 2019.No 6. P. 214 -228. URL: <http://journals.nubip.edu.ua/index.php/Energiya/article/view/energiya.2019.06.214>

The applicant developed methodological support for using the dominant dynamic pollutant method to manage the environmental safety of industrial wastewater treatment systems.

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.

The applicant formulated the concept of production approbation of the resource-process mathematical apparatus.

28. **Shtepa V.M.**, Plyatsuk L.D., Ableeva I. Yu., Gurets L.L., Sherstyuk M.M., Ponomarenko R.V. Substantiation of the ecological and energy approach to improving technological regulations of water treatment systems. *Technological audit and production reserves*. 2020. No. 3 (51). P. 3-19.

The applicant justified the method of using the criterion of energy efficiency of water treatment to improve the technological regulations of systems for the removal of pollutants from wastewater.

Articles in International Professional Editions

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 – SGGW Agriculture*. 2015 № 65. P. 111-118.

The applicant substantiated the methodology for using neural networks to improve the technical and economic characteristics of biotechnologies.

30. Shtepa V. M. Energy criteria for the industrial implementation of environmentally sound technologies (control channel - wastewater treatment (water treatment)). *Innovations in agriculture: theoretical and scientific-practical journal*. 2014. Issue No. 4 (9). P. 167-171.

31. Shtepa V. M. Experimental and analytical studies of combined water treatment systems. *Agropanorama: scientific and technical journal*. 2015 No. 6 (112) P. 31 - 37.

32. Pyndak V.I., Novikov A.E., **Shtepa V.M.**, Megegovov A.S. Capillary-sorption effects in the soil after chiseling and application of non-traditional fertilizers-reclamants. *News of the Lower Volga agro-university complex: science and higher professional education: a scientific journal*. 2016. No. 3 (43) P. 252-257.

The applicant evaluated the reliability of experimental studies of sorption effects.

33. Shtepa V. M. Conceptual foundations of an energy-efficient control system for combined water treatment systems. *News of higher educational institutions and energy associations of the CIS. Energy: scientific and technical journal*. 2016. No. 5. P. 479-487.

34. Shtepa V. M. Optimization of the functioning of fuzzy cognitive maps with the implementation of neural networks (for example, the management of water treatment processes). *Bulletin of the GSTU named after P.O. Sukhoi: a scientific and practical journal*. 2016. No. 4 (67). P. 97-105.

35. **Shtepa V.M.**, Prokopenya A.N., Kot R.E. Improving the quality of water treatment using automation in emergency situations of natural origin. *Bulletin of Brest State Technical University. Series: Water management construction, heat power engineering and geoecology: scientific and theoretical journal*. 2016. No. 2 (98) P. 61-64.

The applicant developed elements of metrological support for water treatment automation systems.

36. Pyndak V.I., Novikov A.E., **Shtepa V.M.** Optimization of organ-containing wastewater treatment systems and sludge treatment. *Problems of mechanical engineering and machine reliability: a scientific journal*. 2017. No. 5. P. 103-107.

The applicant carried out mathematical optimization of experimental studies of wastewater treatment.

37. **Shtepa V.M.**, Zayats N.A., Prokopenya A.N., Lutskaya N.N. Probabilistic neural networks in control problems of combined water treatment systems. *Bulletin of the Brest State Technical University. Ser. Water management, heat power and geoecology: a scientific theoretical journal*. 2018.No 2 (110). P. 88-90.

The applicant developed the concept of using probabilistic neural networks in the management of combined water treatment.

38. Lutska N., Zayats 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.

The applicant evaluated the effectiveness of the implementation of the robust regulator during pasteurization.

Scientific works that testify to the approbation of materials of the dissertation:

39. Shtepa V. M. The concept of constructing intelligent control systems for biotechnological objects, taking into account the influence of natural factors. *Energy*

supply and energy saving in agriculture: proceedings of the 9th international scientific and technical conference, May 21-22, 2014, Moscow, GNU VIESH 2014. Part 5: Infocommunication technology and nanotechnology. P. 14-19.

40. Shtepa V. M. Justification of the methodology for using fuzzy Petri nets in the synthesis of neural network process control systems (using the example of combined water treatment plants). *Current development trends and prospects for the introduction of innovative technologies in engineering, education and the economy: materials of the III International Scientific and Practical Conference, Azov, May 25, 2016. Azov: LLC AzovPrint, 2016.P. 38-41.*

41. **Shtepa V.M.**, Kot R.E., Morgol A.V., Vertay S.P., Zayats N.A. Ecologically safe landfills for household and industrial waste. *Materials, equipment and resource-saving technologies: materials of the international scientific and technical conference, Mogilev, April 27-28, 2017. Mogilev: Belarusian-Russian University, 2017. P. 378-379.*

42. **Shtepa V.M.**, Zayats N.A. Practical experience in using automated water treatment based on safe water supply systems. *Future prospects and realities in water treatment technologies: materials of the II International Scientific and Practical Conference, April 19-20, 2018. Kiev: NUHT, 2018.P. 166-169.*

43. **Shtepa V. M.**, Vertay S. P., Zayats N. A. Methodological support of automated water treatment systems. *Production & Mechatronic Systems 2018: Proceedings of the II International Conference, Kharkov, October 25-26, 2018. Kharkov, 2018.P. 38-41.*

44. **Shtepa V.M.**, Zayats N.A. Metrological characteristics of automated measuring systems of a working measure of the effectiveness of electrotechnological water treatment. *Actual problems of machine science: materials of the XII International scientific and technical conference (scientific readings devoted to P.A. Sukhoi), Gomel, November 22-23, 2018. Gomel: GSTU named after P.O. Sukhoi, 2018.P. 154-156.*

Scientific works that additionally reflect the scientific results of the dissertation:

45. Patent 98228 UA, IPC E 02 B 11/00 (2012.01) Reclamation system / F. I. Goncharov, **V. M. Shtepa**; applicants and owners F. I. Goncharov, **V. M. Shtepa** . - no. 2010 14441; declared 06/25/2011; publ. 04/25/12, Bull. Number 8. 4 p.

The applicant developed the concept of using pumping equipment for dewatering the reclamation system.

46. Patent 98867 UA, IPC A 01 C 3/00 (2012.01) Fermentation chamber for biogas plants / F. I. Goncharov, **V. M. Shtepa**; applicants and owners F. I. Goncharov, **V. M. Shtepa**. - No. a20104860; declared 06/25/2012; publ. 12/25/12, Bull. Number 12. 6 p.

The applicant created a scheme for wastewater treatment after biogenerators.

47. Patent 95201 UA, IPC E 03 B 7/00 (2014.01) Water pumping station / V. A. Markovich, **V. M. Shtepa**; applicants and owners V. A. Markovich, **V. M. Shtepa**. - No. u20147743; declared 12/10/2014; publ. 12/10/14, Bull. No. 23. 4 p.

The applicant created the concept of the technological scheme of the water pumping station.

48. Patent 108196 UA, IPC B 01 D 29/11, B 01 D 21/00, C 02 F 1/52 (2006.01) Filter / F.I. Goncharov, **V.M. Shtepa**; applicants and owners F. I. Goncharov, **V. M. Shtepa**. - No. a20110583; declared 09/01/2011; publ. 04/10/15, Bull. No. 7. 4 p.

The applicant has developed a scheme for the use of a filter element for fine water treatment.

49. Patent 120530 UA, IPC 02F 9/06 (2006.01), F04D 15/00, F04D 13/06 (2006.01) Automatic pumping station / **V. M. Shtepa**, R. E. Kot; applicants and owners **V. M. Shtepa**, R. E. Kot. - No. u201703999; declared 04/24/2017; publ. 11/10/2017, Bull. No. 21. 8 p.

The applicant justified and implemented the scheme of an automatic pumping station.

50. Utility Model Patent 138978 UA, IPC G05 13/00 (2006.01) Water Treatment and Water Treatment Management System / **V. M. Shtepa**; applicant **V. M. Shtepa**, owner **V.M. Shtepa**. - No. u 201906421; declared 12/10/2019; publ. 06/10/2019, Bull. No. 23. 4 p.

ЗМІСТ

СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАКИ.....	40
ВСТУП.....	43
1. АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ ПРОМИСЛОВОГО ВОДООЧИЩЕННЯ	52
1.1. Порівняльний аналіз методів очищення промислових стічних вод	52
1.2. Оцінка впливу надзвичайних ситуацій на екологічну безпеку довкілля та ефективність технологій водоочищення.....	59
1.3. Нормативно-правова база систем очищення промислових стічних вод	63
1.4. Метрологічна діяльність із забезпечення єдності вимірювань екологічної безпеки очищення промислових стічних вод	70
1.5. Постановка наукових завдань досліджень	76
2. ДОСЛІДЖЕННЯ НАУКОВО-ТЕОРЕТИЧНИХ ЗАСАД ЕКОЛОГІЧНО БЕЗПЕЧНОГО ПРОМИСЛОВОГО ВОДООЧИЩЕННЯ	82
2.1. Створення науково-теоретичних засад концептуальних та функціональних моделей збирання, опрацювання та використання техніко-економічної інформації промислового водоочищення	82
2.2. Моделювання екологічно безпечних умов функціонування промислового водоочищення	89
2.2.1. Розроблення методу удосконалення використання способів водоочищення на основі їх перехресних впливів	89
2.2.2. Обґрунтування еколого-енергетичного критерію ефективності промислового водоочищення	98

2.3. Моделювання ризиків надзвичайних ситуацій водоочищення та їх впливу на довкілля	110
2.4. Створення фізичної моделі збирання інформації екологічної безпеки промислового водоочищення	122
2.5. Методолічні основи удосконалення науково-теоретичних засад управління екологічною безпекою промислового водоочищення із врахуванням надзвичайних ситуацій	140
2.6. Висновки до Розділу 2	160
3. ОБҐРУНТУВАННЯ ТА СТВОРЕННЯ МЕТОДУ УПРАВЛІННЯ ЕКОЛОГІЧНОЮ БЕЗПЕКОЮ ТЕХНОЛОГІЙ ВОДООЧИЩЕННЯ НА ОСНОВІ ДОМІНУЮЧОГО ЗАБРУДНЮВАЧА	164
3.1. Вибір режимних параметрів віртуальної міри енергоефективності водоочищення на основі експериментальних досліджень	164
3.1.1. Обґрунтування та дослідження способів очищення стічних вод різногалузевих об'єктів з врахуванням дії надзвичайних ситуацій	164
3.1.2. Дослідження впливу непередбачуваних факторів на якість стічних вод промислових об'єктів	180
3.2. Фільтрація інформаційних сигналів віртуальної міри енергоефективності водоочищення із використанням перетворення Гільберта-Хуанга	193
3.3. Матеріальна частина віртуальної міри енергоефективності водоочищення.....	195
3.4. Синтез нейромережі управління віртуальною мірою із робастно-оптимальним керуванням температурним режимом	200
3.5. Розроблення методу домінуючого динамічного забруднювача удосконалення промислового водоочищення.....	227
3.5.1. Технологічний базис методу домінуючого динамічного забруднювача .	227
3.5.2. Адаптація оптимізаційного методу покоординатного спуску для	

ранжування забруднювачів та визначення ДДЗ згідно еколого-енергетичного критерію.	233
3.6. Методологія удосконалення науково-теоретичних засад управління екологічною безпекою промислового водоочищення	244
3.7. Висновки до Розділу 3.....	263
4. ОПРАЦЮВАННЯ ТА ЕКОЛОГІЧНО БЕЗПЕЧНЕ ВИКОРИСТАННЯ ЕКОЛОГО-ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ІНФОРМАЦІЇ ПРОМИСЛОВОГО ВОДООЧИЩЕННЯ З УРАХУВАННЯМ ДІЇ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ	268
4.1. Система підтримки прийняття рішень еколого-енергетичного водоочищення	268
4.2. Розробка структури когнітивної моделі опрацювання еколого-енергетичної інформації комбінованого очищення стічних вод промислових об'єктів	270
4.3. Створення методу налаштування вагових коефіцієнтів концептів нечіткої когнітивної моделі опрацювання еколого-енергетичної інформації комбінованого водоочищення	274
4.3.1. Методика формування значень вагових коефіцієнтів нечіткої когнітивної моделі	274
4.3.2. Синтез блоку адаптації значень вагових коефіцієнтів когнітивної моделі при отриманні даних від інформаційно-вимірювальних комплексів.....	276
4.4. Адаптивне налаштування значень вагових коефіцієнтів впливу концептів нечіткої когнітивної карти (експертна оцінка)	279
4.4.1. Методика формування та використання блоку розрахунку значень вагових коефіцієнтів отриманих експертною оцінкою	279
4.4.2. Синтез блоку розрахунку значень вагових коефіцієнтів когнітивної моделі отриманих експертною оцінкою	281

4.5. Реалізація методу опрацювання техніко-економічної інформації комбінованих технологічних процесів водоочищення на основі когнітивних моделей	284
4.5.1. Створення і структурний аналіз когнітивної моделі екологічної безпеки комбінованого водоочищення	284
4.5.2. Сценарно-когнітивне і нейромережеве моделювання ефективності використання еколого-енергетичної інформації промислового водоочищення	286
4.5.3. Оптимізація нейронної мережі результатів сценарно-когнітивного моделювання (визначення ефективних еколого-енергетичних режимів) із використанням мурашиного алгоритму	290
4.6. Імітаційне дослідження та оцінювання результатів роботи моделей визначення ефективних еколого-енергетичних режимів комбінованого водоочищення.....	295
4.7. Реалізація методу удосконалення науково-теоретичних засад збирання, опрацювання та екологічно безпечного використання еколого-енергетичної інформації водоочищення із врахуванням надзвичайних ситуацій.....	305
4.8. Висновки до Розділу 4	316
5. ВИКОРИСТАННЯ УДОСКОНАЛЕНИХ НАУКО-ТЕОРЕТИЧНИХ ЗАСАД ТЕХНОЛОГІЙ ПРОМИСЛОВОГО ВОДООЧИЩЕННЯ ДЛЯ УПРАВЛІННЯ ЇХ ЕКОЛОГІЧНОЮ БЕЗПЕКОЮ З ВРАХУВАННЯМ ДІЇ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ	320
5.1. Оцінювання економічної ефективності водоочищення та удосконалення методу аналізу еколого-економічних перспектив його впровадження	320
5.2. Реалізація удосконалених науково-теоретичних засад водоочищення та	

	39
оцінка еколого-економічного ефекту роботи систем водоочищення на промислових об'єктах	327
5.2.1. Розроблення вимірювальних пристроїв встановлення параметрів стоків з метою врахування дії надзвичайних ситуацій	327
5.2.2. Промислова апробація методів та засобів збирання, опрацювання та екологічно безпечного використання еколого-енергетичної інформації очищення стічних вод	334
5.2.3 Оцінка антропогенного навантаження досліджуваних промислових об'єктів із використанням розроблених технологічних комплексів	339
5.2.4 Кластерний та дисперсійний аналізи результатів моделювання та виробничого впровадження науково-технічних засад управління екологічною безпекою очищення стічних вод	343
5.3. Удосконалена концепція впровадження на різногалузевих промислових об'єктах систем екологічного менеджменту	346
5.4. Висновки до Розділу 5.....	349
ВИСНОВКИ.....	351
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	355
ДОДАТКИ	398

СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАКИ

BAT – Best Available Techniques (найкраща доступна технологія)

Eh – окисно відновний потенціал

ISO – International Organization for Standardization (Міжнародна організація по стандартизації)

pH – активна реакція середовища

АСК – адаптивна система керування

АСР – автоматична система регулювання

АСУ – автоматизована система управління

БСК – біологічна споживання кисню

ВМ – важкі метали

ВМЕВ – віртуальна міра енергоефективності водоочищення

ГА – генетичний алгоритм

ГДК – гранично-допустима концентрація

ГДС – гранично-допустимий скид

ЕА - екологічний аудит

ЕБ – екологічна безпека

ЕЕ – електроенергетика

ЕЕЕ – еколо-енергетична ефективність

ЕМВ – електромагнітне випромінювання

ЕС – експертна система

ЕХА – електрохімічна активація

ЄС – Європейський Союз

ЖКГ – житлово-комунальне господарство

ЗВ – завислі частинки

ЗР – забруднююча речовина

ІЗВ - індекс забруднення води (загальний)

ІСППР – інтелектуальна система підтримки прийняття рішень

КІС – комп'ютерно-інтегрована система

КМУ – Кабінет Міністрів України

МГЕЗК (ІРСС) - Міжнародна група експертів зі зміни клімату

Мінрегіон – Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України

МО – мулові осади

МСА - міжнародні стандарти аудиту

НКК – нечітка когнітивна карта

НМ – нейронна мережа

НПП – Національний природний парк

НПС – навколишнє природне середовище

НС – надзвичайна ситуація

ОВД – оцінка впливу на довкілля

ОГС – організації громадянського суспільства

ОНПС – охорона навколишнього природного середовища

ООН – Організація Об'єднаних Націй

ОС – оточуюче середовище

ПЗФ – природно-заповідний фонд

ПЛК – програмований логічний контролер

ПРООН – програма розвитку ООН

РБЕД – регіональна база екологічних даних

РРЧ – режим реального часу

СЕМ – система екологічного менеджменту

СЕО – стратегічна екологічна оцінка

СЗЗ – санітарно-захисна зона

СОСВ – системи очищення стічних вод

СПАР – синтетичні поверхнево-активні речовини

СППР – систем підтримки прийняття рішень

СШІ – системи штучного інтелекту

ТПВ – тверді побутові відходи

УЗ – ультразвук

ХСК – хімічне споживання кисню

ВСТУП

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); багатофакторність 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 напрямам 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, Баєсівської 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 141 сторінці, містить 46 таблиць, 180 рисунків. Список використаних літературних джерел включає 326 найменувань на 43 сторінках.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ ПРОМИСЛОВОГО ВОДООЧИЩЕННЯ

1.1. Порівняльний аналіз способів очищення промислових стічних вод

Згідно з даними “Національних доповідей про стан навколишнього середовища в Україні” Міністерства охорони навколишнього природного середовища, щорічно неочищеними скидаються у поверхневі водойми близько 3 млрд куб. метрів води. Між тим інформація Державної служби статистики України (за адміністративними даними форми звітності № 2-ТП (водгосп) річна "Звіт про використання води", затвердженої наказом Міністерства екології та природних ресурсів від 16.03.2015 № 78) демонструє, що проблема неякісної очищення стічних вод є дуже значною (табл. 1.1). Водночас кількість підприємств, які скидали зворотні води в поверхневі водні об'єкти в деяких містах України: 2790 (2010 рік), 2652 (2014 рік), 1889 (2015 рік), 1818 (2016 рік), 1860 (2017 рік); мінімум 30 % із яких не забезпечують якісне видалення забруднювачів.

Промислові стоки складають приблизно 8-10 % загального обсягу стічних вод, але ступінь їхнього забруднення набагато вища, ніж у комунально-побутових скидів (в останні роки обсяг промислових стоків зменшився на 30-40 %). Загалом виробничі стічні води після відповідного очищення можуть бути повторно використані в технологічному процесі, для чого на багатьох промислових підприємствах створюються системи оборотного водопостачання або замкнуті (безстічні) системи водопостачання та каналізації, при яких виключається скидання будь-яких вод у водойми та комунальні водовідвідні мережі.

Стічні води відрізняються один від одного видами й концентрацією забруднень, швидкістю надходження та іншими факторами. Відомі науковці-розробники у сфері видалення таких забруднювачів із водних розчинів: Ф. І.

Гончаров, А. Г. Запольський, В. В. Гончарук, Л. А. Кульський, В. А. Клячко, І. Е. Апельцин, В. Ф. Конінова та інші. Виходячи з багатокomпонентності стоків, існують наступні базові методи очищення стічних вод [7, 12, 40, 45, 48, 56, 57, 66, 68, 70, 72, 74 – 76, 291]:

Таблиця 1.1 – Статистика водовідведення в Україні

	2010	2014	2015	2016	2017
Потужність очисних споруд, млн м ³	7425	7190	5801	5690	5415
Загальне водовідведення, млн м ³	8141	6587	5581	5612	4921
Колекторно-дренажних, млн м ³	457	322	339	315	292
Скинуто у поверхневі водні об'єкти, млн м ³	7817	6354	5343	5399	4715
Забруднених зворотних вод, млн м ³	1744	923	875	698	997
Без очищення, млн м ³	312	175	184	164	158
Недостатньо очищених, млн м ³	1432	748	691	534	839
Нормативно очищених, млн.м ³	1760	1416	1389	1381	1023
Нормативно чистих без очищення, млн м ³	4313	4015	3079	3120	2550

Виходячи з багатокomпонентності стоків, є наступні базові методи очищення стічних вод [87, 88, 90 – 92, 125, 126, 130, 132, 135, 140 – 143, 147, 152, 155 – 157, 164, 166]:

1. Механічні (фізичні) методи очищення стічних вод.

За допомогою механічних (фізичних) методів можна виділити нерозчинені мінеральні та органічні сполуки, суттєво, але все ж недостатньо знизивши їхню концентрацію (залежно від виду стоків вдається «затримати» 65-95 % нерозчинних забруднень). Механічні методи очищення стічних вод: фільтрація, відстоювання, гідроциклонування тощо.

2. Хімічні методи очищення стічних вод.

Суть хімічного методу: у стічні води додаються реагенти, які вступають у реакцію з різними видами забруднень, утворюючи осад, окислюючи їх, флотуючи тощо. Процеси хімічних методів поділяються, згідно із сполуками, які вносяться у водні розчини: флокуляція, коагуляція, хлорування тощо.

3. Фізико-хімічні методи очищення.

Фізико-хімічні методи очищення стічних вод набагато ефективніше, ніж механічні, і використовуються для видалення тонкодисперсних, розчинених неорганічних і органічних речовин. Найбільш поширені сучасні методи очищення, що належать до даної категорії: електрокоагуляція, електрофлотація, окислення, флокуляція, іонообмінний метод, коагуляція, сорбція.

4. Біологічні методи очищення стічних вод.

Очищення води у разі використання біологічного методу відбувається завдяки бактеріям та біологічним процесам, що здійснюють біологічне окислення: аеротенки, біологічні ставки тощо.

5. Комбінований метод очищення стічних вод.

Такий метод є комбінацією всіх попередніх і являється єдино можливим під час очищення стоків промислових об'єктів, оскільки останні являються багатокомпонентними та включають як органічні, так і неорганічні забруднювачі.

Оцінювання досвіду виробничого використання промислових систем очищення стічних вод продемонстрував низку суттєвих недоліків кожного з підходів [40, 66, 167, 171, 174 – 176, 195, 208, 212, 213, 215, 237]:

Для систем, які застосовують механічні (фізичні) методи такими технологічними недоліками є:

– Можливість створення, у результаті часткового засмічення фільтрувальних елементів, колоній бактерій на працюючих засобах водоочищення (фільтрах, картриджах);

– Накопичення шкідливої для людини у навколишнього середовища відфільтрованої маси (фільтри, центрифуги, відстійники, гідроциклони);

- Проточний безперервний режим роботи (фільтри, гідроциклони).

Недоліки фізико-хімічних методів:

– Знищення тільки самих вірусів, мікробів і бактерій, а не більше шкідливих продуктів їхньої життєдіяльності (ультразвук, опромінення, озонування);

– Знищення корисної (необхідної для людини) мікрофлори (ультразвук, озонування, опромінення);

– Обмеженість ефекту післядії і проникаючої здатності за високої концентрації забруднювача (озонування, опромінення, ультразвук).

Недоліки хімічних методів:

– Висока ймовірність утворення в результаті хімічних реакцій нових з'єднань, які більше шкідливі для людини й навколишнього середовища, ніж початкові забруднювачі (весь перелік обладнання);

– Накопичення великого обсягу шкідливих комплексів "відпрацьований реагент + забруднювач" (коагуляція, флокуляція);

– Знищення корисної мікрофлори (хлорування);

– Наявність реагентного господарства, яке саме і є забруднювачем навколишнього середовища (весь перелік обладнання).

Недоліки біологічних методів:

– Високі вимоги щодо дотримання технології (температура, тиск води); відповідно, великі витрати енергоресурсів або зупинка очищення (весь перелік обладнання);

– Можливість повної зупинки у разі "залпових" викидів хімічно активних шкідливих речовин (весь перелік обладнання);

– Велика складність і витратність інтенсифікації (прискорення) процесів очищення (вермікультури, біологічні ставки).

Загальним недоліком методів є те, що необхідно контролювати в режимі реального часу десятки показників якості води й технологічних процесів, а існують і надійно працюють на промислових об'єктах тільки одиниці автоматизованих вимірювальних приладів [237, 261, 274]. Усі описані сучасні методи видалення забруднювачів зі стічних вод потребують застосування електротехнічних комплексів (у яких відбувається перетворення електричної енергії в інші види енергії з одночасним здійсненням технологічних процесів). Електротехнології реалізують основні завдання щодо видалення забруднювачів із водних розчинів. Водночас показники електроенерговитрат, отримані в результаті проектування різнопрофільних промислових систем водоочищення диференційованого компонування [130, 152, 275, 284, 291], на їх функціонування представлено в таблицях 1.2 – 1.4.

Таблиця 1.2 – Приклад витрати електроенергії на очищення комунальних стічних вод за комбінації фізичних, біологічних та фізико-хімічних способів

Електроенерговитрати	
Насосне обладнання, кВт*год	7,5
Технологічні процеси, кВт*год	3,0
Сумарне електроенергоспоживання на очищення 1 м ³ :	2,51
Витрати стоків, м ³ /доба	100,0
Витрати електроенергії за годину, кВт	10,5
Витрати електроенергії за годину, кВт	252,0

Таблиця 1.3 – Приклад витрати електроенергії на очищення стічних вод м'ясопереробного підприємства за комбінації фізичних, фізико-хімічних способів та технологій знезараження (витрати стоків 1200 м³/доба)

№ п/п	Назва електроспоживача	Кількість	Одиниці вимірювання	Споживана електроенергія
1	Компресор	1	кВт*год	15
			кВт*доба	210
2	Гіпохлоритна установка	1	кВт*год	1,5
			кВт*доба	21
3	Насоси подачі стоків	3	кВт*год	15,5
			кВт*доба	217
4	Воздуходувка Kubisek	1	кВт*год	11
			кВт*доба	154
5	Механічний фільтр Salsnes (разом із системою управління)	1	кВт*год	2,0
			кВт*доба	28
6	ТЕР – джерело постійного струму електрокоагулятора	1	кВт*год	17,0
			кВт*доба	238
7	Дозатори	3	кВт*год	3
			кВт*доба	42
	Разом		кВт*год	65
			кВт*доба	910

Таблиця 1.4 – Приклад витрати електроенергії на очищення стічних вод кондитерської фабрики за комбінації фізичних, фізико-хімічних способів (витрати стоків 400 м³/доба)

№ п/п	Характеристика	Одиниці вимірювання	Значення	Примітка
1	Споживана електроенергія насосним обладнанням	кВт*год	58,0	
		кВт*доба	1392,0	
2	Споживана електроенергія електролізерами-деаераторами	кВт*год	40,32...60,48	Залежать від параметрів стоків
		кВт*доба	967,68...1451,52	
3	Сумарна споживана електроенергія	кВт*год	98,32...110,92	
		кВт*доба	2359,68...2662,08	

Водночас, як одні з найбільш інтенсивних та прогресивних, виділяються фізико-хімічні методи [147, 157, 208], де саме електротехнологічні підходи лежать в основі водоочищення: електрокоагуляція, електрофлотація, електродіаліз, електродеструкція, озонування тощо. Вони дають можливість за допомогою зміни електричних параметрів керувати напрямом та характером реакцій видалення шкідливих та небезпечних складових стічних вод (табл. 1.5).

Таблиця 1.5. – Загальне порівняння різних способів очищення стічних вод

Метод водоочищення	Вартість очищення 1 м ³ , грн.	Оціночна ефективність видалення неорганічних забруднювачів	Оціночна ефективність видалення органічних забруднювачів
Механічний	1,5 – 10,0	Низька	Низька
Фізико-хімічний	5,00 – 100,00	Висока	Середня
Хімічний	8,00 – 600,00	Висока	Висока
Біологічний	5,0 – 80,00	Низька	Висока

Однак, процеси, що відбуваються в таких установках залежно від вхідних показників стічних вод, у тому числі завислих частинок, БСК, нітратів, конструктивних параметрів тощо, однаково супроводжуються явищами перевитрат електроенергії та (або) зменшенням ефекту очищення. Виявлення і використання ресурсів (заходів) зниження максимальної потужності й загальної витрати електроенергії набувають усе більшого значення ще й тому, що системи водовідведення та водоочищення розвиваються високими темпами (щорічний світовий приріст продуктивності 4-5 %).

Загалом же вартість очищення 1 м³ стічних вод коливається в широких межах і залежить від: якості води, яка подається на установки та якості води після обладнання (повторне використання, скид у природні водойми чи каналізацію тощо).

1.2. Оцінка впливу надзвичайних ситуацій на екологічну безпеку довкілля та ефективність технологій водоочищення

Офіційне визнання існування загрози національній безпеці у зв'язку з некерованим поширенням небезпечних речовин через повітря, ґрунти і водні джерела України з місць їхнього утворення, використання та зберігання (Указ Президента № 221 від 06.04.2009 р.), вимагає перегляду заходів щодо задоволення потреб галузей національної економіки у водних ресурсах; забезпеченні необхідних соціальних і побутових умов життя населення в надзвичайних ситуаціях. Нові заходи мають передбачати появу вод із невідомих джерел забруднених недослідженими небезпечними речовинами та ліквідацію наслідків їхньої дії.

Відомо, що за викидами патогенів та отруйних речовин у повітряне і водне середовище, їхньою масою й різноманітністю – Україна наближається до розвинутих у промисловому відношенні країн [22, 23]. Так упродовж 2017 року, в

Україні зареєстровано 166 надзвичайних ситуацій, які відповідно до Національного класифікатора «Класифікатор надзвичайних ситуацій» ДК 019:2010 розподілилися (згідно з даними Державної служби України із НС) на: техногенного характеру – 50; природного характеру – 107; соціального характеру – 9.

У порівнянні з 2016 роком загальна кількість НС у 2017 році збільшилася на 11,4 %. Збільшення кількості НС природного характеру сталося через зростання на 43 % частки НС, пов'язаних із особливо небезпечними інфекційними захворюваннями сільськогосподарських тварин (африканська чума свиней), де обов'язковим є якісне очищення стоків.

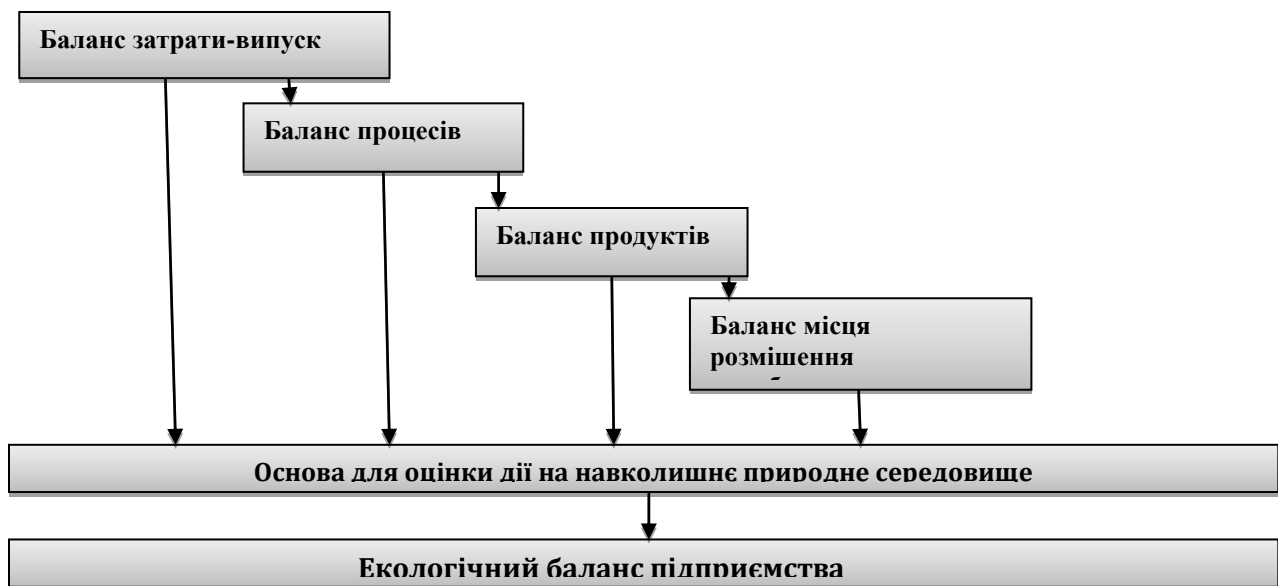
Згідно з Постановою Кабінету Міністрів України № 1099 “Про порядок класифікації надзвичайних ситуацій” затверджено “Положення про класифікацію надзвичайних ситуацій”. НС на обладнанні водоочищення можна віднести за характером походження подій, які зумовлюють їхнє виникнення до таких видів: надзвичайні ситуації техногенного характеру – аварії з викидом (загрозою викиду) небезпечних речовин, та аварії на інженерних мережах і спорудах життєзабезпечення; надзвичайні ситуації природного характеру – зміна стану водних ресурсів та біосфери.

Саме для запобігання і зменшення розмірів збитку, вибору оптимального варіанта забезпечення надійності промислових підприємств здійснюється оцінювання ризиків (вірогідність появи) надзвичайних ситуацій техногенного і природного характеру – аналіз причин, визначення моменту їхньої появи і розмірів зумовленого ними збитку, внаслідок чого можна зробити висновок про небезпеку для життя, здоров'я, добробуту людей і екологічного оптимуму довкілля.

Небезпечний чинник у стічній воді – хімічний, фізичний, біологічний чинник водного розчину, що може спричинити, у разі потрапляння в довкілля, шкідливий вплив на навколишнє природне середовище та здоров'я людини. Оцінювання ризиків під час водоочищення розглядаємо як об'єктивну імовірність небезпечних

чинників, що виникає у разі застосування різних способів впливу на водні розчини й може бути визначена на основі науково-обґрунтованих досліджень із встановленням причин та потенційних наслідків їхньої дії. Між тим оцінювання ризиків виникнення НС повинне бути об'єктноорієнтованим, оскільки кожне підприємство характеризується унікальними показниками щодо якості та об'ємів стоків [63].

Відповідно, ключові завдання екологічного водного паспорта підприємства (рис. 1.1) [172, 209] полягають у встановленні заходів, які забезпечатьсертифікацію на відповідність вимогам стандартів серії ISO 9001, ISO 14001, ISO 31000. Водночас наявні на промислових підприємствах та агрофірмах технології й засоби ліквідації НС діють за принципом: зафіксували негативну дію → встановили обладнання → знешкодили. Головний недолік алгоритму в тому, що за час від виявлення до знешкодження шкідливих речовин можуть забруднитися люди, тварини, територія тощо (як приклад – аварія на ЧАЕС); зупинитися технологічні процеси. Загроза існує для підприємств, де не було прямого зараження – може відбутися через транспорт, сировину тощо (рис. 1.2).

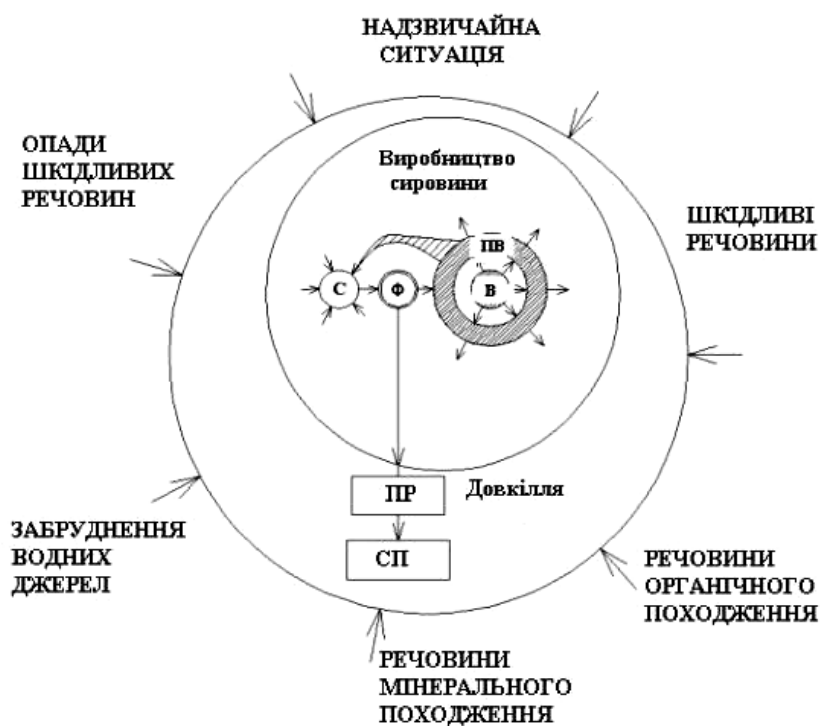


Рисисунко 1.1 – Структура класичного підходу щодо формування екологічного водного паспорта підприємства

Очевидно, що в нинішніх екологічних умовах потрібно докорінно змінювати функціональну схему підприємств. Вона мусить із випередженням протидіяти надзвичайним ситуаціям (рис. 1.3).

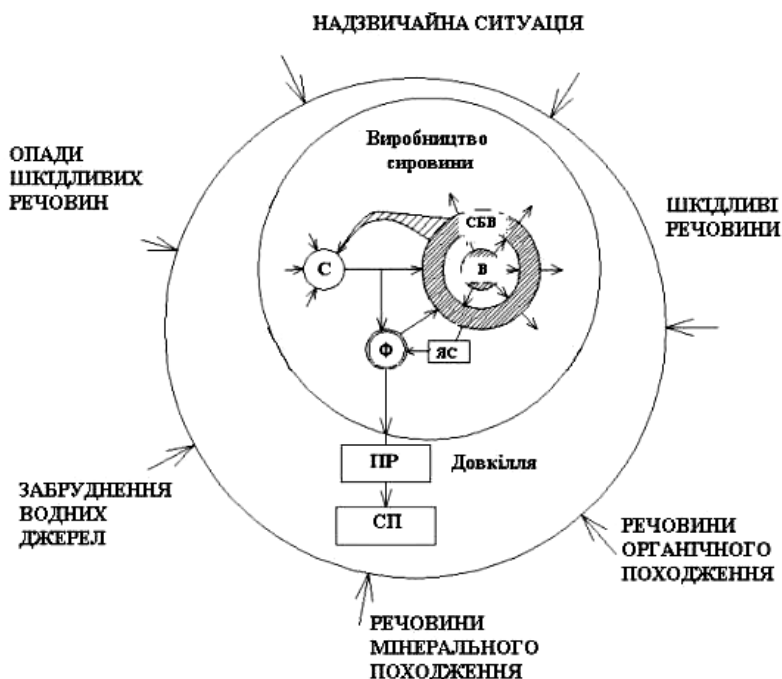
У рамках досліджень приймається, що надзвичайна ситуація (НС) у контексті функціонування промислових систем водоочищення – це ситуація, за якої технологічний процес або/і стан обладнання виходять за рамки паспортних режимів функціонування на час достатній, щоби призвести до забруднення довкілля або/і припинення водоочищення.

Саме на врахування ризиків дії НС мусять орієнтуватися науково-теоретичні засади нормативного забезпечення відповідного обладнання видалення забруднювачів із потоку стоків, дотримуючись водночас рамок чинного законодавства.



С – сировина; Ф – фабрика; ПР – продукція; СП – споживач, В – відходи; ПВ – переробка відходів (водних розчинів)

Рисунок 1.2 – Традиційна схема стратегічної протидії НС на підприємствах за каналом “водопостачання”



ЯС – якісна сировина; СБВ – система безпечного водопостачання

Рисунок 1.3 – Екологічно безпечна схема запобігання дії НС на підприємствах за каналом “водопостачання”

1.3. Нормативно-правова база систем очищення промислових стічних вод

Залежно від співвідношення БСК / ХСК промислові стічні води поділяють на 4 групи [25, 60, 62, 77, 84, 85, 127]:

I група: $\text{БСК}_{\text{повн}}/\text{ХСК} = 0,2$ (харчова промисловість, білково-вітамінна). Органічні забруднення цієї групи не токсичні для мікробів.

II група: $\text{БСК}_{\text{повн}}/\text{ХСК} = 0,10-0,02$ (стічні води коксування, сланцеві, содові води). Ці води після механічного очищення можуть бути спрямовані на біохімічне окислення.

III група: $\text{БСК}_{\text{повн}}/\text{ХСК} = 0,01-0,001$ (стічні води чорної металургії). Необхідна механічна та фізико-хімічна очищення.

IV група: БСК_{повн}/ХСК <0,001 – (гірничозбагачувальні фабрики), не схильні до біохімічного окислення.

Ключовою характеристикою промислових стічних вод є їхня багатокомпонентність [136, 137, 168, 173, 191]: в одному потоці стоків, як правило, містяться органічні та неорганічні забруднювачі з одночасним перевищенням ГДК, що створює проблему технологічного забезпечення якісного водоочищення. Правила скидання промислових стічних вод нормуються низкою нормативно-правових документів та здійснюється згідно [191, 198, 235]:

– Закону України "Про охорону навколишнього природного середовища" затвердженого 25.06.1991 р. та "Правилами прийняття стічних вод у комунальні та відомчі системи каналізації міст та селищ України"(КДП-204-12-Укр.218-92);

– Закону України "Про питну воду та питне водопостачання";

– Водного кодексу України від 06.06.1995 р. № 213/95-ВР;

– Правил приймання стічних вод підприємств в комунальні і відомчі системи каналізації населених пунктів України (Київ 2002 р.);

– Податкового кодексу України від 02.12.2010 р. № 2755-VI, розділ VIII "Екологічний податок";

– Правил охорони поверхневих вод, від забруднення зворотними водами, затверджених постановою Кабінету Міністрів України від 25 березня 1999 року № 465;

– ДБН В.2.5-75:2013 «Каналізація. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування»;

– Регіональними нормативно-правовими документами.

Ключовими параметрами якості стічних вод, які контролюються хімічним аналізом є [238, 241 – 243, 247 – 254]: азот амонійний, БСК₅, водневий показник (рН), зважені речовини, залізо, нафтопродукти, нітрити, нітрати, ХСК, фосфати, хлориди, СПАР, сульфати. Хімічний аналіз інших показників проводиться за необхідності з урахуванням специфіки підприємства – як правило, аналізи

доповнюються кількома показниками. Концептуальні питання екологічної безпеки у контексті водовідведення розглядалися такими спеціалістами, як М. Ф. Реймерс, Г. А. Білявський, Ю. А. Ізраель, І. П. Крайнов та іншими.

Щодо міжнародного законодавства, то була прийнята Директива 2000/60 / ЄС Європарламенту та Ради Європи: принципи для дій спільноти в галузі водної політики – Рамкова Директива про воду (Water Frame Directory, WFD) [270]: методологія оцінювання екологічного статусу в рамках 5-класової системи, у документі не представлені фізико-хімічні або екологічні нормативи щодо води. Найважливіший принцип цієї рамкової директиви ЄС: незалежно від того, чи відповідає вода у водоймі нормативу, чи ні, не можна допускати погіршення її якості та не можна допускати підвищення обсягу скидів забруднювачів у водойму; кожне нове скидання необхідно компенсувати зниженням обсягу наявних скидів.

Підходи до розроблення систем дозволів на скиди у ЄС: з урахуванням характеристик найкращої практично застосовної технології (best available technology, BAT); з урахуванням необхідності забезпечення відповідності нормативам якості навколишнього середовища (environmental quality standards - EQSs), що є частиною мети щодо забезпечення якості водоприймача.

Для великих водойм підхід на основі EQS допускає значно вищий рівень скидів, ніж підхід на основі технологій. У невеликому водоймищі викиди великого обсягу, встановлені на основі уявлень про технології, можуть перевищувати EQS.

Директивою WFD передбачений «комбінований підхід»: фактично обсяг скидів мінімізується із найкращою практично застосовною технологією, але він може бути скоректований, якщо забруднення перевершує EQS: має бути розроблена більш сувора система дозволів на скиди. Вона може коригуватися, якщо витрати «неспівмірні». Також Європейським парламентом і Радою (Рішення № 2455/2001/ЄС) затверджено перелік «пріоритетних» забруднюючих речовин: речовини, що представляють значну небезпеку водному середовищу або опосередковано через водне середовище – Список речовин ЄС I. Деякі речовини

обрані на підставі їхньої персистентності, токсичності та біоаккумуляції – 132 речовини. Список II (групи й сімейства речовин, які мають шкідливий вплив на водні басейни) містить усі речовини списку I, які ще не підлягають регулюванню в межах Співтовариства. Оскільки є тільки 18 «фактичних» речовин у списку I, усі решта 114 речовин зі «списку речовин кандидатів I» і групи й сімейства речовин, зазначені в рамках списку I, повинні розглядатися як речовини списку II. Зазначена нормативно-правова база містить дотримуватись під час технологічної реалізації процесів водоочищення та підтримуватися відповідним метрологічним забезпеченням, навіть в умовах дії НС, що в нормативних документах як України, так і за кордоном недостатньо відображено (табл. 1.6)

Таблиця 1.6 – Порівняння української та міжнародної нормативних баз водоочищення

Нормативний документ України	Міжнародні документи	Недоліки (із практичної точки зору у контексті НС)
Контроль якості стоків		
<ul style="list-style-type: none"> - Водний кодекс України від 06.06.1995 р. № 213/95-ВР; - Закону України "Про охорону навколишнього природного середовища" затвердженого 25.06.1991 р. - Закон України «Про забезпечення санітарного та епідеміологічного благополуччя населення» від 24.02.1994 № 4004-XII. База даних «Законодавство України» - Закон України «Про захист населення від інфекційних хвороб» від 06.04.2000 № 1645-III. База даних «Законодавство України» 	<ul style="list-style-type: none"> - Рамкова Директива 2000/60 / ЄС Європарламенту та Ради Європи про воду (Water Frame Directory, WFD); - Директива 98/83/ЄС «Щодо якості питної води»; - Primary Drinking Water Regulations (U.S.EPA) 	Не пропонуються шляхи превентивної протидії надзвичайним ситуаціям
<ul style="list-style-type: none"> - Правила приймання стічних вод підприємств в комунальні і відомчі системи каналізації населених пунктів України; - Правил охорони поверхневих вод, від забруднення зворотними водами, затверджених постановою Кабінету Міністрів України від 25 березня 1999 року № 465. 	<ul style="list-style-type: none"> - Директива про очистку міських стічних вод (91/271/ЄС) - Директива щодо інтегрованого контролю і запобігання забруднення (96/61/ЄС) 	Не пропонуються шляхи превентивної протидії надзвичайним ситуаціям
<ul style="list-style-type: none"> - Податковий кодекс України від 02.12.2010 р. № 2755-VI, розділ VIII "Екологічний податок" 	<ul style="list-style-type: none"> - Програма дій по охороні довкілля Міжнародної організації співпраці («забруднювач платить»); - Федеральний податок страхового характеру на дію НС (США) 	Пропонуються шляхи превентивної протидії надзвичайним ситуаціям лише у США
Проектування систем водоочистки		
<ul style="list-style-type: none"> - ДБН В.2.5-75:2013 «Каналізація. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування» 	<ul style="list-style-type: none"> Commission Implementing Decision (EU) 2018/1147 of 10 August 2018 establishing best available techniques (BAT) conclusions for waste treatment, under Directive 2010/75/EU of the European 	Не розраховуються режими роботи водоочисного обладнання в умовах дії надзвичайних ситуацій
Дія надзвичайних ситуацій		
<ul style="list-style-type: none"> - Розпорядженням Кабінету Міністрів України від 22.01.2014 р. №37-р схвалено Концепцію управління ризиками виникнення надзвичайних ситуацій техногенного та природного характеру - Постановою Кабінету Міністрів України від 26.09.2018 р. №779 «Деякі питання запобігання виникненню надзвичайних ситуацій» 	<ul style="list-style-type: none"> - Директива Ради Європи № 89/391/ЄЕС - Сімейство ISO 31000 - Сімейство стандартів ISO 14000 	В Україні лише декларується загроза Національній безпеці від небезпечного водоскиду в умовах надзвичайних ситуацій

Водночас дотепер немає загальноприйнятого підходу в питанні валідації систем водоочищення – повноцінний нормативний базис в Україні відсутній.

Саме тому за прототип (аналог) методики валідації доцільно взяти розробки ЗАТ НПК «Медіана-фільтр» [58], які стосуються реалізацій технічного регулювання комплексів водопідготовки для фармацевтичних компаній, оскільки вона є відпрацьованою та впровадженою на промислових об'єктах. Така концепція базується на GMP (Good Manufacturing Practice) та включає етапи (без включення передатестаційної стадії із врахуванням потреби управління ризиками та змінами):

1. Кваліфікація проекту (Design Qualification – DQ). На цій стадії валідації проводиться перевірка й оцінка проектної документації на відповідність принципам GMP і вимогам технічного завдання (ТЗ).

2. Кваліфікація монтажу і функціонування (Installation Qualification / Operational Qualification – IQ / OQ) проводиться в три етапи:

- перевірка комплектності експлуатаційної документації (цей етап атестації мусить підтвердити, що вся необхідна документація є в наявності);

- атестація монтажу (проводиться оцінювання якості монтажу/установки технологічного устаткування через візуальний огляд; атестація монтажу мусить підтвердити, що система відповідає специфікації технічного завдання та проекту);

- атестація функціонування (перевіряється робота технологічного обладнання за допомогою проведення тестування обладнання і всіх керуючих пристроїв у нормальному режимі експлуатації; атестація функціонування мусить підтвердити, що робота всіх компонентів системи водопідготовки відповідає встановленим вимогам. Важливо довести, що всі контрольні параметри відповідають критеріям приймального контролю, обладнання працює правильно та надійно у азі нормальному і пікового споживання води.

3. Кваліфікація експлуатації (Performance Qualification – PQ). На цьому етапі проводиться перевірка і оцінка надійності та ефективності експлуатаційних

параметрів технологічного обладнання шляхом достатньо тривалої пробної експлуатації.

4. Кваліфікація процесу (Process Validation – PV). На цьому кроці проводиться перевірка й оцінювання ефективності процесів. Атестація їх проводиться зазвичай під час проведення атестації функціонування й атестації експлуатації.

5. Управління змінами. Оскільки всі модифікації устаткування, технологічних процесів або порядку дій можуть зумовити зміну параметрів або вплинути на очікувані результати, то будь-які зміни після валідації повинні здійснюватися під контролем. Управління змінами повинно проводитися відповідно до заздалегідь встановленої процедури, викладеної в стандартних операціях процесів (СОП) з управління змінами.

6. Управління ризиками. Оцінка ризику є основою для розробки рекомендацій щодо зниження ризиків, який спирається на законодавчу базу і економічний підхід для аналізу альтернатив щодо мінімізації ризиків (рис. 1.4).

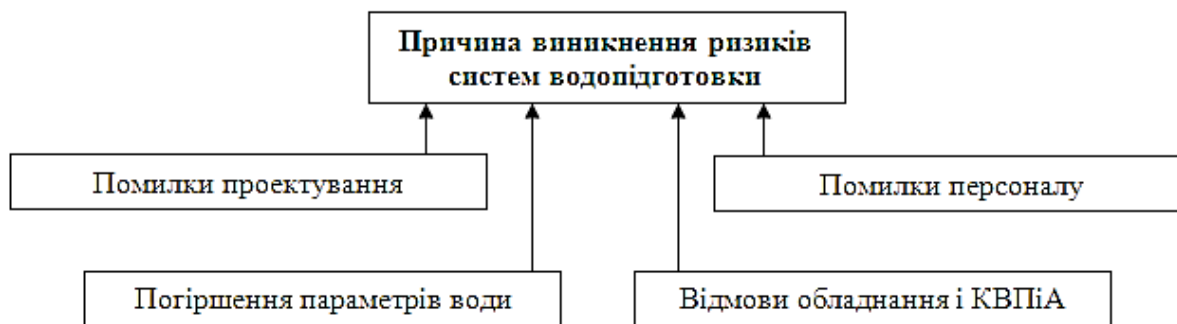


Рисунок 1.4 – Основні категорії небезпек систем водопідготовки (згідно концепції валідації ЗАТ НПК «Медіана-фільтр»)

Аналізуючи категорії небезпек (див. рис. 1.4) приходимо до висновку, що ключовими структурно-функціональними небезпеками в контексті систем водоочищення є: неякісні проектування та відсутність інформації щодо неефективного водоочищення. Водочас концепція валідації ЗАТ НПК «Медіана-

фільтр» має недолік, який фактично унеможлиблює її використання для систем опрацювання стоків: на відміну від водопідготовки в останніх неможливо спрогнозувати перелік забруднювачів неорганічного (органічного) походження та можливі діапазони зміни їхніх значень.

Саме ж проектування систем видалення забруднювачів зі стоків виконується відповідно до нормативних документів (наприклад, ДБН В.2.5-75:2013 «Каналізація зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування») і базується на виборі обладнання згідно із систематизацією забруднювачів за їхнім фазово-дисперсним станом (ФДС) створеної академіком Л. А. Кульським [56]. Здатність багатьох речовин у водному середовищі змінювати свій фазово-дисперсний стан під впливом таких чинників, як рН, сольовий склад, температура, дозволяє варіювати технологічні прийоми процесів видалення домішок за допомогою реакцій, властивих іонним, молекулярним і колоїдним системам та зваженим частинам.

Водночас методологія вибору способів очищення стічних вод згідно з ФДС також має значний недолік [257, 260, 264, 273]: у результаті вибирається кілька альтернативних технологічних рішень одного завдання й постає питання вже вибору між ними, відштовхуючись від їхньої ефективності та ресурсозатратності (електроенергозатратності), який у разі багатоконпонентності забруднювачів та непередбачуваності зміни їхніх значень значно ускладнюється. Відповідно, без математичних та фізичних засобів попереднього оцінювання результатів кваліфікації проекту (DQ) можна не пройти вже початковий етап валідації комплексів очищення стічних вод.

Отже, створення методичного та технічного забезпечень вимірювання і використання параметрів енергоефективності, як складової ресурсоефективності, що підтримуватимуть процеси валідації технологій водоочищення, дасть змогу покращити виконання технічного регулювання таких технологічних комплексів.

1.4. Метрологічна діяльність із забезпечення єдності вимірювань екологічної безпеки очищення промислових стічних вод

Робота обладнання, що забезпечує видалення забруднювачів, базується на реалізації технологічного регламенту. Технологічний регламент повинен сприяти протіканню процесів належної (запланованої) якості з мінімальною витратою використовуваних ресурсів, тобто сприяти досягненню оптимальних техніко-економічних показників виробництва, встановлювати найбільш безпечні способи ведення робіт, регулювати умови виробничих процесів та експлуатації виробництва загалом. Технологічний регламент використовується впродовж усього життєвого циклу технологічного процесу. Обов'язковість наявності на об'єктах водовідведення, куди входять і обладнання водоочищення, передбачено чинним Наказом Державного комітету України по житлово-комунальному господарству № 30 від 05.07.1995 (Зареєстровано в Міністерстві юстиції України 21 липня 1995 р. за № 231/767).

У контексті систем водоочищення, то технологічний регламент з обслуговування систем водоочищення – обов'язкова умова безперебійного функціонування комплексу водоочисного обладнання [93, 124, 128, 131].

Аналізуючи склад технологічних регламентів та особливості функціонування водоочисного обладнання, можна зробити висновки, що ключовими та дуже складними завданнями під час виконання технологічного регламенту безпосередньо на виробництві є:

- – контроль технологічних процесів у проектно встановлених точках відбору проб стічної води та осаду, характеристик наявних приборів контролю очисних споруд;

- технологічний аналіз роботи обладнання згідно з виробничими експлуатаційними показниками, масовими витратами ресурсів, ефективністю очищення згідно з регламентно встановленими критеріями та показниками.

Водночас чим складніше завдання водоочищення, тим громіздкіший та менш надійний (ефективний) контроль за дотриманням регламентних вимог. Наприклад, при реалізації технологічної схеми хімічного способу видалення забруднювачів міжнародного концерну «Siemens», необхідно одночасно контролювати понад 40 технологічних величин (згідно з вимогами виробника та фактичною наявністю невеликої кількості датчиків).

Між тим стоки (побутові, виробничі та атмосферні) містять зазвичай велику кількість неорганічних і органічних компонентів [145, 146, 148, 153, 154, 162, 163, 165, 202], точний їхній склад, навіть у якісному відношенні, не завжди можна заздалегідь передбачити – у переважній більшості випадків цього зробити неможливо. Навіть у разі простого змішування стоків від різних цехів підприємства відбуваються хімічні реакції між компонентами цих стоків, що призводять до утворення нових речовин. У разі хлорування, наприклад, з'являються продукти окислення неорганічних і органічних речовин і їхні хлорпохідні [205]. Біохімічному очищенню піддаються промислові стічні води, змішані з господарсько-побутовими стічними водами, і тоді в очищених водах можна нерідко виявити непередбачувані органічні сполуки [206].

Технологічний контроль якості води складається приблизно на 40 % з оцінки її органоліптичних властивостей, визначенні каламутності (прозорості) і вмісту завислих часток, приблизно 20 % аналізів – визначення різних сумарних показників, 29 % всіх аналізів припадає на неорганічні речовини й тільки 3 % на органічні речовини (головно, це нафтопродукти, синтетичні СПАР, поліакриламід) [216]. Не завжди методики в належній мірі метрологічно досліджені й обґрунтовано їхні застосовності для вирішення конкретного завдання. Так «арбітражна» методика визначення ХСК дає кількісні результати при рівні забруднення $270 \text{ мг O}_2/\text{дм}^3$ і більше, а БСК₅ з рівня $175 \text{ мг O}_2/\text{дм}^3$. Однак обидві методики зазвичай рекомендують і для аналізу набагато менш забруднених вод.

Методичні складності аналізу вод стають очевидними, зокрема, під час міжлабораторного дослідження. Незначна кількість методик, у тому числі й, що ґрунтуються на використанні найсучасніших фізичних методів, дають можливість надійно визначати поліютанті на рівні ГДК [217, 218, 258].

Ще складніша ситуація із технічними приладами, здатними працювати в режимі реального часу в промислових умовах – а саме вони є обов'язковими для контролю за дотриманням регламентних вимог щодо ефективності водоочищення.

Узагальнюючи, автоматизовані інформаційно-вимірювальні комплекси (ІВК), під час максимального компонування, наприклад, для розв'язання задач управління комплектом обладнання концерну «Siemens» можна поділити на рівні (рис. 1.5).

Однак, навіть такий ієрархічний підхід не дає можливості забезпечити повної автоматизації процесів – через відсутність усього потрібного переліку промислових датчиків, здатних працювати в режимі реального часу (пункт 1.1). Для розв'язання такої задачі доцільно використати засоби моделювання, що дасть змогу покращити спостережуваність (прогнозованість) процесів та можливість проектування й дотримання технологічних регламентів.

Моделі, які найширше застосовуються під час проектування та дослідження процесів водоочищення, у тому числі комбінованої, поділяються на [280]:

- фізичні,
- математичні.

Перші з них дозволяють із використанням натурних макетів та пілотних установок, дослідити функціональні особливості процесів, котрі не вдається дослідити математичними підходами. Особливістю таких прийомів є прив'язка створеного наукового-технічного обладнання до якогось певного з методів впливу на водні розчини (пункт 1.2) або до задач пов'язаних з одним класом промислових підприємств (наприклад, стоки молочної промисловості).

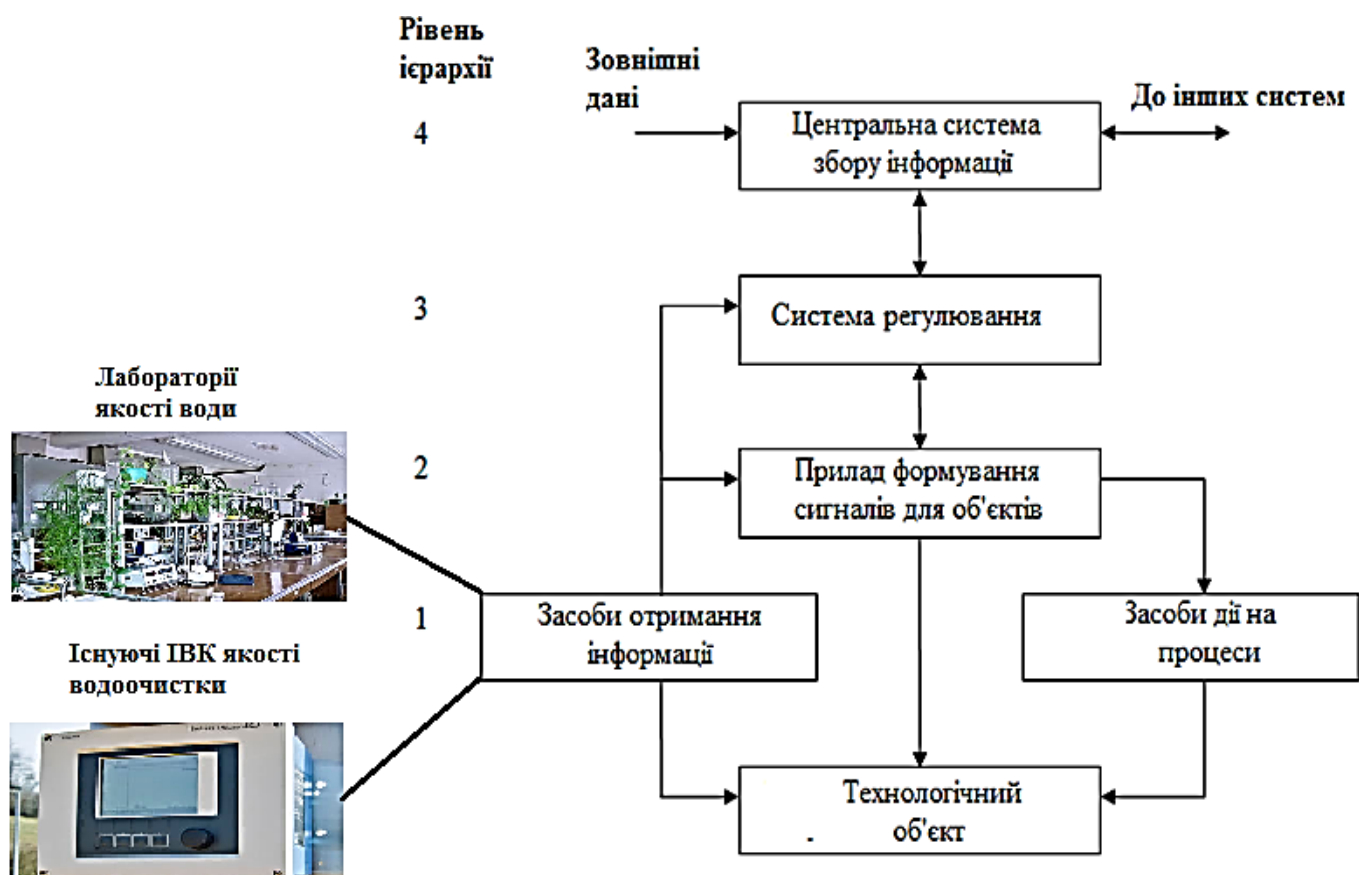


Рисунок 1.5 – Ієрархічна класифікація автоматизованої обробки та перетворення інформації процесів водоочищення

У таких наукових цілях використовується обладнання розроблене Г. М. Івановим, В. А. Гвоздєвим, А. К. Кінебасом, Л. П. Русоною. Установа забезпечена механізмом повороту й засобами фіксації колон у вертикальному положенні. Фільтрувальна колона має коробчату форму, що розширюється у верхній частині, де утворюються зливні камери. Завдання обладнання – технічне моделювання процесів фільтрації.

Автори А. І. Горова, В. Є. Колесник та Д. В. Кулікова провели фізичне моделювання процесу випадіння завислих речовин у макеті відстійника. Побудовано криві випадіння часток залежно від тривалості відстоювання за різної висоти шару рідини й середньої швидкості осадження завислих часток (або їхньої гідравлічної крупності).

Отримані результати застосування таких моделей дають змогу через масштабування перенести отримані конструктивні та режимні параметри на реальне обладнання. Однак, створення якісних фізичних моделей вимагає, як правило, значних фінансових затрат та кваліфікованих вузькоспеціалізованих фахівців, тому перспективним напрямом є застосування математичних моделей.

Розроблення математичних моделей активно проводилася групою науковців під керівництвом В. А. Вавіліна. Колектив створив такі математичні моделі як: «Азот», «Азот2», «Метан». Модель «Азот 2» була успішно використана під час проектування перших великих споруд нітри-денітрифікації на Люберецькій станції в 1996 – 1997 рр. Досвід її застосування показав, що за відповідної настройки вдалося отримати високу точність розрахунків та впровадити в практику раніше не використовуваний у великих масштабах процес очищення.

Вирішальний прорив у сфері створення сучасних моделей споруд очищення стічних вод, що дав змогу зробити їх засобом проектування й дослідження режимів станцій очищення стічних вод, був зроблений міжнародною групою фахівців – дослідницькою групою з моделювання процесів з активним мулом International Water Association (IWA) під керівництвом М. Хенце. Цією групою були синтезовані моделі ряду ASM – activated sludge model. Модель ASM1, створена в 1986 році, описувала процеси аеробного окислення органічних речовин і нітри-денітрифікації.

Практичний інтерес мають роботи виконані В. Я. Пономарьовим, Е. Ш. Юнусовим, Г. О. Єжковим щодо математичного моделювання процесів аеробного очищення стічних вод харчової промисловості розроблена у вигляді системи диференційних рівнянь.

Аналітичне дослідження фільтрування стоків через іонобмінні фільтри виконане Ю. А. Лебедєвим та М. А. Тихоновим базується на попередніх експериментальних дослідженнях у лабораторних умовах. Отримані результати дали змогу покращити економічні показники роботи водоочисного обладнання.

Є велика кількість робіт присвячених побудові й дослідженню математичних моделей електродних (В. М. Волгін, А. П. Грігін, А. Д. Давидов) та електромембранних систем видалення забруднювачів із водних розчинів (Є. Ю. Будніков, О. В. Григорчук, Е. Н. Коржов, В. А. Кузьмініх, В. В. Ніконенко, С. Ф. Тімашов, В. А. Шапошник).

Науковці О. Я. Олійник, Т. С. Айрапетян провели аналітичне дослідження очищення стічних вод від органічних забруднень у біореакторах-аеротенках зі зваженим (вільноплаваючим) і закріпленим біоценозом, що дало змогу оптимізувати роботу біологічним способом водоочищення.

Окремо виділяється напрям створення математичних моделей технологічного обладнання, які надалі являються базисом для систем автоматизованого управління. Цьому напрямку присвячені роботи М. М. Назаряна, Л. А. Кульського, М. Б. Мануйлова, А. Л. Кульського, Ф. І. Гончарова, В. Т. Єфімова, І. Т. Гороновського, Ф. Шинси, У. Рей, Д. Н. Смірнова та інших вітчизняних та закордонних вчених.

Заразом кожен із варіантів моделювання процесів водоочищення має як свої переваги, так і недоліки (табл. 1.7). Узагальнюючи, можна стверджувати, що поєднання фізичного та математичного моделювання в єдиному інструментальному інженерно-технічному комплексі дасть змогу інтегрувати сильні сторони підходів мінімізувавши слабкі. Під час створення таких інструментальних засобів та комплексів доцільно максимально враховувати і можливість дії надзвичайних ситуацій – розширюючи їхню область ефективного практико-орієнтованого використання.

Особливо перспективним є використання для таких цілей математичного апарату інтелектуальних систем [283], здатних працювати в умовах невизначеності та розмитості вхідної інформації [324].

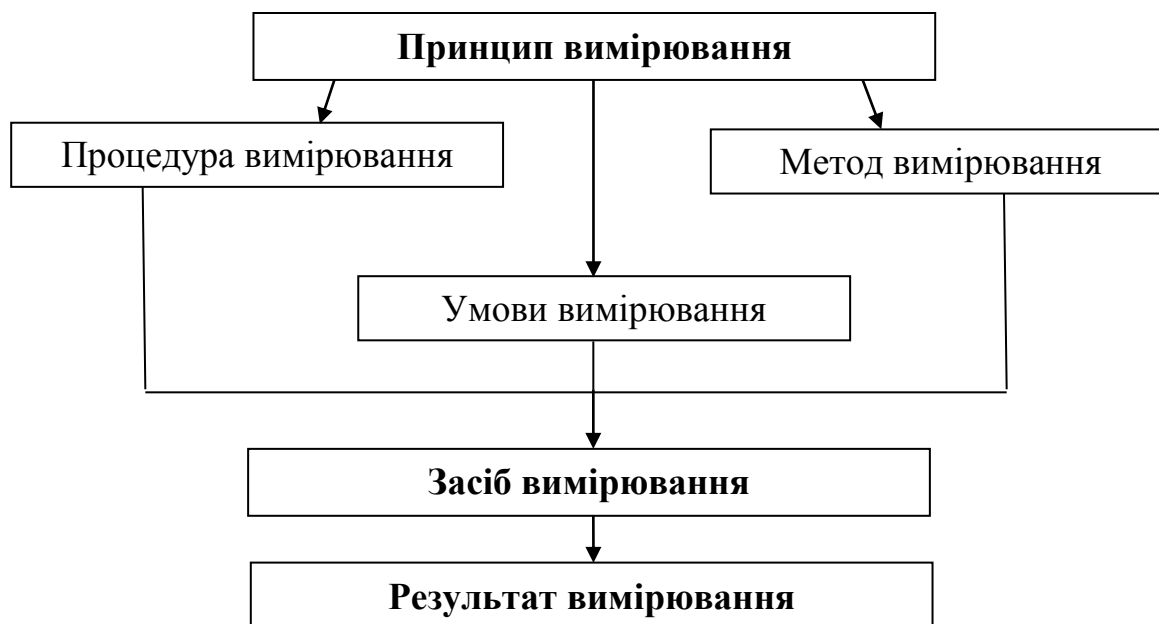
Таблиця 1.7 – Оцінка типів моделювання процесів водоочищення

Показники	Фізичні моделі	Математичні моделі
Доступність перенесення на виробничий об'єкт	Під час роботи з фактичними стоками, а не модельними стоками, переносяться досить ефективно	Потребують тривалого процесу адаптації на виробництві та ітераційної перевірки адекватності
Вартість досліджень	Для отримання якісного обладнання необхідні значні фінансово-матеріалі та часові затрати	Фінансові затрати не значні, часові – співвимірні із фізичним моделюванням
Вимоги до персоналу під час постійного використання на виробництві	Висококваліфіковані фахівці	Висококваліфіковані фахівці
Вимоги до засобів створення моделей	Спеціалізоване виробництво, включаючи конструкторську групу	Наявність програмного забезпечення та профільних фахівців

1.5. Постановка задач наукових досліджень

Процедура отримання вимірювальної інформації містить послідовність науково-обґрунтованих елементів (кроків), які потрібно реалізувати для того, щоби зберегти вимоги єдності вимірювань та оперувати надалі достовірними даними. Встановлено (пункти 1.1 – 1.4), що стосовно об'єктів водочищення та технологічних комплексів її забезпечення, найскладнішими кроками такого

алгоритму є перехід від принципів вимірювання (фізичного явища/ефекту, що лежить в основі вимірювання) до їхніх результатів [108, 117, 151, 199] (рис. 1.6).



Риснок 1.6 – Фрагмент процедури отримання вимірювальної інформації

У результаті постійних змін умов вимірювання (виходу за проектно-встановлені робочі межі) відбувається непередбачуване коливання результатів вимірювання якості стічних вод (рис. 1.7). Це насамперед викликано значним взаємовпливом показників якості стоків та постійними стохастичними змінами параметрів технології виробництва; водночас вимірювання потребують від кількох десятків хвилин до кількох годин, навіть діб (біологічне споживання кисню, Coli-index). Неefективність і довготривалість вимірювань, з погляду екологічної безпеки, неприпустимі – особливо в умовах потенційній дії надзвичайних ситуацій (НС) на виробництвах і, відповідно, залпових збільшеннях значень забруднювачів і/або витрат стічних вод. Ситуація ускладнюється тим, що відсутні або мають низькі точність та швидкодію сучасні засоби автоматичних вимірювань складу води [246, 259].

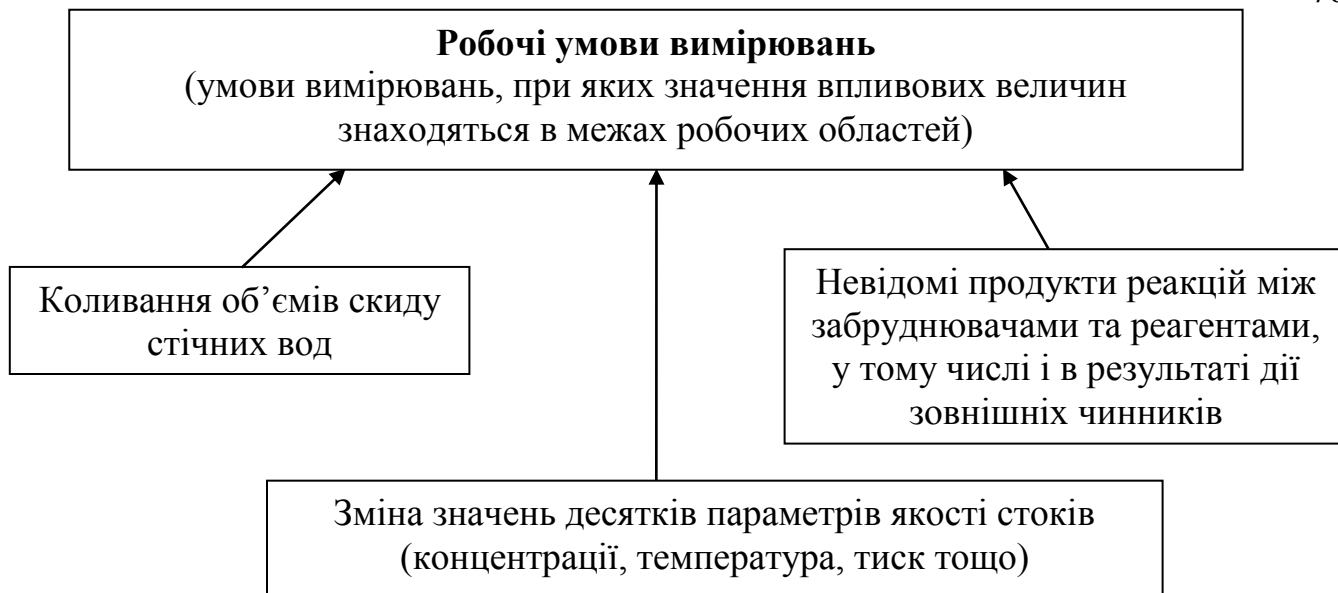


Рисунок 1.7 – Схема впливу базових негативних непередбачуваних та нелінійних чинників на робочі умови вимірювання якості стоків на очисних спорудах

Тобто фактично не можливо в режимі реального часу керувати системою водоочищення, базуючись на сучасних засобах вимірювальної техніки, оскільки матиме місце один із негативних сценаріїв: неякісне водоочищення й забруднення навколишнього природного середовища; нераціональне використання (перевитрати) ресурсів (електроенергії, реагентів тощо).

Водночас термін *«режим реального часу»* для інформаційно-вимірювальних комплексів систем водоочищення трактується згідно ISO/IEC ISP 15287-2 – режим обробки інформації, під час якого забезпечується взаємодія системи обробки інформації із зовнішніми щодо до неї процесами в темпі, коректно порівнюваному зі швидкістю протікання цих процесів. Така ситуація невідповідності науково-технічних засад нормативної бази (*взаємопов'язані нормативні й рекомендаційні організаційно-методичні документи щодо розроблення, нормування та застосування технологічних процесів видалення забруднювачів зі стоків, які базуються на єдиних методологічних принципах, термінології, й охоплюють основні технологічні процедури й компоненти, включно з технологічними правилами й системами технологічних нормативів і норм*) комплексу не

вирішених актуальних завдань екологічної безпеки водоочищення призводить до невиконання її вимог на різних рівнях, перш за все, на рівні внутрішніх документів промислових підприємств, а саме технологічних регламентів (рис. 1.8).

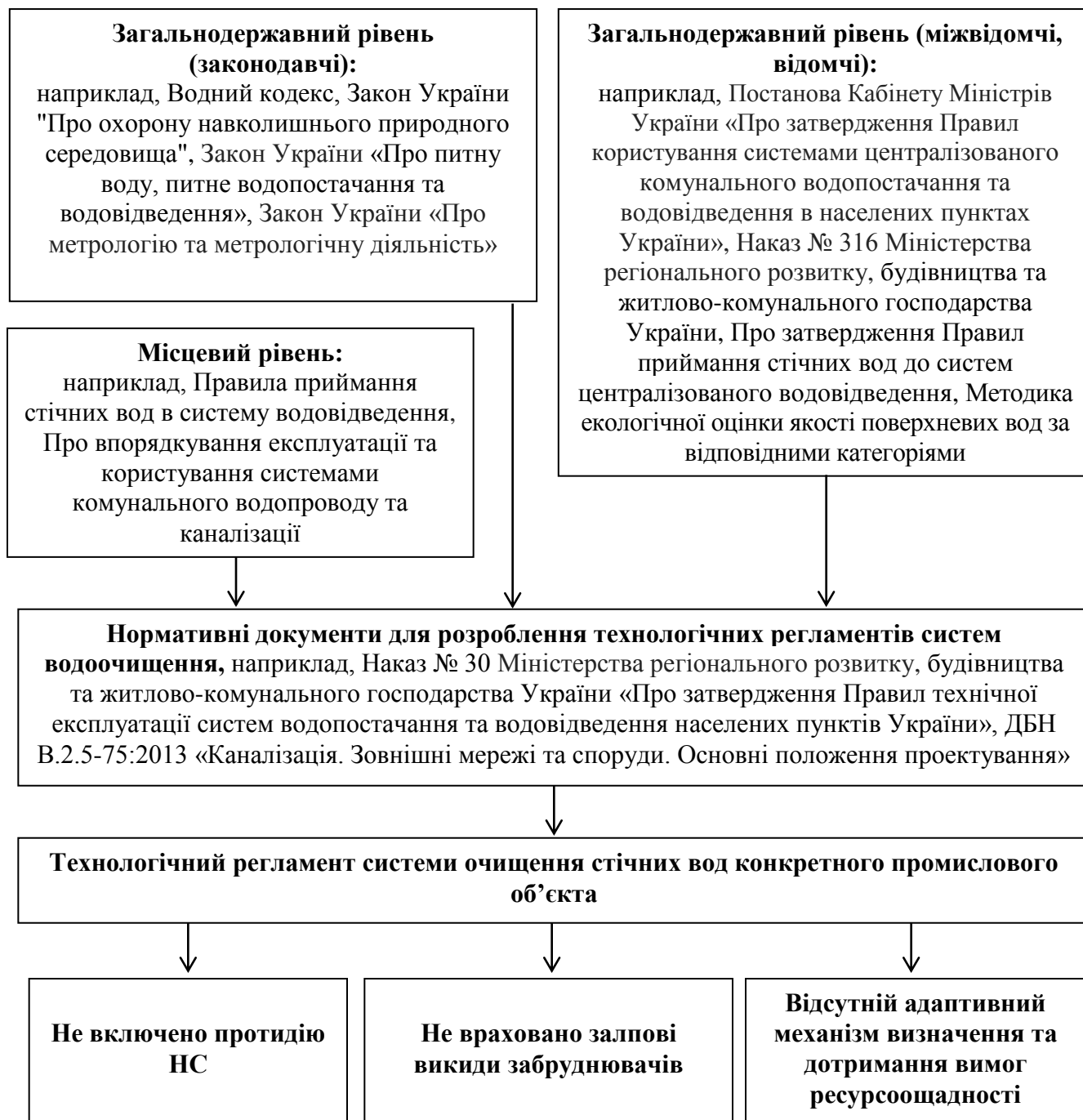


Рисунок 1.9 – Сучасна структура використання нормативної бази промислового водоочищення для розроблення технологічних регламентів очисних споруд

Для вирішення обґрунтованих протиріч сформульовано **НОВУ НАУКОВО-ПРАКТИЧНУ ПРОБЛЕМУ**, 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.

Гіпотеза дослідження базується на припущенні, що комплексне врахування ризиків виникнення надзвичайних ситуацій та перевитрат ресурсів під час управління екологічною безпекою промислового водоочищення через удосконалення технологічних процесів та устаткування на основі фізичного та математичного моделювань дасть змогу забезпечити дотримання вимог охорони довкілля за мінімізації ресурсовитрат.

У рамках розв'язання проблеми сформульовано наступні завдання:

- 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 та 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 з урахуванням ризиків виникнення надзвичайних ситуацій для поліпшення рентабельності та еколого-енергетичної ефективності впровадження ресурсозберігальних схем водозабезпечення згідно з вимогами систем екологічного менеджменту.

РОЗДІЛ 2

ДОСЛІДЖЕННЯ НАУКОВО-ТЕОРЕТИЧНИХ ЗАСАД ЕКОЛОГІЧНО БЕЗПЕЧНОГО ПРОМИСЛОВОГО ВОДООЧИЩЕННЯ

2.1. Створення концептуальних та функціональних моделей процесів збирання, опрацювання та використання техніко-економічної інформації промислового водоочищення

Промислове обладнання водоочищення є складним технологічним комплексом, який містить декілька видів технічних засобів, які реалізують різні методи впливу на водні розчини з метою доведення показників стоків до вимог ГДК. Системний аналіз функціонування таких систем передбачає розгляд цілісної картини взаємозв'язків, що створюють унікальну структуру.

Використовуючи наведені міркування та підходи, викладені у [30, 101, 179, 192] процедура досліджень представлена у вигляді матриці на рисунку 2.1. Важливою є розв'язання задачі ресурсоефективності: як у теоретичній площині, так і при практичній реалізації науково-теоретичних засад нормативної бази (НТЗ НБ). Ключовим питанням є синтез критерію техніко-економічної ефективності, на основі яких здійснюватиметься порівняльна характеристика різних варіантів реалізацій досліджуваних систем. Системи інформаційного проектування реалізують методики інфологічного проектування, у них широко використовується мова та методика створення інформаційних моделей програм, закріплена в методології IDEF1X (IEEE 1320.2-1998) [234, 240, 286]. Основна структура діаграми (контекстна) має вигляд представлений на рисунку 2.2.

Вхідними даними процесу водоочищення (у розрізі електротехнологій) є:

- «Якість стічної води отримана від вимірювальних пристроїв»;
- «Якість стічної води отримана із лабораторії»;
- «Стан електротехнологічного обладнання».

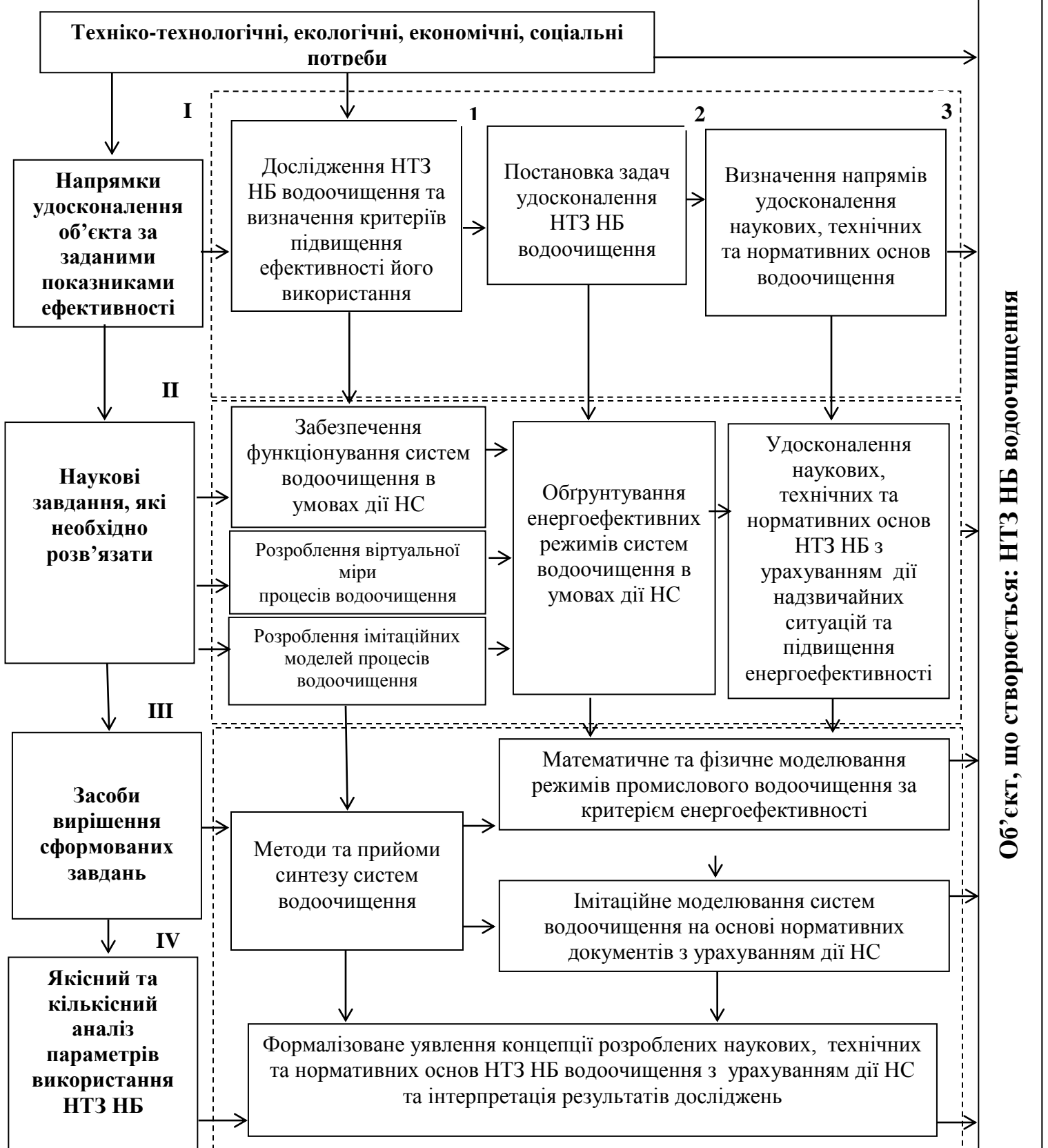


Рисунок 2.1 – Матриця процедур дослідження науково-теоретичних засад нормативної бази водоочищення

Водоочищення виконує «Електротехнологічне забезпечення», що інтегрує весь перелік необхідних та регламентно-передбачених технічних засобів та являється механізмом згідно з методологією IDEF0.

Управління функціонуванням технологічного процесу забезпечують «Нормативно-правові вимоги» (на основі Закону України про питну воду та питне водопостачання, Закону України "Про охорону навколишнього природного середовища", "Правилами прийняття стічних вод у комунальні та відомчі системи каналізації міст та селищ України" та Водного кодексу України) і вартість електричної енергії.

Виходи такого процесу:

- «Якість стічної води після очищення»;
- «Енергозатратність водоочищення».

Провівши функціональну декомпозицію першого рівня (розкривши контекстну діаграму (див. рис. 2.2) дістали деталізацію процесу отримання та опрацювання техніко-економічної інформації водоочищення (рис. 2.3).



Рисунок 2.2 – Контекстна діаграма отримання та опрацювання техніко-економічної інформації промислового водоочищення

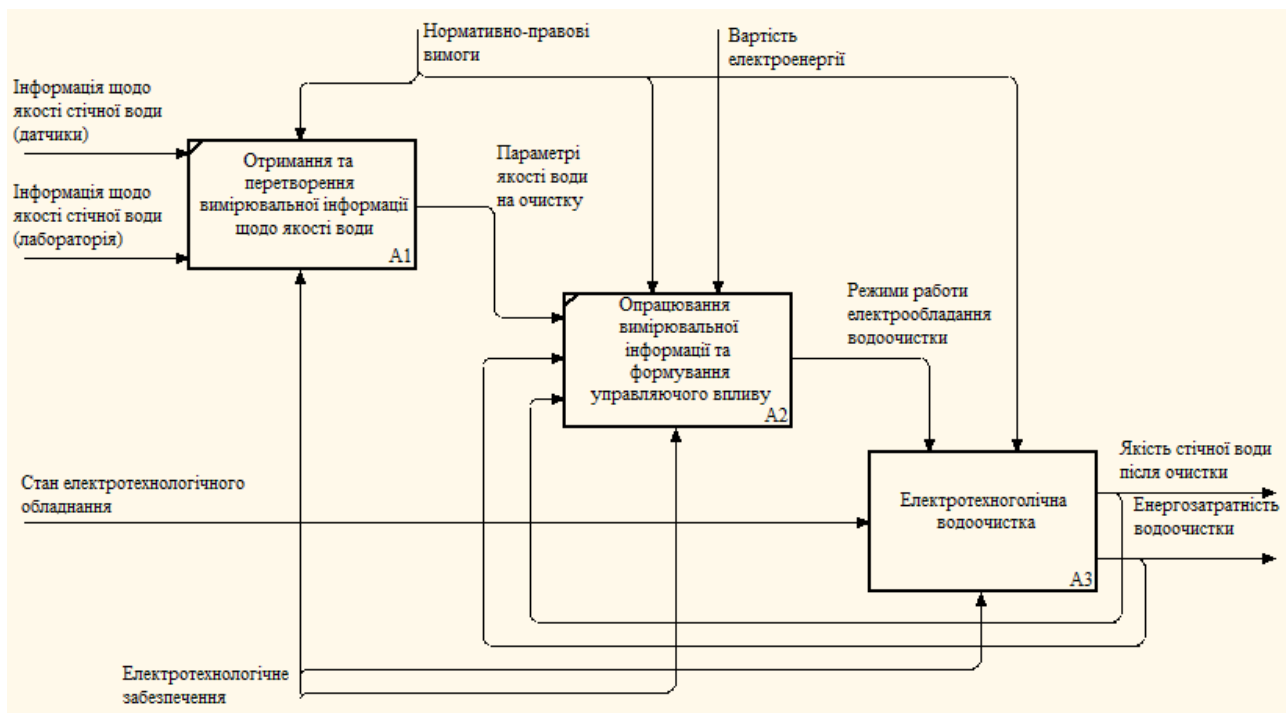


Рисунок 2.3 – Декомпозиція контекстної діаграми отримання та опрацювання техніко-економічної інформації промислового водоочищення

У розширеному функціональному представленні інформації виходом блоку A1 «Отримання та перетворення техніко-економічної інформації щодо якості води» є інтерфейсна дуга «Якість стічної води», котра виконує функції входу для блоку A2 «Опрацювання техніко-економічної інформації та формування управляючого впливу». Останній блок є ключовим, оскільки він акумулює та опрацьовує фактично всю інформація, як вимірювального характеру так і управляючого.

Блок A2 передає управляючий вплив «Режими роботи електрообладнання водоочищення» на блок A3 «Електротехнологічна водоочищення». Між тим обидва виходи блоку A3 додатнім зворотним зв'язком повертаються у якості входів у блок A2.

Нижнім рівнем деталізації процесів водоочищення є функціональна декомпозиція блоку A3 «Електротехнологічна водоочищення» (рис. 2.4).

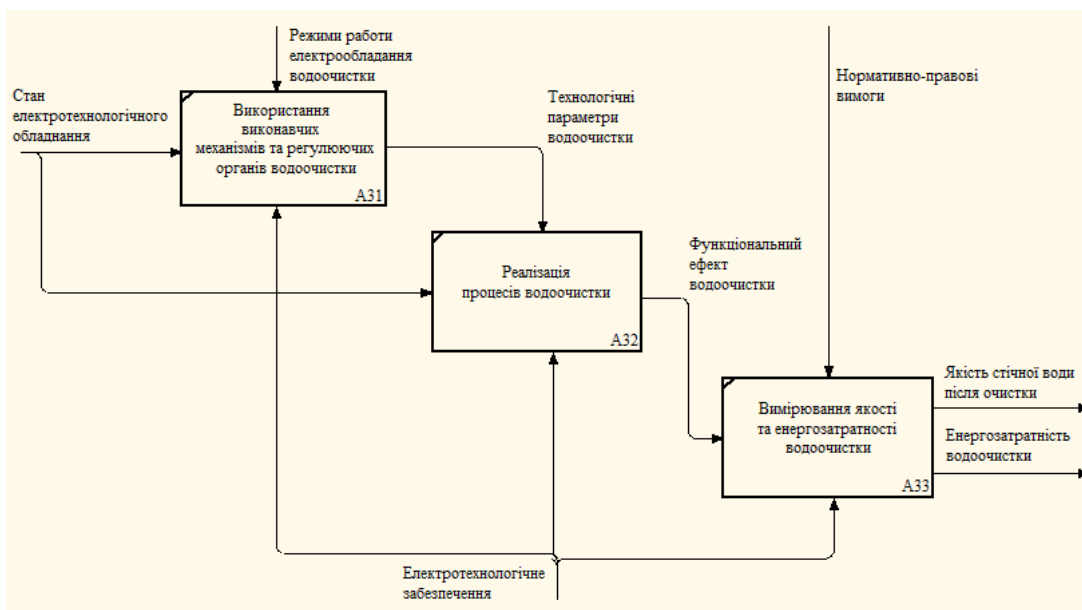


Рисунок 2.4 – Декомпозиція блоку А3 «Електротехнологічна водоочищення»

У результаті (див. рис. 2.4) отримано три функціональні блоки:

- А31 «Використання виконавчих механізмів та регулюючих органів»: управління – «Режими роботи електрообладнання»; вихід – «Технологічні параметри водоочищення»;

- А32 «Реалізація процесів водоочищення»: управління – «Технологічні параметри водоочищення»; вихід – «Функціональний ефект водоочищення»;

- А33 «Вимірювання якості та енергозатратності водоочищення»: управління – «Нормативно правові вимоги»; виходи – «Якість стічної води після очищення» та «Енергозатратність водоочищення».

У результаті аналізу функціонального моделювання отримання та опрацювання техніко-економічної інформації обладнанням промислового водоочищення (див. рис. 2.2 – 2.4) можна виокремити три базові функціональні блоки (різнорівневої ієрархічності), які необхідно теоретично дослідити та визначити методичні підходи щодо їхньої реалізації, оскільки вони недостатньо досліджені (згідно з матеріалами Розділу 1):

- «Отримання та перетворення техніко-економічної інформації щодо якості води»;
- «Реалізація процесів водоочищення»;
- «Опрацювання техніко-економічної інформації та формування управляючого впливу».

Із врахуванням зазначеного [287] розроблюється універсальна концептуальна модель системи ефективного опрацювання техніко-економічної інформації комбінованих установок водоочищення із включенням інтелектуальних модулів. Приймається, що будуть використовуватися типові способи впливу на водні розчини, включно із фактично всім їхнім спектром: фізичні, біологічні та фізико-хімічні.

Концептуальною основою об'єктоорієнтованого підходу є об'єктна модель. Основними її елементами є: абстрагування, інкапсуляція, модульність, ієрархія.

Для цього доцільно використовувати UML (Unified Modeling Language) – уніфіковану мову моделювання, яка не залежить від технологій і використовується для моделювання систем, у тому числі багатопараметричних, за допомогою об'єктоорієнтованих парадигм.

Встановлюємо, що в систем є такі «актори-люди»:

- Інженер-технолог;
- Черговий оператор.

Крім них є актори відповідні зовнішнім системам:

- Вимірювально-аналітичний комплекс;
- Блок керування;
- Інтелектуальний блок ефективних прийомів управління
- Електротехнологічні засоби водоочищення.

Для спрощення структури концептуальної моделі приймемо, що локальні системи автоматизації входять у глобальний блок управління, а технологічні

засоби водоочищення (фізичні, біологічні, фізико-хімічні) об'єднуємо в одну зовнішню систему (Додаток А).

Оскільки комбіновану систему водоочищення можна вважати, як таку, що складається з декількох способів водоочищення, клас "система водоочищення" моделюється як складова, що включає фізичну, біологічну та фізико-хімічну установки. У моделі це буде представлено за допомогою ієрархії узагальнення/спеціалізації (рис. 2.5). Кожен клас "технічні засоби" агрегує в себе клас "контролер" і певну кількість (більше одного) "вимірювальний блок стану обладнання".

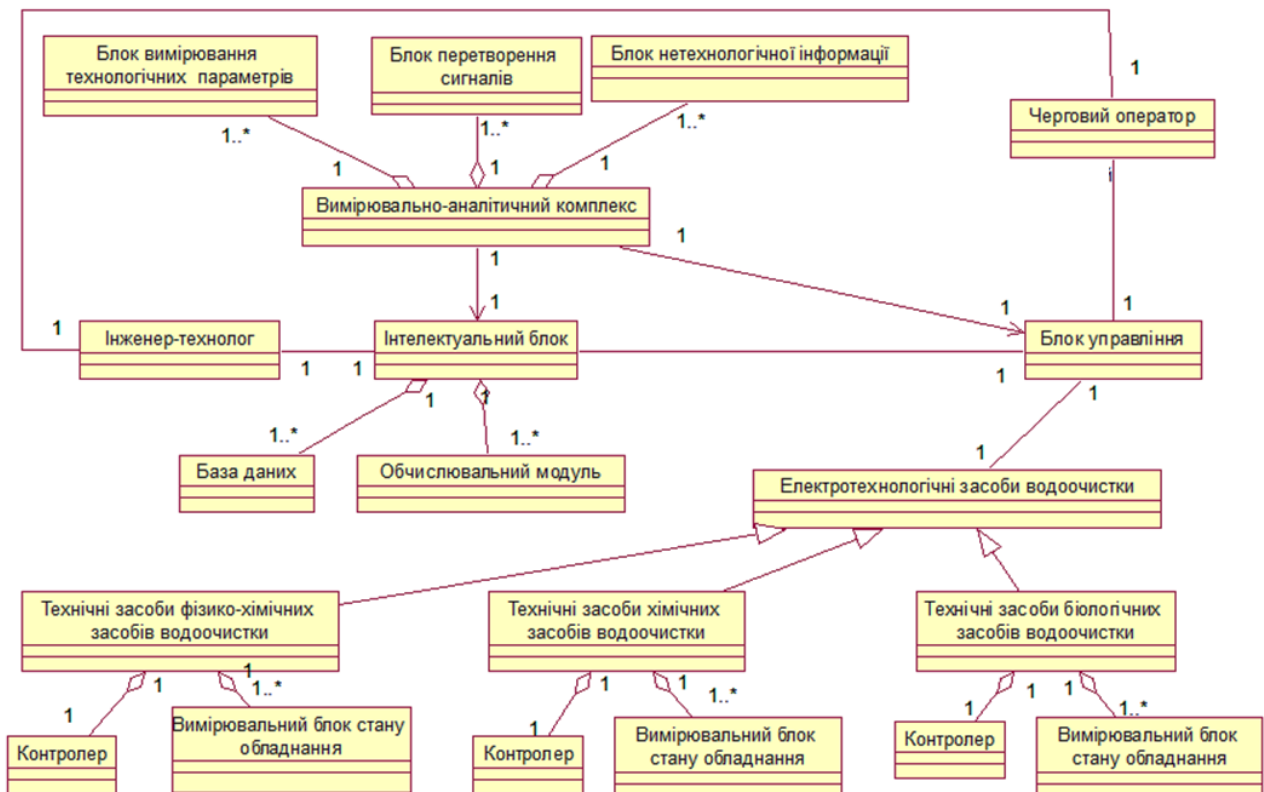


Рисунок 2.5 – Концептуальна статична модель інтелектуальних автоматизованих систем отримання й опрацювання техніко-економічної інформації комбінованих установок очищення стічних вод різногалузевих промислових об'єктів

Між класами "блок управління", "черговий оператор" і "інтелектуальний блок" є двонаправлена асоціація; односпрямована асоціація пов'язує

"вимірювально-аналітичний комплекс" і "блок управління". Таким же чином з'єднані "вимірювально-аналітичний комплекс" і "інтелектуальний блок". "Вимірювально-аналітичний комплекс" агрегує: "блок вимірювання технологічних параметрів", "блок перетворення сигналів" і "блок нетехнологічної інформації".

Для ефективності роботи та збереження характеристик "інтелектуальний блок" агрегує "обчислювальний модуль" і "базу даних". "Інженер-технолог" концептуально визначає роботу "інтелектуального блоку" і водночас користується результатами його роботи. Зв'язок між "інженером-технологом" і "черговим оператором" реалізовується за допомогою двобічної асоціації.

Отримані результати концептуального моделювання створюють передумови для структурно обґрунтованих методів проектування системи управління комбінованими електотехнологічними установками очищення стічних вод різногалузевих промислових об'єктів. Фактично у всі елементи системи інтегровано функції збору (опрацювання) техніко-економічної інформації [319].

2.2. Моделювання екологічно безпечних умов функціонування промислового водоочищення

2.2.1. Розроблення методу удосконалення використання способів водоочищення на основі їхніх перехресних впливів. Стічні води промислових об'єктів характеризуються різнокомпонентними забруднювачами, саме тому для моделювання впливу надзвичайних ситуацій приймемо у якості забруднювачів:

- завислі у воді частинки (здебільшого містяться в стоках);
- азот амонійний (стоки легкої, переробної, хімічної промисловостей);
- фосфор (стоки переробної промисловості);
- шестивалентний хром та цинк (легка промисловість, гальвановиробництво).

У разі вибору способів та технологічних режимів водоочищення типово використовується нормативний документ ДБН В.2.5-75:2013 «Каналізація. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування» (Додаток Б).

Згідно з класичним підходом, якщо прийняти, що стічні води, які містять такий перелік забруднювачів, загальна структура схем очисних міститиме весь перелік водоочисного обладнання, через який стоки протікатимуть послідовно (рис. 2.6).



Рисунок 2.6 – Варіант загальної структурної схеми використання комбінованих способів очищення стічних вод промислових об'єктів

У разі використання класичних підходів для видалення кожного із забруднювачів у попередньо відомих межах їхніх значень (завислі частинки, азот амонійний, фосфор, цинк та хром) розраховуються свої кількісні показники роботи обладнання згідно з відповідними формулами з Додатку Б (рис. 2.7). Зважаючи на такі технологічні режими, налаштовується відповідні модулі управління водоочисними системами й закладаються межі їхньої адаптації, якщо така функція передбачена проектним рішенням.

Відповідно, у разі виникнення НС (перевищення концентрацій забруднювачів у стічній воді над тими, які приймалися в розрахунках згідно з вимогами нормативних документів), наприклад, за параметром «концентрація цинку», водоочисне обладнання встановлюватиме максимальне значення сили струму, але водночас значення ГДК у стоках досягнута не буде.

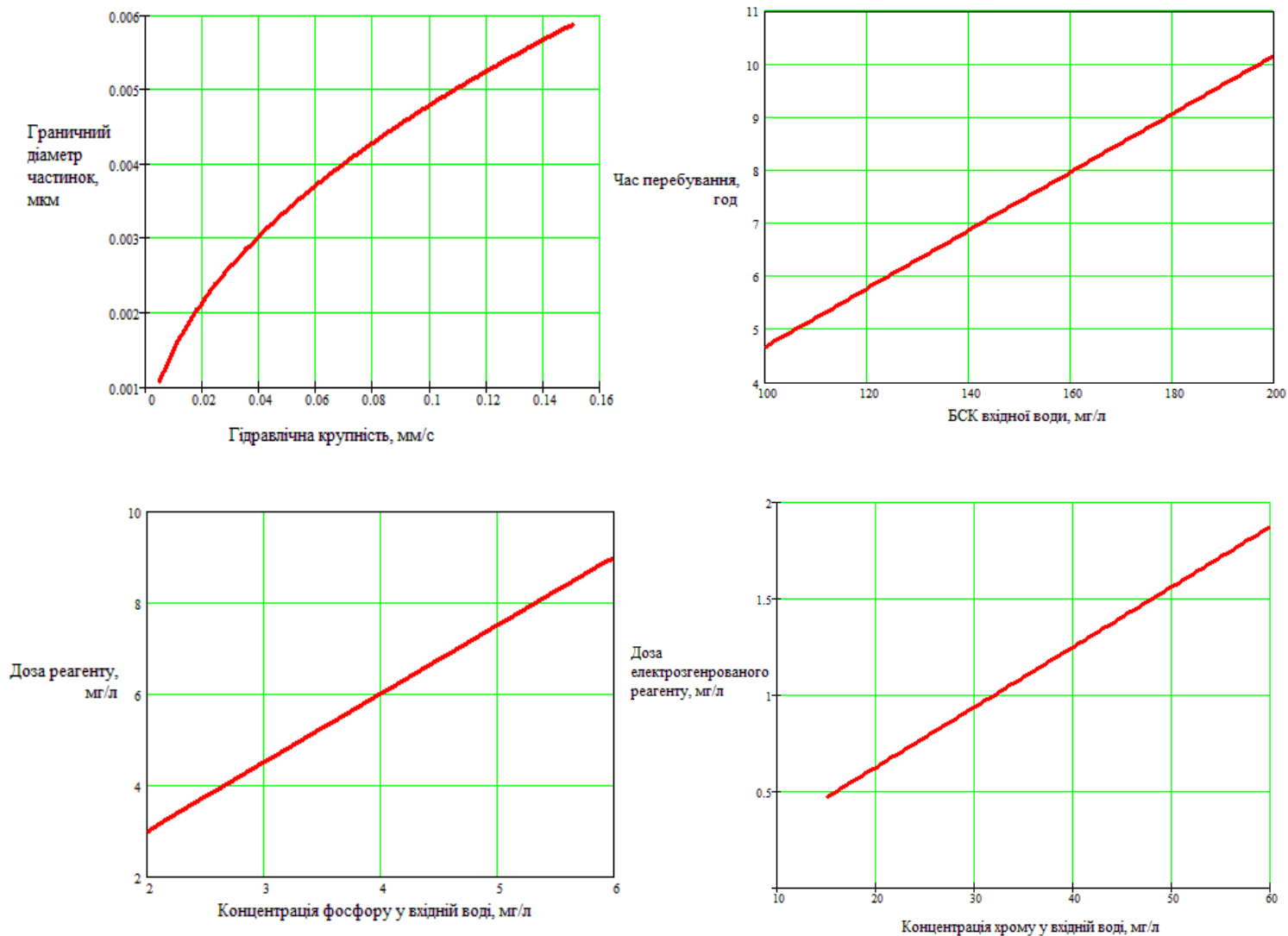


Рисунок 2.7 – Залежності робочих режимів функціонування водоочисного обладнання від параметрів стічної води (згідно ДБН В.2.5-75:2013 «Каналізація. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування»)

Межі функціонування обладнання, на основі проектних рішень, за певними видами забруднювачів обмежується роботою лише визначеного апарату чи установки. Однак, за комбінації різних способів, що є обов'язковим під час очищення стоків промислових об'єктів, відбувається накладання дії різного обладнання на одні й ті самі забруднювачі (рис. 2.8) [81, 149, 292,].

Відповідно виникла *гіпотеза*: «комплексне врахування впливу різних способів водоочищення на одні й ті ж забруднювачі дасть змогу зменшити ресурсозатрати на такі процеси за підвищення ефективності протидії НС».

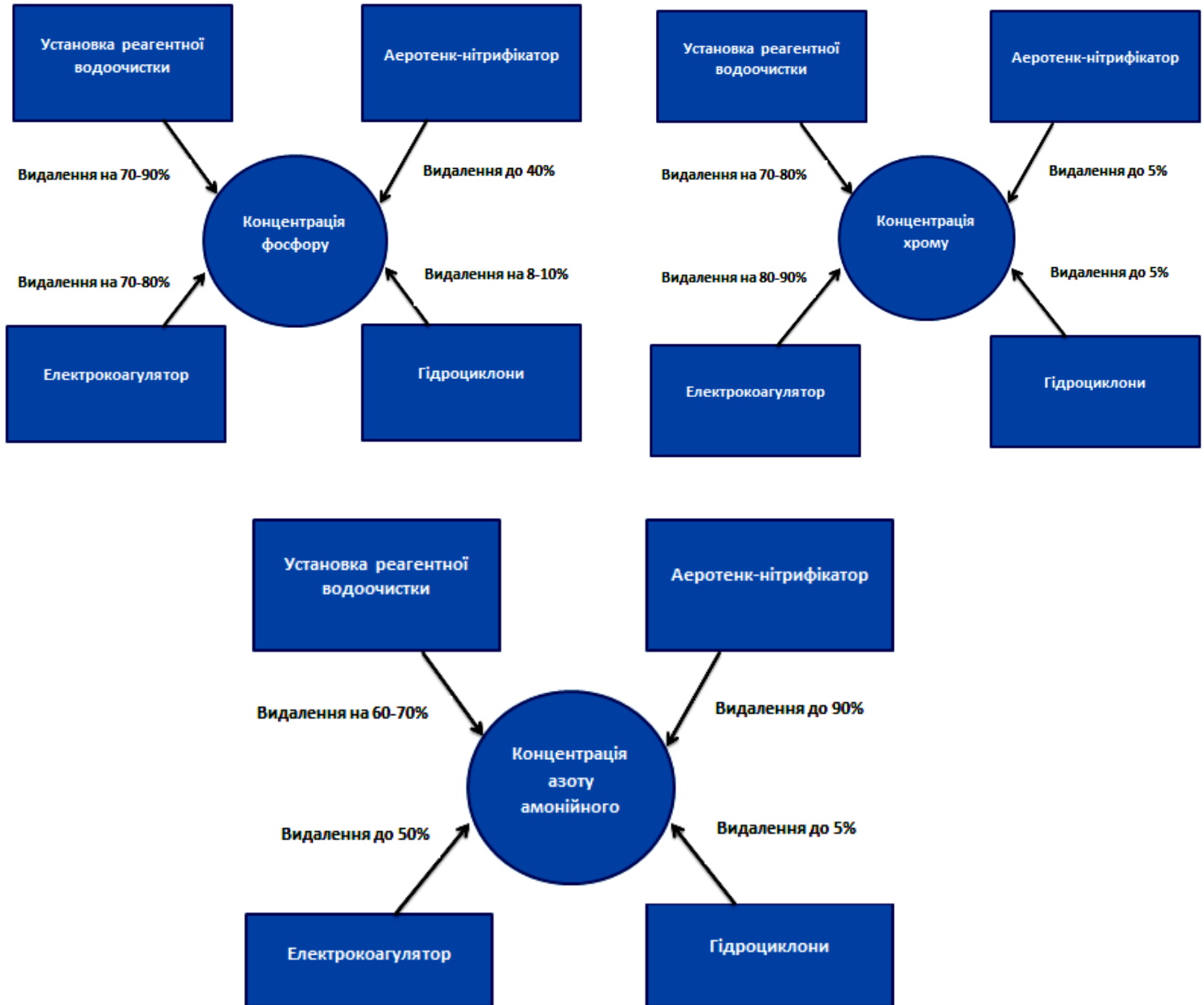


Рисунок 2.8 – Ефективність використання технологічного обладнання для видалення різних видів забруднювачів

Фактично в нормативних документах не враховується реальний технологічний запас (потенціал) наявного обладнання щодо видалення

забруднювачів, на опрацювання яких воно не проектувалось, не оцінюється потенційну можливість розширення границь використання систем водоочищення загалом в умовах дії надзвичайних ситуацій. Для встановлення таких граничних можливостей потрібно не розглядати рівняння Додатку Б, де вказано розшифрування відповідних позначень, окремо, а об'єднати їх в одну систему, яка комплексно описує ефективність процесів щодо видалення відповідних забруднювачів:

$$\left\{ \begin{array}{l} \delta_{zp} = \sqrt{\frac{18\mu U_{zp}}{100(\rho_T - \rho_{жс})g}} \\ t_{atm} = (L_{en} - L_{ex}) / a_i(1-s)\rho \\ C_{реар} = KC_{Pзаг} \\ Q_{Fl} = \frac{q_{Fl} C_{en} q_w \cdot 24}{1000 K_{eh}} \end{array} \right. \quad (2.1)$$

Результат розв'язку оптимізаційної задачі полягатиме у встановленні границь ефективного функціонування комбінованих систем водоочищення в умовах надзвичайних ситуацій. Для розв'язання таких задач використаємо математичний апарат генетичного алгоритму.

Блок-схема генетичного алгоритму процедури [293] встановлення граничних меж використання водоочисних систем в умовах дії надзвичайних ситуацій зображена на рисунку 2.9.

У якості параметрів розв'язуваної задачі виступають складові системи рівнянь (2.1) W_i , тобто задача матиме 16 параметрів, а набір цих параметрів визначає точку простору пошуку, і відповідно – можливий розв'язок.



Рисунок 2.9 – Блок-схема генетичного алгоритму процедури вибору параметрів елементів комбінованих систем водоочищення

Для оптимізації роботи систем водоочищення, через розширення меж їхнього використання в умовах дії надзвичайних ситуацій, було синтезовано відповідне програмне забезпечення (рис. 2.10).

Діапазони зміни аргументів (на них розраховувалися функціональні режими): гідравлічна крупність частинок для видалення: 0,005 – 0,15 мм/с; БСК₅ стічної води: 100 – 200 мг/л; концентрація фосфору: 2 – 6 мг/л; концентрація шестивалентного хрому: 15 – 60 мг/л.

На рисунку 2.11 зображена ймовірність знаходження екстремумів функції від заданої кількості популяцій. З отриманих результатів видно, що швидкість наближення до екстремуму висока і зростає зі збільшенням кількості популяцій.

Також можна зробити висновок про низький відсоток експериментів, у яких було отримано точне значення мінімуму, залежно від загальної кількості запусків генетичного алгоритму, тобто від кількості популяцій.

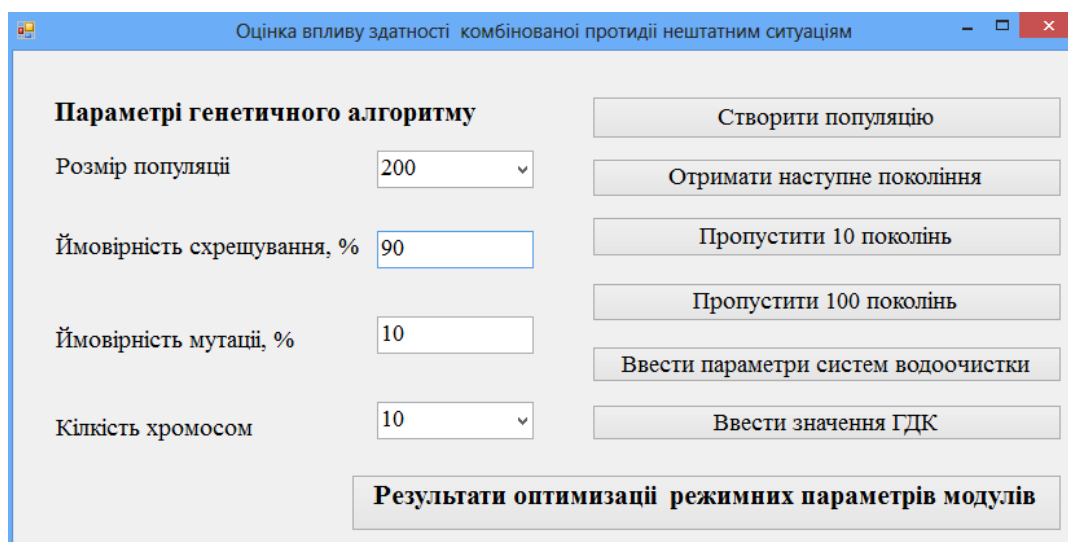


Рисунок 2.10 – Інтерфейс програмного забезпечення оптимізації функціонування систем водоочищення через розширення меж їхнього використання в умовах дії надзвичайних ситуацій на основі використання генетичного алгоритму

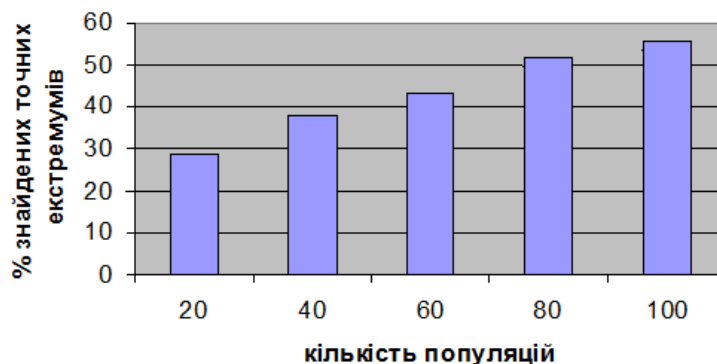


Рисунок 2.11 – Ймовірність знаходження екстремумів функції за заданої кількості популяцій

Шляхом імітаційного моделювання та вирішення оптимізаційної задачі встановлено потенційне розширення ефективності використання обладнання в

умовах дії надзвичайних ситуацій (рис. 2.12), за умови, що решта показників забруднення стоків мали максимальне значення зі своїх визначених діапазонів.

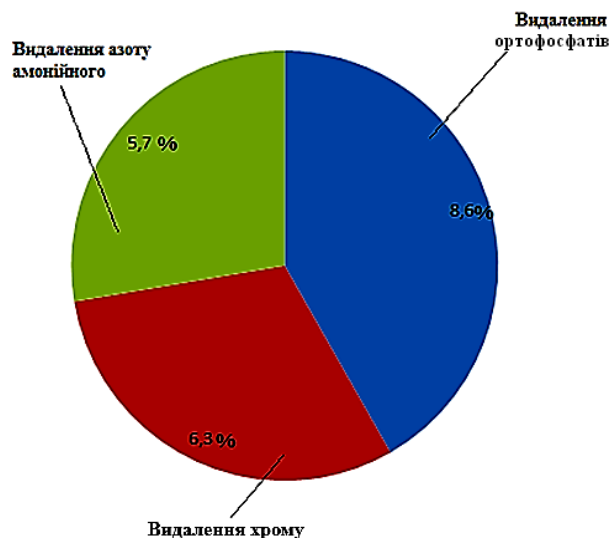


Рисунок 2.12 – Потенційне розширення меж використання обладнання комбінованих систем водоочищення в умовах дії надзвичайних ситуацій через перехресний вплив різних способів на однотипові забруднювачі

Такий підхід дає змогу проектувати системи очищення стічних вод із включенням можливості протидіяти нештатним ситуаціям у вигляді «залпових викидів» – збільшення концентрацій забруднювачів понад ГДК (рис. 2.13).

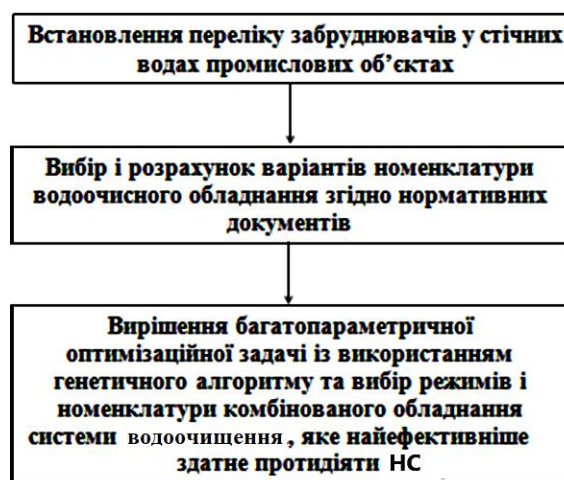


Рисунок 2.13 – Послідовність вибору режимів і номенклатури обладнання комбінованих системи водоочищення із врахуванням перехресних впливів різних способів видалення забруднювачів та підвищення ефективності протидії НС

Тоді використовуючи методику методу перехресних впливів (див. рис. 2.13) та створене програмне забезпечення (див. рис. 2.10), виконано попарне агрегування пропонуваніх у ДБН В.2.5-75:2013 «Каналізація зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування» способів водоочищення для доведення до ГДК показників якості стоків вказаних у Наказу № 316 Міністерства регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України та встановлено їхні попарні взаємовпливи за дії на одні й ті ж забруднювачі для подальшого застосування під час технічного регулювання систем (Додаток В):

		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 %	

Ключовими завданнями під час практичної реалізації такого методу є:

– наявність (розроблення) засобів, котрі б забезпечили дослідження режимів функціонування систем водоочищення;

- встановлення обмежувального критерію, який би враховував затратні механізми процесів водо очищення.

2.2.2. Обґрунтування еколого-енергетичного критерію ефективності промислового водоочищення. Класична екологія під час встановлення екологічної безпеки (небезпеки) підприємств (процесів) базується насамперед від максимальної мінімізації викидів [197, 255]. Наприклад, безрозмірний інтегральний показник екологічної небезпеки, який показує комплексну порівняльну оцінку її рівня із врахуванням зовнішніх та внутрішніх факторів:

$$R_{int} = K_{оз} \cdot K_{люд} \cdot K_{тер} \cdot S \cdot V_a \cdot V_e \cdot V_{від} \cdot V_{фв} \cdot K_n. \quad (2.2)$$

де $K_{оз}$ – коефіцієнт озеленення зони дії; $K_{люд}$ – коефіцієнт людності ареалу; $K_{тер}$ – коефіцієнт цінності території; S – площа дії небезпек; V_a – показник перевищення нормативного об'єму викидів шкідливих речовин у повітря; K_n – коефіцієнт нормальної екологічної безпеки; V_e – показник перевищення нормативного об'єму викидів шкідливих речовин у воду; $V_{від}$ – показник перевищення нормативного об'єму відходів; $V_{фв}$ – показник перевищення нормативних рівнів фізичних впливів

Очевидно, що такий критерій неможливо використовувати для динамічного налагодження в режимі реального часу параметрів устаткування, отже, щоби не вийти за межі екологічної безпеки наприкінці звітної періоду.

Інший підхід полягає у встановленні технічної ефективності систем водо очищення:

$$P = \frac{(C_{ex} - C_{вих})}{C_{ex}} \cdot 100\% \quad (2.3)$$

$C_{вх}$ – концентрація забруднювачів які надходять на очистку,

$C_{вих}$ – концентрація забруднювачів після очищення.

Тоді, згідно з нормативними документами [267], встановлюють прийнятність отриманого технічного ефекту очищення.

Однак, і такий критерій ефективності насамперед встановлює домінанту екологічної складової над інтересами сторони, яка експлуатує обладнання. Водночас беззаперечно, що екологічна безпека навколишнього природного середовища є головним критеріальним обмеженням функціонування виробництва, однак при цьому доцільно враховувати і якість роботи обладнання, ефективність використання енергетичних ресурсів та видобуток самих енергетичних ресурсів (завдає непоправної шкоди довкіллю), що не відображається у формулі (2.1).

Практика сучасного технологічного розвитку [300] показала, що зниження енергоємності продукції, ґрунтується на впровадженні сучасних технологій і стандартів енергоменеджменту. Підвищення рівня енергоефективності – це не тільки технічна проблема, яка потребує технологічних рішень, а й управлінська. Для її вирішення розроблено міжнародний стандарт ISO 50001 : 2018 «Системи енергетичного менеджменту». Основна ідея розв'язання управлінської проблеми підвищення рівня енергоефективності полягає в послідовному застосуванні системного підходу до енергоменеджменту.

Отже, початковим етапом є аналіз характеристик електротехнологій та їх кінцевих продуктів. Саме в цьому напрямку колективом наукової школи «Ефективне використання енергії» (керівник д.т.н., проф. Карпов В. М.) розроблено підхід для оцінки ефективності наявних технічних систем, у рамках якого прийнято вважати, що енергія в технологічному процесі потрібна для вчинення дії в речовині, що призводить до появи потрібного результату R , тому теоретичне мінімальне значення необхідної енергії може бути позначено як $Q_{теор}^{num}$ (одиниці результату):

$$Q_{теор} = Q_{теор}^{num} \cdot \Delta R \quad , \quad (2.4)$$

У випадках механічного впливу така робота встановлюється досить легко, однак у разі вплив на внутрішню будову речовини розрахунок може бути виконаний лише у випадку, якщо відомий точний біо-фізико-хімічний механізм утворення необхідного результату R . Треба врахувати, що у разі здійсненні дії виникають втрати енергії ΔQ , які залежать як від виду і властивостей енергії, що підводиться, так і від ступеня незворотності процесу. Тому фактична енергія Q_{ϕ} , необхідна для здійснення технологічного процесу більше, ніж $Q_{теор}$ на величину втрат ΔQ :

$$Q_{\phi} = Q_{теор} + \Delta Q \quad (2.5)$$

Отже, Q_{ϕ} для певного технологічного процесу містить постійну складову $Q_{теор}$ і змінну складову втрат ΔQ , на якій можна економити енергію внаслідок зниження як повних (втрат підведення енергії до реакційних зон), так і термодинамічних втрат через низьку ефективність використання енергії.

Однак, у контексті процесів водоочищення застосовувалися лише електроенергетичні показники, оскільки саме вони є інтегральними для оцінювання ресурсоефективності комбінованих процесів видалення забруднювачів: важко (фактично не можливо) врахувати комплексні енергетичні характеристики фізичних (механічних), біологічних, хімічних, фізико-хімічних способів водоочищення, що пов'язано з їхньою багатofакторністю та постійними енергетичними трансформаціями та неможливістю експериментально встановити (або математично спрогнозувати) у режимі реального часу внутрішню будову водного розчину стоків після опрацювання у відповідному технологічному обладнанні.

Тоді ЕЕ водоочищення визначатиметься (стосовно одиницю часу):

$$EE = W_{заг} / l, \text{ кВт/м}^3 \quad (2.6)$$

$W_{заг}$ – загальні витрати електроенергії на реалізацію процесів водоочищення (без врахування втрат та неефективного використання), кВт/год; l – витрати стічних вод, м³/год.

Водночас теоретично приймається, що: уся електроенергії постачається до зон біо-фізико-хімічних реакцій; процеси водоочищення протікають згідно з аналітичними залежностями, вказаними у нормативних документах, наприклад, ДБН В.2.5-75:2013 «Каналізація зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування».

Аналіз вимог Міністерства регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України та наявних технологій із ДБН В.2.5-75:2013 дали змогу систематизувати заходи щодо водоочищення згідно з вимогами охорони навколишнього природного середовища (табл. 2.1) та експертно зробити висновки, що всі споруди видалення забруднювачів використовують електроенергію для реалізації по місцю запроєктованих технологічних процесів (мінімально приблизно 80 %, у порівнянні з іншими видами енергії, її застосовують найменш ефективні фізичні (механічні) засоби).

Оцінка ЕЕ здійснено для аналізу різних способів водоочищення: біологічного (функціонування біологічного аерофільтра: витрати електроенергії на подачу повітря та насосне обладнання); хімічного (функціонування аерофлокулятора: витрати електроенергії на дозування регентів та інтенсифікацію їх змішування із водними розчинами та насосне обладнання); фізико-хімічного (функціонування електрокоагулятора: витрати електроенергії на електрогенерацію реагентів та насосне обладнання).

Згідно з ДБН В.2.5-75:2013 та статистичними дослідженнями [308], прийнято усереднені рекомендовані режимні параметри агрегатів без аналізу концентрації забруднень на вході та на виході відповідних процесів, встановлено показники ЕЕ (рис. 2.15); водночас для видалення органічних та неорганічних забруднень стоків

(відбувається в більшості випадків) потрібно комбінувати базові способи впливу на водні розчини і, відповідно, ЕЕ такого технологічного комплексу обладнання являтиме собою суму ЕЕ певних елементів-вузлів (рис. 2.16 та див. рис. 2.15).

Таблиця 2.1 – Систематизовані вимоги до якості стічних вод та засобів їхнього очищення

<p>Показники якості стоків згідно Наказу № 316 Міністерства регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України 15 січня 2018 р. за N 56/31508</p>	<p>Агреговані базові очисні споруди вказаних у Розділі 10 ДБН В.2.5-75:2013 «Каналізація зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування»</p>				
<p>pH (6,5 – 9,0)</p>	<p>Споруди для видалення із стічних вод крупнодисперсних домішок (включаючи піскоуловлювачі). Застосування електроенергії для виконання процесів – не менше 80 % у порівнянні із іншими видами енергії</p>	<p>Споруди для освітлення стічних вод (преаератори, біокоагулятори, освітлювачі, проціджувачі, гідроциклони, жируловлювачі, флотатори, септики) Застосування електроенергії для виконання процесів – не менше 85 % у порівнянні із іншими видами енергії</p>	<p>Біологічні фільтри (включаючи аеротенки) Застосування електроенергії для виконання процесів – не менше 85 % у порівнянні із іншими видами енергії</p>	<p>Фізико-хімічне очищення стічних вод Застосування електроенергії для виконання процесів – не менше 90 % у порівнянні із іншими видами енергії</p>	<p>Знезараження стічних вод Застосування електроенергії для виконання процесів – не менше 85 % у порівнянні із іншими видами енергії</p>
<p>Біологічне споживання кисню (БСК₅) – не більше 350 мгО₂/л</p>					
<p>Хімічне споживання кисню (ХСК) – до 500 мгО₂/л</p>					
<p>Завислі речовини – до 300 мг/л</p>					
<p>Азот загальний – до 50 мг/л</p>					
<p>Фосфор загальний – до 5 мг/л</p>					
<p>Нафта та нафтопродукти – до 10 мг/л</p>					
<p>Жири рослинні та тваринні – до 50 мг/л</p>					
<p>Хлориди – до 350 мг/л</p>					
<p>Сульфати – до 400 мг/л</p>					
<p>Сульфіди – до 1,5 мг/л</p>					
<p>Синтетичні поверхнево-активні речовини (СПАР), аніонні – до 10 мг/л</p>					
<p>Феноли – до 0,25 мг/л</p>					
<p>Залізо – до 3 мг/л</p>					

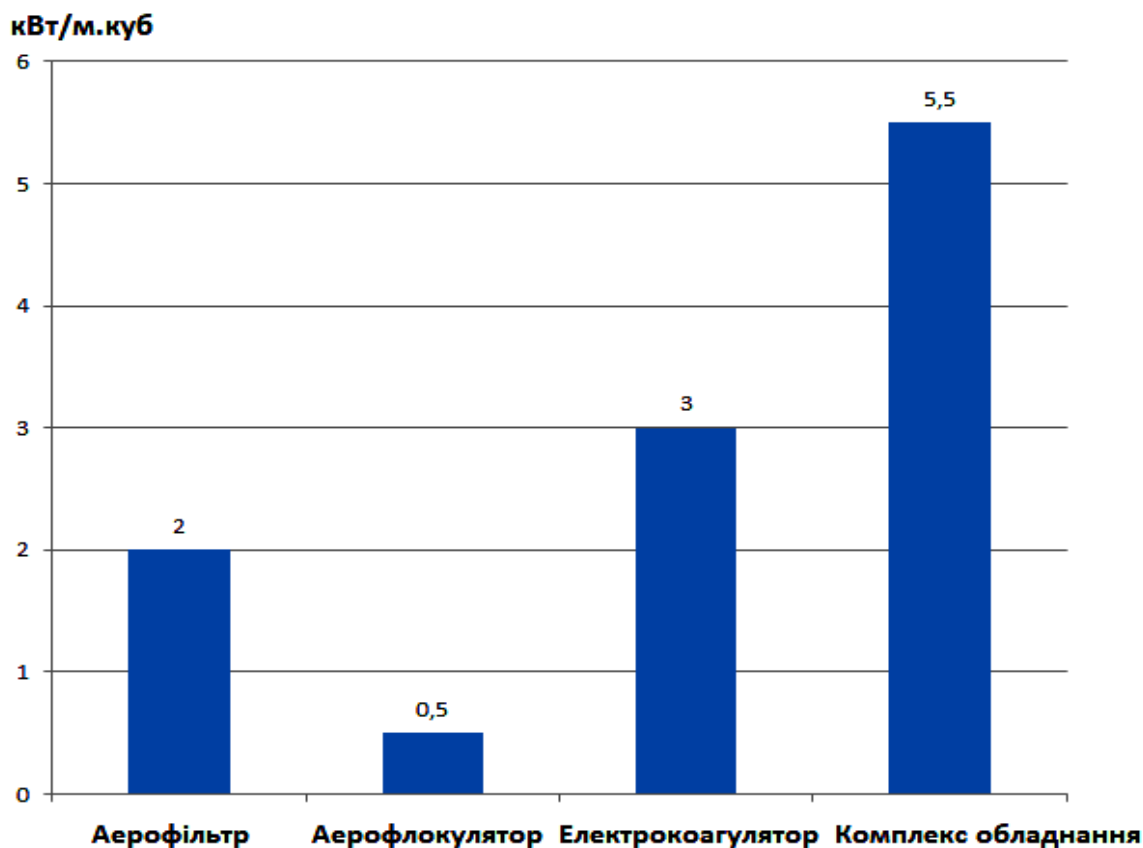


Рисунок 2.15 – Електроенергоємність процесів очищення стічних вод



Рисунок 2.16 – Спрощена структурна схема варіанта реалізації комбінованої очищення стоків (приймається, що функціонування седиментатора не потребує електроенергії; від електрокоагулятора до аерофлокулятора подається електрозгенерований реагент)

Отримані статистичним шляхом, прийнявши ряд технологічних спрощень, показники ЕЕ технологічного обладнання водоочищення стічних вод

демонструють значні енерговитрати на реалізацію таких процесів та створюють економічні передумови для розроблення методичного забезпечення підвищення їхньої енергоефективності на основі концепцій ISO 50001:2018 «Системи енергетичного менеджменту».

Тоді обґрунтовувати критерій енергоефективності доцільно на основі положень ДСТУ ISO 50001:2014 «Системи енергетичного менеджменту»:

- пункт 3.8: Енергоефективність (енергетична ефективність) – співвідношення (коефіцієнт) або інший кількісний взаємозв'язок між отриманим результатом (вихідний показник), тобто між виконаною роботою, послугами, товарами чи енергією і вхідним показником, тобто вхідним рівнем енерговитрат;

- пункт 3.12: Енергетичні характеристики – вимірювані результати щодо енергетичної ефективності, використання енергії і споживання енергії;

- пункт 4.6.1: Організація має забезпечити періодичне проведення моніторингу, вимірювання та аналізу ключових характеристик своїх операцій, що визначають енергетичні характеристики. Ключові характеристики мають охоплювати щонайменше: суттєві значення використання енергії та інші результати енергетичного аналізу; відповідні параметри, що суттєво впливають на енерговикористання; показники ІЕЕЕ; ефективність планів заходів щодо досягнення поставлених цілей та завдань; е) оцінювання фактичного енергоспоживання, у порівнянні з очікуваним.

Тому, з врахуванням експериментальних випробувань та теоретичних напрацювань [308], необхідно розробити універсальний критерій оцінювання ефективності очищення багатокомпонентних стічних вод, який би крім якості процесу очищення враховував би і його затратність.

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

$$EF_y = \frac{\left[\left(\frac{LI_{вих} - ГДК1}{ГДК1} \cdot 100 \% \right) + \dots + \left(\frac{LN_{вих} - ГДКН}{ГДКН_{зад}} \cdot 100 \% \right) \right] \cdot \sum_{i=1}^N Q_i}{\sum_{i=1}^N W_i} \% / \text{кВт}, \quad (2.7)$$

де $LI_{вих}, \dots, LN_{вих}$ – фактичні значення відповідних показників якості стічних вод (в одиницях вимірювання згідно з нормативними документами 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:

$$EF_y = \frac{\left[\left(\frac{LI_{вих} - ГДК1}{ГДК1} \cdot 100 \% \right) + \dots + \left(\frac{LN_{вих} - ГДКН}{ГДКН} \cdot 100 \% \right) \right] \cdot Q}{W} \% / \text{кВт}. \quad (2.8)$$

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 оцінювання 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

граничнодопустимих концентрацій K_i і повторюваності випадків перевищення H_i , а також загальний оцінний бал забрудненості водних ресурсів – B_i :

$$K_i = \frac{C_i}{ГДК_i}, \quad (2.9)$$

$$H_i = \frac{R_{ГДК_i}}{R_i}, \quad (2.10)$$

$$B_i = K_i \cdot H_i, \quad (2.11)$$

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 за i -м інгредієнтом; 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 з (2.9) $ГДК_i$:

$$K_i = \frac{C_i}{ГДК_i}, \quad (2.12)$$

підставляємо (2.12) у (2.8), прийнявши, що $C_i = LN_{вих}$:

$$EF_y = \frac{\left[\left(\frac{L1_{eux} - \frac{L1_{eux}}{K_1}}{\frac{L1_{eux}}{K_1}} \cdot 100 \% \right) + \dots + \left(\frac{LN_{eux} - \frac{LN_{eux}}{K_N}}{\frac{LN_{eux}}{K_N}} \cdot 100 \% \right) \right] \cdot Q}{W}. \quad (2.13)$$

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

$$K_1 + \dots + K_N = \frac{EF_y \cdot W}{100 \% \cdot Q} + N. \quad (2.14)$$

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:

$$\frac{B_1}{H_1} + \dots + \frac{B_N}{H_N} = \frac{EF \cdot W}{100 \% \cdot Q} + N. \quad (2.15)$$

Водночас створений еколого-енергетичний критерій дає змогу усунути важливий недолік виключно екологічних критеріїв – вони орієнтуються на досягнення екологічних цілей водоочищення без врахування ефективності використання сировини, матеріалів та енергії. Хоча на реальних об'єктах постійно відбувається не лише створення екологічної небезпеки, але й перевитрати ресурсів на водоочищення.

Вказаний недолік усувається внаслідок врахування перевитрат електроенергії. За значення еколого-енергетичного критерію (рис. 2.19): більше нуля – є потенційна можливість виникнення екологічно небезпечних ситуацій (перевищення значень ГДК забруднювачів); менше нуля – відбувається

нерациональне використання енергоресурсів на видалення забруднювачів (порушення ДСТУ ISO 50001:2014 «Системи енергетичного менеджменту»).

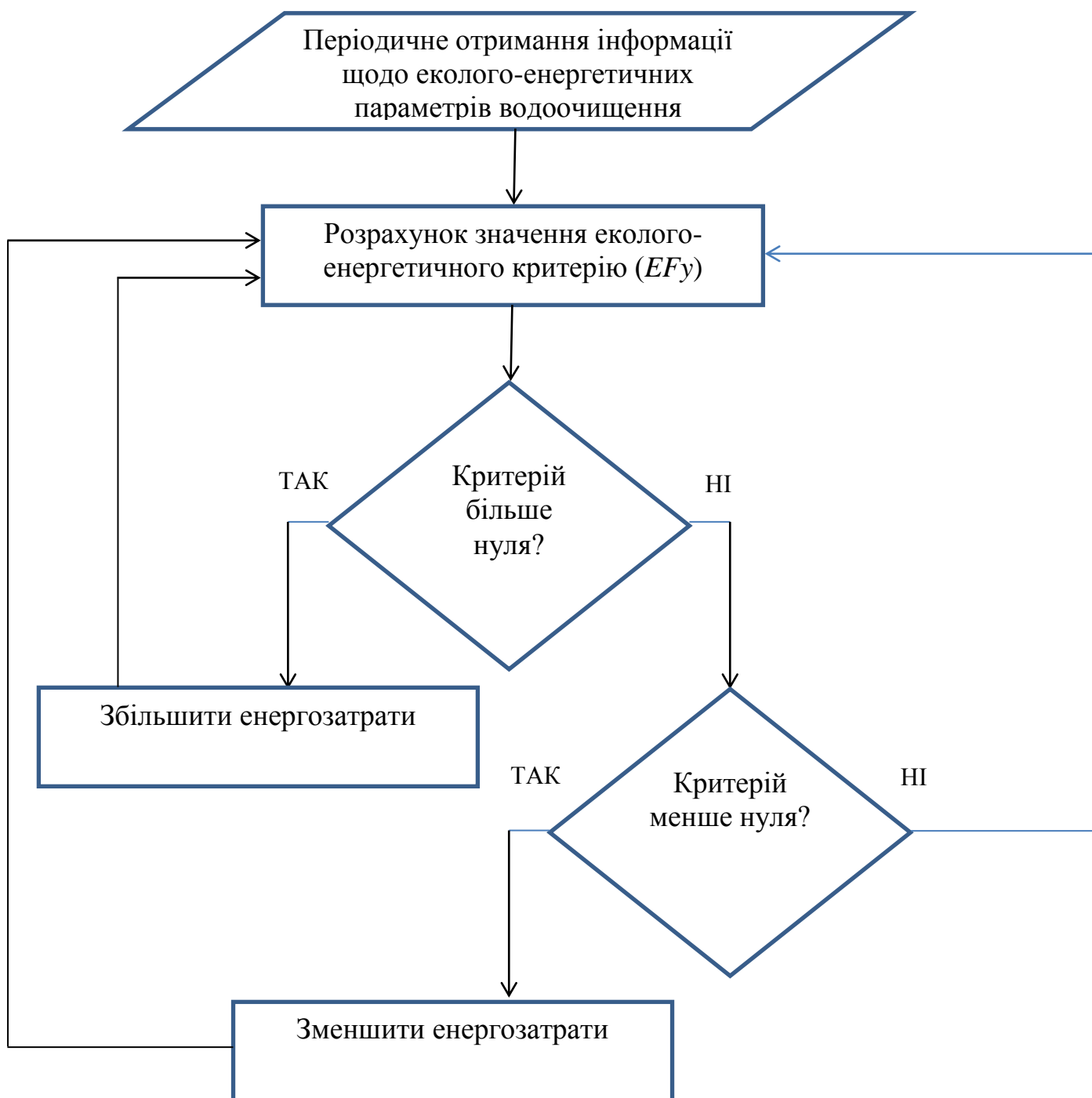


Рисунок 2.19 – Блок-схема алгоритму практичного використання еколого-енергетичного критерію (ЕЕК) очищення промислових стічних вод

Тоді завдання обладнання водоочищення забезпечити управління екологічною безпекою промислових об'єктів за відповідним алгоритмом, орієнтуючись першочергово на досягнення екологічних цілей за виконання умови:

$$EF_Y \rightarrow 0 \quad (2.16)$$

Відповідно, система рівнянь для встановлення меж функціонування в умовах дії надзвичайних ситуацій (2.1), мусить враховувати й вимоги до енергоефективності функціонування:

$$\left\{ \begin{array}{l} \delta_{zp} = \sqrt{\frac{18\mu U_{zp}}{100(\rho_T - \rho_{ж})g}} \\ t_{atm} = (L_{en} - L_{ex}) / a_i (1 - s) \rho \\ C_{pear} = KC_{Pzag} \\ Q_{Fl} = \frac{q_{Fl} C_{en} q_w \cdot 24}{1000 K_{eh}} \\ EF_Y = \frac{\left[\left(\frac{L1_{вих} - L1_{зад}}{L1_{зад}} \cdot 100\% \right) + \dots + \left(\frac{LN_{вих} - LN_{зад}}{LN_{зад}} \cdot 100\% \right) \right] \cdot \sum_{i=1}^N Q_i}{\sum_{i=1}^N W_i} \end{array} \right. \quad (2.17)$$

На основі імітаційного моделювання можна констатувати, що такий критерій, який показує питомі енергозатрати для забезпечення технічної ефективності, прийнятно застосовувати для налаштування на нього функціональних параметрів систем водоочищення на основі ефективного опрацювання техніко-економічної інформації.

2.3. Моделювання ризиків надзвичайних ситуацій промислового водоочищення та їхнього впливу на довкілля

Стічні води промислових об'єктів характеризуються різнокомпонентними забруднювачами (Розділ 1), відповідно, для забезпечення їх ГДК потрібно застосовувати комбіновані системи водоочищення, які включають два і більше відомих способів видалення забруднювачів (механічний, біологічний, хімічний, фізико-хімічний). Значно ускладнює завдання недостатність номенклатури засобів вимірювальної техніки здатних ефективно працювати у режимі реального часу та взаємовпливи забруднювачів різної природи із невідомими кінцевими продуктами їхньої реакцій.

Для такого обладнання ступінь ризику небезпечних джерел та факторів є різним та постійно непередбачувано змінюється. Встановлено, що найтипівішими причинами зростання ризиків є:

- недотримання вимог технологічних процесів виготовлення продукції (або їхня зміна без корегування режимів видалення забруднювачів), що може спричинити потрапляння понадпроектних витрат стоків та концентрацій забруднювачів на очисні споруди;

- аварії на виробничому обладнанні, які можуть спричинити понадпроектні викиди забруднювачів та витрати стоків;

- невідповідність технологічних регламентів систем водоочищення нормативним вимогам при певних комбінаціях забруднювачів та інших параметрів водовідведення;

- недотримання вимог технологічних регламентів водочищення: помилки обслуговуючого персоналу, використання неякісних реагентів, нерегламентоване завантаження фільтрів, невідповідність паспортних даних насосів тощо;

- вихід із ладу як усієї системи водоочищення, так і її деяких вузлів.

Такі ризики доцільно згрупувати за територіальним принципом:

- проектні (невідповідність норм створених технологічних регламентів ситуації на конкретному підприємстві);
- виробничі (потрапляння на очисні споруди понадпроектних концентрацій забруднювачів та об'ємів стоків, у тому числі в результаті аварійних ситуацій);
- технологічні (невідповідність роботи очисних споруд вимогам технологічних регламентів, у тому числі через помилки персоналу, аварійні ситуації та використання (закупівлю) неякісних компонентів забезпечення процесів).

Водночас небезпечність неякісного очищення стоків можна описати такими ризиками:

- ризик біологічного забруднення (перевищення концентрацій вірусів, мікробів та бактерій);
- ризик хімічного забруднення (перевищення концентрацій хімічних забруднювачів);
- ризик фізичного забруднення (перевищення нормативних вимог щодо фізичних показників стоків).

Й окремо, із врахуванням необхідності ресурсозбереження, введемо обмежуючий ризик – ризик перевитрат ресурсів на водоочищення. У таблиці 2.2 визначено основні характеристики показників ризиків небезпечності стічних вод, залежно від місця виникнення, але не вказано ризик перевитрат ресурсів, оскільки він здійснює опосередкований вплив на негативну дію НС щодо довкілля та населення; комбінації різних ризиків забруднення не розглядаються – нормативно аналізуються лише деякі показники, а не їхнє поєднання [49, 107, 207].

Таблиця 2.2 – Види ризиків небезпечності неякісного водоочищення стічних вод

Види ризику	Характеристики показників		
	Контроль проектних рішень	Контроль режимів та параметрів виробництва (стосовно показників стоків, які потрапляють на очисні споруди)	Контроль технологічних параметрів водоочищення
1	2	3	4
Біологічного забруднення	<p>1. Врахування під час проектування викидів забруднювачів;</p> <p>2. Врахування впливу хімічних та фізичних параметрів на біологічні забруднювачі;</p> <p>3. Мінізації можливості нерегламентованого потрапляння з виробництва скиду в каналізацію органічних речовин</p>	<p>1. Залпових викидів біологічних забруднювачів із виробництва;</p> <p>2. Нерегламентованого скиду в каналізацію органічних речовин із виробництва</p>	<p>1. Концентрації біологічних забруднювачів на вході в очисні споруди;</p> <p>2. Концентрації біологічних забруднювачів на всіх етапах очищення;</p> <p>3. Концентрації біологічних забруднювачів на виході із очисних споруд</p>

1	2	3	4
Хімічного забруднення	<p>1. Врахування під час проектування залпових викидів хімічних забруднювачів;</p> <p>2. Врахування впливу біологічних та фізичних параметрів на хімічні забруднювачі;</p> <p>3. Мінізації можливості нерегламентованого потрапляння з виробництва скиду в каналізацію хімічних речовин</p>	<p>1. Залпових викидів хімічних забруднювачів із виробництва;</p> <p>2. Нерегламентованого скиду у каналізацію хімічних речовин із виробництва</p>	<p>1. Концентрації хімічних забруднювачів на вході в очисні споруди;</p> <p>2. Концентрації хімічних забруднювачів на всіх етапах очищення;</p> <p>3. Концентрації хімічних забруднювачів на виході із очисних споруд</p>
Фізичного забруднення	<p>1. Врахування під час проектування нерегламентованого впливу фізичних параметрів на якість стоків (витрати, температура, радіоактивність тощо);</p> <p>2. Врахування впливу хімічних та біологічних параметрів на фізичні показники якості стоків</p>	<p>1. Нерегламентованого впливу технологічних процесів на фізичні параметри стоків (витрати, температура, радіоактивність тощо)</p>	<p>1. Фізичного забруднення та витрат стоків на вході в очисні споруди;</p> <p>2. Фізичного забруднення та витрат стоків на всіх етапах очищення;</p> <p>3. Фізичного забруднення та витрат стоків на виході із очисних споруд</p>

Примітка. Залпові викиди забруднювачів – перевищення фактичних значень показників забруднювачів над проектно-визначеними протягом часу достатнього для недоочищення стічних вод за такими забруднювачами.

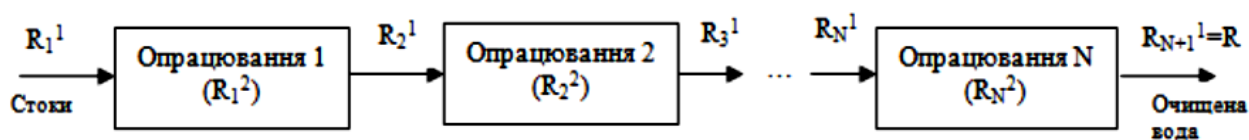
Для комплексного врахування ризиків НС та ризику перевитрат ресурсів на водоочищення застосуємо критерій (2.8).

У разі гарантованого забезпечення відсутності НС має виконуватись умова для всіх показників контролю якості стоків формули 2.8:

$$LN_{вих} - LN_{зад} \leq 0. \quad (2.18)$$

Очищення стічних стоків можна представити, як єдиний послідовний технологічний ланцюг, вода по якому проходить послідовно через різне обладнання, яке реалізує відповідні базові способи видалення забруднювачів зі стоків (механічні, біологічні, фізико-хімічні) і мають відповідні ризики виникнення НС і перевитрат ресурсів (рис. 2.20).

Для певної технологічної ланки системи водоочищення рівень привнесеного та власного ризиків складає рівень ризику виникнення НС і перевитрат ресурсів у цій ланці.



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 усієї системи водоочищення

Рисунок 2.20 – Схема послідовного технологічного ланцюга очищення стічних вод

Прийнявши, що $R = EF_y$ (для всіх ланок та системи в цілому) та позначивши через « Δ » витрати ресурсів (як правило такий показник приймається за «0»), на основі критерію енергоефективності (2.8) дістали:

$$R^3 = \Delta - (\Delta - R^1)(\Delta - R^2). \quad (2.19)$$

Завдання технічних систем, у тому числі управління, забезпечити значення рівня ризику НС та перевитрат ресурсів (2.19) рівним « Δ » або максимально близьким до нього (або від'ємних) за виконання умови (2.10). 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 , котрий 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 кінцевою ланкою водоочищення.

Тоді для схеми рисунку 2.20 запишемо:

$$R_{i+1}^1 = \Delta - (\Delta - R_i^1)(\Delta - R_i^2), \quad i = 1, 2, \dots, N-1, \quad (2.20)$$

$$R = \Delta - (\Delta - R_N^1)(\Delta - R_N^2). \quad (2.21)$$

Підставивши (2.20) у (2.21) отримуємо вираз для оцінки ризиків виникнення НС та перевитрат ресурсів (з обов'язковим виконанням умови (2.18):

$$R = \Delta - (\Delta - R_1^1) \prod_{i=1}^N (\Delta - R_i^2) \quad (2.22)$$

Фізичний сенс такого виразу полягає в тім, що за від'ємних значень R відбуваються перевитрати (неефективне використання) електроенергії, за додатних значень – забруднення довкілля, відповідно, ризик виникнення НС. Виконання умови (2.18) для всіх забруднювачів гарантує дотримання умов відсутності дії НС, тобто для гарантованого запобігання потрібно виконати вибір оптимального значення показника незалежності систем водоочищення від негативних наслідків потоків випадкових дій факторів техногенного і природного походження, прийнявши за цільову функцію $P = f(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)$, де $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ – режимні параметри складових ланок системи водоочищення. Безумовне завдання оптимізації полягає у встановленні мінімуму функції (від n дійсних

змінних) і визначенні відповідних значень аргументів на деякій множині G n -мірного простору.

Вектор градієнта довільної цільової функції $F = (x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)$ мав вигляд:

$$\frac{\partial F}{\partial x_1} \vec{e}_1 + \frac{\partial F}{\partial x_2} \vec{e}_2 + \frac{\partial F}{\partial x_3} \vec{e}_3 + \dots + \frac{\partial F}{\partial x_n} \vec{e}_n, \quad (2.23)$$

де частинні похідні обчислюють у точці, яка розглядається.

Цей вектор направлений вгору, у напрямку підйому; протилежний йому вектор вказує напрямок спуска.

Одиничний вектор градієнта представлено у вигляді:

$$s_1 \vec{e}_1 + s_2 \vec{e}_2 + s_3 \vec{e}_3 + \dots + s_n \vec{e}_n, \quad (2.24)$$

$$\text{де } s_j = \frac{\frac{\partial F}{\partial x_j}}{\sum_{j=1}^n \left[\left(\frac{\partial F}{\partial x_j} \right)^2 \right]^{0,5}}.$$

Розв'язок задачі починався з вибору початкових значень $x_j^{[0]}$ ($i = 1, 2, \dots, N$), потім будували послідовні наближення:

$$x_j^{[j+1]} = x_j^{[j]} + \lambda^{[j]} s_j^{[j]}, \quad (i = 1, 2, \dots, N; j = 0, 1, 2, \dots), \quad (2.25)$$

де $\lambda^{[j]}$ – величина кроку ітерації за кожним із параметрів x_j ; $s_j^{[j]}$ – параметр вибору “напрямку”.

Технологічно очевидно, що мінімум цільової функції досягається за умов мінімізації ймовірності дії випадкових факторів і розвитку негативних наслідків (2.23).

Однак, підхід лише із погляду мінімізації ризиків на практиці (через, наприклад, перевищення нормативних доз реагентів у рази) призведе до

перевитрат ресурсів, що не відповідає концепції ресурсоощадження. Для її виконання (ЕЕК (2.8) потрібно адаптувати режимні параметри, як деяких ланок так і системи загалом – усуваючи перевищення ГДК забруднювачів на останній із них, застосовуючи там максимально інтенсивні фізико-хімічні способи впливу на водні розчини.

Тоді постає задача прогнозування стану процесів у комплексі водоочищення, що є необхідною передумовою прийняття рішень щодо реакцій на потенційні ризики НС. Математична постановка задачі прогнозування станів об'єкта в умовах НС залежить від цілей прогнозування, використовуюваного математичного апарату, а так же методів прогнозування. Припустимо, що стан об'єкта описується багатовимірною функцією стану $Q(k_1, k_2, \dots, k_n)$, де k_1, k_2, \dots, k_n – параметри обладнання. У результаті спостережень встановлено значення цієї функції в моменти часу $(t_0, t_1, \dots, t_m) \in T_1: Q(t_0), Q(t_1), \dots, Q(t_m)$. Необхідно знайти значення функції стану $Q(t_{m+1}), Q(t_{m+2}), \dots, Q(t_{m+k})$ у наступні моменти часу $(t_{m+1}, t_{m+2}, \dots, t_{m+k}) \in T_2$. Величина Q може представляти будь-який узагальнений критерій стану об'єкта X . Тобто завдання полягає у визначенні такої функції (моделі) $F(X)$, яка давала б змогу знайти значення прогнозованої Y .

Базуючись на результатах прогнозування екологічного балансу природної водойми очевидним є висновок, що ключовим компонентом забезпечення рівноваги є недопущення забруднення, тобто промислові підприємства, як елементи довкілля повинні дотримуватися вимог ГДК небезпечних та шкідливих речовин.

Тобто за формалізації процесів стратегій водоочищення мають місце ігрові схеми, у яких один з учасників байдужий до результату гри. Такі ігри називають іграми з природою, розуміючи під терміном "природа" всю сукупність зовнішніх обставин, у яких свідомому гравцеві (його називають іноді статистиком, а відповідну гру - статистичної) доводиться приймати рішення.

Нехай є два гравці, перший із яких може вибрати i -у стратегію з m можливих стратегій ($i = \overline{1, m}$), а другий, не знаючи вибору першого, вибирає j -у стратегію із n своїх можливих стратегій ($j = \overline{1, n}$). У результаті перший гравець виграє величину a_{ij} , а другий програє цю величину. З чисел a_{ij} складаємо матрицю:

$$A = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & \dots & a_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{m1} & a_{m2} & a_{m3} & \dots & a_{mn} \end{pmatrix} \quad (2.26)$$

Прийнявши ідеалізацію щодо процесів промислового водоочищення, якості води на виході очисних та потенційних штрафних санкцій, проведемо імітацію ситуації щодо вибору стратегії щодо затрат ресурсів на видалення забруднювачів. У випадку, якщо хоча б один із показників якості не відповідає встановленим нормативно-правовим вимогам вводяться штрафні санкції. Згідно з ними вартість 1 м^3 води підвищується, між тим чим більша кількість параметрів вийшла за нормовані межі, тим вона вища [265, 296]: відхилення за одним параметром: $1\text{ м}^3 - 50$ грн; відхилення за двома параметрами: $1\text{ м}^3 - 120$ грн; відхилення за трьома параметрами: $1\text{ м}^3 - 350$ грн.

Так, наприклад, для птахівничого господарства (2,6 тисячі тонн м'яса в рік) затрати на воду у разі можливих штрафних санкцій наведені в таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 – Витрати птахофабрики на воду у випадку штрафних санкцій

Кількість контрольованих параметрів, які вийшли за допустимі межі	Витрати на воду в рік, грн.
Жодного параметру	152412
Один параметр	228618
Два параметри	1524120

Прийmemo такі можливі рішення під час оцінювання енергозатратності (оплати в гривнях за електроенергію) на водоочищення та накладення штрафних санкцій:

E_1 – енергозатрати перевищують значення розраховані ДБН В.2.5-75:2013 «Каналізація зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування»;

E_2 – енергозатрати встановлені згідно з ДБН В.2.5-75:2013 «Каналізація зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування»;

E_3 – енергозатрати менші розрахованих ДБН В.2.5-75:2013 «Каналізація зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування»

Водночас параметри якості стічних вод можуть відповідати таким станам:

F_1 – перевищення ГДК забруднювачів у стоках немає; F_2 – перевищення ГДК за одним параметром якості стоків; F_3 – перевищення ГДК за двома параметрами.

Імітаційні результати, які включають витрати на якісне очищення та потенційні штрафні санкції, наведені в таблиці 2.4.

Для прийняття рішень застосуємо три класичні критерії:

1. Мінімаксний ММ-критерій: з кожного рядка платіжної матриці вибираємо мінімальний (min) елемент і заносимо його в додатковий стовпець, далі з цього стовпчика вибираємо максимальний елемент (max):

$$Z_{MM} = \max_i \min_j e_{ij}. \quad (2.27)$$

2. Критерій Байєса-Лапласа (B-L) за рівновісних станів:

$$Z_{BL} = \max_i e_{ir}, \quad (2.28)$$

$$e_{ir} = \sum_{j=1}^n e_{ij} q_j, \quad (2.29)$$

$$Z_{BL} = \max_i \sum_{j=1}^n e_{ij} q_j. \quad (2.30)$$

3. Критерій Севіджа (S) вибору оптимальних варіантів із множини рішень:

$$Z_S = \min_i e_{ij} = \min_i \left[\max_j \left(\max_i e_{ij} - e_{ij} \right) \right], \quad (2.31)$$

$$e_{ij} = \max_j a_{ij}, \quad (2.32)$$

$$a_{ij} = \max_i e_{ij} - e_{ij}. \quad (2.33)$$

Таблиця 2.4 – Вибір стратегій енергозатрат на водоочистку із врахуванням потенційних штрафних санкцій згідно мінімаксного та Байєсівсько-Лапласового (прийнято стани рівновісні $q_j = 0,33$) критеріїв

	F ₁	F ₂	F ₃	ММ-критерій		Критерій В-Л	
				min _j (e _{ij})	max _j (e _{ir})	e _{ir} =∑ e _{ij}	max _j (e _{ir})
E ₁	-4000	-4000	-4000	-4000	-4000	-4000	
E ₂	-3000	-3000	-5000	-5000		-3667	
E ₃	-2000	-6000	-18000	-18000		-8667	-8667

Матриця залишків та їхньої оцінки згідно критерію Севіджа представлена у таблиці 2.5.

Таблиця 2.5 – Вибору стратегії енергозатратності водоочищення згідно критерію Севіджа

	F ₁	F ₂	F ₃	Критерій Севіджа	
				e _{ir} = min(a _{ij})	min _j (e _{ir})
E ₁	+2000	+1000	0	+2000	
E ₂	+1000	0	+1000	+1000	+1000
E ₃	0	+3000	+14000	+1400	

Аналізуючи можна констатувати, що однозначного рішення із використанням різних критеріїв не отримано:

- мінімаксий ММ-критерій рекомендує вибрати стратегію з енергозатратами, що перевищують значення розраховані ДБН В.2.5-75:2013 «Каналізація зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування»;

- критерій Байєса-Лапласа рекомендує вибрати стратегію з енергозатратами, що встановлені згідно з ДБН В.2.5-75:2013 «Каналізація зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування»;

- критерій Севіджа також рекомендує вибрати стратегію з енергозатратами, що перевищують значення розраховані ДБН В.2.5-75:2013 «Каналізація зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування».

Тобто переважають під час вибору стратегії екологічно безпечні підходи без врахування економічних інтересів підприємств.

Ситуація ускладнюється тим, що фактично не можливо в режимі реального часу керувати системою водоочищення промислового об'єкта, базуючись на сучасних засобах вимірювальної техніки, оскільки відбудеться один із негативних сценаріїв: неякісне водоочищення й забруднення навколишнього природного середовища – надзвичайна ситуація; нераціональне використання (перевитрати) ресурсів (електроенергії, реагентів тощо).

Саме тому актуальним є створення вимірювальних пристроїв, які давали б змогу покращити використання електротехнологій і реалізовували б відтворення та (або) збереження параметрів стоків: на етапах проектування та, потенційно, при експлуатації в режимі реального часу на виробничих об'єктах із метою забезпечення ефективності. Водночас під ефективністю розуміється використання кількості ресурсів (електроенергії, реагентів тощо), яка достатня для гарантованого забезпечення ГДК водоочищення, а варіант неякісного водоочищення, відповідно й дії НС – неприпустимий.

2.4. Створення фізичної моделі збирання вимірювальної інформації екологічної безпеки промислового водоочищення

Стічні води промислових об'єктів відрізняються один від одного видами й концентрацією забруднень, швидкістю надходження, об'ємами та іншими показниками. Встановлено, що зважаючи на багатокomпонентність параметрів стоків, відповідному обладнанню необхідно працювати в умовах нестаціонарності, невизначеності та розмитості вхідної інформації (пункти 1.3 та 2.3).

Один із варіантів отримання інформації щодо енергоефективності (2.8) очищення стоків у режимі реального часу: проводити комплексні вимірювання, а значення вимірюваної величини діставали розрахунковим шляхом на основі функціональних залежностей між нею і величинами, що піддаються вимірам. Однак, адекватних математичних закономірностей протікання таких процесів та ефективних технічних засобів вимірювань (ТЗВ) критично мало, у порівнянні з промисловими потребами на них [154]: таких ТЗВ, зданих працювати на виробництві, до десяти – за необхідності кількох десятків найменувань. Тому для отримання техніко-економічних показників процесів водоочищення обґрунтовано використовувати і фізичні моделі (ФМ), які оперативно передаватимуть дані на вимірювальні системи, забезпечуючи розрахунки вимірюваних величин. Між тим уніфікованих методів створення ФМ процесів водоочищення на цей час не розроблено [202].

Методичне забезпечення створюється для проектування квазінатуральних ФМ водоочищення (включають сукупність фізичних і математичних рішень), оскільки: з одного боку важко створити адекватні математичні залежності, а з іншого – частини системи мають бути досліджені у взаємодії з іншими частинами, а реалізувати та використовувати такі технічні засоби ФМ фінансово затратно та довготривало.

У рекомендаціях "Метрологія. Системи вимірювальні. Метрологічне забезпечення. Основні положення. МР 2438-97" *вимірювальна система* визначається як сукупність певним чином з'єднаних між собою засобів вимірювань (ЗВ) й інших пристроїв (компонентів вимірювальної системи, наприклад, ФВ водоочищення), які утворюють вимірювальні канали, що реалізують процес вимірювань і забезпечують автоматичне (автоматизоване) отримання результатів. Такий підхід створює передумови для розвитку (удосконалення) інформаційно-вимірювальних систем (ІВС) у процесі експлуатації, у режимові реального часу включно, або можливість зміни їхнього складу (структури) залежно від цілей експлуатації. Тоді *інформаційно-вимірювальну систему* можна визначити, як комплекс з інформаційної системи, із системами управління базами даних (СУБД), допоміжних технічних засобів, у якій вимірювальна інформація перетворюється в інші види інформації, а структура *фізичної моделі (квазінатуральної)* включатиме засоби фізичного моделювання, метрологічне, математичне та програмне забезпечення (рис. 2.21).

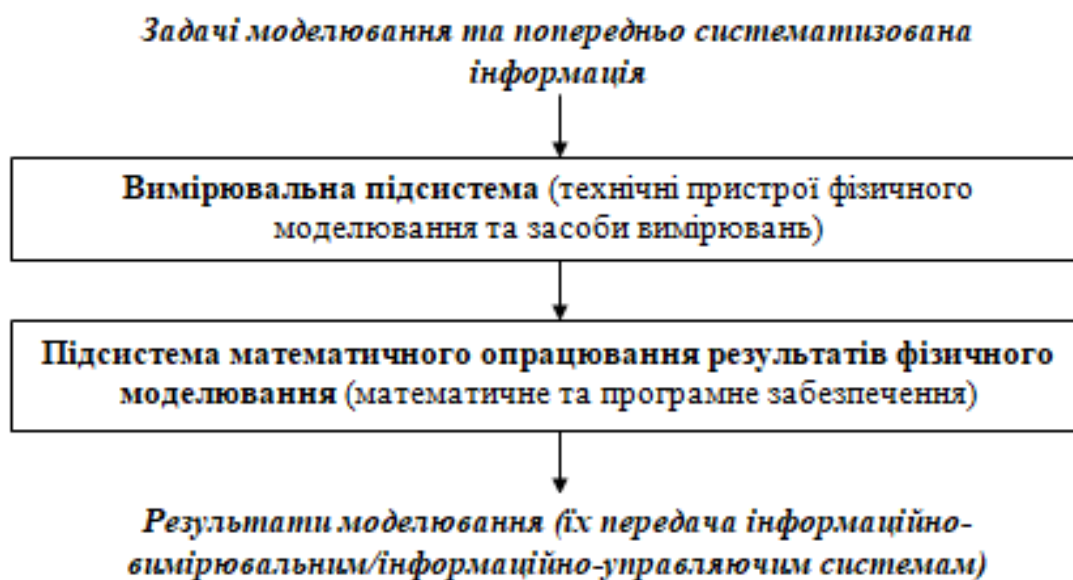


Рисунок 2.21 – Узагальнена структура фізичної (квазінатуральної) моделі водоочищення пропонуваної для використання у відповідних інформаційно-вимірювальних системах

Отже, необхідно створити методичне забезпечення проектування фізичних моделей водоочищення розробленої архітектури (див. рис. 2.21), як складової розвитку (удосконалення) ІВС у двох аспектах: структурному і функціональному.

Методи проектування фізичних моделей розробляється для обладнання, яке застосовує в технологічних процесах видалення забруднювачів електричну енергію (це понад 90 % такої номенклатури). За нормативний базис прийнято “Методичні рекомендації. САПР. Правила проектування технологічних процесів в умовах гнучких виробничих систем. КР 50-633-87”.

Метод включатиме низку дій (рис. 2.22) з обов’язковою покроковою типізацією (агрегативне конструювання, коли типові елементи поєднуються у функціонально пов’язані комплекси (агрегати) із подальшим утворенням типових агрегатних схем):

- створення водного технологічного паспорта (ВТП) об’єкта (-ів) скиду;
- групування відомих способів видалення забруднювачів представлених у ВТП із використанням рекомендацій нормативних документів;
- створення номенклатури технологічного обладнання ФМ водоочищення;
- проектування маршрутного комплексного технологічного процесу (МКТП) ФМ видалення забруднювачів на основі методу перехресних впливів (МПВ) способів водоочищення [5] та системного аналізу (СА): формування послідовності опрацювання стічних вод із їхнім ітераційним уточненням експериментальними дослідженнями водоочищення (ЕДВ);
- проектування операційного комплексного технологічного процесу (ОКТП) водоочищення ФМ із врахуванням ризиків дії надзвичайних ситуацій (НС) (підвищення стійкості обладнання): вибір режимних параметрів на основі ЕДВ;
- синтез метрологічного, математичного та програмного забезпечення ФМ;
- виготовлення та пуско-наладка ФМ із апробацією на об’єктах, для яких на першому етапові створювали ВТП.

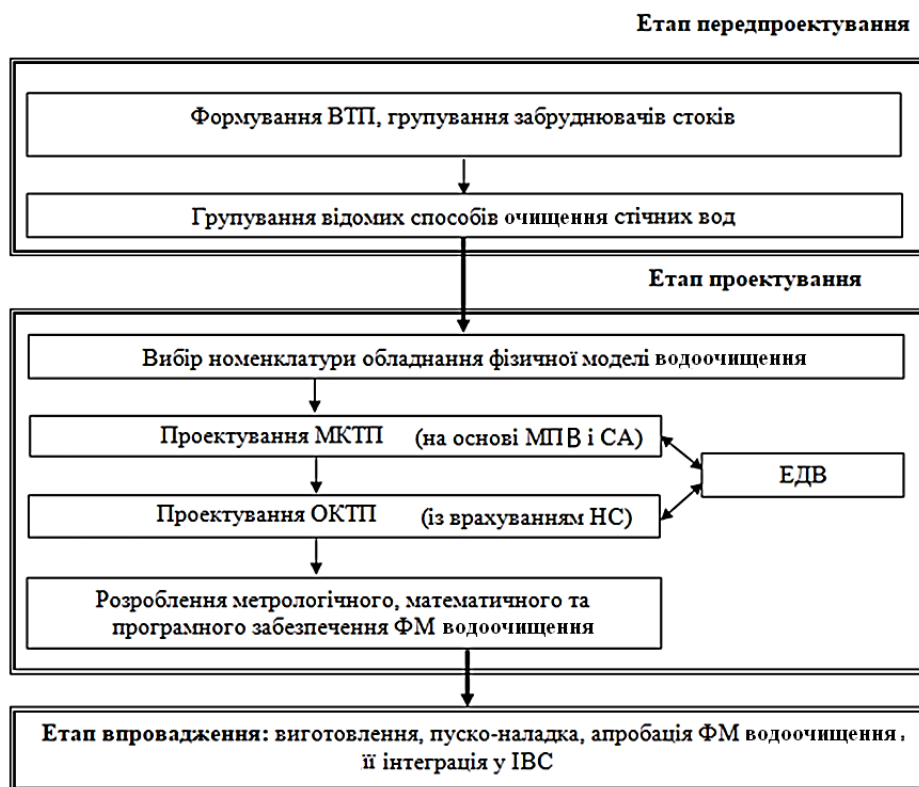


Рисунок 2.22 – Структура агрегативного методу проєкування фізичних моделей водоочищення для ІВС систем видалення забруднювачів зі стоків

Таблиця 2.6. – Матриця взаємозв'язків конструктивно-технологічних способів водоочищення, показників якості стічних вод та наявності вимірювального обладнання режиму реального часу

№ п/п	Показники якості стічних вод	Наявність вимірювальних пристроїв здатних працювати у режимі реального часу	Біологічний спосіб	Хімічний спосіб	Фізико-хімічний спосіб
1	2	3	4	5	6
1	pH (6,5 – 9,0)	<i>Наявні</i>		+	+
2	Біологічне споживання кисню (БСК) – не більше 350 мгО ₂ /л	<i>Відсутні</i> (5 діб на лабораторні вимірювання)	+	+	+
3	Хімічне споживання кисню (ХСК)– до 500 мгО ₂ /л	<i>Відсутні</i> (до 1 доби на лабораторні вимірювання)		+	+
4	Завислі речовини – до 300 мг/л	<i>Наявні</i>	+	+	+
5	Азот загальний – до 50 мг/л	<i>Відсутні</i> (до 1 доби на лабораторні вимірювання)	+	+	+

1	2	3	4	5	6
6	Фосфор загальний – до 5 мг/л	<i>Відсутні</i> (до 1 доби на лабораторні вимірювання)	+	+	+
7	Нафта та нафтопродукти – до 10 мг/л	<i>Наявні</i>	+	+	+
8	Жири рослинні та тваринні – до 50 мг/л	<i>Відсутні</i> (до 1 доби на лабораторні вимірювання)	+	+	+
9	Хлориди – до 350 мг/л	<i>Відсутні</i> (до 1 доби на лабораторні вимірювання)			+
10	Сульфати – до 400 мг/л	<i>Відсутні</i> (до 1 доби на лабораторні вимірювання)			+
11	Сульфіди – до 1,5 мг/л	<i>Відсутні</i> (до 1 доби на лабораторні вимірювання)	+	+	+
12	Синтетичні поверхнево-активні речовини (СПАР), аніонні – до 10 мг/л	<i>Відсутні</i> (до 1 доби на лабораторні вимірювання)	+	+	+
13	Феноли – до 0,25 мг/л	<i>Відсутні</i> (до 1 доби на лабораторні вимірювання)	+	+	+
14	Залізо – до 3 мг/л	<i>Наявні</i>	+	+	+

Примітка: Ефективність способів водоочищення прийнято на основі функціональних показників максимально ефективного обладнання відповідного класу у разі його заявленої дії на забруднювачі не менше 10 %.

Відповідно, акцент за проектування технологічних засобів ФМ водоочищення потрібно зробити на обладнанні фізико-хімічного способу опрацювання стоків, як на найбільш універсальному та ефективному, за ресурсообґрунтованого його доповнення технічними рішеннями інших базових підходів.

Водночас недостатність номенклатури вимірювального обладнання реального часу біля 71 % (див. табл. 2.3)

Провівши аналіз скиду ряду промислових підприємств (табл. 2.7) та користуючись матеріалами ДБН В.2.5-75:2013 на основі синтезованого агрегативного методу (див. рис. 2.26), сформована номенклатура технологічних засобів водоочищення (відповідають патентам України № 95201 UA та № 120530 UA): 1 – приймальна ємність добового регулювання (додатково включена, оскільки є обов'язковою на реальних об'єктах); 2 – електротехнологічні окислювачі; 3 – електрохімічний деаератор (рН-коректор); 4 – електролізер-коагулятор; 5 – батарея електротехнологічних окислювачів (з ультразвуковою інтенсифікацією); 6 – пінополістирольний фільтр із самопромивкою; 7 – ємність фільтрату; 8 – вода для скидання.

На етапі проектування методом перехресних впливів способів водоочищення [346] підтверджено функціональну відповідність послідовності розташування обладнання видалення забруднювачів. Потім використали системний аналіз для оцінювання технологічного комплексу ФМ.

Таблиця 2.7 – Зведені дані результатів досліджень стоків промислових об'єктів

Промислові об'єкти	Ключові забруднювачі
М'ясопереробка	Фосфор (до 50 мг/л), азот амонійний (до 40 мг/л); хлориди (до 1000 мг/л); завислі частинки (до 2000 мг/л)
Деревопереробка	Формальдегід (до 20 мг/л); азот амонійний (до 100 мг/л)
Мала металургія	СПАР (до 10 мг/л); свинець (до 0,05 мг/л)
Побутова хімія	СПАР (до 866 мг/л); нафтопродукти (до 88 мг/л); ХСК (до 1500 мг/л); сухий залишок (до 2200 мг/л)

Додатковою складовою технологічного комплексу вважаємо ємність пінозбору з ультразвуковим гасінням піни. На основі технологічного аналізу

складено повний потоковий граф [205] ФМ (рис. 2.23), де вершинами є його функціональні елементи, а дугами – зв'язки між ними.

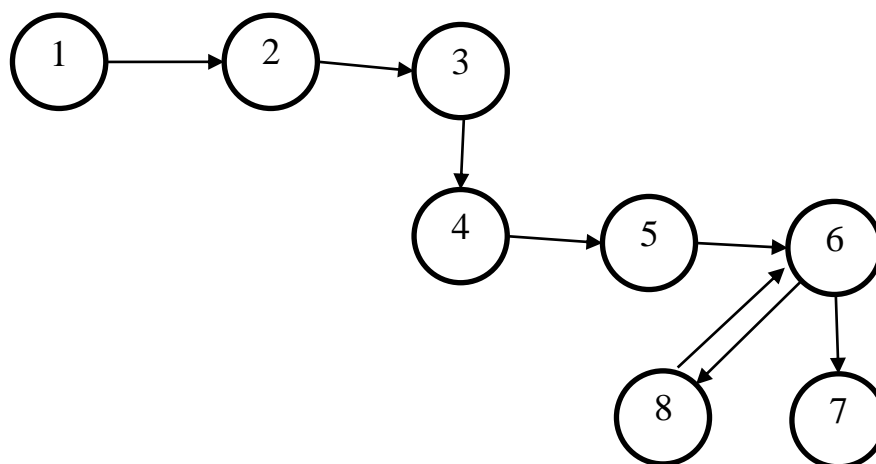


Рисунок 2.23 – Повний потоковий граф комбінованого електротехнологічного комплексу очищення стічних вод

Далі на основі повного потокового графу складаємо матрицю шляхів (табл. 2.8). Матриця є квадратною, кількість стовпців відповідає кількості елементів у складі технологічного комплексу. Якщо на графі є шлях будь-якої довжини з вершини i у вершину j , то на пересіченні i -го рядка та j -го стовпця ставиться одиниця, в протилежному випадку – 0.

Таблиця 2.8 – Матриця шляхів Р

Номер вершини графа, j	Номер вершини графа, i							
	1	2	3	4	5	6	7	8
1	1	1	0	0	0	0	0	0
2	0	1	1	0	0	0	0	0
3	0	0	1	1	0	0	0	0
4	0	0	0	1	1	0	0	0
5	0	0	0	0	1	1	0	0
6	0	0	0	0	0	1	1	1
7	0	0	0	0	0	0	1	0
8	0	0	0	0	0	1	0	1

На основі матриці шляхів P будується допоміжна матриця S (табл. 2.9).

$$S_{ij} = \left\{ \begin{array}{l} 1, \text{ якщо } p_{ij} = p_{ji} = 1 \\ 0, \text{ в протилежному випадку} \end{array} \right\}. \quad (2.34)$$

Таблиця 2.9 – Допоміжна матриця S

Номер вершини графа, i	Номер вершини графа, i							
	1	2	3	4	5	6	7	8
1	1	0	0	0	0	0	0	0
2	0	1	0	0	0	0	0	0
3	0	0	1	0	0	0	0	0
4	0	0	0	1	0	0	0	0
5	0	0	0	0	1	0	0	0
6	0	0	0	0	0	1	0	1
7	0	0	0	0	0	0	1	0
8	0	0	0	0	0	1	0	1

На основі матриці S визначаються комплекси, які входять до складу системи. Якщо в i -му рядку є лише один ненульовий елемент S_{ii} (на головній діагоналі), то елемент системи з номером i можна вважати окремим комплексом.

Отже, проаналізувавши повний потоковий граф комплексу очищення стічних вод, матрицю шляхів та допоміжну матрицю, можна зробити висновок, що всі виділені підсистеми, які входять до системи, з'єднані послідовно. Отже, ФМ має всі ознаки складної системи з можливістю виділення окремих підсистем. Для більш детального аналізу досліджуваного об'єкта скористаємося сценарно-цільовим методом. На першому етапі проведення системного аналізу комплексу очищення стічних вод складається цільовий сценарій, метою якого є визначення способу досягнення поставлених перед системою цілей. Цільовий сценарій показує порядок виконання операцій, кожна з яких орієнтована на досягнення кінцевого результату та характеризується певними показниками. Він також дає змогу визначити виконавців, керуюючі дії, виконати календарне планування.

Під час розв'язання системної задачі сценарно-ситуаційного аналізу для комплексу очищення стічних вод досягнення цілей відбувається під час виконання в певній послідовності дій, які називають *процесами*, або *операціями* f_i . Операції

можуть виконуватися послідовно та паралельно. Кожна з них спрямована на досягнення зазначених цілей і підцілей.

Цільовий сценарій роботи технологічного комплексу очищення стічних вод визначається таким набором:

$$A = \langle F, C, T, \alpha, \beta \rangle, \quad (2.35)$$

де $F = \{f_i\}$, $i = 1, \dots, n$ – множина операцій (подій); $C = \{c_i\}$, $i = 1, \dots, m$ – множина цілей; $T = \{t_i\}$, $i = 1, \dots, k$ – множина переходів; $\alpha: T \times F \cup F \times T \rightarrow \{0, 1\}$ – функція інцидентів «операції – переходи»; $\beta: F \rightarrow 2^C$ – функція розподілу цілей (2^C – множина всіх підмножин C).

У таблиці 2.10 розглянуто цілі для комбінованого технологічного комплексу очищення стічних вод.

Таблиця 2.10 – Цілі технологічного комплексу очищення стічних вод

Позначення цілі	Зміст цілі
C_1	Визначення технологічного регламенту роботи обладнання
C_2	Забезпечити вміст зважених речовин менше або рівним 300 мг/дм^3
C_3	Забезпечити вміст сухого залишку менше або рівним 1000 мг/дм^3
C_4	Забезпечити вміст нафтопродуктів менше або рівним $0,9 \text{ мг/дм}^3$
C_5	Забезпечити вміст азоту амонійного менше або рівним 10 мг/дм^3
C_6	Забезпечити вміст фосфатів менше або рівним 5 мг/дм^3
C_7	Забезпечити вміст заліза менше або рівним 2 мг/дм^3
C_8	Забезпечити вміст СПАР менше або рівним 4 мг/дм^3
C_9	Забезпечити вміст хлоридів менше або рівним 350 мг/дм^3
C_{10}	Забезпечити вміст сульфатів менше або рівним 500 мг/дм^3
C_{11}	Забезпечити вміст ХСК менше або рівним 500 мг/дм^3
C_{12}	Забезпечити вміст БСК ₅ менше або рівним 400 мг/дм^3
C_{13}	Забезпечити мутність води на виході із фільтра $0 - 4 \text{ ЕМФ}$
C_{14}	Забезпечити рН в електролізері згідно заданих значень в діапазоні 1-13
C_{15}	Забезпечити тиск води в окислювачах а $0 - 6 \text{ атм}$
C_{16}	Забезпечити тиск води в фільтрі до $0,8 \text{ атм}$
C_{17}	Забезпечити на фільтруючому елементі затримання шламів
C_{18}	Забезпечити ГДК води

У таблиці 2.11 наведено операції та їхній зміст для комплексу очищення стічних вод.

Таблиця 2.11 – Операції комбінованого технологічного комплексу очищення стічних вод

Позначення операції	Зміст операції
f_1	Аналіз якісних показників стічних вод, що надходить у приймальну ємкість добового виробництва
f_2	Електротехнологічне окислення води
f_3	Процес деаерації води
f_4	Проходження води через електролізер-коагулятор (рН-коректор)
f_5	Проходження води через батарею електротехнологічних окислювачів (з ультразвуковою інтенсифікацією)
f_6	Процес фільтрації води в пінополістирольному фільтрі із самопромивкою
f_7	Процес накопичення фільтрату в ємкості після самопромивки
f_8	Процес скидання води

На основі набору (див. рис. 2.23) створено граф операцій комплексу очищення стічних вод (рис. 2.24), у якому зазначено операції, цілі, переходи і зв'язки між ними.

Цільовий сценарій у вигляді графу операцій поєднує властивості статичних і динамічних моделей організаційно-технологічних систем. Статика дає візуальне уявлення про послідовність виконання операцій, а динаміка виконання ілюструється за допомогою міток (маркерів), які знаходяться у вершинах.

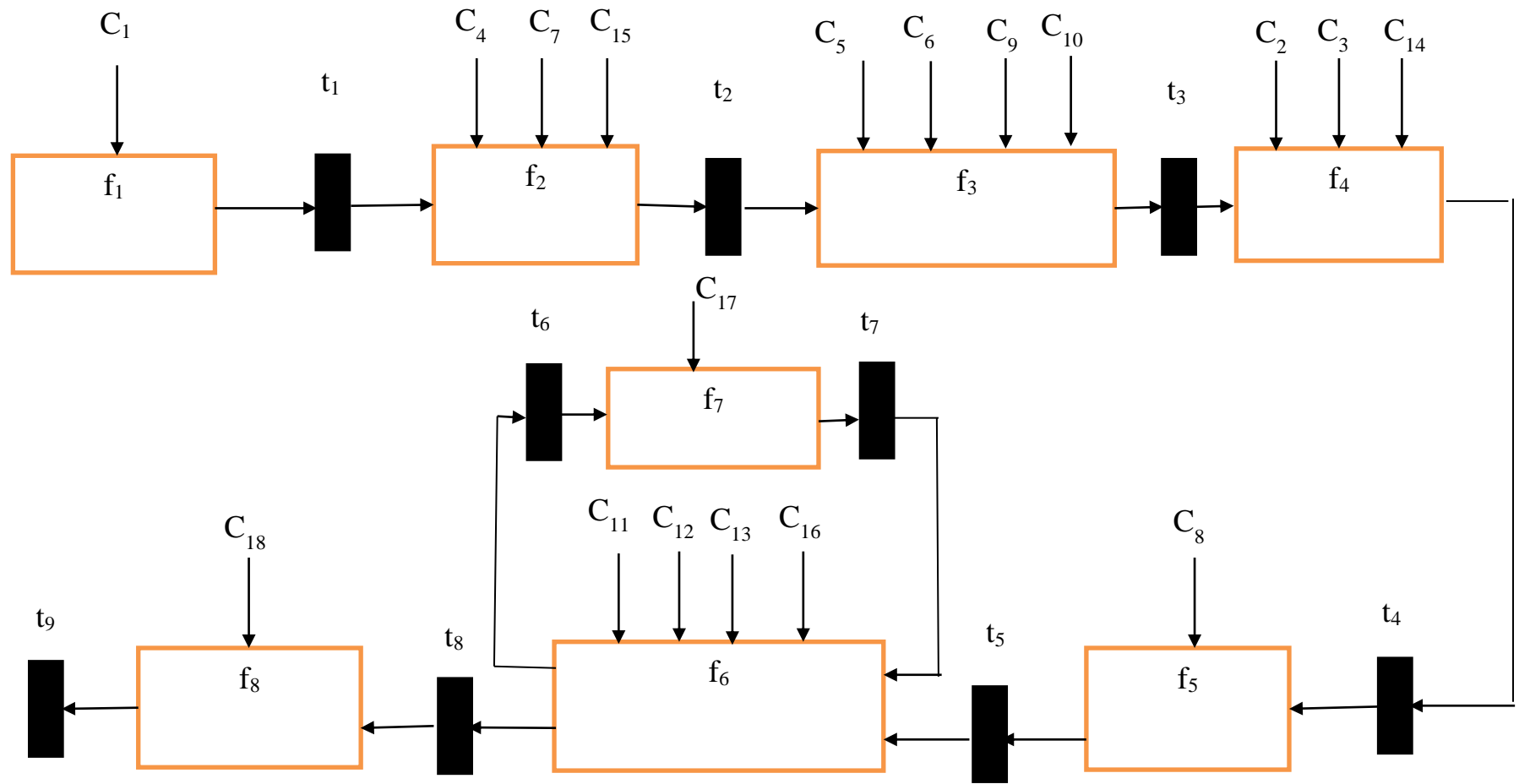


Рисунок 2.24 – Граф операцій цільового сценарію комбінованого очищення стічних вод

На другому етапі, використовуючи графи операцій і цілей, виводяться базовий і табличний прографи введенням у цільовий сценарій символів об'єктів, подій, ресурсів і часової шкали, у межах якої розгортаються події.

Базовий програф системи визначається таким набором:

$$B = \langle F, T, O, R, P, S, \Theta, \gamma, \delta, \varepsilon, \pi \rangle, \quad (2.36)$$

де: F, T — множина операцій і переходів, визначені у формулі (2.24); $O = \{o_i\}, i = 1, \dots, e$ — множина об'єктів; $R = \{r_j\}, j = 1, \dots, g$ — множина ресурсів; $P = \{p_i\}, i = 1, \dots, q$ — множина місць (позицій) зберігання об'єктів; $S \subseteq O \times T \times S$ — множина подій; $\Theta = \{0, 1, \dots, h\}$ — часова шкала; $\gamma: P \times F \cup F \times P \rightarrow \{0, 1\}$ — функція інциденцій «операції – позиції»; $\delta: R \times F \cup F \times R \rightarrow \{0, 1\}$ — функція інциденцій «операції – ресурси»; $\varepsilon: P \rightarrow O$ — функція розміщення об'єктів за позиціями; $\pi: S \rightarrow 2^\Theta$ — функція часових міток позицій (2^Θ – множина всіх підмножин Θ).

Згідно з правилом заміщення переходу графу операцій набором позицій базового прографу кожній впорядкованій парі «вхідна – вихідна дуга ij » відповідає лише одна позиція p_{ij} , тобто з'єднана з однією вхідною й однією вихідною операціями, а кількість позицій замість «переходу t » дорівнює $n \times m$. У позицію поміщають об'єкти лише одного виду. Однакові об'єкти можуть перебувати в різних позиціях. Об'єкти позначаються на прографі колами, ресурси – ромбами і згідно з функцією δ стрілками з'єднуються з операціями. Події $s \in S$ однозначно відповідають позиціям $p \in P$ та ілюструють факт передачі об'єктів від вхідної операції, відносно позиції p , до вихідної в момент спрацьовування τ переходу t .

Ресурси й об'єкти характеризуються набором ознак (атрибутів), значення яких можуть виражатися в кількісній, лінгвістичній, символній, графічній або іншій формі і змінюються під час виконання процесів. Кількісні змінні атрибутів описуються за допомогою числових значень, лінгвістичні – словами або словосполученнями. Лінгвістичні змінні можуть подаватися також у числовому вигляді. Базовий програф для комплексу очищення стічних вод зображено на рисунку 2.25, а об'єкти, ресурси й події наведено відповідно в таблицях 2.12 – 2.14.

Таблиця 2.12 – Об'єкти комбінованого технологічного комплексу очищення стічних вод

Позначення об'єктів	Зміст об'єктів
o_1	Вода після приймальної ємності
o_2	Вода після електротехнологічного окиснення
o_3	Вода після деаерації
o_4	Вода після очищення в електролізері-коагуляторі (рН-коректор)
o_5	Вода після очищення в батареї електротехнологічних окислювачів
o_6	Промивна вода з нерозчиненими сполуками речовин
o_7	Освітлена вода з ємності фільтрату
o_8	Вода після фільтрації в пінополістирольному фільтрі із самопромивкою
o_9	Очищена вода

Таблиця 2.13 – Ресурси комбінованого технологічного комплексу очищення стічних вод

Позначення ресурсів	Зміст ресурсів
r_1	Реактиви, обладнання, методики для проведення аналізів якості води
r_2	Реагент
r_3	Електроенергія

Таблиця 2.14 – Події комбінованого технологічного комплексу очищення стічних вод

Позначення подій	Зміст подій
s_1	Передати o_1 від f_1 до f_2 у момент часу τ_1
s_2	Передати o_2 від f_2 до f_3 у момент часу τ_2
s_3	Передати o_3 від f_3 до f_4 у момент часу τ_3
s_4	Передати o_4 від f_4 до f_5 у момент часу τ_4
s_5	Передати o_5 від f_5 до f_6 у момент часу τ_5
s_6	Передати o_6 від f_6 до f_7 у момент часу τ_6
s_7	Передати o_7 від f_7 до f_6 у момент часу τ_7
s_8	Передати o_8 від f_6 до f_8 у момент часу τ_8
s_8	Скидання o_9 від f_8 у момент часу τ_9

Оскільки кожна з виділених підсистем має свої локальні цілі, то під час функціонування системи загалом, можуть виникнути конфліктні ситуації. Отже, виникає задача координації роботи керованих підсистем, розв'язком якої є визначення взаємодії підсистем, за якої управління, оптимальні за критеріями ефективності кожної з підсистем, є також оптимальними за загальним критерієм для процесу загалом.

Рішення щодо зміни тих чи інших параметрів приймається системою після певного запізнювання в отриманні інформації. Вода в процесі очищення вже встигає пройти частину циклу і виникає проблема невідповідності технологічному регламенту. Водночас виникає розбіжність між тенденцією ускладнення об'єктів керування, що веде до збільшення числа контрольованих параметрів, і вимогою оперативності управління.

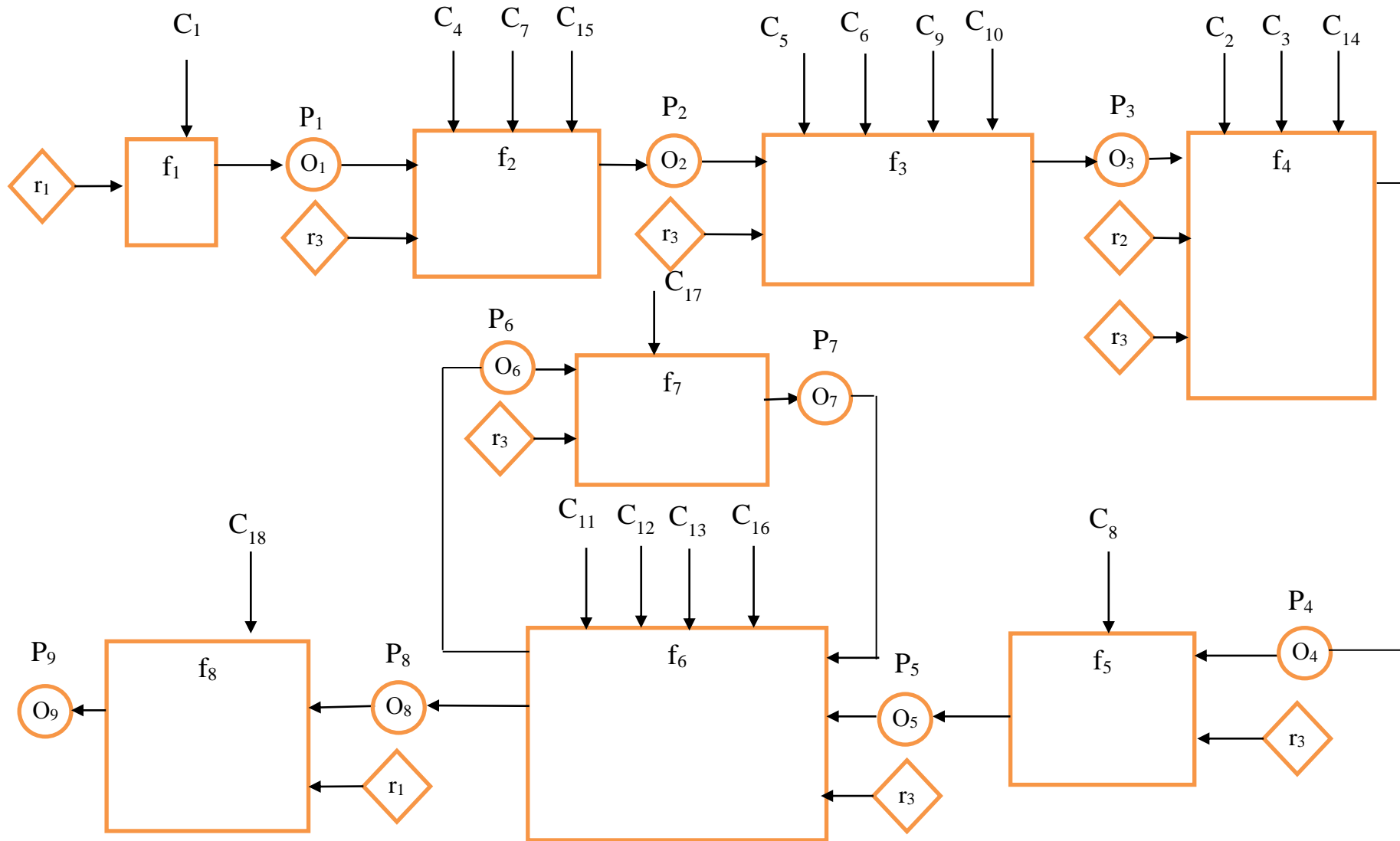
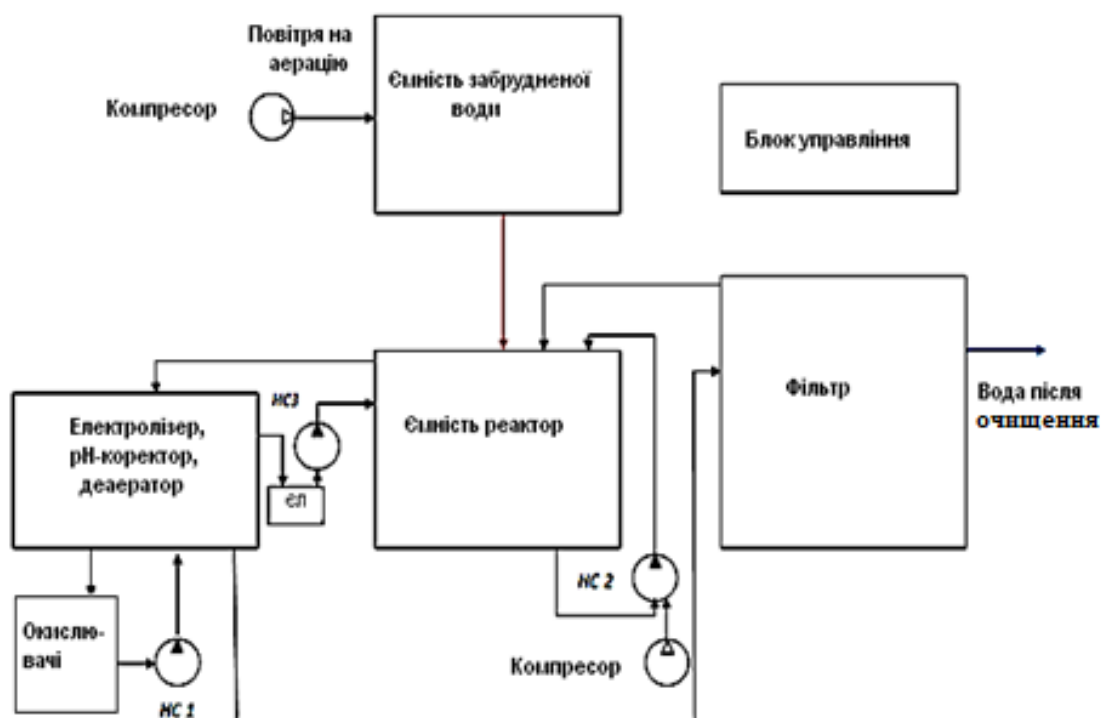


Рисунок 2.25 – Базовий програф комбінованого технологічного комплексу очищення стічних вод

Зважаючи на результати системного аналізу, уточнено номенклатуру ФМ (рис. 2.26) та проведено агрегативну типізацію технологічних елементів за базовими способами опрацювання стоків. Відмінність від конструктиву досліджуваної на етапі СА ФМ полягає в поєднанні в єдиному корпусі різних функціональних електроагрегатів: рН-коректора та електролізера-коагулятора-деаератора.

Метрологічне забезпечення ФМ включатиме засоби встановлення: концентрації фосфатів і нітратів – в атестованій лабораторії; БСК – в атестованій лабораторії; концентрація суспензій – Solartron Mobrey MSM 400; рН – рН-метр-іонометром І-500; СПАР – в атестованій лабораторії; температура води – датчиком ТСП-5017.



АБС – агрегати біологічного способу, АФХС – агрегати фізико-хімічного способу,
 АХС – агрегати хімічного способу, АМС – агрегати механічного способу,
 НС – насос, ЄЛ – ємність-локалізатор

Рисунок 2.26 – Структурна схема технологічного обладнання ФМ (технологічне «ядро») із реалізацією агрегативної типізації за базовими способами водоочищення

Керуючим впливом на значення забруднювачів прийнято загальну силу струму (напругу): на електролізері (рН-коректорі) і окислювачах (див. рис. 2.26).

Інші елементи (насоси) працюватимуть у встановленому стаціонарному режимі, компресори на максимально можливій продуктивності.

Після виконання експериментальних досліджень та розрахунку енергоефективності починається етап аналітичного дослідження (рис. 2.27) із використанням інтелектуальних рішень на основі нейромереж. Такий підхід являється універсальним, оскільки через інтеграцію застосування технологічного обладнання (див. рис. 2.26) та нейромережі (НМ) реалізовується квазінатуральна концепція ФМ водоочищення, даючи можливість непрямими способами оцінювати ефективність та енергозатратність базових способів водоочищення: *біологічний*: через розрахунок подачі компресором кисню та відомих параметрів його окислюючої дії на органічні забруднювачі; *механічний (фізичний)*: оцінюючи фільтрація через фільтр; *хімічний*: через встановлення ступеня окислення в окислювачах та ефективності коагуляції в ємності реакторів; *фізико-хімічний (ключовий метод ФМ)*: оцінюючи роботу електролізера-рН-коректора та окиснювачів через закони електрохімії, наприклад, Фарадея.

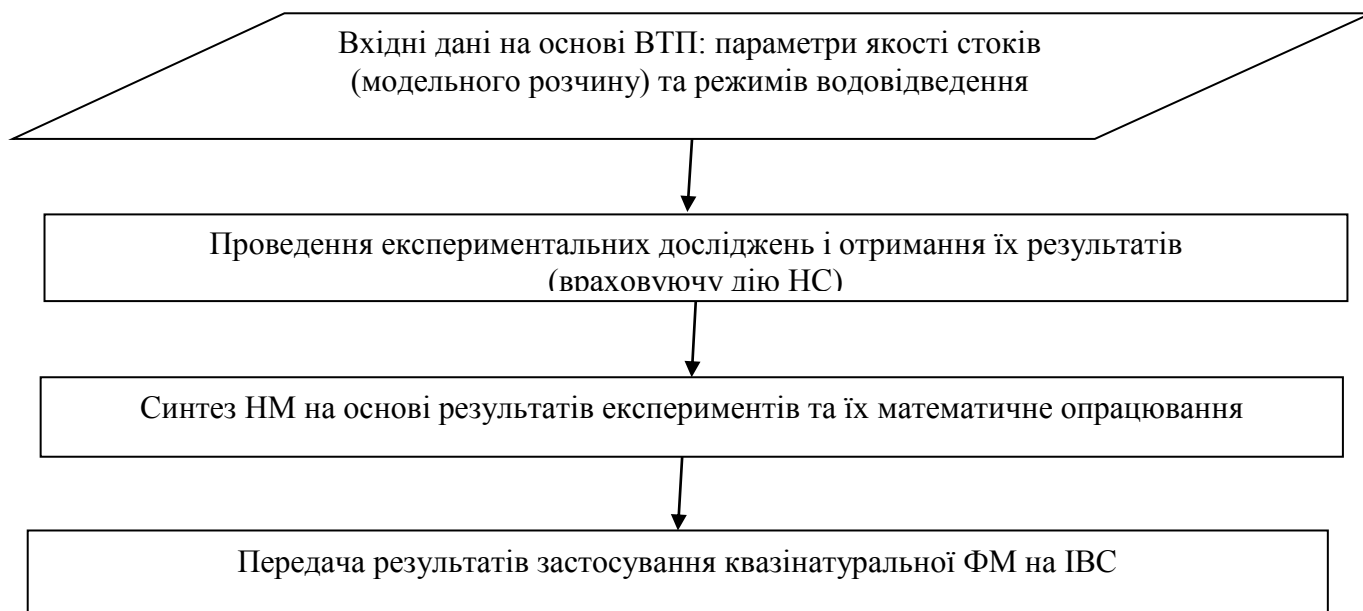


Рисунок 2.27 – Блок-схема алгоритму досліджень енергоефективності комбінованого водоочищення з використанням спроектованої ФМ

Водночас до набору технологічного обладнання ФМ (див. рис. 2.26), за технічної реалізації створеного методу проектування (див. рис. 2.22) на різнотипових промислових об'єктах, можна застосувати підходи:

- *структурно-змінного синтезу* (кожна модифікація отримується із базового рішення («ядра») через виключення деяких елементів і/або зміни зв'язків);
- *конструктивно-змінного синтезу* (кожна модифікація обов'язково включає елементи «ядра», але може містити новостворені (не входили до базового рішення технологічні елементи) із можливістю зміни функціональних задач елементів «ядра»).

Водночас поєднання задач дотримання енергоефективності, матеріальних засобів видалення забруднювачів, програмного забезпечення та інтерфейсу дає можливість класифікувати квазінатуральну фізичну модель, як віртуальну міру енергоефективності водоочищення (ВМЕВ) (рис. 2.28).

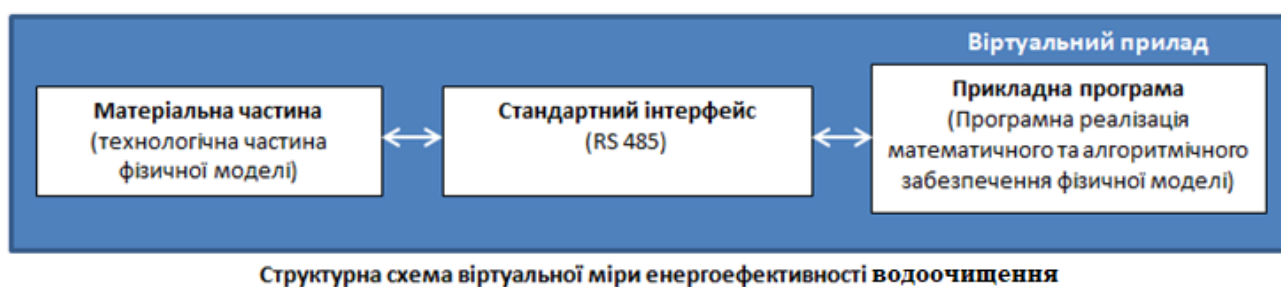


Рисунок 2.28 – Структура віртуальної міри енергоефективності водоочищення

Обґрунтування функціональних задач ФМ виконується на основі ДСТУ ISO 10012:2005 «Вимоги до процесів вимірювання та вимірювального обладнання»:

- пункт 3.3: Вимірювальне обладнання – вимірювальний пристрій, програмний засіб або допоміжні пристрої, або їхня комбінація необхідні для виконання процесу вимірювання (сукупність операцій для визначення значень величини);
- пункт 6.3.1: Вимірювальне обладнання потрібно застосовувати в умовах довкілля, які є контрольованими або умови якого відомі із точністю, потрібною для забезпечення вірогідних для результатів вимірювань;

- пункт 6.3.2: Умови довкілля, які впливають на результат вимірювання можуть охоплювати температуру, вологість, вібрації... та інші чинники;
- пункт 7.2.3: Процес вимірювання потрібно виконувати за контрольованих умов, які мають відповідати метрологічним вимогам. Умови, що підлягають контролю: підтримування належних умов довкілля.

Тобто, завдання обладнання ФМ – дотримання і стабілізація умов водоочищення, щоби забезпечити контрольованість умов довкілля процесу вимірювання (рис. 2.29).

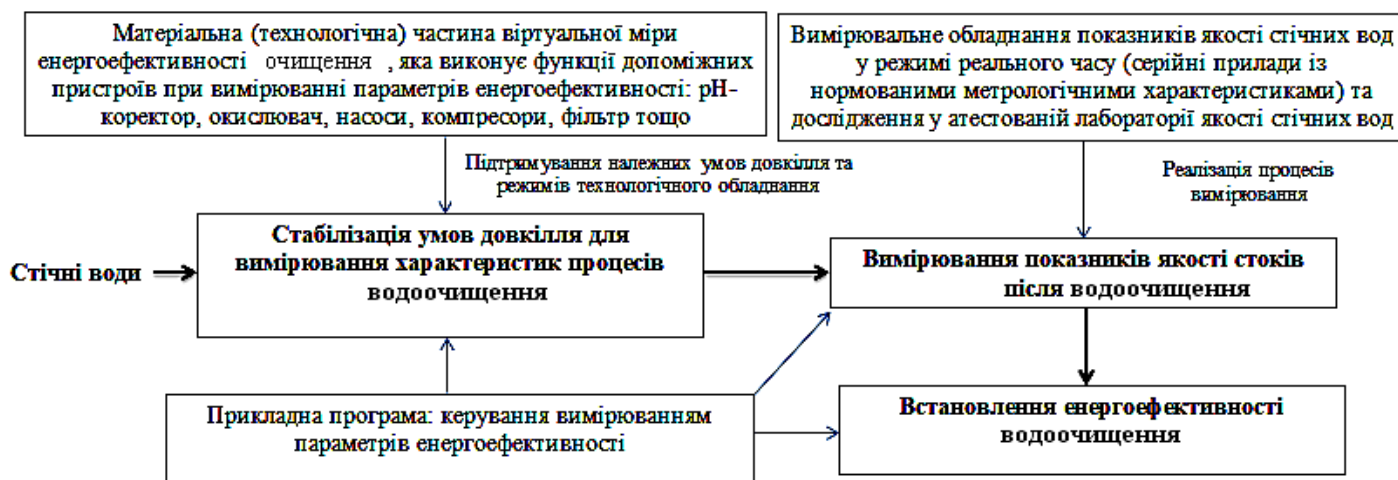


Рисунок 2.29 – Модель вимірювання параметрів енергоефективності водоочищення на основі використання ВМЕВ

2.5. Методологічні основи удосконалення науково-теоретичних засад управління екологічною безпекою промислового водоочищення із врахуванням надзвичайних ситуацій

На основі досліджень пунктів 2.1 – 2.4 виокремлено актуальну проблемну область досліджень щодо забезпечення науково-технічних засад енергоефективності режимів комбінованого очищення стічних вод на основі ефективного отримання та опрацювання інформації в умовах дії надзвичайних ситуацій (рис. 2.30) [1, 2, 17, 21]. Тоді узагальнена структура інформаційно-функціонального моделювання з імітаційним дослідженням функціонування в режимі реального часу з врахуванням дії надзвичайних ситуацій процесів

водоочищення включатиме ряд інтелектуальних блоків, які розв'язуватимуть різні задачі, наведено на рисунку 2.31 (Додаток Г).



Рисунок 2.30 – Проблемна область забезпечення ефективності комбінованого очищення стічних вод промислових об'єктів

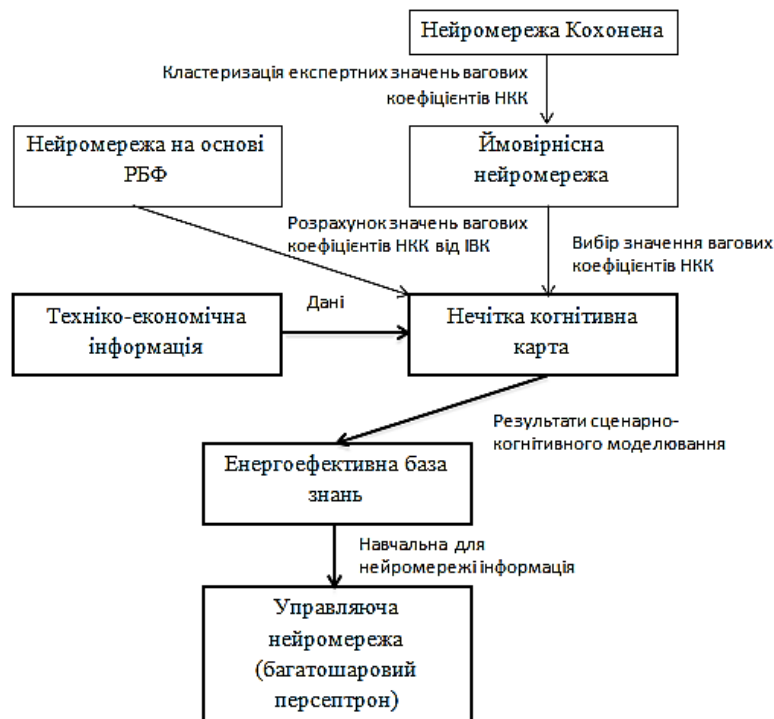


Рисунок 2.31 – Узагальнена структуру інформаційно-функціонального моделювання з врахуванням дії НС процесів водоочищення

Базуючись на окресленій проблемній області (див. рис. 2.31) та підходах щодо створення відповідних інформаційно-функціональних моделей (наприклад, концепція О. Балчі) для подальших досліджень використовується методологічна схема рисунку 2.32.

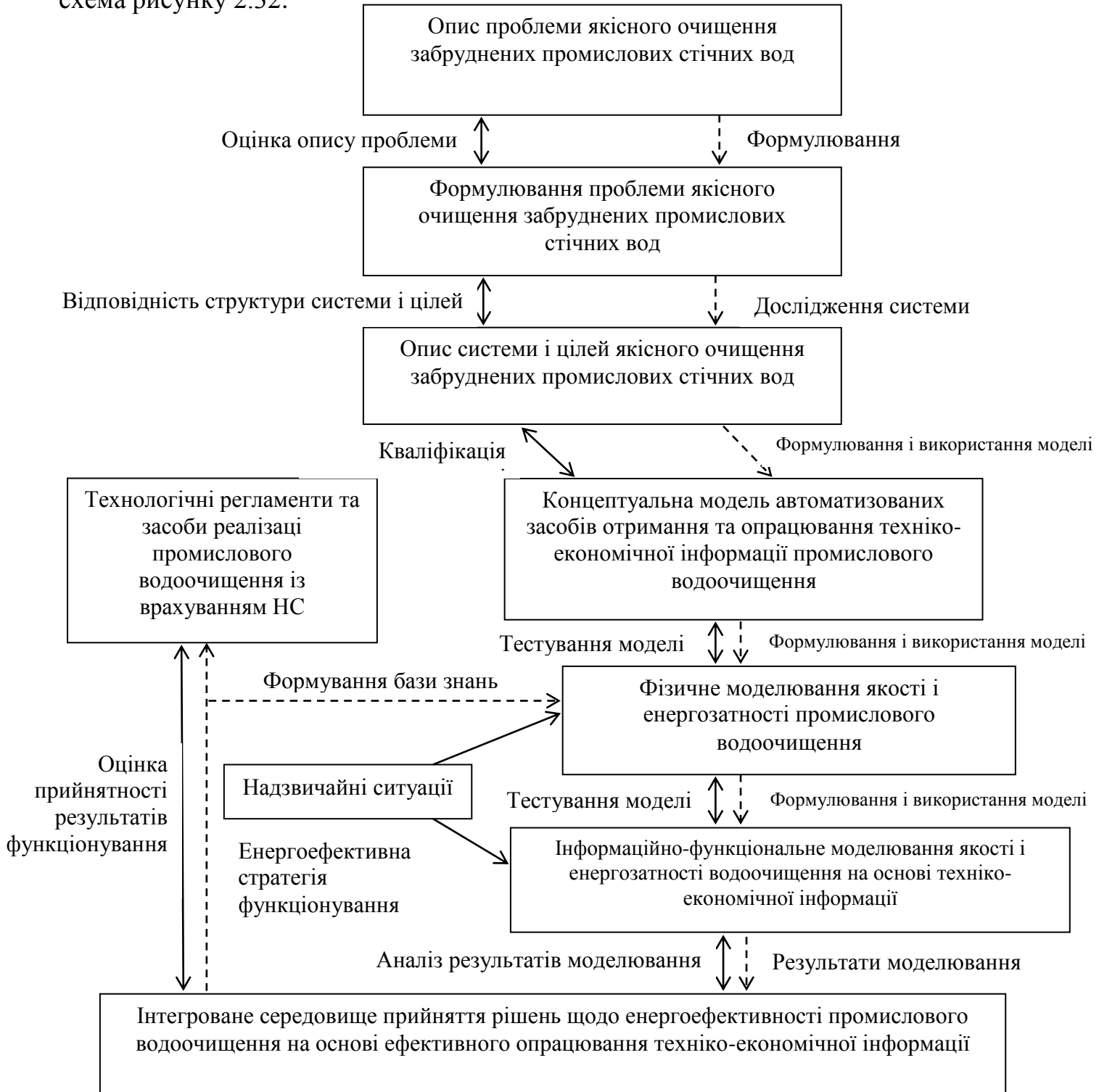


Рисунок 2.32 – Методологічна схема досліджень водоочищення з погляду ефективного отримання та інтелектуального опрацювання інформації з врахуванням дії надзвичайних ситуацій і мінімізації техногенного навантаження

У схемі пунктирні стрілки представляють процеси, які пов'язують окремі фази розробки та реалізації досліджень, а суцільні належать до процедур оцінювання достовірності цих процесів.

Під *інформаційно-функціональним моделюванням* розуміється процес моделювання функцій виконуваних системою очисних споруд через створення описового структурованого графічного зображення (когнітивна карта), який показує взаємопов'язаний функціонал елементів об'єкта з урахуванням наявної інформації. Із використанням, ВМЕВ та інформаційно-функціонального моделювання (Додаток Г) створюємо метод створення систем збирання, опрацювання та ефективного використання техніко-економічної інформації промислового водоочищення на основі енергоефективності та врахування НС. Застосовано технологію низхідного проектування систем, а саме метод декомпозиції; формулювання підзадач виконується так, щоби вони послідовно виконувалися та мали достатній рівень абстракції (рис. 2.33 – 2.37).

Згідно з ДСТУ ISO/IEC/IEEE 24765:2015 «Розроблення систем і програмного забезпечення» та ДСТУ ISO/IEC 2382-17:2005 «Інформаційні технології», *база знань* – база даних, що містить правила представлення й інформацію щодо досвіду і знань у деякій предметній області.

Кінцевим нормативним документом методу є технологічний регламент (ТР) – основний робочий нормативний документ систем водоочищення. Дотримання всіх вимог ТР є обов'язковим для персоналу, що обслуговує процес, оскільки це гарантує: належну якість процесів; економічність технологічного процесу; уникнення пошкодження обладнання й апаратів; безпечність технологічного процесу; забезпечення встановлених вимог з охорони праці; зведення до мінімуму можливості виникнення аварійних ситуацій; дотримання вимог законодавства з охорони навколишнього природного середовища [29, 31, 46, 61, 133, 134].

Класичні недоліки методики розроблення ТР для систем водоочищення:

– під час розроблення технологічних регламентів не враховується дія надзвичайних ситуацій техногенно та природного походження на процеси

водоочищення, розраховується лише «постдія» – мінімізація наслідків після виникнення аварії;

– комплексно не враховується вимоги енергоефективності та фінансових складових експлуатації водоочисних установок.

Завдання створення методу:

Побудова систем збирання, опрацювання та екологічно безпечного використання техніко-економічної інформації промислового водоочищення на основі водного технологічного паспорту



Рисунок 2.33 – Використання декомпозиції для формування підзадач методу створення систем збирання, опрацювання та ефективного використання техніко-економічної інформації промислового водоочищення на основі енергоефективності та врахування НС

Підзадача 1:

Фізичне моделювання енергоефективності процесів водоочищення у ВМЕВ

Початкові дані:**Операції****Результати*****Операція 1.1***

Інформація водного технологічного паспорту

Встановлення параметрів модельного розчину та витратних характеристик стічних вод

Показники якості модельного розчину та витратних параметрів

Операція 1.2

Показники якості модельного розчину та витратних параметрів

На основі нормативної бази визначення технологічної карти та режимів опрацювання стічних вод у ВМЕВ

Режимні параметри опрацювання стічних вод

Операція 1.3

Режимні параметри опрацювання стічних вод

Фізичне моделювання (опрацювання стічних вод) у ВМЕВ

База даних фізичного моделювання

Рисунок 2.34 – Декомпозиція підзадачі «Фізичне моделювання процесів водоочищення у ВМЕВ»

Підзадача 2:

Математичне моделювання та інтелектуальний вибір енергоефективних режимів процесів водоочищення у ВМЕВ

Початкові дані:**Операції****Результати*****Операція 2.1***

База даних фізичного моделювання

Синтез нейромережі на основі фізичного моделювання характеристик стічних вод

Математична модель опрацювання стічних вод у вигляді нейромережі

Математична модель опрацювання стічних вод у вигляді нейромережі

Операція 2.2

На основі нейромережі та методу перехресного впливу формування енергоефективних режимних параметрів

База знань енергоефективних режимів водоочищення

Рисунок 2.35 – Декомпозиція підзадачі «Математичне моделювання та інтелектуальний вибір енергоефективних режимів водоочищення у ВМЕВ»

Підзадача 3:

Когнітивне моделювання техніко-економічних процесів електротехнологічного промислового водоочищення з врахуванням НС

Початкові дані:**Операції****Результати*****Операція 3.1***

База знань енергоефективних режимів водоочищення

Встановлення та адаптація параметрів нечіткої когнітивної моделі техніко-економічних процесів електротехнологічного промислового водоочищення

Нечітка когнітивна модель техніко-економічних процесів електротехнологічного промислового водоочищення

Операція 3.2

Нечітка когнітивна модель техніко-економічних процесів електротехнологічного промислового водоочищення

Імітаційне сценарно-когнітивне моделювання техніко-економічних процесів електротехнологічного промислового водоочищення

База знань техніко-економічних процесів електротехнологічного промислового водоочищення

Операція 3.3

База знань техніко-економічних процесів промислового водоочищення

Неймережеве моделювання техніко-економічних процесів промислового водоочищення для встановлення режиму її енергоефективності та врахування НС

База даних та неймережа екологічно безпечного електротехнологічного промислового водоочищення із врахуванням НС

Рисунок 2.36 – Декомпозиція підзадачі «Когнітивне моделювання техніко-економічних процесів промислового водоочищення з врахуванням НС»

Підзадача 4:

Створення технологічного регламенту екологічно безпечного електротехнологічного промислового водоочищення з врахуванням НС

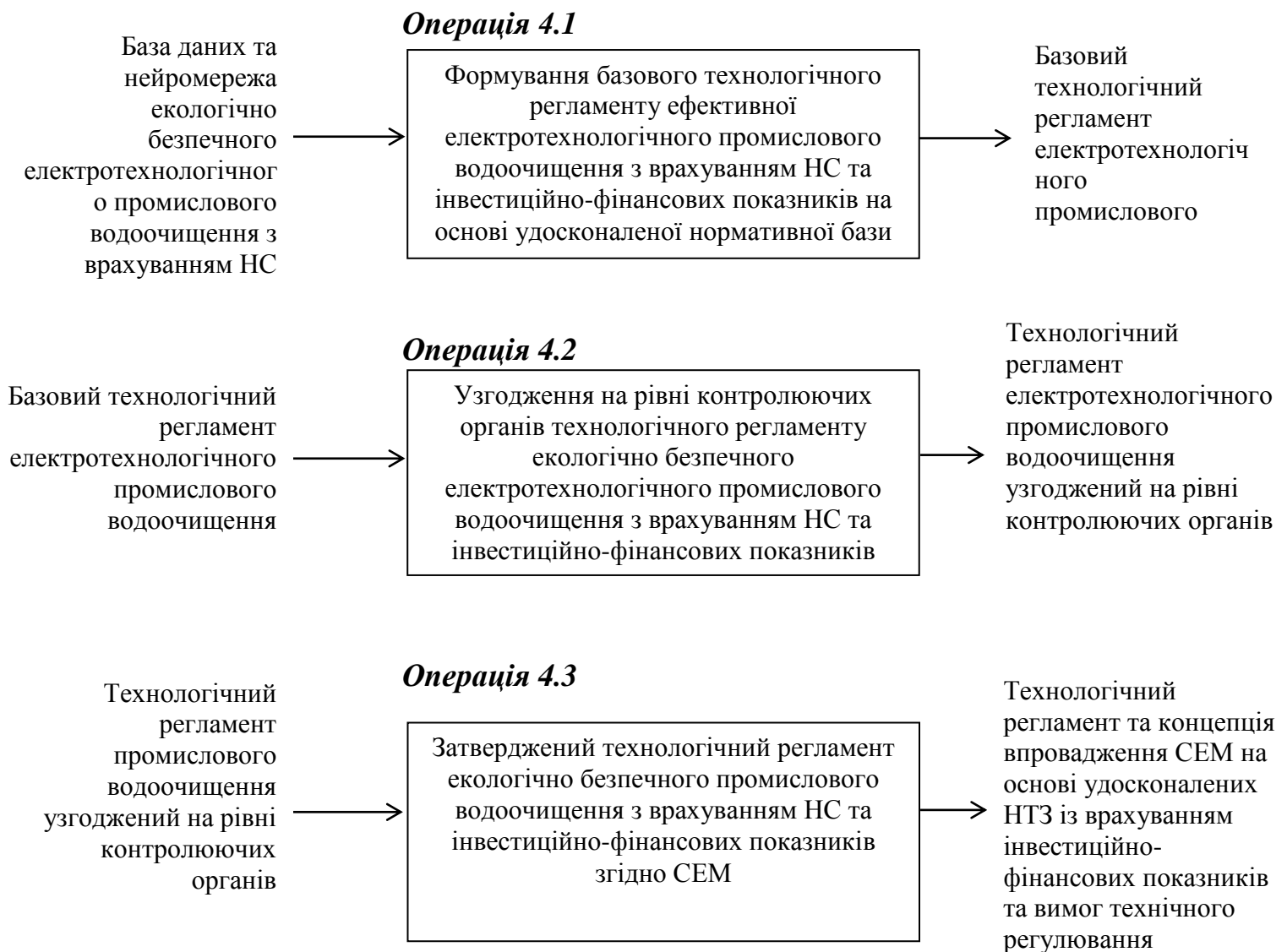
Початкові дані:**Операції****Результати**

Рисунок 2.37 – Декомпозиція підзадачі «Створення технологічного регламенту екологічно безпечного електротехнологічного промислового водоочищення з врахуванням НС на основі удосконалених НТЗ»

Водночас фактично не має єдиного алгоритму написання ТР для комбінованих систем, де поєднуються різні методи дії на забруднювачі – що спричиняє значні практичні проблеми під час створення ефективних систем здатних працювати протягом тривалого часу. Відповідно, встановлюємо, що в системі є «актори-люди», які у нашому випадку будуть інтегрувати в собі групи фахівців [161, 181, 186, 190, 196]:

- Розробник ТР (інститут, фірма тощо);
- Технічний персонал (служби технічного директора/головного інженера);
- Керівник підприємства;
- Державні контролюючі органи.

Крім них є відповідні «актори зовнішні системи»:

- Інформаційно-вимірювальний комплекс робочої міри енергоефективності електротехнологічних систем водоочищення (ІВК ВМЕВ);
- Інформаційно-функціональні моделі (ІФМ).

Прецедент розглядатимемо лише один – «Розробка ТР», зважаючи на те, що проміжні прецеденти (методи вимірювання техніко-економічної інформації, методи моделювання процесів комбінованої електротехнологічного водоочищення, проектування комбінованих електротехнологічного обладнання очищення стоків тощо) обґрунтовуються, розробляються, технологічно визначаються імітаційним моделюванням та проходять виробниче впровадження.

Потрібно створити два варіанти прецеденту «Розробка ТР»: під час проектування очисних споруд нового підприємства (стадія «Проект») та під час модернізації функціонуючих очисних споруд. Етапи розробки ТР (рис. 2.38) комбінованої електротехнологічного очищення стічних вод різногалузевих промислових об'єктів ітераційні та повторюються (рис. 2.39), з кінцевою метою розробки: технологічної схеми та функціональних режимів усунення дії потенційних надзвичайних ситуацій природного та техногенного характеру; номенклатури та режимів роботи комбінованого водоочисного обладнання на основі комплексного врахування інвестиційно-фінансових та енергоефективних

критеріїв із використанням засобів адаптивного налаштування систем водоочищення.

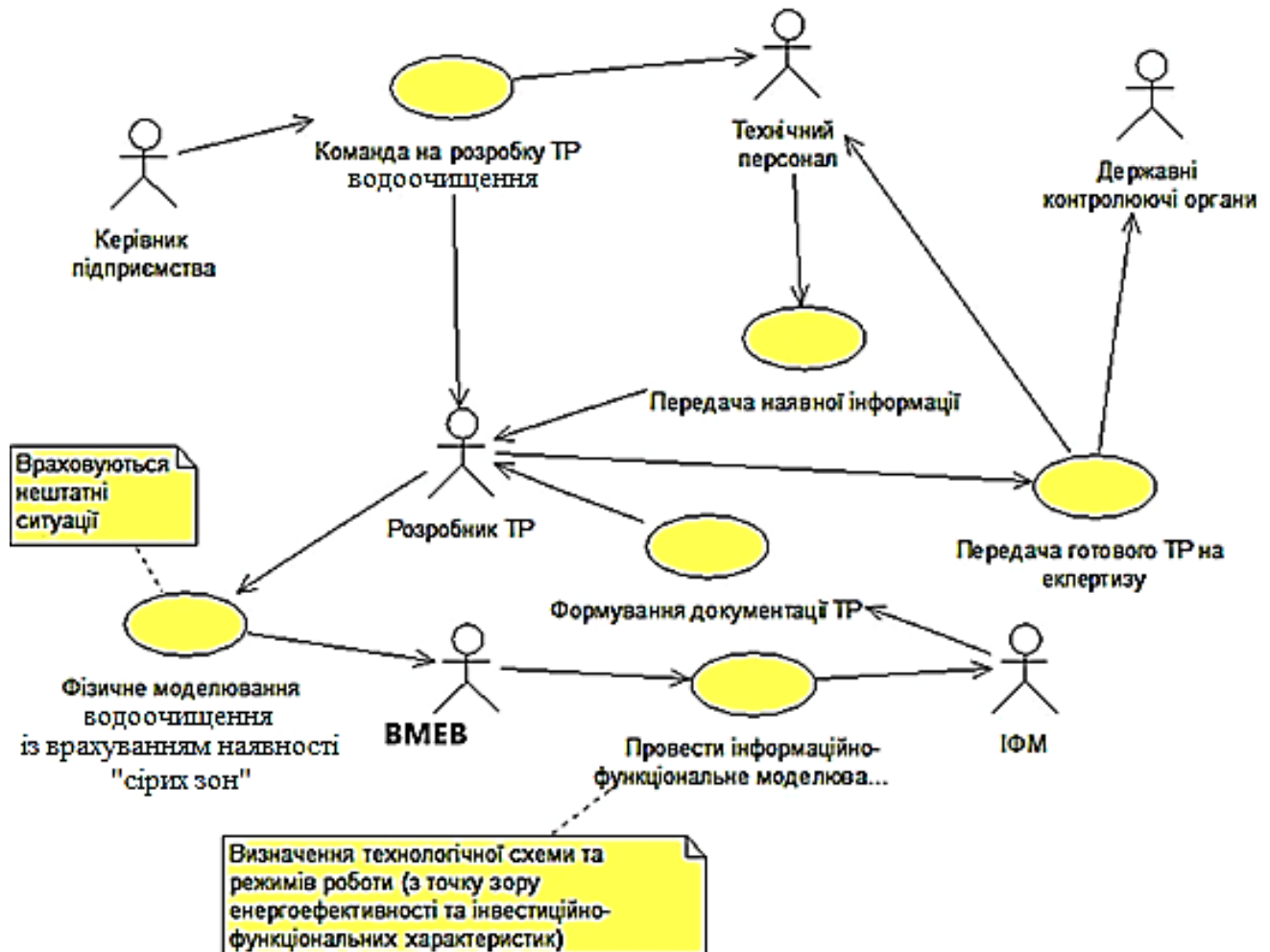


Рисунок. 2.38 – Діаграма варіантів використання під час створення ТР систем комбінованого очищення стічних вод різногалузевих промислових об'єктів (нотації UML)

Звичайно ТР можуть бути переглянуті в разі: введення в дію нових нормативів із промислової безпеки, охорони навколишнього природного середовища, положенням та обмеженням яких не відповідає (суперечить) чинній ТР; наявності змін у технології та обладнанні процесу, які потребують унесення змін до значної кількості розділів і пунктів ТР.

У випадку використання розробленої методики рекомендується передбачити постійну співпрацю та періодичний моніторинг ситуації з енергоефективністю та інвестиційно-фінансовими показниками роботи обладнання.

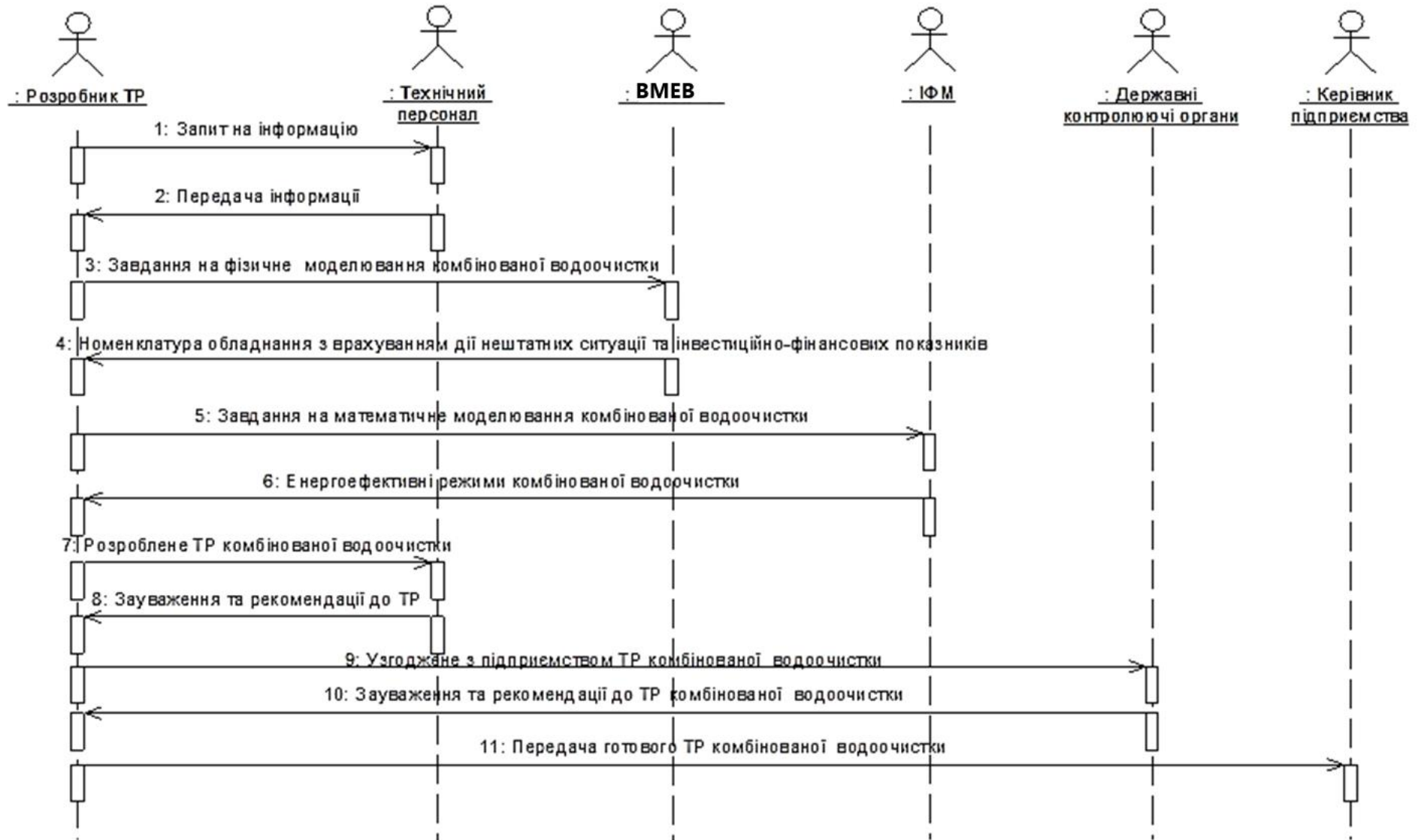


Рисунок 2.39 – Удосконалена методика розробки ТР з врахуванням дії надзвичайних ситуацій, виконання вимог енергоефективності та інвестиційно-фінансових показників комбінованого водоочищення

Водночас у нормативних правових документах детально прописані розрахунки граничнодопустимих концентрацій, необхідні дії з накопичення, зберігання, транспортування, утилізації небезпечних відходів [199, 200, 201, 203, 210, 232, 236]. Також встановлено вимоги до проектування систем очищення промислових стічних вод, включно із зливовими каналізаціями. Однак водночас не враховуються всі можливі канали потрапляння в комунально-побутові стоки шкідливих речовин (1-3 класу небезпеки). Відповідно, необхідно концептуально змінити підхід під час проектування схем водовідведення та відповідних технологічних регламентів небезпечних виробничих об'єктів – шляхом врахування «сірої зони» (рис. 2.40).

Під терміном «сіра зона» мається на увазі канали водоскиду з усіх приміщень і територій, включно з адміністративно-побутовим комплексом (АПК) і виробничими лабораторіями, де є хоч мінімальна ймовірність попадання забруднювачів, що визначають об'єкт, як «небезпечний». Весь сток із «сірої зони» вже на етапі проектування обов'язково мусить проходити очищення на локальних промислових очисних спорудах з утилізацією продуктів очищення згідно з вимогами нормативних документів. Якщо такі стоки не очищається на території підприємств, а утилізуються, то і водоскиди «сірих зон» повинні проходити аналогічну обробку.



Рисунок 2.40 – Екологічно безпечна схема водовідведення небезпечних виробничих об'єктів із врахуванням наявності «сірої зони»

Водночас необхідно враховувати під час створення ТР, що установки видалення забруднювачів повинні очищати не тільки від «небезпечних» забруднювачів, а й від базових, наприклад, від СПАВ (для душових кабінок).

Відповідно, структура пропонованого ТР значно відрізнятиметься від створюваних та використовуваних сучасних аналогів (табл. 2.15).

Таблиця 2.15 – Концептуальне порівняння структури обґрунтованого технологічного регламенту комбінованого водоочищення із сучасними аналогами

Сучасні аналоги ТР	Обґрунтований ТР на основі ресурсоощадності та врахування ризиків НС
1	2
<u>Преамбула.</u> Технологічний регламент повинен чітко висвітлювати поетапно весь процес відведення, збору та очищення стічних вод	<u>Преамбула.</u> Технологічний регламент повинен чітко висвітлювати поетапно весь процес відведення, збору та очищення стічних вод населених пунктів із заходами на кожному з таких етапів щодо дотримання ресурсоощадності та протидії ризикам виникнення НС
Відомості про параметри та якість водоскиду	Водний технологічний паспорт підприємства з вказанням джерел забруднення (у тому числі технологічних процесів) та потенційних ризиків виникнення НС (включно з наявністю «сірих зон»)
Характеристика та особливості роботи системи водовідведення	Характеристика та особливості роботи системи водовідведення з вказанням на кожному етапі заходів щодо дотримання ресурсоощадності та протидії ризикам виникнення НС
Характеристика та особливості роботи очисних споруд	Характеристика та особливості роботи очисних споруд із вказанням на кожному етапі заходів щодо дотримання ресурсоощадності та протидії ризикам виникнення НС, акцентуючи увагу на системах автоматизації

1	2
Контроль якості очищених стічних вод на скиді (з якою періодичністю та якими лабораторіями здійснюється контроль. Акредитація лабораторій № та термін дії свідоцтва, № та термін дії договору з акредитованою лабораторією на здійснення контролю якості води)	Контроль якості очищених стічних вод на скиді та на вході в очисні споруди (з якою періодичністю та якими лабораторіями здійснюється контроль. Акредитація лабораторій № та термін дії свідоцтва, № та термін дії договору з акредитованою лабораторією на здійснення контролю якості води); з обов'язковим включенням технічного та програмного забезпечення, здатного контролювати у режимі реального часу: якість стоків на різних етапах видалення забруднювачів, ресурсоощадність водоочищення та водовідведення
Загроза підтоплення	Загроза підтоплення та заходи протидії ризикам виникнення НС від його наслідків
Особливості обслуговування джерел водоскиду, які не підключені до системи централізованого водовідведення	Особливості обслуговування джерел водоскиду, які не підключені до системи централізованого водовідведення
Проведення планово-попереджувальних робіт на системах водовідведення та водоочищення	Проведення планово-попереджувальних робіт на системах водовідведення та водоочищення
Відомості про обсяги (середньодобові, середньомісячні, середньорічні) очищених стічних вод; споживання електроенергії та інших енергоносіїв для забезпечення сталої роботи системи видалення забруднювачів із стоків	Відомості про обсяги (середньодобові, середньомісячні, середньорічні) очищених стічних вод; споживання електроенергії та інших енергоносіїв, витратних складових (реагентів, наприклад) на реалізацію процесів видалення забруднювачів для забезпечення сталої роботи системи видалення забруднювачів зі стоків
Організація роботи з охорони праці та техніки безпеки	Організація роботи з охорони праці та техніки безпеки
Заходи аварійно-відновлювальних робіт	Заходи аварійно-відновлювальних робіт і превентивної протидії аварійним ситуаціям
Висновок щодо наявності на підприємстві відповідних ресурсів для якісного та сталого забезпечення водовідведення та водоочищення	Висновок щодо наявності на підприємстві відповідних ресурсів для якісного та сталого забезпечення водовідведення та водоочищення

Із врахуванням відпрацьованості структури сучасних ТР, зміни в пропонуваніх нормативних документах внутрішнього користування підприємств стосуються їхніх складових у напрямку покращення контролю за дотриманням якості водоочищення та ресурсощадності, протидії виникненню НС (див. табл. 2.15).

Водночас згідно із Законом України «Про технічні регламенти та оцінку відповідності» визначеною вимогою об'єкта являється заявлена потреба чи очікування, які зафіксовані в технічних регламентах, стандартах, технічних специфікаціях або в інший спосіб. Водночас об'єктом відповідності є конкретний матеріал, продукція, установка, процес, послуга, система, відповідно, такому визначенню відповідають і споруди очищення стічних вод (СОСВ). Отже, щодо них потрібно реалізовувати випробування (визначення характеристик об'єкта оцінювання) та встановлювати оцінку їхньої відповідності відповідним нормативним документам (процес доведення того, що вимоги, які стосуються продукції, процесу, послуг, систем були виконанні). Такі вимоги щодо СОСВ базуються саме на технологічних регламентах.

Обов'язкові складові ТР, вимогам яких мають відповідати чинні СОСВ (див. табл. 2.15) [239, 244, 245, 263]:

- характеристика та особливості роботи очисних споруд;
- контроль якості стоків на вході в обладнання та очищених стічних вод на скиді;
- відомості про: обсяг водоскиду, споживання електроенергії та інших енергоносіїв застосовуваних для забезпечення сталої роботи системи видалення забруднювачів зі стоків.

Водночас є чинники, які комплексно створюючи передумови щодо неефективності метрологічної діяльності із забезпечення єдності вимірювань реалізації оцінювання відповідності СОСВ, а, відповідно, і складності реалізації технічного регулювання. Однак, саме застосування ВМЕВ покликано реалізовувати вимірювання в режимі реального часу ряду характеристик СОСВ (включно з ресурсозатратністю та прогнозуванням виникнення надзвичайних

ситуацій), що створює об'єктивні передумови щодо використання ВМЕВ для оцінювання відповідності СОСВ вимогам ТР (реалізації технічного регулювання).

Комплекс створеного методичного забезпечення зменшення кількості вимірюваних показників якості стоків (більш ефективного використання наявних ТЗВ здатних працювати в РРЧ) й агрегування нормативно-рекомендованих способів водоочищення дав змогу обґрунтувати застосування методів перехресних впливів та програмно-апаратних рішень ВМЕВ для удосконалення процесу валідації СОСВ, із врахуванням специфікації експлуатації обладнання. (рис. 2.41, табл. 2.16).

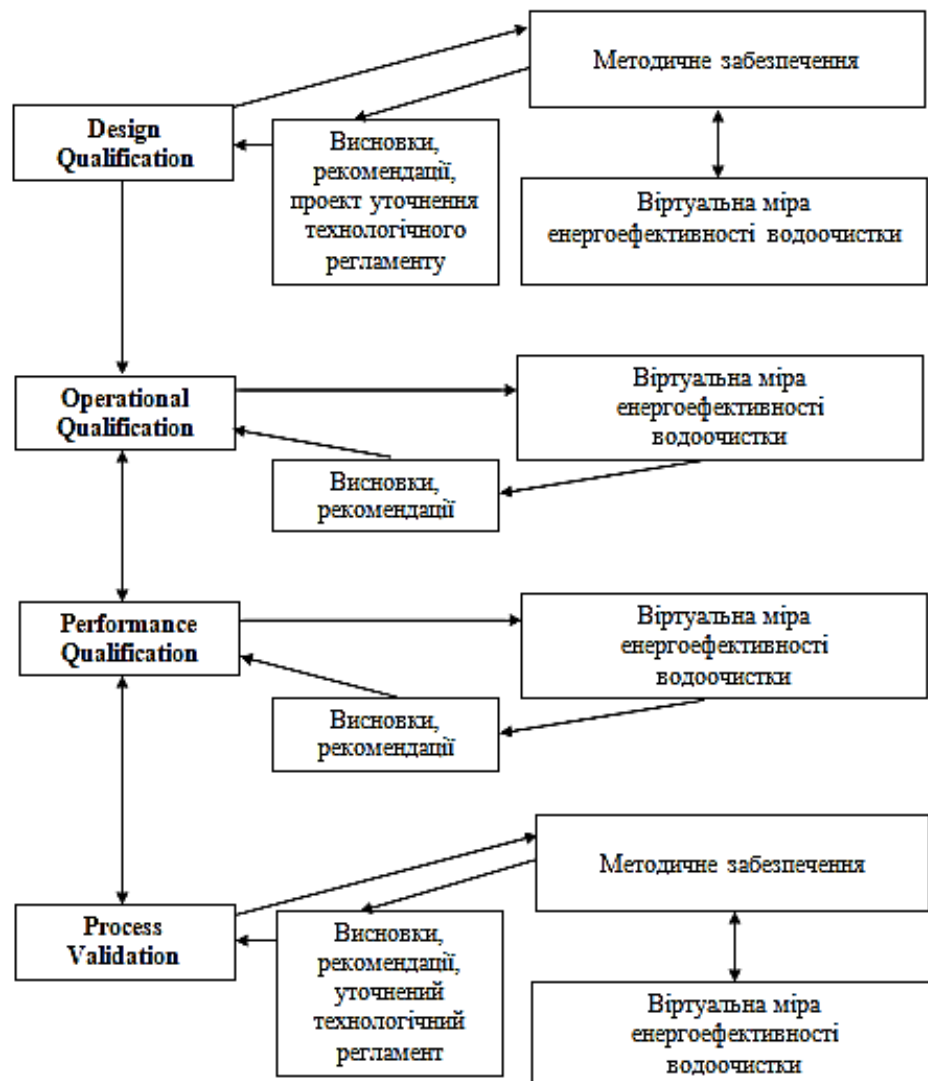


Рисунок 2.41 – Концепція використання параметрів еколого-енергетичної ефективності водоочищення для проведення валідації СОСВ

Таблиця 2.16 – Порівняння результатів проведення валідації СОСВ із використання параметрів енергоефективності водоочищення

Етап валідації	Результат етапу валідації, який досягається використанням удосконаленого методичного забезпечення і ВМЕВ	Результат етапу валідації до використання концепції опрацювання параметрів енергоефективності
DQ	На основі опрацювання реальних стоків у ВМЕВ, перевірка та оцінювання проектної документації і ТЗ із наданням науково-обґрунтованих та дослідно-перевірених рекомендацій їх уточнення; формування проекту уточнення технологічного регламенту СОСВ із попереднім встановленням енергоефективності процесів видалення забруднювачів та можливості агрегування підсистем	Експертна перевірка та оцінювання проектної документації і ТЗ, відсутня науково-дослідна можливість створення проекту технологічного регламенту СОСВ
IQ	-	Перевірка комплектності документації та оцінювання якості монтажу з підтвердженням специфікації
OQ	Перевірка функціонування всіх компонентів СОСВ на основі порівняння їхньої роботи із відповідними елементами ВМЕВ із наданням науково-обґрунтованих та дослідно-перевірених висновків щодо виявлених функціональних недоліків, включно з імітацією в програмному модулі ВМЕВ реакції СОСВ на потенційну дію НС; обґрунтування шляхів усунення недоліків (за такої можливості)	Експертна перевірка та оцінка функціонування всіх компонентів СОСВ з оцінюванням відповідності встановленим вимогам, імітація дії НС відсутня
PQ	Довготривала перевірка надійності та ефективності експлуатаційних параметрів функціонування компонентів СОСВ на основі порівняння їхньої роботи з відповідними елементами ВМЕВ із наданням науково-обґрунтованих та дослідно-перевірених висновків щодо виявлених функціональних недоліків, включно з імітацією в програмному модулі ВМЕВ реакції СОСВ на потенційну дію НС; обґрунтування шляхів усунення недоліків (за такої можливості)	Експертна перевірка та оцінювання довготривалого функціонування всіх компонентів СОСВ з оцінюванням відповідності встановленим вимогам, імітація дії НС відсутня
PV	Перевірка ефективності процесів СОСВ на основі порівняння їхньої роботи із ВМЕВ, надання науково-обґрунтованих та дослідно-перевірених висновків щодо виявлених технологічних недоліків процесів водоочищення, визначення фактичної енергоефективності водоочищення й оцінювання її забезпечення СОСВ, надання шляхів усунення недоліків (за такої можливості); уточнення технологічного регламенту в контексті комплексної ресурсоефективності та оцінювання відповідності СОСВ його вимогам	Експертна перевірка та оцінювання ефективності процесів СОСВ, відсутня науково-дослідна можливість обґрунтування ресурсоефективності процесів водоочищення та перевірки відповідності як самого технологічного регламенту вимогам екологічної безпеки так і його виконання СОСВ

Крім етапів валідації СОСВ методи удосконалення валідації можна ефективно застосовувати під час реалізації [314, 320, 325, 326]:

- передатестаційної стадії, включно з процесами розроблення проектної документації та ТЗ;

- управління змінами: інтегруючи таке методичне та технічне забезпечення у відповідні процедури СОП-ів;

- управління ризиками: імітуючи відповідні НС та прогнозуючи спроможність конкретної комплектації СОСВ їм протидіяти, роблячи висновки щодо екологічно-економічних показників заходів превентивного усунення ризиків їхнього виникнення.

Водночас на основі матеріалів пунктів 1.1, 1.3, 2.3 та 2.4 можна стверджувати, що системи збору та передачі інформації щодо процесів валідації технологічних систем водоочищення характеризуються:

- різними термінами отримання такої інформації (наприклад, інформація щодо температури отримується за частини секунди, водночас інформація щодо концентрації азоту амонійного доступна лише через кілька годин);

- розподіленістю інформаційних блоків;

- ймовірністю паралельності передачі даних;

- ранжиром (різною значущістю) інформації.

Саме тому виникає завдання створення методичного забезпечення підтримання оптимальності передачі техніко-економічної інформації. У рамках її вирішення приймемо, що математична розподілена мережі отримання та передачі таких даних містить в собі:

- $n \geq 2$ – кількість джерел техніко-економічної інформації (сприймаючі елементи, лабораторії, маркетингові дослідження тощо);

- $p \geq 2$ – кількість кінцевих споживачі інформації (локальні системи керування, інформаційно-управляюча система, бази даних тощо);

- $s \geq 2$ – кількість порцій (блоків) структурованих конкуруючих потоків техніко-економічної інформації від джерел врахуванням цінних ранжиру;

▪ $T = [t_{ij}]$, $i = \overline{1, n}$, $j = \overline{1, s}$ – матрицю термінів передачі інформації i -м джерелом з j -го цінового діапазону;

▪ $C = [c_{ij}]_{n \times s}$ – матрицю значень параметрів із j -го із ранжиру за передачі з i -ого джерела;

▪ $\varepsilon > 0$ – параметр, що характеризує системний час, який витрачається на організацію паралельної передачі інформації від n джерел p кінцевим споживачам.

Передбачається, що всі джерела техніко-економічної інформації є *розподіленими*.

Будемо вважати, що взаємодія джерел розподіленої інформації із кінцевими споживачами підпорядковане таким умовам:

1) не одне із джерел порцію інформації не може передавати одночасно більш, ніж одному споживачеві;

2) не один із кінцевих споживачів не може приймати одночасно понад одну порцію інформації від джерел;

3) передача (приймання) кожної порції інформації здійснюється без переривань;

4) розподіл порцій інформації від джерел кінцевим споживачам комп'ютерною системою здійснюється циклічно за правилом: блок із номером $j = kp + i$, $j = \overline{1, s}$, $i = \overline{1, p}$, $k \geq 0$ передається споживачеві з номером i ;

5) відсутні перерви в передачі, а також відсутні простоя в передачі інформації.

Позначимо мінімальний загальний час передачі інформації n *неоднорідними* розподіленими конкуруючими джерелами p кінцевим споживачам в асинхронному режимі, з врахуванням вищеведеного параметру ε , через $T_n^{ac}(p, n, s, \varepsilon)$. Для обчислення $T_n^{ac}(p, n, s, \varepsilon)$ розглянемо випадки *необмеженого* ($2 \leq s \leq p$) й *обмеженого* ($s > p$) паралелізму.

У разі *необмеженого* паралелізму, тобто коли кількість блоків структурованих потоків інформації не перевищує числа кінцевих споживачів,

можна вважати, що кожен Q_j -й блок енергії передається j -ому споживачеві, $j = \overline{1, s}$. Тоді n джерел розподіленої генерації будуть передавати інформацію $p = s$ споживачам, а решта $p - s$ чекатимуть своєї черги.

Нехай $T^\varepsilon = [t_{ij}^\varepsilon]$ – $n \times s$ – матриця термінів передачі блоків інформації i -м розподіленим джерелом із j -го ранжиру з урахуванням параметру ε . Тоді, якщо встановити взаємнооднозначну відповідність між джерелами і вимогами, ранжирами і приладами, то матриця термінів передачі блоків інформації $[t_{ij}^\varepsilon]$, $i = \overline{1, n}$, $j = \overline{1, s}$ буде збігатися з матрицею термінів обслуговування n вимог s приладами в одномаршрутному завданні Беллмана-Джонсона. Тому для обчислення мінімального загального часу $T_n^{ac}(p, n, s, \varepsilon)$ передачі інформації $n \geq 2$ неоднорідними розподіленими конкуруючими джерелами, які використовують структуровані на $s \geq 2$ блоків потоки, у системі з $p \geq 2$ кінцевими споживачами з урахуванням параметру $\varepsilon > 0$, можна скористатися функціоналом цього завдання, який у нашому випадку матиме вигляд:

$$T_n^{ac}(s, n, s, \varepsilon) = \max_{1 \leq u_1 \leq u_2 \leq \dots \leq u_{s-1} \leq n} \left[\sum_{i=1}^{u_1} t_{i1}^\varepsilon + \sum_{i=u_1}^{u_2} t_{i2}^\varepsilon + \dots + \sum_{i=u_{s-1}}^n t_{is}^\varepsilon \right], \quad (2.37)$$

де $t_{ij}^\varepsilon = t_{ij} + \varepsilon$, $i = \overline{1, n}$, $j = \overline{1, s}$, а u_1, u_2, \dots, u_{s-1} – цілі позитивні числа.

У разі, коли $s = p$, функціонал Беллмана-Джонсона (В.1):

$$T_n^{ac}(p, n, p, \varepsilon) = \max_{1 \leq u_1 \leq u_2 \leq \dots \leq u_{p-1} \leq n} \left[\sum_{i=1}^{u_1} t_{i1}^\varepsilon + \sum_{i=u_1}^{u_2} t_{i2}^\varepsilon + \dots + \sum_{i=u_{p-1}}^n t_{is}^\varepsilon \right].$$

Під час створення взаємно-інтегрованих розподілених комп'ютерних систем краще використовувати метод, який дає змогу розв'язувати задачу визначення мінімального загального часу $T_n^{ac}(p, n, s, \varepsilon)$ передачі неоднорідних розподілених конкуруючих потоків інформації в асинхронному режимі.

За заданими n , s матриці передачі електричної енергії з j -го цінового діапазону i -м джерелом $T^\varepsilon = [t_{ij}^\varepsilon]$, $i = \overline{1, n}$, $j = \overline{1, s}$, будемо мережевий вершинно-зважений граф G_1^{ac} , який містить ns вершин, розташованих у вузлах прямокутної $n \times s$ – решітки (рис. 2.42).

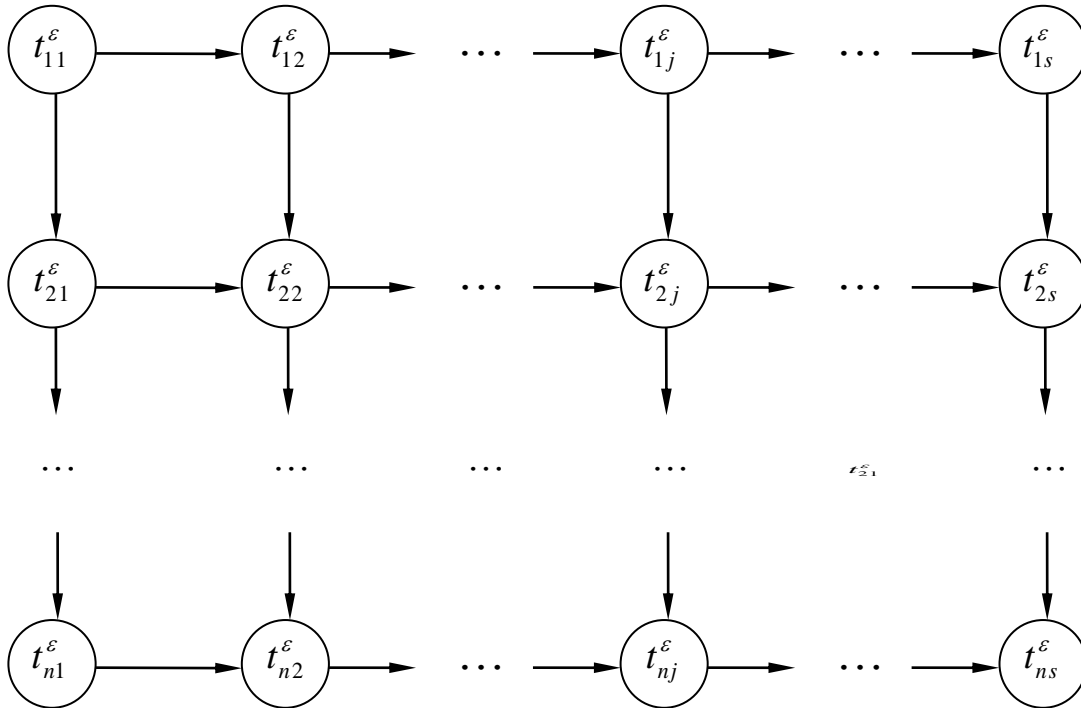


Рисунок 2.42 – Мережевий вершинно-зважений граф G_1^{ac}

Кожній вершині графа G_1^{ac} відповідає значення t_{ij}^ε , $i = \overline{1, n}$, $j = \overline{1, s}$ причому t_{11}^ε – початкова вершина, t_{ns}^ε – кінцева. Дуги в графі G_1^{ac} показують лінійний порядок передачі блоків Q_j , $j = \overline{1, s}$, структурованих конкуруючих потоків інформації кожним джерелом розподіленої генерації, а також лінійний порядок приймання одних і тих же блоків інформації різними кінцевими споживачами (Додаток В).

2.6. Висновки до Розділу 2

1. Застосування методів системного аналізу, на основі яких створено матрицю процедур досліджень, дозволило визначити наступні етапи дослідження

промислового обладнання водоочищення щодо удосконалення його метрологічного забезпечення: формалізація досліджуваних процесів, постановка задачі забезпечення ресурсо- (енерго-) ефективності процесів водоочищення; обґрунтування шляхів розв'язання сформульованої задачі, визначення стратегії підвищення ресурсо- (енерго-) ефективності видалення забруднювачів.

2. У результаті аналізу функціонального моделювання отримання та опрацювання техніко-економічної інформації обладнанням промислового водоочищення на основі методології IDEF0 можна виокремити три базові функціональні блоки (різнорівневої ієрархічності), які необхідно теоретично дослідити та визначити методичні підходи щодо їхньої реалізації: «Отримання та перетворення техніко-економічної інформації щодо якості води»; «Реалізація процесів водоочищення»; «Опрацювання техніко-економічної інформації та формування управляючого впливу»

3. Провівши імітаційне моделювання комбінованих систем водоочищення та оптимізацію їхніх режимів із застосуванням генетичного алгоритму, було виявлено потенційні можливості розширення меж використання такого обладнання внаслідок перехресної дії на забруднювачі (розширення меж ефективного використання на 5-10 %); відповідно, метод перехресних впливів дає змогу проектувати системи очищення промислових стічних вод із включенням можливості протидії нештатним ситуаціям.

4. Аналіз результатів імітаційного моделювання дав змогу констатувати, що створений еколого-енергетичний критерій, який показує питомі енергозатрати для забезпечення екологічної ефективності водоочищення, прийнятно застосовувати під час налаштування параметрів промислових систем водоочищення на основі ефективного опрацювання техніко-економічної інформації.

5. Обґрунтовано, з огляду на розмитість вхідної інформації та багатофакторність процесів промислового водоочищення, використання для інформаційно-функціонального моделювання та управління, на основі ефективного опрацювання техніко-економічної інформації, нечітких когнітивних карт та різних типів неройнних мереж.

6. Із застосуванням розробленого методу проектування фізичних (квазінатуральних) моделей водоочищення стічних вод (із можливістю врахування дії надзвичайних ситуацій), на основі ефективного отримання й опрацювання вимірювальної інформації, розв'язується задача створення інформаційно-вимірювальних систем придатних до їхньої експлуатації на промислових підприємствах, забезпечуючи керованість і прогнозованість останніх як об'єктів природокористування та збереження довкілля.

7. Обґрунтована і створена на основі фізичної моделі водоочищення ВМЕВ та удосконалені науково-теоретичні засади дають змогу забезпечувати проектування та використання в режимі реального часу комбінованих систем очищення стічних вод різногалузевих об'єктів із дотриманням енергоефективності та протидією НС.

8. Методологічна схема досліджень промислового водоочищення з погляду ефективного отримання та опрацювання техніко-економічної інформації враховує дію надзвичайних ситуацій на двох стадіях моделювання: фізичного та інформаційно-функціонального на основі об'єктно-орієнтованого аналізу промислових підприємств; така схема прийнятна під час розроблення технологічних регламентів для різногалузевих об'єктів.

9. Удосконалений підхід розроблення технологічних регламентів систем очищення стічних вод внаслідок використання обладнання моделювання комбінованих технологій водоочищення (віртуальна міра енергоефективності систем водоочищення) та інтелектуального інформаційно-функціонального моделювання дасть змогу усунути класичні недоліки таких документів та враховувати на етапах проектування та експлуатації: дію надзвичайних ситуацій техногенно та природного походження, вимоги щодо енергоефективності та інвестиційно-фінансових складових експлуатації водоочисних установок; наявність на небезпечних виробництвах «сірих зон».

10. Запропонований підхід використання методів перехресних впливів різних способів водоочищення та ДДЗ і ВМЕВ, базуючись на параметрах екологоенергетичної ефективності СОСВ, дає змогу створити науково-теоретичні

засади удосконалення технічного регулювання таких систем; відповідну методику обґрунтовано на прикладі процесу валідації СОСВ.

Викладені у розділі результати фактично є науковим підґрунтям для розроблення створення віртуальної міри енергоефективності водоочищення та методу управління екологічною безпекою технологій водоочищення на основі домінуючого забруднювача, чому присвячено наступний розділ.

Матеріал розділу викладено у публікаціях автора [51, 81, 94, 107, 108, 113, 114, 119, 187, 201, 209, 294, 297, 304, 306, 321].

РОЗДІЛ 3

ОБҐРУНТУВАННЯ ТА СТВОРЕННЯ МЕТОДУ УПРАВЛІННЯ ЕКОЛОГІЧНОЮ БЕЗПЕКОЮ ТЕХНОЛОГІЙ ВОДООЧИЩЕННЯ НА ОСНОВІ ДОМІНУЮЧОГО ЗАБРУДНЮВАЧА

3.1. Вибір режимних параметрів віртуальної міри енергоефективності водоочищення на основі експериментальних досліджень

3.1.1. Обґрунтування та дослідження способів очищення стічних вод різногалузевих об'єктів із врахуванням дії надзвичайних ситуацій.

Для репрезентативної оцінки характеристик якості водоскиду вибрали підприємства із різних секторів реальної економіки (Додаток Д): ВАТ «Пінський мясокомбінат» – м'ясопереробна галузь; ЗАТ «Пінськдрев» – деревопереробна галузь; ТОВ «БІТ-Сплав» – підприємство малої металургії (виплавка свинцю в результаті переробки акумуляторних батарей (АКБ); СП ТОВ «Беліта» – виробництво продуктів побутової хімії (косметологія).

Завданням таких досліджень – оцінка об'ємів скиду, виявлення типових забруднювачів, залпове збільшення яких (нештатна ситуація) необхідно врахувати під час роботи водоочисного обладнання.

Аналіз якості водовідведення різногалузевих промислових об'єктів (м'ясопереробне підприємство, деревопереробне підприємство, підприємство малої металургії та підприємство виробництва продукції побутової хімії) продемонстрував різнокомпонентність забруднювачів, що спричинено різним технологічним використанням водних ресурсів.

Вибір методів очищення стоків різногалузевих промислових об'єктів та параметрів електроустаткування виконувався на базі ДБН В.2.5-75:2013 «Каналізація зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування» та оцінювань пункту 1.2, аналізу досліджень інших авторів [106, 118, 119, 211, 221, 222] та власних теоретико-практичних напрацювань. Дослідження проводилися

на фактичних стічних вод різногалузевих підприємств (пункт 2.2); метою таких досліджень були:

- виявлення ефективності впливу різних методів водоочищення на багатокомпонентні стічні води конкретних підприємств за залпових збільшень значень концентрацій виявлених ключових забруднювачів (нештатні ситуації);
- встановлення енерго- та ресурсозатратності комбінованого очищення стічних вод різногалузевих промислових об'єктів.

Наявність грубої похибки оцінювалась за критерієм Стьюдента. Водночас були систематизовані типові забруднювачі, які є характерними для зазначених підприємств і стосуються чотирьох об'єктів (табл. 3.1).

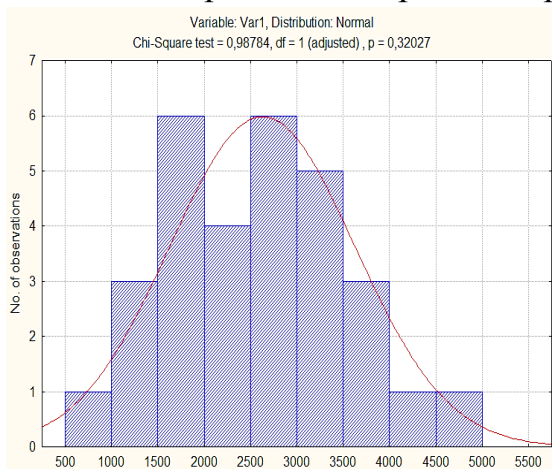
Таблиця 3.1 – Забруднювачі характерні для досліджуваних підприємств (середньодобові показники протягом місяця)

№ п/п	Підприємство мясопереробки		Підприємство деревопереробки		Підприємство малої металургії		Підприємство побутової хімії	
	Завислі частинки, мг/л	Азот амонійний, мг/л	Завислі частинки, мг/л	Азот амонійний, мг/л	Завислі частинки, мг/л	Азот амонійний, мг/л	Завислі частинки, мг/л	Азот амонійний, мг/л
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	3455	37	1364	74	365	36	5334	123
2	2856	43	1456	67	257	37	5231	137
3	2647	51	1982	53	249	28	4129	67
4	2364	31	2465	60	153	29	6201	53
5	3871	34	1003	43	602	53	3257	102
6	1534	39	975	49	577	26	5790	78
7	1687	51	2471	82	421	33	2312	45
8	1789	62	2147	49	234	34	3023	67
9	2586	47	1972	51	678	38	4720	97
10	3456	42	1870	44	423	40	5673	80
11	2890	36	1783	39	499	43	3805	53
12	2987	37	987	57	206	38	4597	62
13	4237	43	1347	52	347	34	2156	58
14	3984	53	1463	37	346	49	1869	42
15	2041	57	1824	77	198	50	4687	59
16	1475	54	1798	82	265	37	2349	67
17	1243	37	2736	68	379	40	3574	98

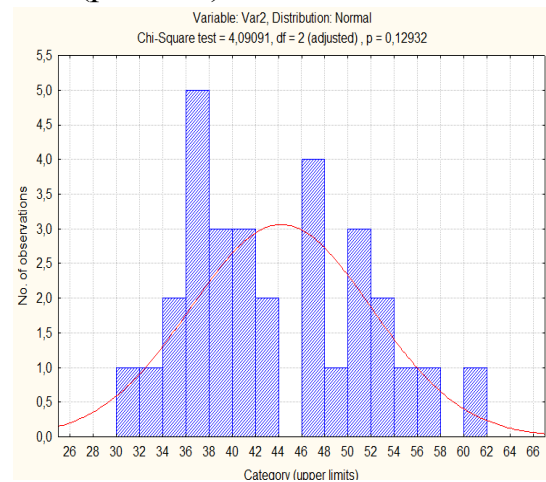
Продовження табл. 3.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9
18	3897	39	2135	58	425	45	4239	82
19	4712	42	2400	61	320	53	2017	74
20	3471	47	2178	53	389	37	1164	63
21	2147	50	1463	49	403	36	2497	58
22	1870	37	1783	42	306	34	5724	83
23	1400	52	896	59	256	59	4668	77
24	1563	42	2793	62	242	47	5780	117
25	987	38	1423	37	657	39	4237	64
26	3412	39	2879	73	432	27	3338	58
27	2789	47	2473	60	360	46	2786	67
28	2104	56	2140	49	257	45	2347	75
29	1902	48	2893	55	523	41	987	69
30	3477	36	1230	63	467	53	6476	43

Для статистичної оцінки перевірки перевірку нормальності розподілу отриманих вибірок концентрацій забруднювачів (рис. 3.1).



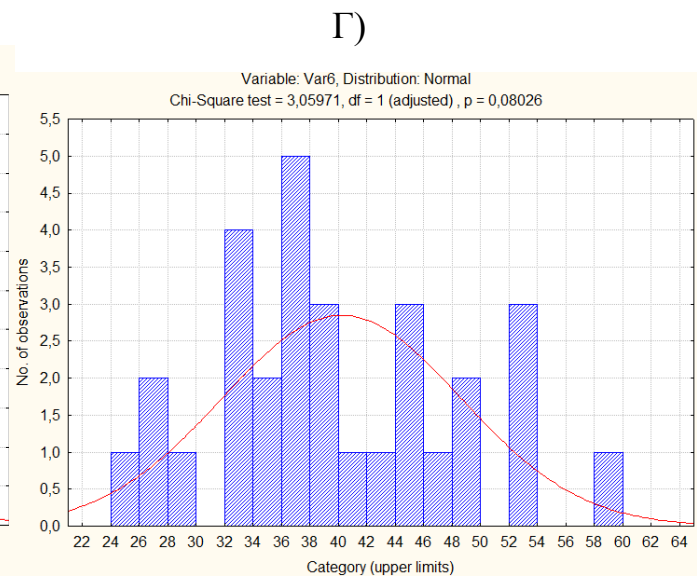
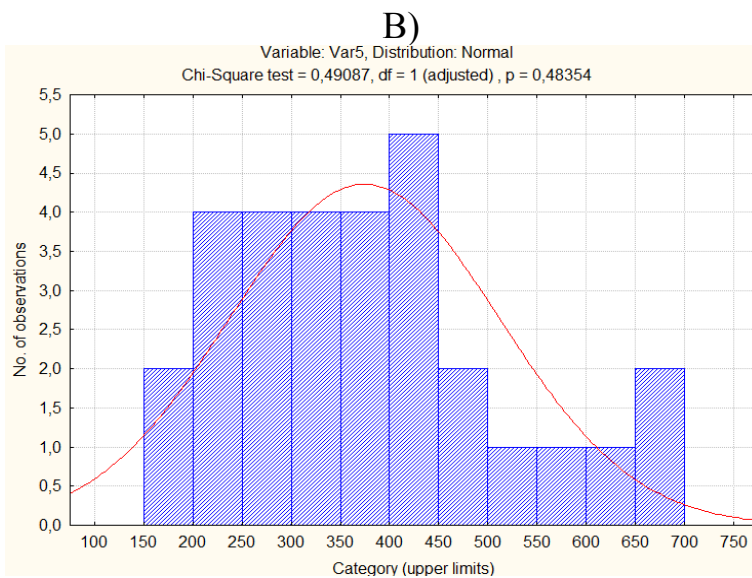
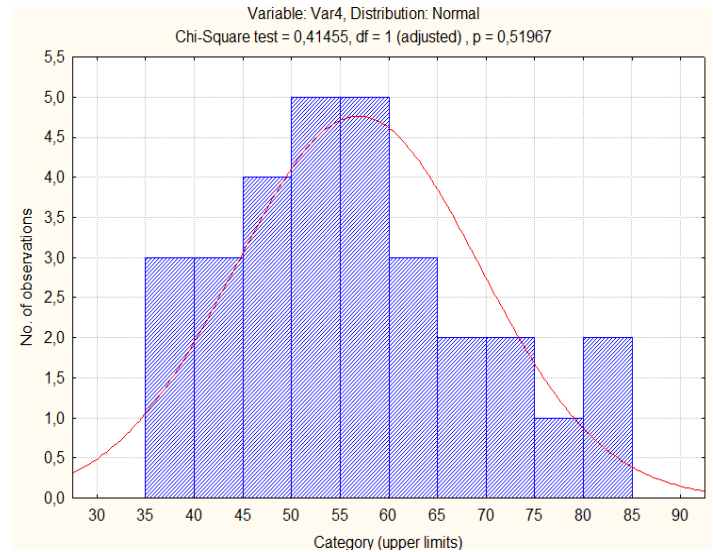
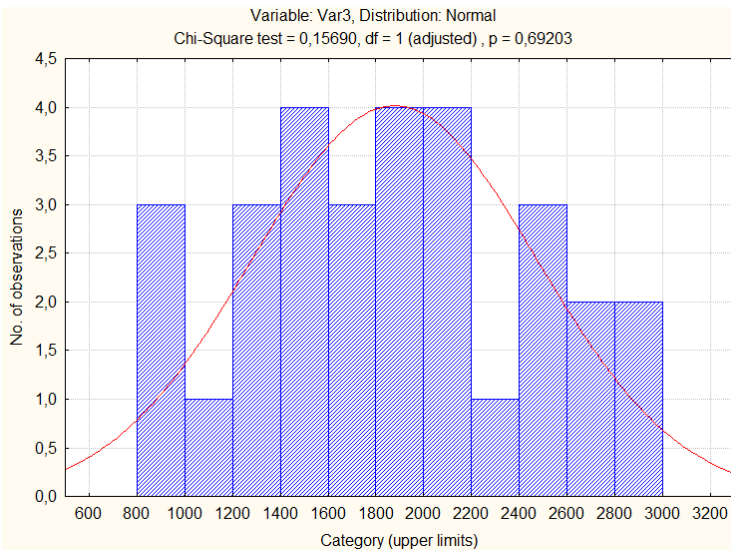
А)



Б)

А – концентрація ЗЧ на підприємстві м'ясопереробки, Б – концентрація азоту амонійного на підприємстві м'ясопереробки, В – концентрація ЗЧ на підприємстві деревопереробки, Г – концентрація азоту амонійного на підприємстві деревопереробки, Д – концентрація ЗЧ на підприємстві малої металургії, Е – концентрація азоту амонійного на підприємстві малої металургії

Рисунок 3.1 – Перевірка на нормальність закону розподілу вибірок концентрацій однотипових забруднювачів отриманих із реальних підприємств

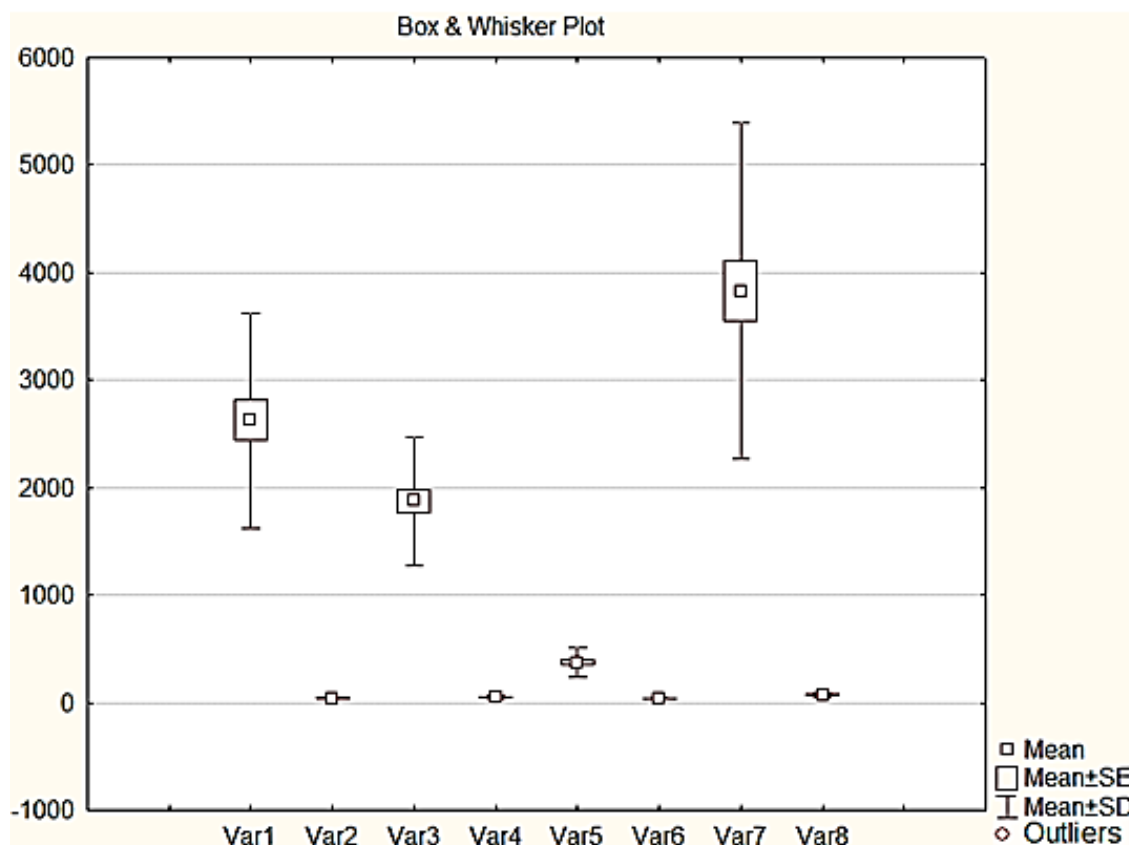


Д)

Е)

Рисунок 3.1, аркуш 2

З врахуванням того, що не всі отримані вибірки відповідають вимогам нормальності закону розподілу випадкових величин (див. рис. 3.1), для подальших комплексних статистичних досліджень застосовуємо непараметричні підходи, а саме оцінимо згідно з вимогами ISO 16269-4-2017 наявність викидів (рис. 3.2).



Var 1-8 – відповідно, концентрація завислих частинок на підприємстві м'ясопереробки, концентрація азоту амонійного на підприємстві м'ясопереробки, концентрація завислих частинок на підприємстві деревопереробки, концентрація азоту амонійного на підприємстві деревопереробки, концентрація завислих частинок на підприємстві малої металургії, концентрація азоту амонійного на підприємстві малої металургії, концентрація завислих частинок на підприємстві побутової хімії, концентрація азоту амонійного на підприємстві побутової хімії

Рисунок 3.2 – Оцінювання наявності статистичних викидів дослідження конче вибірок концентрацій однотипових забруднювачів отриманих із реальних підприємств (у якості центральної точки вибрано середнє значення)

На основі аналізу рисунку 3.2 можна стверджувати, що викидів, котрі потрібно було б відсіювати не виявлено.

Загалом статистичні дослідження (див. рис. 3.1 та 3.2) продемонстрували, що вже на етапі вхідної на очищення стічної води потрібно застосовувати

непараметричні підходи та розробляти технологічні рішення, здатні працювати в умовах різких змін концентрацій забруднювачів.

Дослідження очищення стічних вод м'ясопереробного підприємства.

Одним із перспективних способів очищення стічних вод нестабільних із параметричного складу й обсягу, що належать до групи фізико-хімічних методів, є метод електрообробки стоків у вигляді електрофлотації й електрокоагуляції із застосуванням електрохімічної активації та управління режимів електроживлення, що потенційно зменшує енергоспоживання на 35-40%.

Для економії витрат електроенергії й витрат металевих електродів дані способи об'єднані в один – метод електрофлотокоагуляції, який дає дуже суттєвий ефект очищення стоків від органічних і неорганічних елементів, а також від вірусів і бактерій до 97-98 %.

Дослідження очищення стічних вод м'ясопереробних підприємств проводилися на спеціально розроблених діючих моделях технологічного обладнання системи водоочищення (рис. 3.3):

– Електрофлотатора – дає змогу здійснювати видалення зважених часток у результаті їх взаємодії з отриманими в процесі кавітації газовими бульбашками. Параметри, на які діє установка – завислі частинки, азот амонійний, фосфор.

– Електрокоагулятора – здійснює електротехнологічну обробку води в електричному полі під дією електричного струму з одночасним продукуванням коагулянту. Параметри, на які діє установка – завислі частинки, азот амонійний, фосфор, хлориди.

– Фільтр із плаваючим пінополістирольним завантаженням – здійснює видалення з попередньо обробленої води зважених часток і освічених флокул. Концентраційні параметри, на які діє функціональний елемент – завислих частинок, фосфор.



Рисунок 3.3 – Зовнішній вигляд електрообладнання очищення стічних вод м'ясопереробного підприємства (досліди проводились безпосередньо на підприємстві)

Методика проведення випробувань якості очищення стічних вод м'ясопереробного підприємства (ВАТ «Пінський м'ясокомбінат») (рис. 3.4):

1. З каналізаційної системи підприємства перед очисними спорудами відбиралася проба води, що скидається; проводився аналіз проб у лабораторії аналізу якості стічних вод підприємства.

2. Додаються додаткові забруднювачі (імітація залпових збільшень ключових скидів).

3. Здійснюється очищення відібраної води внаслідок одноразового проходу відібраної проби стоків через діючі моделі технологічного обладнання системи водоочищення такій послідовності: електрофлотатор → електрокоагулятор →

фільтр. Водночас значення струму та напруги підіймалися на блоці живлення до отримання значень забруднювачів згідно з ГДК, до того моменту, поки нормативні вимоги щодо якості води на виході не були отримані.

4. Проводиться аналіз очищеної води.

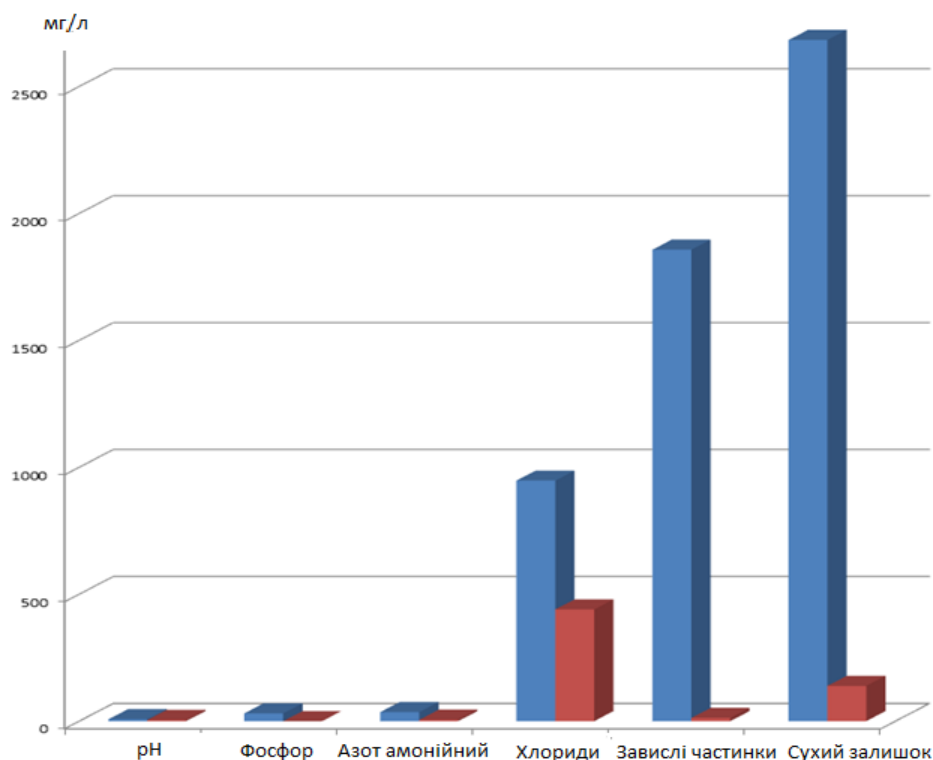


Рисунок 3.4 – Процес комбінованого очищення стічних вод м'ясопереробного підприємства (перший у парі стовпчик блоку, «синій» – до очищення; другий у парі стовпчик блоку, «червоний» – після очищення)

Після проходження через систему водоочищення отримуються:

- вода з параметрами якості, які не перевищують ГДК;
- шлам із 20 % вологістю; може утилізуватися як на полігонах твердих відходів, так і в якості добрива на землях сільськогосподарського призначення (за відповідної сертифікації).

Енергетичні затрати оцінювалися згідно з режимом очищення стічної води, за якої були досягнуті нормативні параметри якості (табл. 3.2).

Таблиця 3.2 – Енергетично-ресурсні параметри якісної комбінованого очищення стічних м'ясопереробного підприємства

№ п/п	Назва ресурса	Витрати	Одиниці вимірювання
1.	Електроенергія	8,05...14,95 193,2...358,8 5796,0...10764,0 70,518...130,962	кВт/год кВт/добу кВт/місяць МВт/рік
2.	Металева стружка (Ст.3)	2,345...4,355 56,28...104,52 1688,4...3135,6 20,035...38,150	кг/год кг/добу кг/місяць т/рік

Параметри очищення стічних вод деревопереробного підприємства. Серед двох ключових забруднювачів стічних вод ЗАТ «ПінськДрев», особливо небезпечними є формальдегід (у складі формальдегідових смол), який утворюються, головню, як відхід за виробництва продуктів конденсації фенолу, сечовини або меламіну з формальдегідом, оскільки, потрапивши разом із водою в організм людини формальдегід дуже негативно впливає на репродуктивні функції і вражає центральну нервову систему. Фенолформальдегідові смоли становлять собою продукти поліконденсації фенолу з формальдегідом. Стічні води із формальдегідом є складними багатокомпонентними утвореннями, забруднені органічними і неорганічними речовинами, які можуть перебувати в розчиненому, колоїдному і грубодисперсних станах й можуть містити масову концентрацію формальдегіду 50-3000 мг/л.

Були проведені дослідження з реальним стоком ЗАТ «ПінськДрев» цеху з виробництва карбамідоформальдегідних смол. Досліджувалися закономірності окисного процесу за різних концентрацій формальдегіду в діапазоні 700-200 мг/л. Потім додавали розчин окислювача, з відомою концентрацією активного хлору. Вихідну концентрацію формальдегіду перераховували з урахуванням розведення, концентрацію формальдегіду після закінчення окислення визначали в акредитованій лабораторії, додатково контролювали кількість активного хлору, який пішов на окислення, за хлорид-іонами.

Так, за початкової концентрації 700 мг/л зниження до 500 мг/л було досягнуто з використанням 4000 мг активного хлору, за початкової концентрації 500 мг/л зниження до 277 мг/л було досягнуто з використанням 7000 мг активного хлору, за початкової концентрації 150 мг/л зниження до 6 мг/л було досягнуто з використанням 14000 мг активного хлору.

Апроксимуюча функція процесу окислення формальдегіду є експонентною кривою (рис. 3.5).

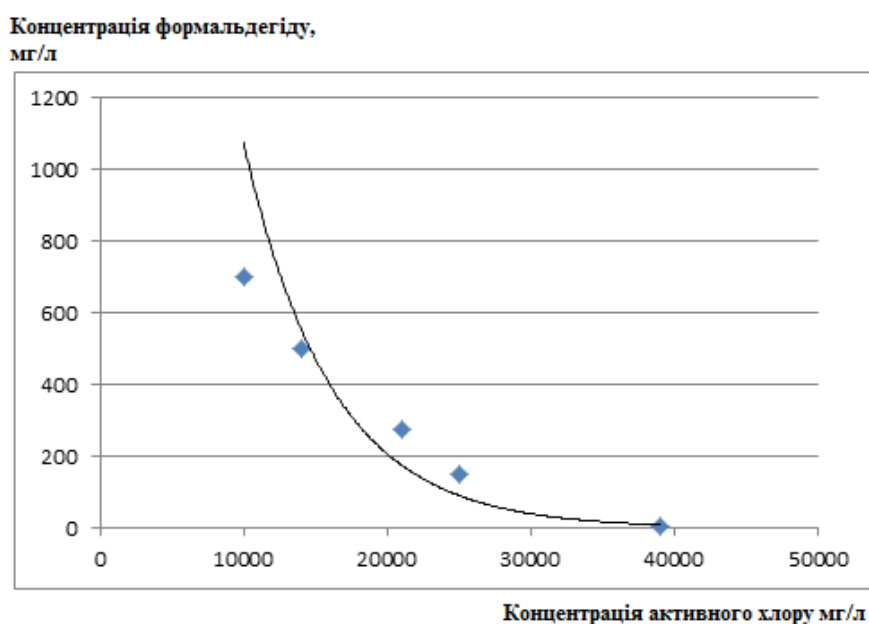


Рисунок 3.5 – Витрати окислювача (активного хлору) на окислення формальдегіду в стічних водах ЗАТ «ПінськДрев»

З урахуванням результатів очищення стоків [223, 224, 262] із застосуванням активного хлору було прийнято рішення про те, що максимальний ефект за мінімальних ресурсовитрат можна досягти тільки внаслідок комбінування різних способів впливу на забруднювачі.

Компонування комбінованої установки містила в собі (рис. 3.6): електротехнологічний рН-коректор; електротехнологічний окислювач (із використання ОРТА – оксид-рутенийового титанового анода); електрокоагулятор; фільтр із плаваючою пінополістирольною засипкою.

Етапи очищення відбувалися таким чином:

- в електротехнологічному рН-коректорі відбувалась рН-корекція до значення 11;
- в електротехнологічному окислювачі здійснювали електрохімічну деструкцію формальдегіду та азоту амонійного;
- електрокоагулятор та фільтр укрупнювали та затримували забруднювачі; електрично виділені гідроокисиди заліза часткового подавалось у деструктор для каталітичного впливу на процеси окислення.



Електрохімічний рН-коректор



Рисунок 3.6 – Зовнішній вигляд обладнання для очищення стічних вод
ЗАТ «ПінськДрев»

Електроліз води в окислювачах супроводжується серією паралельних електрохімічних реакцій, у результаті яких у воді відбувається синтез окислювачів. Слід розуміти, що під час електролізу води утворюється низка сильних окислювачів: кисень O_2 , озон O_3 , перекис водню H_2O_2 , гіпохлорит іон OCI^- . Поява при електролізі води OH^- -радикалів, H_2O_2 і O_3 призводить до утворення інших сильних окислювачів, таких як O_3^- , O_2^- , O^- , NO_2 , NO_3 , NO_4 .

Методика проведення експериментальних досліджень відповідає підходам використаним за обробки стоків м'ясокомбінату; імітацію нештатних концентрацій формальдегіду та азоту амонійного не виконували, оскільки їхні зареєстровані значення фактично є критичними. Результати продемонстрували

можливість забезпечення значного зменшення концентрацій забруднювачів (рис. 3.7, табл. 3.3).

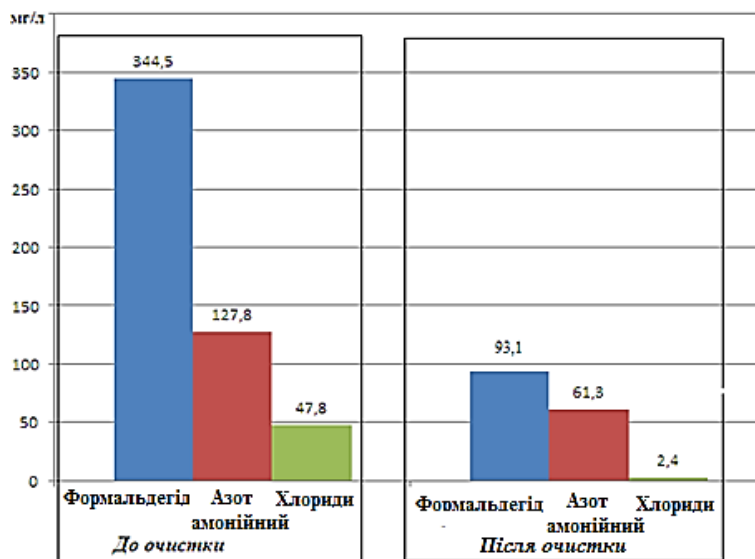


Рисунок 3.7 – Ефект очищення стічних вод ЗАТ «ПінськДрев» із використанням комбінованого технологічного комплексу (зниження концентрації формальдегіду – 72,98 %, азоту амонійного – 52,03 %, хлоридів – 94,98 %)

Таблиця 3.3 – Енергетично-ресурсні параметри якісної комбінованого очищення стічних деревопереробного підприємства

Параметр	Вода при очистці	
	120 (7200)	90 (5400)
Час обробки, хв (сек)	120 (7200)	90 (5400)
Сила струму під час оброблення, А	5	10
Напруга при обробці, В	18,9	19,6
Затрачена електрична потужність, Вт/період обробки	189	294
Розрахункове виділення заліза, г (мг): - за різних вольт-амперних режимів - сумарно	10,437 (10437)	15,656 (15656)
	26,093 (26093)	
Розрахункове виділення заліза, мг/л	2174,417	
Час обробки в електротехнологічному деструкторі хв. (сек)	240 (14400)	
Сила струму, А	50	
Напруга під час оброблення, В	22,1	
Затрачена електрична потужність, Вт/період обробки	4420	

Очищення стічних вод підприємства малої металургії. Очищення стічних вод ТОВ «БІТ-Сплав», зважаючи на ключові забруднювачі (СПАР, завислі

частинки, свинець), розділяємо на два процеси (електротехнологічне окислення та рН-корекція) та тонку фільтрацію. Компонування комбінованої установки містило в собі: електротехнологічний рН-коректор; електротехнологічний окислювач (із використання ОРТА); електрокоагулятор; фільтр із плаваючою пінополістирольною засипкою. Етапи очищення відбувалися таким чином: в електротехнологічному окислювачі здійснювали електрохімічну деструкцію СПАР; в електротехнологічному рН-коректорі відбувалася рН-корекція до значення 11; у фільтрі затримували забруднювачі; електрично виділені гідроксиди заліза часткового подавалось у деструктор для впливу на процеси окислення. рН-коректор (рис. 3.8) у комплекс включено, зважаючи на те, що очищення води від свинцю та інших металів в іонній формі за основу має зміну рН до певного рівня. У разі зміни рН до рівня приблизно 9,0-10,5 для металів характерно отримання нерозчинної форми (гідроксидів), після чого вони випадають в осад й усуваються з води (на фільтрі).

У результаті експериментальних досліджень встановлено, що гідроксиди важких металів-забруднювачів у стічних водах відповідних технологічних ліній обраного підприємства утворюються у разі підвищення рН до 9,5. Час повного комплексоутворення за такого значення рН – 2 хвилини. Тому завдання рН-коректора – гарантовано забезпечити значення стічних вод вище 9,5.



Рисунок 3.8 – Зовнішній вигляд обладнання для рН-корекції стічних вод ТОВ «БІТ-Сплав» (промислові дослідження рН-корекції)

На першому етапі провели дослідження функціональних особливостей: як модельні розчини використовували стічну воду ТОВ «БІТ-Сплав» ($t = 25 \text{ }^{\circ}\text{C}$), у яку додавався розчин NaCl ($16,7 \text{ г / л}$) – для підтримки робочої сили струму (табл. 3.4, рис. 3.9); змінювалася швидкість потоку води між електродами. Методика проведення експериментальних досліджень відповідає підходам використаним за оброблення стоків м'ясокомбінату, включно з імітацією нештатних концентрацій за СПАР та свинцем. Результати продемонстрували можливість забезпечення значного зменшення концентрацій забруднювачів у разі дотримання режимів (табл. 3.5) – концентрації свинцю були досягнуті на рівні $0,02 \text{ мг/л}$ (за концентрації СПАР – $0,01 \text{ мг/л}$).

Таблиця 3.4 – Результати обробки стічних вод металургії

Параметр	Номер досліду				
	1	2	3	4	5
$V, \text{ м/с}$	0,67	1,245	2,2	2,6	3,2
$Q, \text{ м}^3/\text{с}$	0.0000031573	0.0000058669	0.0000103672	0.0000122522	0.0000150796
$I, \text{ А}$	10,9 ... 11,4	10,0 ... 10,5	7,5 ... 7,8	8,8 ... 9,2	7,95 ... 8,15
$\text{pH}_{\text{вх}}$	7,7	7,7	7,7	7,7	7,7
$\text{pH}_{\text{А}}$	2,35	4,2	4,8	3,1	6,3
$\text{pH}_{\text{К}}$	12,7	12,3	12,8	12,6	12,7

Таблиця 3.5 – Енергетично-ресурсні параметри якісної комбінованого очищення стічних підприємства малої металургії

Параметр	Вода при очистці
Час обробки в електрокоагуляторі, хв (сек)	6 (360)
Сила струму під час оброблення, А	6
Напруга під час оброблення, В	22,4
Затрачена електрична потужність, Вт/період обробки	13,4
Час обробки в електротехнологічному деструкторі хв. (сек)	20 (1200)
Сила струму, А	10
Затрачена електрична потужність, Вт	73,7

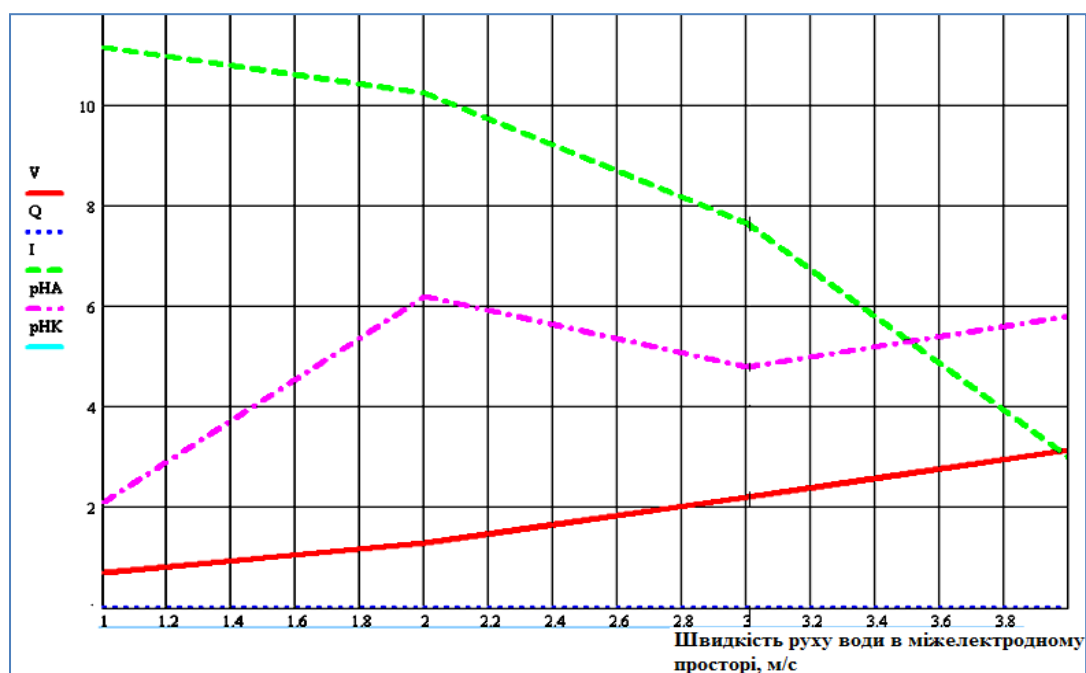


Рисунок 3.9 – Коригування значення рН стічних вод

Отже, підтверджена ефективність активації водних розчинів у задачах водоочищення, на прикладі розробленого рН-коректора токсичних стоків із високою концентрацією важких металів, що дає змогу цілеспрямовано змінювати склад розчинених газів, кислотно-основні та окисно-відновні властивості води в межах, набагато більших, ніж за еквівалентного хімічного регулювання; синтезувати з води й розчинених речовин хімічні реагенти (окислювачі або відновники) у метастабільних станів [315, 316].

Застосування фізико-хімічного методу для очищення стічних вод підприємства виробництва побутової хімії. Оскільки в стічних вод СП «Беліта» критично великі значення СПАР, то ключовим завданням є видалення саме цього забруднювача, оскільки нафтопродукти будуть видалені супутньо.

Із врахуванням складності усунення таких концентрацій СПАР (1000 мг/л) очищення включатиме низку процесів, які реалізує відповідне обладнання (рис. 3.10): електротехнологічний окислювач (із використання ОРТА) з ультразвуковою інтенсифікацією процесів (частота 22 кГц, потужність 150 Вт) та використання УФ-опромінення (довжина хвилі 254 нм, потужність 10 Вт); електрокоагулятор; фільтр із плаваючою пінополістирольною засипкою.

Етапи очищення відбувалися в такий спосіб:

- у електротехнологному окислювачі здійснювали глибоку електрохімічну деструкцію СПАР з ультразвуковою інтенсифікацією процесів та використанням УФ-опромінення (додатковий каталітичний фактор – температура стічної води на рівні $+60 - +70$ °С);

- електрокоагулятор та фільтр збільшували та затримували забруднювачі; електрично виділені гідроксиди заліза часткового подавалось у деструктор для каталітичного впливу на процеси окислення.

Методика проведення експериментальних досліджень відповідає підходам використаним при обробці стоків м'ясокомбінату, включно з імітацією нештатних концентрацій СПАР. Результати електрообробки продемонстрували можливість забезпечення значного зменшення концентрацій забруднювачів за дотримання режимів (рис. 3.11, табл. 3.6) – концентрації свинцю були досягнуті на рівні 0,02 мг/л за концентрації СПАР – 0,01.



А)



Б)

А – комплект із деструктора, активатора та фільтрів, Б – ультразвуковий модуль з ультразвуковою інтенсифікацією процесів та використання УФ-опромінення

Рисунок 3.10 – Зовнішній вигляд комплекту обладнання для очищення стічних вод СП «Беліта»

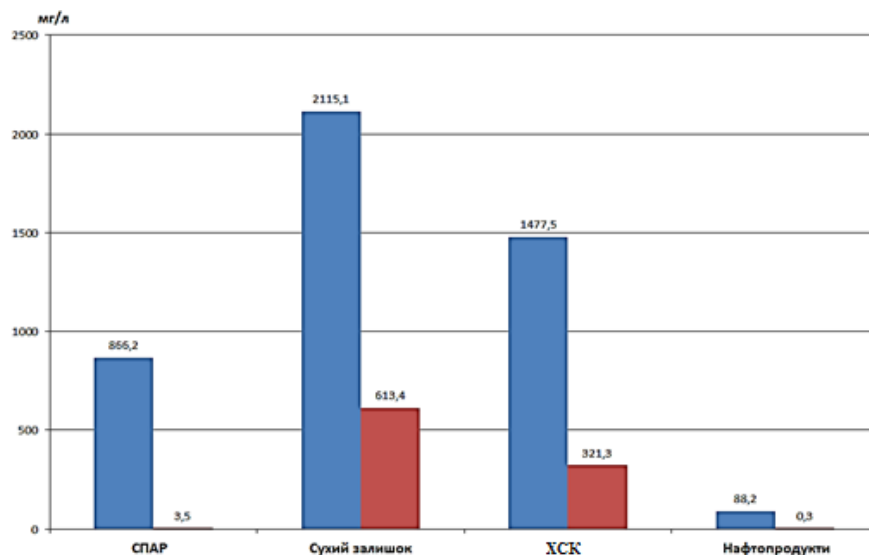


Рисунок 3.11 – Результати комбінованого очищення стічних вод підприємства виробництва побутової хімії (СП «Беліта») (перший у парі стовпчик блоку, «синій» – до очищення; другий у парі стовпчик блоку, «червоний» – після очищення)

Таблиця 3.6 – Енергетично-ресурсні параметри якісної комбінованого очищення стічних підприємства виробництва побутової хімії

Параметр	Вода при очистці
Час обробки в електрокоагуляторі, хв (сек)	3 (180)
Сила струму під час оброблення, А	6
Напруга під час оброблення, В	23,5
Затрачена електрична потужність, Вт	7,5
Час оброблення в електротехнологічному деструкторі хв. (сек)	30 (600)
Сила струму, А	40
Напруга під час оброблення, В	23,4
Затрачена електрична потужність, Вт	468

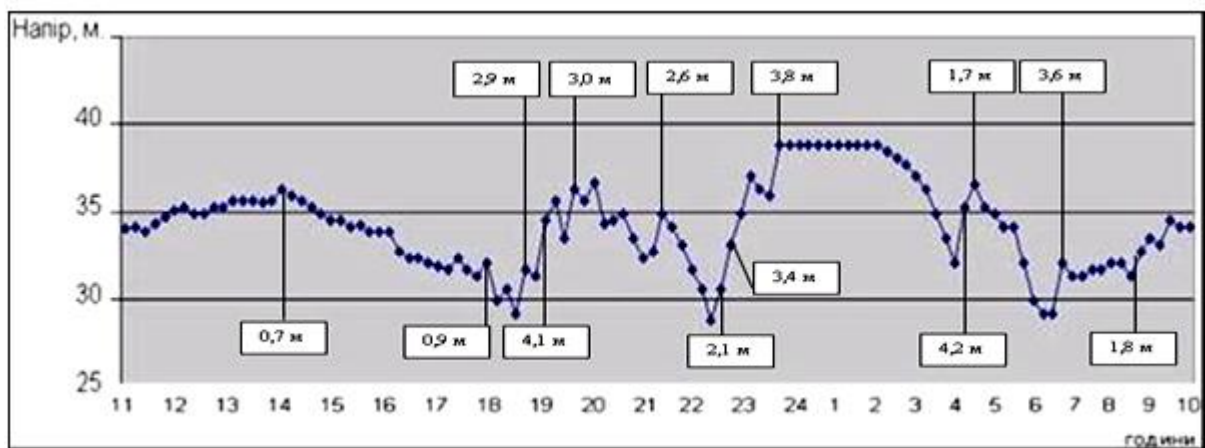
3.1.2. Дослідження впливу непередбачуваних факторів на якість стічних вод різногалузевих промислових об'єктів. Фізичні та хіміко-біологічні перетворення у воді відбувається безперервно під дією зовнішніх проявів фізичних, хімічних та біологічних факторів [99, 100, 103]. Після закінчення їхньої

дії й настання ззовні умовно сталого стану – вода набуває тимчасово незмінних показників [104, 109, 111].

Як свідчить аналіз напірно-витратних режимів різногалузевих промислових об'єктів протягом року (рис. 3.12), найбільш придатними для досліджень будуть проби води взяті в періоди з 24-00 до 6-00 годин: вода перебуває максимально стаціонарному (стабільному) стані.



А)



Б)

А – варіант структурна схеми водовідведення; Б – приклад можливої зміни напору в напірній лінії підводу стоків до безнапірного колектора (zareєстровано на ЗАТ «ПінськДрев»)

Рисунок 3.12 – Технологічний аналіз параметрів водовідведення промисловим об'єктом

Водночас під час транспортування води з умовно стабільними показниками тиску завжди виникають непередбачувані ситуації пов'язані з проведенням планових технологічних сезонних робіт з промивки мережі або спричинені

аварійним знеструмленням мережі живлення насосів подачі води та поривами труб мережі водовідведення. Тривалість останніх та їхня повторність визначається технічним станом системи, складністю аварії та кваліфікацією обслуговуючого персоналу.

Від початку до кінця зазначених періодів вода в мережі водовідведення набуває, у процесі транспортування до очисних споруд, узагальнених та інтегрованих для всієї системи водовідведення властивостей (рис. 3.13).

Для дослідження впливу непередбачуваних факторів на якість стічних вод була розроблена та виготовлена лабораторна установка (рис. 2.16). Методика вимірювання передбачала послідовне заповнення складових елементів вимірювального комплексу пробюю модельного розчину стічних вод деревопереробного підприємства (котельної) взятою о 23-00. Після цього виставлявся відповідний сталий тиск (манометричний), який підтримувався регулятором протягом усього часу вимірювання змін концентрації речовин у воді.

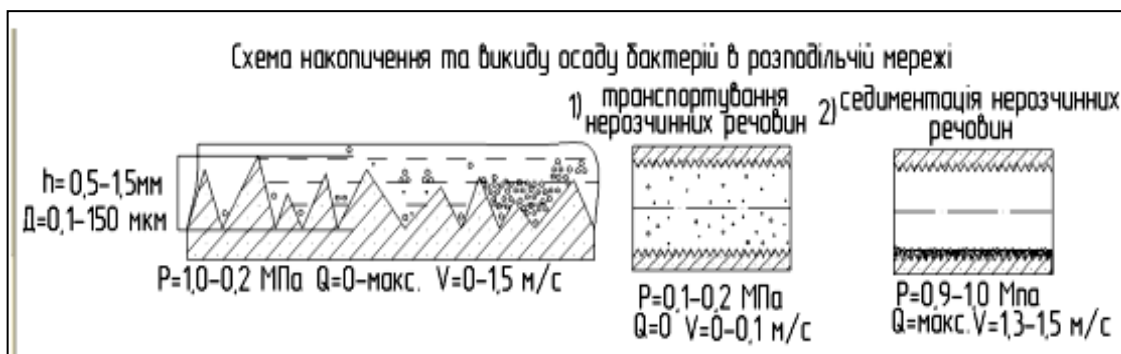
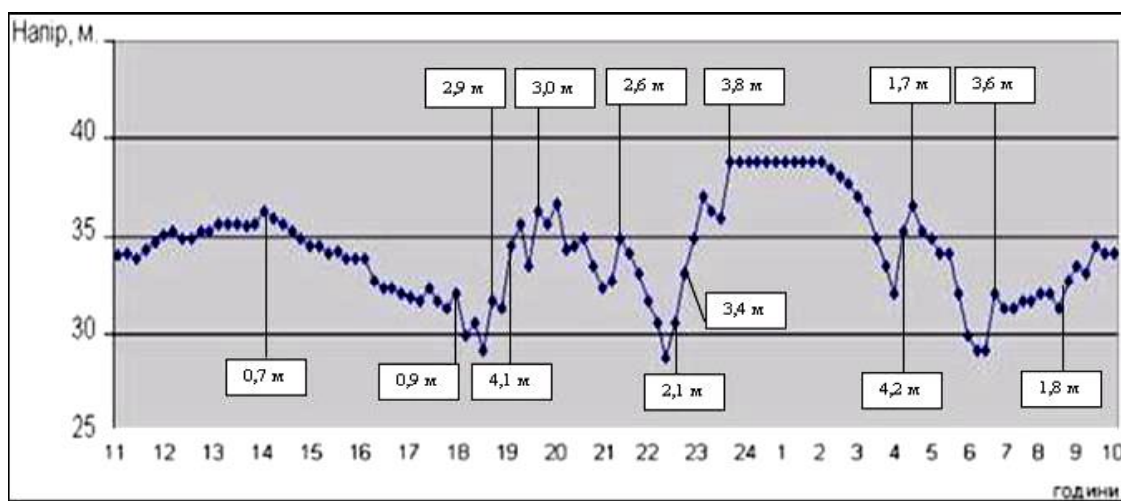
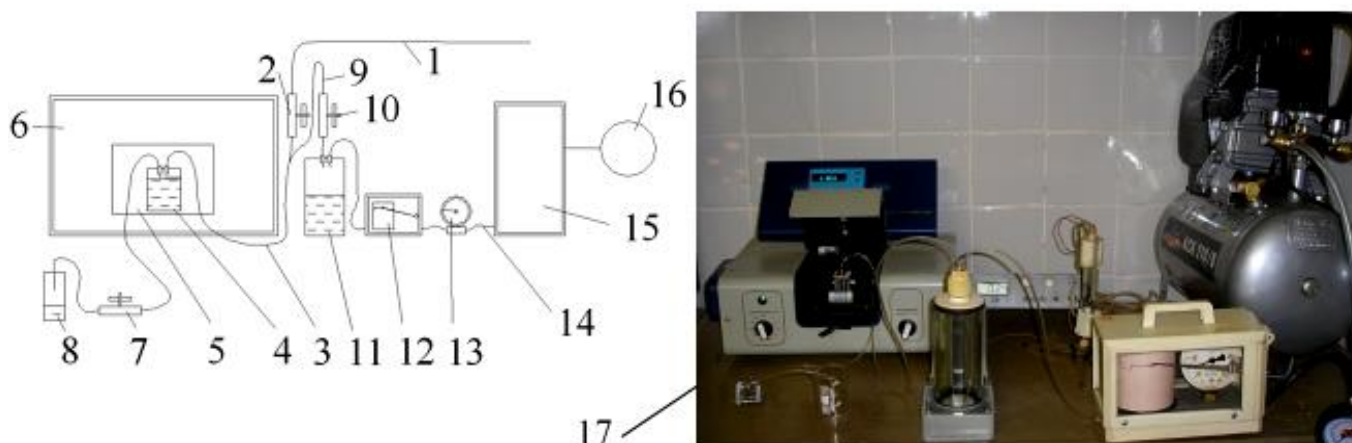


Рисунок 3.13 – Графічне представлення накопичення біологічного забруднення води в мережі водовідведення промислового об'єкту

Паралельно відбиралася проба води для визначення її хіміко-біологічного складу. Проба досліджувалася із використанням стандартної методики Лур'є в сертифікованій лабораторії. Контрольні аналізи якості досліджуваної проби води, відібраної паралельно з підготовкою до роботи вимірювального комплексу, виконували в тій же лабораторії. Перед новими дослідженнями всі ємності комплексу спорожнювалися і промивалися. Інструментальна похибка реєстрації концентрації речовин (рис. 3.14, 3,15) – $\pm 1\%$.



1 — мережа; 2 — кран; 3 — трубка подачі води до техніко-економічної 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 — вимірювальний манометр; 17 — зовнішній вигляд лабораторної

Рисунок 3.14 – Схема технічного пристрою дослідження динаміки утворення та осадження речовин у воді мережі водовідведення тривалого терміну експлуатації у разі зміни манометричного тиску

Для встановлення якості експериментальних досліджень, згідно з класичною теорією математичної статистики перевірили однорідність дослідних даних (див. рис. 3.14) усіх пробовідборів за критерієм Кохрена.

Число ступенів свободи в нашому випадку: $M - 1 = 4$ (5-а кратна повторюваність). Використовуючи теоретичні міркування [34], за $k = 29$ та $f = 4$ (5 %-ний рівень значущості), прийняли табличне значення критерія Кохрена (G_T) – 0,16.

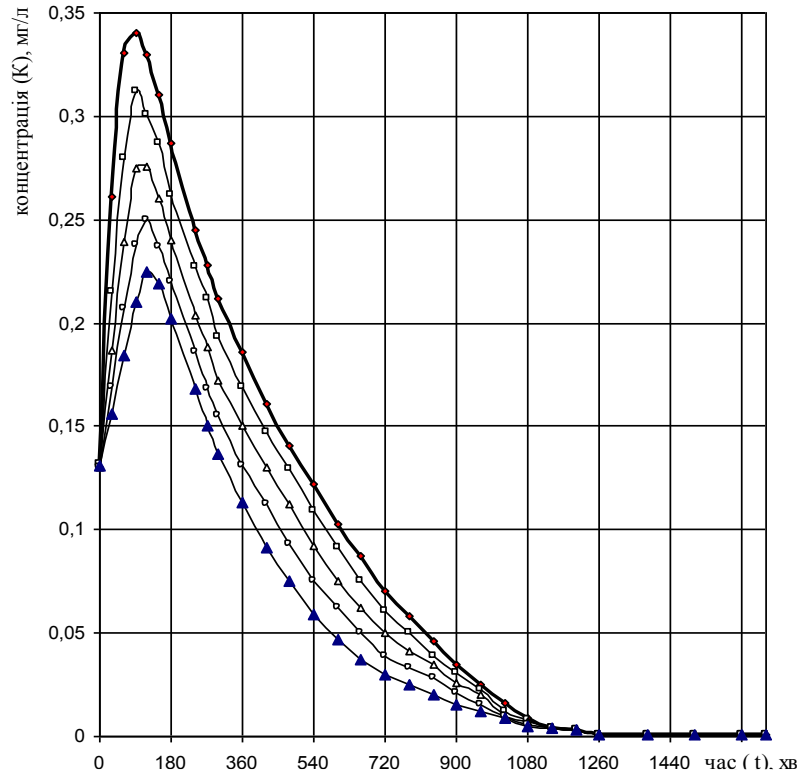


Рисунок 3.15 – Динаміка зміни концентрації осаджених речовин у контрольній ємності (режим дії манометричного тиску 2 атмосфери)

Для встановлення розрахункового критерію Кохрена використали спеціалізований пакет прикладних математичних програм Statistica [6], де реалізовано відповідний алгоритм:

$$G_p = 0,123. \quad (3.1)$$

Тоді:

$$G_p < G_T, \quad 0,123 < 0,16. \quad (3.2)$$

Гіпотеза про відтворюваність результатів досліджу приймається – тобто всі 29 варіантів виявилися рівноцінними. Отже, підтвердилася достовірність проведених експериментів.

Аналізуючи дослідження динаміки утворення та осадження завислих у воді частинок (див. рис. 3.15) можна стверджувати, що під час відбору води з мережі водовідведення та забезпечені сталого тиску (умовно сталого режиму): у період із 0 до 80-100 хвилин відбувається збільшення фіксованої приладом КФК каламутності (на 0,09-0,21 мг/л); у період із 80-100 до 1260-1270 хвилин фіксована каламутність зменшується до фактично нульового значення.

Проблема сучасних систем водовідведення полягає в тому, що такі параметри (гідродинамічні) за типового проектування систем водовідведення не реєструються.

Згідно з класичними теоріями, біологічне забруднення води, у тому числі стічної, створюється мікроорганізмами, у тому числі хвороботворними, а також органічними речовинами, здатними до бродіння. Головними джерелами біологічного забруднення води є комунально-побутові стоки, що містять фекалії, харчові відходи; стічні води підприємств харчової промисловості, целюлозно-паперової та хімічної промисловості; підприємства агропромислового комплексу (тваринницькі та птахівничі комплекси). Таке біологічне забруднення може стати причиною епідемій холери, черевного тифу, паратифу та інших кишкових інфекцій, у тому числі різних вірусних інфекцій, наприклад, гепатиту.

Ступінь біологічного забруднення характеризують трьома показниками, а саме: кількістю кишкових паличок у літрі води (Coli-index), біохімічним споживанням кисню, вмістом розчиненого кисню. Перший із них вказує на забруднення води продуктами життєдіяльності людей (тварин) та на можливість присутності інших хвороботворних бактерій і вірусів. Зрозуміло, що після знезаражування стічна вода має відповідати стандартам. Подальші експериментальні дослідження полягали у виокремленні фізико-біологічних особливостей зміни Coli-index (КУО/дм³) води в різні періоди роботи ВАТ

«Пінський мясокомбінат»: забій тварин, миття обладнання й умовно штатний скид.

Воду відбирали до заповнення в однакові емальовані ємності (об'єм кожної із них – 50 літрів). Їхні параметри: діаметр – 400 мм, висота – 450 мм, товщина стінки – 1,5 мм. Після цього їх розмістили на відкритому для доступу повітря місці при атмосферному тиску, температурі – 19 ± 2 °С, освітленості 100 ± 2 Люкс.

Кожні чотири години із ємностей відбирали на аналіз 1 л води. Значення Coli-index визначали методом мембранних фільтрів. Досліди проводились у трьох повторностях. Для пробовідбору сконструювали спеціальний пристрій, використання якого унеможливило безпосередній контакт з основною масою води в ємності та забезпечило можливе збурення її поверхні (рис. 3.16, 3.17).

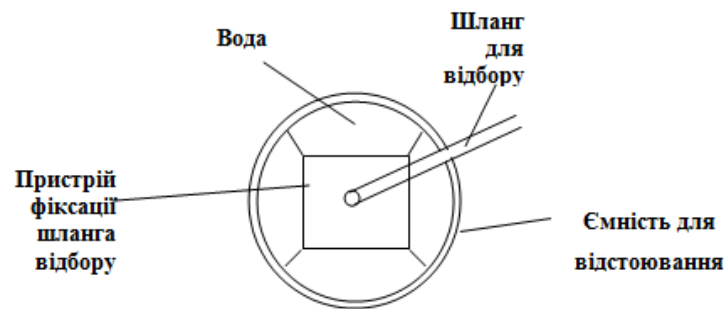
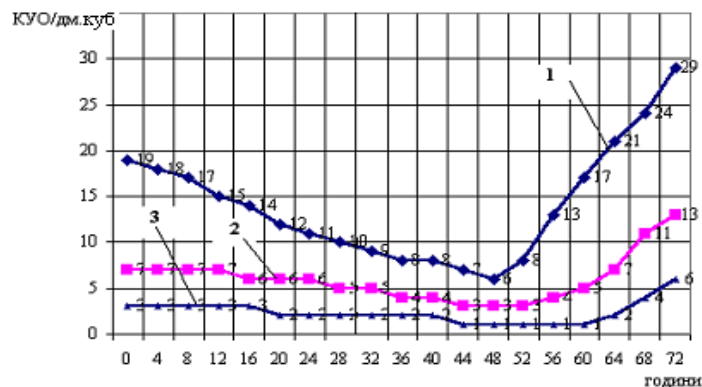


Рисунок 3.16 – Пристрій пробовідбору (вигляд зверху)



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

Рисунок 3.17 – Графічні залежності (трикратна повторюваність досліду) отримані за експериментального встановлення вмісту кишкової палички в 1 л досліджуваної води (Coli-index)

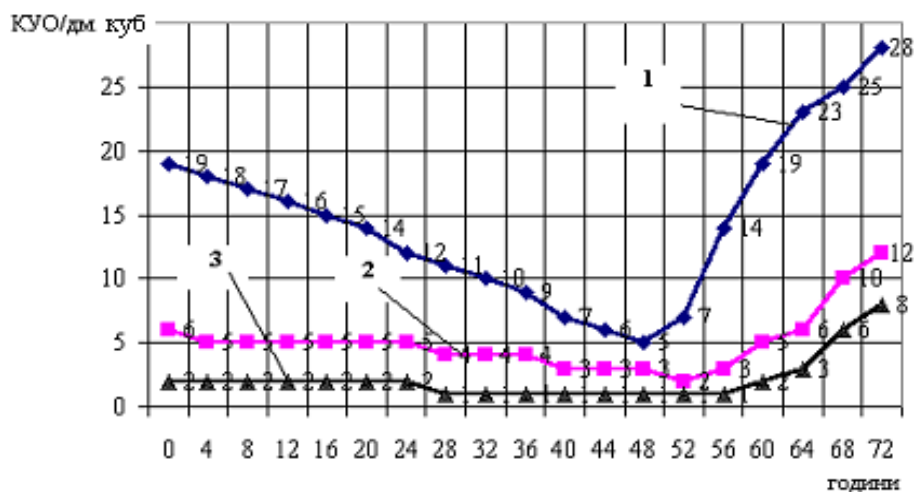


Рисунок 3.17, аркуш 2

Розрахункове значення критерію Кохрена встановимо із використанням пакету прикладних математичних програм “Statistica”.

Оскільки у всіх випадках виконується умова $G_p < G_t$ ($G_{p1} = 0,213$; $G_{p2} = 0,167$; $G_{p3} = 0,28$), то гіпотеза про відтворюваність результатів дослідження приймається – усі 19 варіантів, за результатами дослідів виявилися рівноцінними.

Отже, підтвердивши достовірність експериментальних досліджень, проаналізуємо характер отриманих графічних залежностей (див. рис. 3.18).

Після пробовідбору та статичного розміщення ємностей відбувалося осадження завислих у воді частинок. У загальному випадку його швидкість описується формулою Стокса [101]:

$$V = \frac{d^2 \cdot (\rho_c - \rho_g) \cdot g}{18 \cdot \eta}, \quad (3.3)$$

де d – діаметр частинок; ρ_c – густина частинки;

ρ_g – густина рідини; g – прискорення вільного падіння;

η – динамічна в'язкість середовища.

Динаміка такого процесу (3.3) визначається властивостями гідравлічної крупності – швидкості рівномірного падіння твердих частинок у нерухомій воді за певних температурі та тискові.

Лінійна швидкість самостійного руху бактерії кишкової палички – 11 мм/добу. Для пересування вони використовують носіїв. У нашому випадку це завислі у воді частинки, які завдяки дії гідравлічної крупності з певною швидкістю осаджуються, а разом із ними опускаються до дна й бактерії кишкової палички та інших вірусів, мікробів, бактерій. Характерний діапазон розмірів діаметрів завислих у воді частинок: 0,001 – 0,003 мк. Згідно з експериментальними дослідженнями [99], діапазон швидкостей їхнього осадження: 0,00005 – 0,00158 см/сек.

Мінімальні показники Coli-index на рисунку 3.17 (48-56 години) мали місце, коли воду відбирали в зонах ємностей, звідки завислі частинки разом із “захопленими” ними кишечними паличками вже перемістились (осіли) до дна. Максимальні (стрибкоподібні) значення Coli-index реєструвалися саме під час останніх відборів води на аналіз (56-72 год.). Тобто, із зон, де акумулювалися (осаджувалися) агреговані комплекси.

Такі висновки відповідають швидкості осадження завислих частинок згідно з їхньою гідравлічною крупністю [107] – останній гідравлічний параметр має вплив на біологічну безпеку (небезпеку) стоків. Тобто неконтрольована, що фактично й трапляється в реальних системах промислового водовідведення, зміна гідродинамічних параметрів, досліджено на прикладі манометричного тиску, призведе до непередбачуваних змін якості стічних вод різногалузевих об’єктів та загрожуватиме екологічній безпеці навколишнього природного середовища.

Із врахуванням багатофакторності та нелінійності коливання параметрів [16], можна розглядати автоматичну систему управління (АСУ) водоочисним обладнанням, як ефективний засіб погодження роботи різних установок і підвищення їхньої ефективності [26], особливо у разі ризиків виникнення НС. Однак, для визначення вузлів таких технічних засобів, на яких необхідно акцентувати увагу за автоматизації в умовах НС, раціонально провести попереднє оцінювання ступеня автоматизації наявних установок.

Показник рівня автоматизації P визначається на основі декомпозиції всієї дії з управління на певні функції управління. Для кожної i -ої функції задається

коефіцієнт важливості γ_i , який визначає відносну важливість функції управління в загальному процесі управління, й оцінюється ступінь автоматизації цієї функції.

Коефіцієнт γ_i і оцінювання оптимального значення ступеня автоматизації β_i β_{opt} задаються за допомогою експертних оцінок.

Перелік функцій, для яких буде проведений, вибрано згідно із запропонованим алгоритмом, розрахунок ступеня автоматизації складений на базі аналізу наявної системи автоматизації об'єкта й інструкцій оператора, що характеризують неавтоматизовану частину роботи.

Наприклад, для реалізації функції «контроль ТП» ВМЕВ значення β визначається у такий спосіб:

$$\beta = \sum_{\gamma=1} \frac{\beta_{\gamma} n_{\gamma}}{n_{\Sigma}} = \frac{0,4 \cdot 40}{100} + \frac{0,5 \cdot 30}{100} + \frac{0,7 \cdot 30}{100} = 0,52 \quad (3.4)$$

Значення коефіцієнтів γ_i і β_i β_{opt} для цієї реалізації функції приймаємо відповідно 0,9 і 1.

Значення відповідності ступеня автоматизації його можливого оптимального значення S :

$$S = \frac{\beta}{\beta_{opt}} \cdot 100\% = \frac{0,52}{1} \cdot 100\% = 52\% \quad (3.5)$$

Аналогічно визначаються ступенем автоматизації для інших функцій наявної і проектованої систем технічних засобів очищення виробничих стічних вод.

Згідно з методикою [302] і запропонованого алгоритму провели дослідження відхилення наявного рівня автоматизації від оптимального для розглянутих методів водоочищення ВМЕВ (пункт 2.4), окремо для кожного з них без інтеграції в єдиний комплекс (табл. 3.7).

Таблиця 3.7 – Відхилення фактичного ступеня автоматизації модулів комбінованого водоочищення від оптимальних значень (з врахування виконання різних процесів одним технологічним вузлом)

Назва обладнання водоочищення	Відповідність ступеня автоматизації оптимальному значенню, S
Електрокоагуляція	54,3 %
Аерація	64,6 %
Фільтрація	71,3 %
Електротехнологічне окислення	34,2 %
Електротехнологічна рН-корекція	53,4 %

Аналізуючи отримані результати можна сказати, що процеси з незначною кількістю операцій і, що найголовніше, наявністю датчиків контролюючих технологічні процеси в режимі реального часу (фільтрація й аерація) мають значне наближення до оптимального значення ступеня автоматизації. Ті ж процеси, які характеризуються багатofакторністю й багатостадійністю досить далекі від оптимального показника ступеня автоматизації: електрокоагуляція, рН-корекція і особливо окислення (процеси там відбуваються за апаратно-стабілізованих гідродинамічних та електричних параметрів).

Між тим середнє відхилення фактичного ступеня автоматизації модулів водоочисного обладнання від оптимальних значень розглянутих п'яти методів (див. табл. 3.7) – 55,56 %.

Провівши ж розрахунок ступеня автоматизації єдиного комплексу технічних засобів, що включає вибрані блоки водоочищення, було встановлено, що інтегральне відхилення від оптимальних значень виявилось значно нижче середньоарифметичного за окремими блоками і становить 31,7%.

Низьке значення такого оціночного критерію пояснюється низкою негативних факторів:

- зв'язування різних модулів водоочищення в один комплекс вимагає додаткового використання датчиків контролю ТП, однак багатьох із них у промисловому виконанні здатних працювати в режимі реального часу не існує; наприклад, між модулями «окислювачі» «електролізер» треба проводити вимірювання БСК зі швидкодією не менше 1,5 секунди й частотою 25 секунд, а такого сприймаючого елемента не розроблено, навіть, для лабораторного використання;

- фактично повна відсутність методичної бази для аналізу взаємного впливу різних методів у промислових умовах (особливо в режимі реального часу).

Статистичний аналіз також показав неоднорідність впливу на ступінь автоматизації зв'язків між різними модулями (рис. 3.18). За такого оцінювання умовно змінювалася кількість ефективних (промислово розроблених) датчиків – для визначення впливу зв'язків на ступінь автоматизації.

Встановлено, що максимальний вплив на інтегральний критерій оцінювання ступеня автоматизації надають зв'язку між блоками із сильною інтенсифікацією ТП впливу на стічні води, де необхідно оперативна передача інформації на блок управління (зв'язки: «рН-корекція - окислення», «рН корекція - фільтрація »).

З врахуванням аналогічності ситуації щодо ступеня автоматизації інших відомих методів водоочищення, що викликано відсутністю необхідних промислових вимірювальних комплексів здатних працювати в режимі реального часу, для підвищення ступеня автоматизації пропонується застосування методів математичного моделювання з використанням інформаційно-функціональних моделей [60, 302].

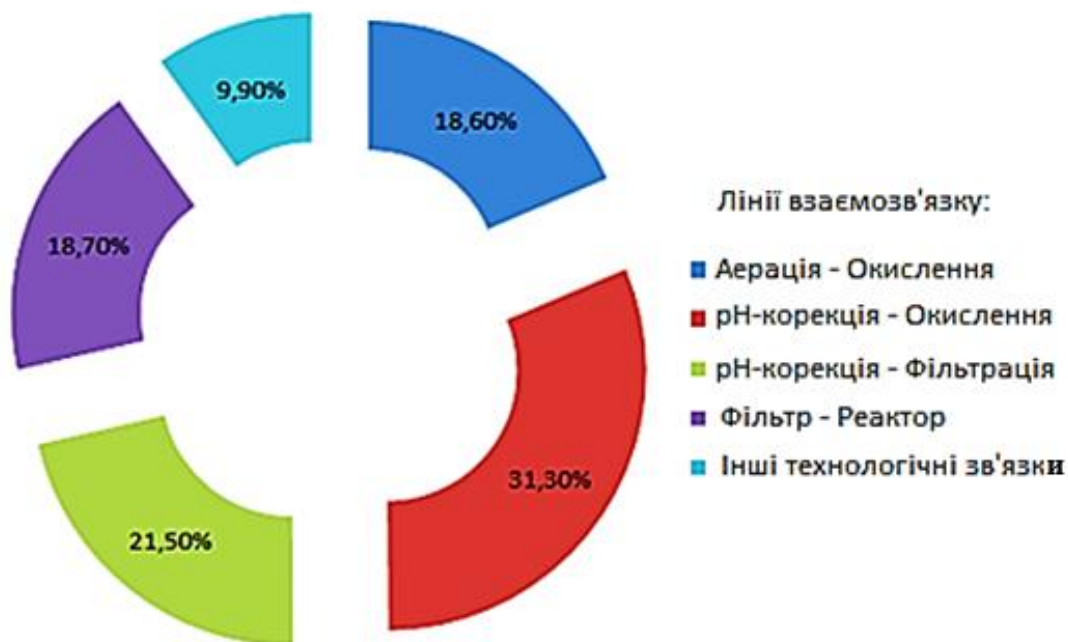


Рисунок 3.18 – Вплив технологічних зв'язків (обсягу інформації) між різними блоками комбінованого водоочищення

Аналізуючи результати системного аналізу, приходимо до висновку, що комбіновані системи водоочищення (див. рис. 3.18 та 3.19), до яких відноситься і ВМЕВ, складні багатопараметричні об'єкти, за функціонування яких у режимі реального часу, виникає задача координації роботи керованих підсистем, розв'язком якої є визначення взаємодії підсистем, за якої управління, оптимальні за критеріями ефективності кожної з підсистем, є також оптимальними за загальним критерієм для процесу загалом. Задача ускладнюється тим, що під час очищення багатокомпонентних стічних вод змінюють свої значення не лише оптимальні критерії, а і вимоги щодо режимів забезпечення ефективності (2.8). Відповідно система управління таким обладнанням, включаючи ВМЕВ, повинна відповідати вимогам самоналаштування в умовах невизначеності та розмитості техніко-економічної інформації, тобто належати до класу інтелектуальних рішень.

3.2. Фільтрація інформаційних сигналів віртуальної міри енергоефективності водоочищення з використанням перетворення Гільберта-Хуанга

Під час створення й дослідження інформаційно-функціональних моделей, у тому числі й під час опрацювання техніко-економічної інформації комбінованого водоочищення для її використанням АСУ, дуже важливим аспектом є адекватність даних, які отримано інформаційно-вимірювальним комплексом. Для інформаційно-вимірювальних блоків систем очищення стічних вод, інформація з яких передається в базу даних технологічного процесу, така проблема стоїть досить гостро [13, 42, 129].

Наприклад, основними труднощами, що виникають під час експлуатації датчиків мутності, є паразитні відкладення на прозорих вікнах випромінювачів і фотоприймачів, які поступово накопичуються і призводять до спотворень результатів і техніко-економічної відмови. Водночас отримати доступ до датчиків часто важко або взагалі неможливо без зупинки технологічного процесу, а їхнє обслуговування може бути пов'язане зі значними матеріальними, часовими і трудовими затратами. Також мутноміри, включно з ультразвуковими приладами, розраховані на певний, досить вузький діапазон концентрацій. Для широкодіапазонних вимірювань каламутності потрібно адаптивна перебудова параметрів мутноміра й алгоритму його роботи, що може вимагати зупинку системи водоочищення.

Для поліпшення функціональних характеристик і продовження терміну експлуатації пропонується проводити фільтрація вхідного сигналу з використанням перетворення Гільберта-Хуанга (ННТ) [184, 185]. Традиційні методи аналізу даних, призначені, як правило, для лінійних і стаціонарних сигналів і систем. За результатами попередніх досліджень (пункт 3.1) визначено, що багато інформаційних каналів у системах водоочищення, не відповідають таким початковим вимогам, проте, водночас фільтрація є обов'язковою умовою подальшої обробки даних.

Саме тому необхідною умовою адекватного отримання сигналів є можливість формування адаптивного базису, який функціонально залежить від змістовної складової самого сигналу, а не буде попередньо обраним і незмінним, як у класичних підходах. Таким вимогам відповідає перетворення Гільберта-Хуанга, під яким розуміють метод частотно-часового аналізу на основі емпіричної модової декомпозиції (EMD) нелінійних і нестационарних процесів і Гільбертів спектральний аналіз (HSA) [189]. Суть EMD полягає в послідовному (ітераційному) встановленні функцій емпіричних мод $c_j(t)$ і залишків $r_j(t) = r_{j-1}(t) - c_j(t)$, де $j = 1, 2, 3, \dots, n$ за $r_0 = y(t)$. Результатом розкладання буде представлення сигналу у вигляді суми модових функцій і кінцевого залишку [186]:

$$x(t) = \sum_{j=1}^n c_j(t) + r_n(t), \quad (3.6)$$

де n — кількість емпіричних мод, яка встановлюється під час розрахунків.

Для дослідження візьмемо експериментальні дані з підприємства ВАТ «Пінський м'ясокомбінат», де інформаційно-вимірювальним приладом був «ІКО - 17» і реєструвалися показання концентрації суспензій у стічних водах м'ясопереробного цеху.

Досліджуваний відрізок склав 7089 значень (вимірювання проводилися протягом 2 діб). Була здійснена його центрування щодо середньоарифметичного значення - +1247 мг / л (рис. 3.19). Зупинка декомпозиції сигналу повинна відбуватися за максимального «випрямлення» залишку, тобто перетворення його в тренд сигналу згідно з інтервалом завдання. Практично ж процес може припинятися за такими критеріями: залишок $r_n(k)$ стає монотонною функцією без екстремумів; залишки $r_n(k)$ стають несуттєвими за своїми значеннями або потужністю в порівнянні із сигналом; досягається попередньо задана відносна середньоквадратична похибка реконструкції сигналу без врахування залишку $r_n(k)$.

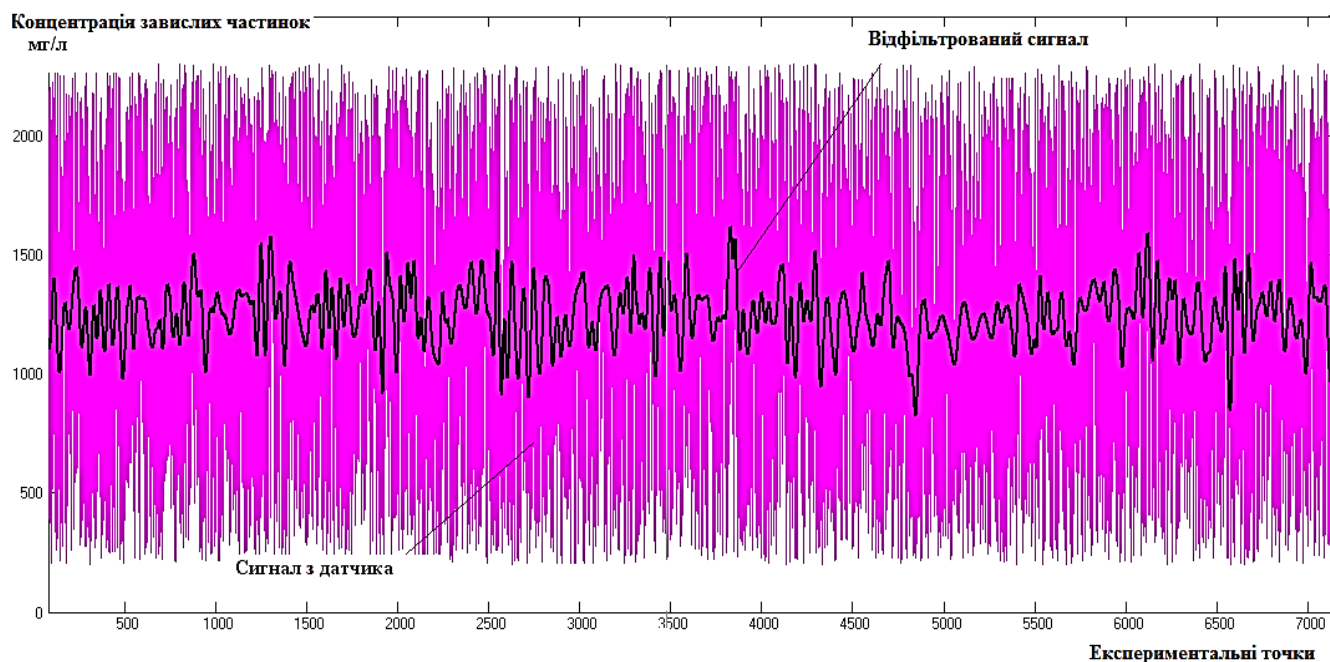


Рисунок 3.19 – Результати фільтрації сигналу концентрації суспензій в стічних водах з використанням перетворення Гільберта-Хуанга

Оцінюючи похибку реконструкції сигналу (2,04 %), можна зробити висновок щодо доцільності подальшого використання перетворення Гільберта-Хуанга під час очищення від шумів інформаційних каналів інформаційно-вимірювальних комплексів технічного забезпечення методів ефективного опрацювання техніко-економічної інформації комбінованого очищення стічних вод різногалузевих промислових об'єктів, у тому числі в складі ВМЕВ.

3.3. Матеріальна частина віртуальної міри енергоефективності водоочищення

Відмінність від конструктиву досліджуваної стосовно визначення ступеня автоматизації ВМЕВ (пункт 3.2) та створеного обладнання (рис. 3.20, 3.21 табл. 3.8), полягає у поєднанні в єдиному корпусі різних функціональних електроагрегатів: рН-коректора та електролізера-коагулятора-деаератора (Додаток Г).



Рисунок 3.20 – Зовнішній вигляд технологічних елементів ВМЕВ
(загальний вигляд установки)

Таблиця 3.8 – Функціональні параметри ВМЕВ

Параметри	Значення
Загальний об'єм, літрів	240
Напруга на виході блоку живлення, В	42
Висота, м	2,8
Площа, м ²	10
Енергоспоживання, кВт·год	0,5 – 4



Рисисунок 3.21 – Структура проведення досліджень із використанням ВМЕВ

Концентрації нітратів забезпечувалися стехіометричним розведенням мікроелементів, рН коректувався за допомогою луку (NaOH) і кислоти (CH₃COOH), показники суспензій забезпечувалися додаванням глини, СПАР і

фосфати регулювався додаванням відповідних мийних засобів (після попереднього оцінювання їхніх концентрацій у водних розчинах), БСК встановлювався додаванням $(\text{NH}_2)_2\text{CO}$. Загальні показники модельної води вимірювалися після кондиціонування в одній ємності. За базовий водний розчин взята вода питної якості згідно з ДСТУ 4880:2007. Діапазони в яких змінюються забруднювачі обрані з врахуванням необхідності дослідження НС (табл. 3.9) – досліджувалися перевищення граничнодопустимих концентрацій у рази згідно з пунктом 3.1.

Значення параметрів всередині визначених діапазонів вибиралися випадково, для максимального їхнього заповнення, виходячи із підходу пункту 3.1 (концентрацію параметру СПАР взято менше, ніж досліджено на підприємстві СП «Беліта» – з врахуванням пригнічуючої дії комплексонів на видалення забруднювачів). Після отримання даних водоочищення розраховуються загальні витрати електроенергії, витрати повітря. За нормативні вимоги, до яких необхідно привести якість води після обробки, взято параметри скидів у рибогосподарські водойми [71, 98, 102, 105, 144]. За показник нормування ефективності витрат електроенергії використовувався еколого-енергетичний критерій (2.8).

Таблиця 3.9 – Експертно вибрані діапазони зміни значень параметрів якості води

Показники	Діапазони	Перевищення максимального значення забруднювачів (імітація НС), %
Концентрація нітратів, мг/л	10 – 300	750
Концентрація СПАР, мг/л	0,3 – 3	600
БСК ₅ , мг/л	1 – 7	233
pH	5,5 – 9,5	11,7
Концентрація завислих частинок, мг/л	10 – 2000	400
Об'ємні витрати (взяті із характеристик МКЕВ), м ³ /добу	0,5 – 3	-

Примітка: Концентрація фосфатів встановлювалась, виходячи з їхньої наявності в мийних засобах.

Імітація дії НС полягала в різких амплітудних змінах концентрацій забруднювачів, що може відбуватись у випадку залпових скидів небезпечних стоків, повеней, поломок обладнання тощо.

На основі аналізу досліджень (Розділ 2 та пункти 3.1) була сформована структурно-функціональна схема ВМЕВ (Додаток Д) з ефективними в промислових умовах вимірювальними пристроями (рис. 3.22, табл. 3.10, Додаток Е) [256, 281, 301].

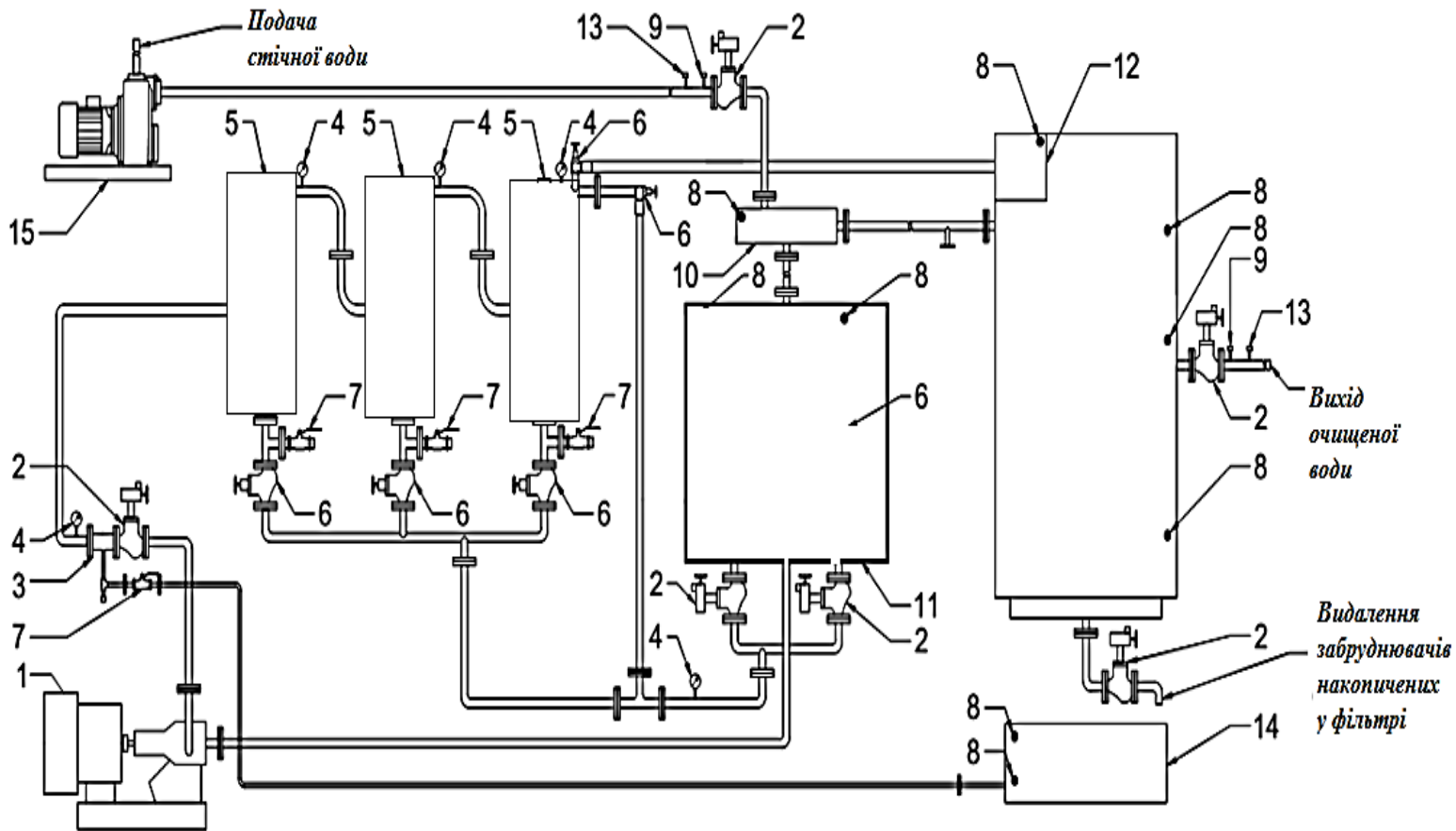


Рисунок 3.22 – Структурно-функціональна схема ВМЕВ (позначення розшифровано в таблиці 3.9)

Таблиця 3.10 – Специфікація обладнання ВМЕВ: забезпечення умов вимірювання та вимірювальних пристроїв, здатних працювати у режимі реального часу

Показник якості стічних вод	Позначення	Нормативний документ на основі якого виконувалась вимірювання	Стандартна невизначеність типу Б (згідно інформації лабораторії)
Концентрація СПАР, мг/л	СП	ISO 7875-1:1996	±8 %
БСК ₅ , мгО ₂ /л	БСК	ISO 5815:2003, ISO 5813:2003	±10 %
Концентрація нітратів, мг/л	КН	ISO 10304-2:2003	±10 %

Примітка: точка відбору проб для атестованих лабораторних досліджень відповідає «Виходу очищеної води».

На основі експериментальних досліджень для різних комбінацій параметрів якості стічних вод до й після очищення, встановлено наступні технологічно прийнятні діапазони значень невизначеностей під час вимірювання параметрів енергоефективності (Додаток Е):

- сумарна невизначеність енергоефективності водоочищення: (7,8 – 9,6) %/кВт,

- розширена невизначеність: (12,87...15,84) %/кВт (за $p = 0,95$).

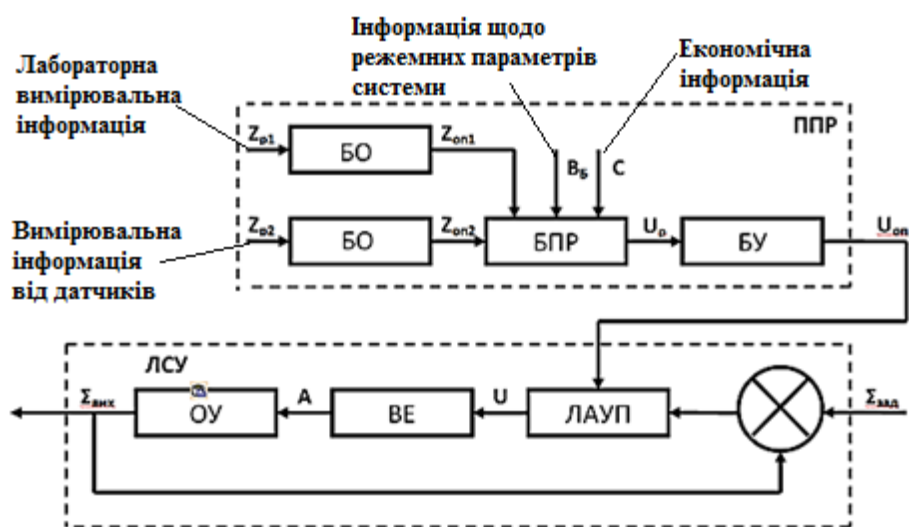
Вимірювальне обладнання встановлення параметрів енергоефективності промислового очищення стічних вод включатиме номенклатуру для встановлення показників її якості до й після очищення в акредитованій лабораторії якості стоків ДП «ПінськВодоканал»:

Показник якості стічних вод	Позначення	Назва вимірювального обладнання	Стандартна невизначеність інформаційно-вимірювального каналу типу В (паспортних характеристик вимірювального обладнання)
Концентрація завислих частинок, мг/л	КЗЧ	Ультразвуковий промисловий комплект Solartron Mobrey MSM 400	$\pm 1,2 \%$
pH	pH	Промисловий pH-метр pH-4101	$\pm 1,6 \%$
Споживана потужність, кВт*год	W	Ваттметр АСМ 8003	$\pm 1,1 \%$
Час функціонування ВМЕВ, год	Q	Цифровий вбудований тахометр мікроконтролера AtMega	$\pm 0,001 \%$

3.4. Синтез нейромережі управління віртуальною мірою із робастно-оптимальним керуванням температурним режимом

На основі проведених досліджень (Розділ 2 пункт 3.1) розробили схему системи інтелектуального керування ВМЕВ (рис. 3.23) [11, 26, 31, 58]. З використанням блоку опрацювання (БО) інформації дані передаються в БПР, у базі даних якого зберігаються можливі варіанти дій керування й показники якості (B_{δ}) для кожної дії за ефективністю водоочищення, енергетичними витратами. У БПР вводиться інформація щодо вартості електроенергії та витратних матеріалів C , і далі на основі критерію оптимізації здійснюється вибір оптимальної стратегії управління (U_p) – комбінації керуючих дій на різних елементах технологічного комплексу водоочищення (електролізер, pH-коректор, електротехнологічні окислювачі, ємність реактор, пінополістирольний фільтр). За допомогою БУ проводиться зміна дії $U_{зад}$ у ЛАУП.

Структурна схема управління ВМЕВ включає мікроконтролерні рішення на основі програмованих логічних контролерів (ПЛК) (Додаток И) та однокристальних мікропроцесорів (рис. 3.24) (Додатоки Ж – П) [83, 139, 178].



ППР – підсистема прийняття рішень; БО – блок опрацювання інформації; БПР – блок прийняття рішень; БУ – блок управління; ЛСУ – локальна система управління; ЛСАУП – локальний автоматичний управляючий пристрій; ВК – виконавчі елементи; ОУ – об’єкт управління (обладнання водоочищення)

Рисунок 3.23 – Структурна схема системи керування ВМЕВ

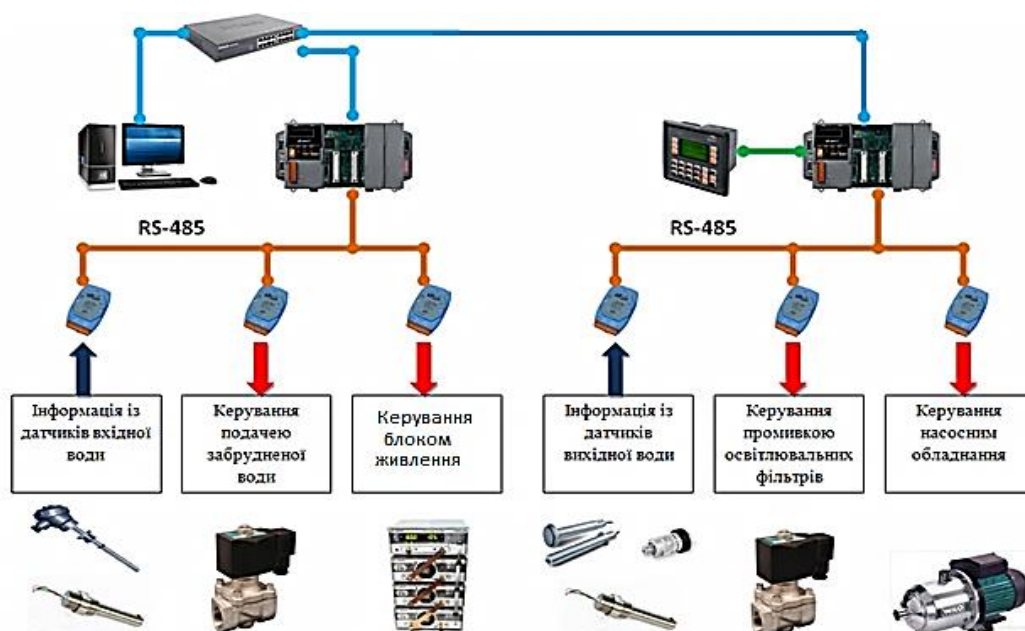


Рисунок 3.24 – Структурна схема апаратного забезпечення управління ВМЕВ

Початкове налаштування параметрів ВМЕВ відбувалось експертним шляхом залежно від вхідної комбінації забруднювачів. Елементи такого комплексу обладнання відображені в патенті України Пат. 95200 UA, МПК G 05 B 13/00 (2006.01) «Система управління водоочисним та водопідготовчим обладнанням».

Результати досліджень (пункт 3.1) кількісно продемонстрували складність взаємозв'язків між параметрами й режимами очищення води в комбінованих системах. Необхідність створення для подальших досліджень адекватних математичних моделей обґрунтовується і в складності проведення експериментальних досліджень, наприклад, підготовка і проведення одного експерименту займала понад 12 годин. Блок із 49 експериментів зайняв приблизно 2 місяці (Додаток Р).

Водночас класичним методом, що дає змогу порівняти середні значення досліджуваної ознаки є t-тест Стюдента (або просто «t-тест»). Однак, критерій Стюдента (t-тест Стюдента або просто «t-тест») застосовується, якщо потрібно порівняти тільки дві групи кількісних ознак із нормальним розподілом. Недоцільність використання критерію Стюдента можна попередньо встановити, зважаючи на достатньо невелику вибірку досліджуваних значень (49 наборів даних).

Для детального оцінювання істотності відмінностей між вибірками, для порівняння емпіричного розподілу з теоретичним, застосуємо критерій Колмогорова-Смірнова. Нульова гіпотеза $H_0 = \{\text{відмінності між двома розподілами недостовірні (судячи по точці максимального накопиченої розбіжності між ними)}\}$.

Для оцінювання однорідності експериментальних використаємо вихідну концентрацію нітратів та спеціалізований програмний продукт SPSS (рис. 3.25).

		Концентрация нитратов
N		49
Нормальные параметры ^Р	Среднее	193,1
	Стд. отклонение	309.452
Статистика Z Колмогорова-Смирнова		1,741
Асимпт. знач. (двухсторонняя)		,005

Рисунок 3.25 – Фрагмент таблиці дослідження в програмному продукті SPSS нормальності розподілу вихідних даних щодо концентрації нітратів після очищення

Встановлено, що для такої вибірки даних (див. рис. 3.23) не можливо застосувати параметричні підходи оскільки значимість результатів менше 5 % – фактично 0,5 %.

Базуючись від таких висновків використаємо для аналітичних досліджень системи штучного інтелекту на основі нейронних мереж (особливо у зв'язку імітацією дії НС) (рис. 3.26).

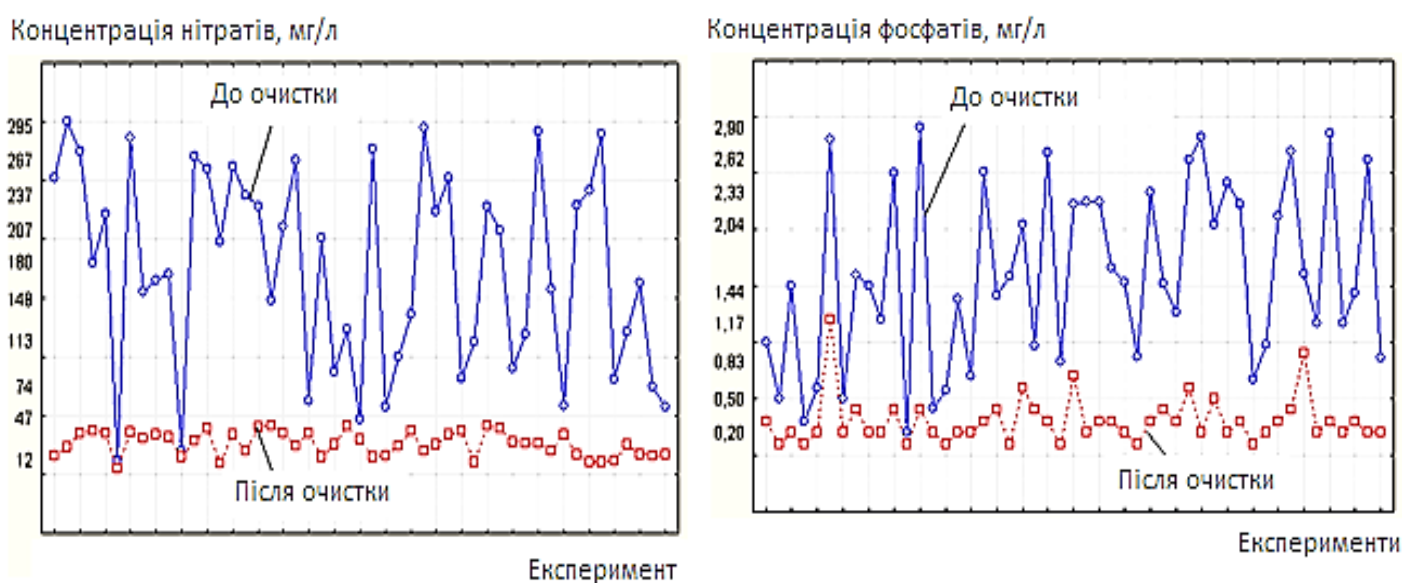


Рисунок 3.26 – Результати експериментальних досліджень із імітацією НС на основі використанням ВМБВ

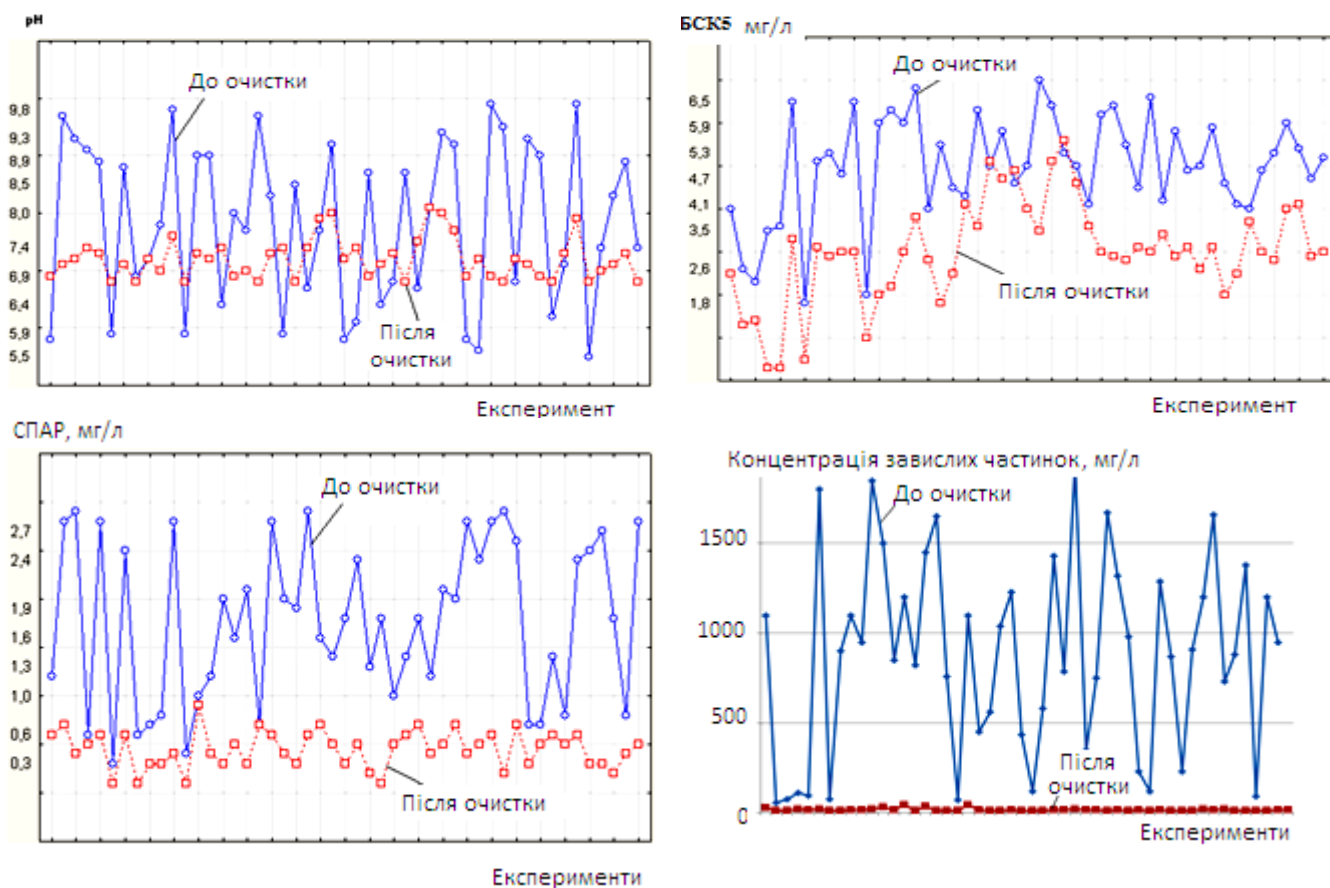


Рисунок 3.26, аркуш 2

Оцінка розрахункових значень ЕЕК (2.8) підтверджує нелінійність процесів у комбінованих установках водоочищення (рис. 3.27).



Рисунок 3.27 – Експериментально отримані значення ЕЕК комбінованих систем водоочищення (ВМЕВ)

Відсутність перенавчання НМ у результаті ітераційного навчання, згідно з алгоритмом зворотного поширення похибки, перевірялася розподілом даних на навчальні, контрольні та перевірочні.

Адекватність синтезованого багатошарового персептрона (рис. 3.28), де в якості вхідних обрано параметри якості води до й після очищення, технологічні показники; вихід – енергоефективність, підтверджена прийнятністю середньоквадратичної похибки (рис. 3.29).

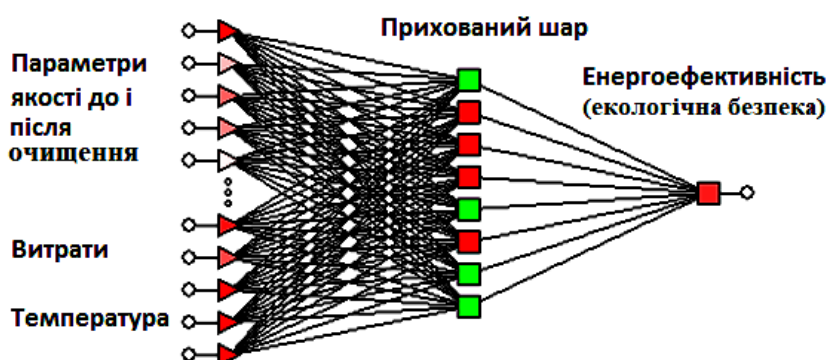


Рисунок 3.28 – Архітектура багатошарового персептрона оцінки енергоефективності водоочищення в комбінованих установках водоочищення (ВМЕВ)



Рисунок 3.29 – Якість синтезу моделі процесів комбінованого водоочищення (багатошарового персептрона)

Використано активаційну функцію для всіх неронів:

$$F = \frac{1}{1 + \exp(-s)}, \quad (3.7)$$

Загальна модель окремого нейрона та аналітичний вираз розрахунку виходу [53]:

$$S = \sum_{i=1}^n x_i \omega_i, \quad y = F(S) \quad (3.8)$$

Тоді загальна математична модель синтезованої нейронної мережі (див. рис. 3.26):

$$\begin{aligned} Y = & \left[\frac{1}{1 + \exp(-(x_1 \omega_{11} + x_2 \omega_{21} + x_3 \omega_{31} + x_4 \omega_{41} + x_5 \omega_{51} + x_6 \omega_{61} + x_7 \omega_{71} + x_8 \omega_{81}))} \right] + \\ & + \left[\frac{1}{1 + \exp(-(x_1 \omega_{12} + x_2 \omega_{22} + x_3 \omega_{32} + x_4 \omega_{42} + x_5 \omega_{52} + x_6 \omega_{62} + x_7 \omega_{72} + x_8 \omega_{82}))} \right] + \\ & + \left[\frac{1}{1 + \exp(-(x_1 \omega_{13} + x_2 \omega_{23} + x_3 \omega_{33} + x_4 \omega_{43} + x_5 \omega_{53} + x_6 \omega_{63} + x_7 \omega_{73} + x_8 \omega_{83}))} \right] + \\ & + \left[\frac{1}{1 + \exp(-(x_1 \omega_{14} + x_2 \omega_{24} + x_3 \omega_{34} + x_4 \omega_{44} + x_5 \omega_{54} + x_6 \omega_{64} + x_7 \omega_{74} + x_8 \omega_{84}))} \right] + \quad (3.9) \\ & + \left[\frac{1}{1 + \exp(-(x_1 \omega_{15} + x_2 \omega_{25} + x_3 \omega_{35} + x_4 \omega_{45} + x_5 \omega_{55} + x_6 \omega_{65} + x_7 \omega_{75} + x_8 \omega_{85}))} \right] + \\ & + \left[\frac{1}{1 + \exp(-(x_1 \omega_{16} + x_2 \omega_{26} + x_3 \omega_{36} + x_4 \omega_{46} + x_5 \omega_{56} + x_6 \omega_{66} + x_7 \omega_{76} + x_8 \omega_{86}))} \right] + \\ & + \left[\frac{1}{1 + \exp(-(x_1 \omega_{17} + x_2 \omega_{27} + x_3 \omega_{37} + x_4 \omega_{47} + x_5 \omega_{57} + x_6 \omega_{67} + x_7 \omega_{77} + x_8 \omega_{87}))} \right] + \\ & + \left[\frac{1}{1 + \exp(-(x_1 \omega_{18} + x_2 \omega_{28} + x_3 \omega_{38} + x_4 \omega_{48} + x_5 \omega_{58} + x_6 \omega_{68} + x_7 \omega_{78} + x_8 \omega_{88}))} \right] \end{aligned}$$

де x – входи нейронної мережі (див. рис. 3.28), w – вагові коефіцієнтів відповідних синаптичних вагів нейромережі.

Отримані результати створення відповідної НМ (відносна навчальна похибка– 0,2 %; відносна перевірочна похибка – 0,6 %) підтверджують можливість використання такої математичної моделі для подальших досліджень режимів роботи комбінованих систем очищення стічних вод різногалузевих промислових об'єктів.

Результати імітаційного моделювання із використанням нейромереж показали збільшення ефекту очищення води у разі зміни струму від 10 до 16 А на 9,4 %, значення концентрації завислих частинок на виході зменшилось відповідно від 30 до 27,4 г/м³ за початкового значення 60 г/м³ (рис. 3.30).

Аналіз роботи нейронної мережі дозволив встановити залежність величини струму від параметрів вхідної води (температури та електропровідності). На рисунку 3.31 наведено поверхню відгуку, отриману внаслідок застосування нейронної мережі, а також експериментальні виміри, які продемонстрували необхідність синтезу окремого контуру врахування впливу температури під час управління ВМЕВ та складність і нелінійність взаємозв'язків із роботою в умовах невизначеності.

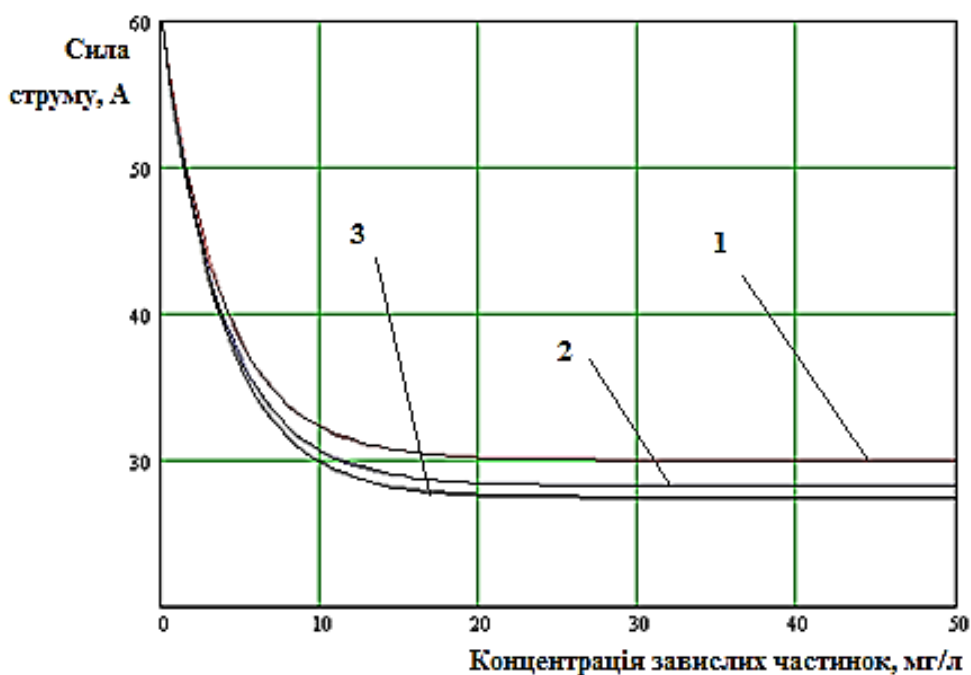


Рисунок 3.30 – Дослідження впливу струму на ефект очищення за різних його значень: 1 – сила струму 10А, 2 – сила струму 13А, 3 – сила струму 16 А

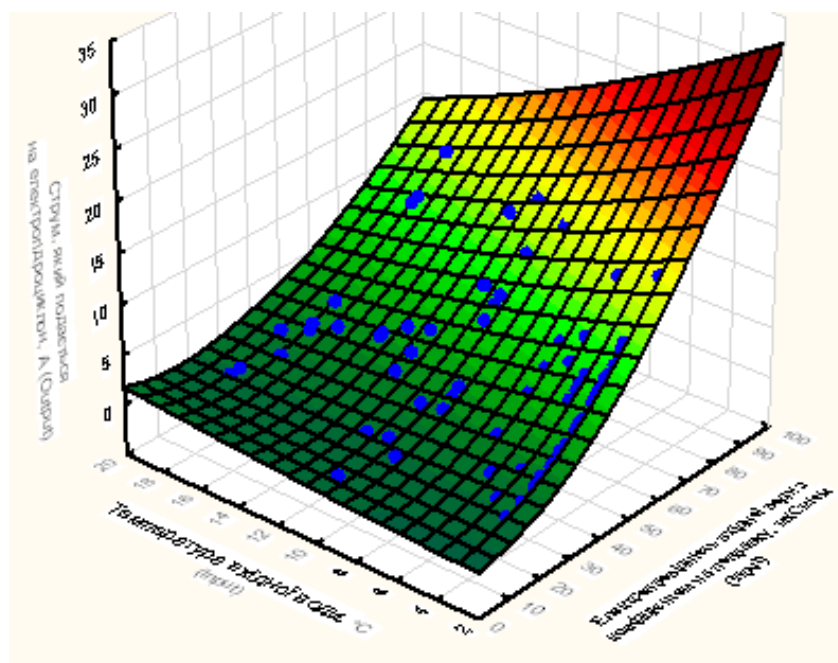


Рисунок 3.31 – Залежність величини струму від температури та електропровідності

Експлуатаційні невизначеності вкладаються в клас точності відповідного приладу, а їхню загальну похибку можна розрахувати за формулою [19]:

$$D = \sum_{i=1}^n \sigma_i^2, \quad (3.10)$$

де D – дисперсія технічної складової системи керування; σ_i – середньоквадратичне відхилення кожного пристрою технічної складової системи керування відповідно.

Тоді за правилом 3σ визначається абсолютна похибка технічної складової системи, за допомогою якої описується невизначеність, що має імовірнісну інтерпретацію. Побудові ефективної системи керування передують побудова адекватної математичної моделі об'єкта.

У загальному вигляді математичну модель об'єкта керування можна записати [136]:

$$\mathbf{x} = F(\mathbf{u}, \mathbf{z}), \quad (3.11)$$

де \mathbf{x} – вектор координат стану системи розмірності n ; \mathbf{u} – вектор керувань розмірності m ; \mathbf{z} – вектор збурень, розмірності l ; F – оператор або функція (вектор-функція) математичної моделі об'єкта.

Оператор F може бути заданий різними способами: за допомогою формул, таблиць, графіків.

У сучасній теорії автоматичного керування широко застосовується [13] опис лінійної математичної моделі у просторі змінних стану:

- для неперервної системи:

$$\begin{cases} \dot{\mathbf{x}}(t) = \mathbf{A}\mathbf{x}(t) + \mathbf{B}\mathbf{u}(t) + \mathbf{G}\mathbf{z}(t), \\ \mathbf{y}(t) = \mathbf{C}\mathbf{x}(t); \mathbf{x}(0) = \mathbf{x}_0; \end{cases} \quad (3.12)$$

- для дискретної системи:

$$\begin{cases} \mathbf{x}(k+1) = \mathbf{A}\mathbf{x}(k) + \mathbf{B}\mathbf{u}(k) + \mathbf{G}\mathbf{z}(k), \mathbf{x}(0) = \mathbf{x}_0, \\ \mathbf{y}(k) = \mathbf{C}\mathbf{x}(k), \quad k = 0, T_k, 2T_k, 3T_k \dots \end{cases} \quad (3.13)$$

де \mathbf{y} – вимірюваний вихід об'єкта; \mathbf{A} , \mathbf{B} , \mathbf{G} , \mathbf{C} – матриці відповідних розмірностей; t – поточний час; k – номер відліку; T_k – час дискретизації.

Також у сучасній теорії автоматичного керування популярним є спосіб опису лінійних систем в операторному вигляді, зокрема за незбуреної системи та нульових початкових умовах сигнал на виході системи лінійно залежить від сигналу на вході:

$$\mathbf{y} = \mathbb{L}\mathbf{u}, \quad (3.14)$$

де \mathbb{L} – лінійний інтегральний оператор, наприклад [135]:

$$\mathbf{y}(t) = \int_0^t \mathbf{C}e^{\mathbf{A}(t-\tau)} \mathbf{B}\mathbf{u}(\tau) d\tau \doteq \int_0^t h(t-\tau)\mathbf{u}(\tau) d\tau, \quad (3.15)$$

де функція $h(t)$ називається ваговою функцією системи (для багатовимірної системи – матриця).

У загальному випадку на лінійний оператор \mathbb{L} накладаються умови причинності та обмеженості. Так, обмеженість оператора \mathbb{L} описується

функціональним простором, у якому визначені вхідні та вихідні сигнали системи й норми в них.

Для вхідних та вихідних сигналів, що визначені на півосі $0 \leq t < \infty$ вводять простори, що описуються обмеженими нормами [12, 68]:

1) L_1 – простір абсолютно інтегрованих функцій, для яких обмежена 1-норма:

$$\|\mathbf{u}\|_1 = \int_0^{\infty} |\mathbf{u}(t)| dt < \infty, \quad (3.16)$$

де $|\mathbf{u}(t)|$ – норма вектора $\mathbf{u}(t) \in R^m$, наприклад для фіксованого часу t 1-норма розраховується як $|\mathbf{u}|_1 = \sum_{i=1}^m |\mathbf{u}_i|$.

2) L_2 – простір обмежених квадратичних функцій, для яких обмежена 2-норма:

$$\|\mathbf{u}\|_2 = \left(\int_0^{\infty} |\mathbf{u}(t)|_2^2 dt \right)^{1/2} < \infty, \quad (3.17)$$

де $|\mathbf{u}(t)|_2$ – евклідова норма вектора $\mathbf{u}(t) \in R^m$, що розраховується як $|\mathbf{u}|_2 = \left(\sum_{i=1}^m |\mathbf{u}_i|^2 \right)^{1/2}$ в кожний фіксований момент часу t .

Простір L_2 – це простір сигналів обмеженої енергії, зокрема якщо $\mathbf{u}(t) \in L_2$, то $\mathbf{u}(t) \rightarrow 0$ за $t \rightarrow \infty$.

3) L_∞ – простір суттєво обмежених функцій, для яких обмежена ∞ -норма:

$$\|\mathbf{u}\|_\infty = \sup_{0 \leq t < \infty} |\mathbf{u}(t)| < \infty, \quad (3.18)$$

де $|\mathbf{u}(t)|$ – норма вектора $\mathbf{u}(t) \in R^m$, як правило 2-норма $(|\mathbf{u}|_2 = \left(\sum_{i=1}^m |\mathbf{u}_i|^2 \right)^{1/2})$ або ∞ -

норма $(|\mathbf{u}|_\infty = \max_{1 \leq i < m} |\mathbf{u}_i|)$; знак \sup визначає верхню межу сигналу, між тим суттєву,

коли не враховуються множини нульової міри.

Простір L_∞ – це простір сигналів обмеженої інтенсивності.

Аналогічно вводяться простори та норми для дискретного сигналу $y(k)$, $k=0, 1, \dots$:

$$1) \quad \|y\|_1 = \sum_{k=0}^{\infty} |y_k|, \quad (3.19)$$

$$2) \quad \|y\|_2 = \left(\sum_{k=0}^{\infty} |y_k|^2 \right)^{1/2}, \quad (3.20)$$

$$3) \quad \|y\|_\infty = \sup_{0 \leq k < \infty} |y_k|. \quad (3.21)$$

Наведені простори частково перекриваються, наприклад, функції $u(t) \equiv 1$ та $u(t) \equiv \sin(\omega t)$ не належать L_2 , крім випадку коли $\omega = 0$, але вони належать L_∞ та не належать L_1 .

Норми функцій дають можливість визначити норми лінійних операторів, тобто якщо лінійний оператор \mathbb{L} переводить функції з простору L_p в простір L_q , де $p, q = 1, 2, \infty$, тобто $\mathbb{L}u \in L_q$ за $u \in L_p$, то норма лінійного оператора запишеться [53]:

$$\|\mathbb{L}\|_{p,q} = \sup_{\|u\|_p \neq 0} \frac{\|\mathbb{L}u\|_q}{\|u\|_p} = \sup_{\|u\|_p \leq 1} \|\mathbb{L}u\|_q. \quad (3.22)$$

Норма оператора є мірою «підсилення» вхідного сигналу, який вимірюється у відповідній нормі. Зазвичай бажано обрати керування так, щоби ця норма була малою, а це означає, що вихід системи буде малий при будь-яких збуреннях, обмежених у відповідній нормі. На останньому твердженні й побудована теорія робастно-оптимального керування.

Аналогічно вводять норми передатних функцій. Нехай $\mathbf{M}(s)$ – гурвицева матриця розмірності $n \times n$, тоді H_2 -норма цієї функції :

$$\|\mathbf{M}\|_\infty = \sup_{\text{Re } s \geq 0} \|\mathbf{M}(s)\|_2 = \sup_{-\infty < \omega < \infty} \|\mathbf{M}(j\omega)\|_2, \quad (3.23)$$

де $\|\mathbf{M}(s)\|_2$ – спектральна норма фіксованої матриці $\mathbf{M}(s)$:

$$\|\mathbf{M}(s)\|_2 = (\lambda_{\max}(\mathbf{M}^*(s)\mathbf{M}(s)))^{1/2}. \quad (3.24)$$

Зокрема, в системі з одним входом та одним виходом спектральна норма передатної функції перетворюється в модуль.

Для об'єкта без збурень можна записати:

$$\mathbf{y} = \mathbf{H}(s)\mathbf{u}, \quad \mathbf{H}(s) = \mathbf{C}(s\mathbf{I} - \mathbf{A})^{-1}\mathbf{B}, \quad (3.25)$$

тоді, за умови стійкості матриці \mathbf{A} :

$$\|\mathbf{y}\|_2 \leq \|\mathbf{H}(s)\|_{\infty} \|\mathbf{u}\|_2 \quad (3.26)$$

або

$$\|\mathbf{H}(s)\|_{\infty} = \sup_{\|\mathbf{u}\|_2 \neq 0} \frac{\|\mathbf{y}\|_2}{\|\mathbf{u}\|_2} = \|\mathbb{T}\|_{2,2}. \quad (3.27)$$

Тобто, якщо на вхід подати сигнал $\mathbf{u}(t) \in L_2$, а норма передатної функції системи обмежена $\|\mathbf{H}(s)\|_{\infty} < \infty$, то на виході будемо спостерігати також обмежений сигнал $\mathbf{y}(t) \in L_2$. Іншими словами, H_{∞} -норма передатної функції системи показує в скільки разів зміниться енергія сигналу у разі проходження через дану лінійну систему.

Друга норма, що вводиться для матричних передатних функцій – це H_2 -норма [136]:

$$\|\mathbf{M}\|_2 = \left(\int_{-\infty}^{\infty} \|\mathbf{M}(j\omega)\|_2^2 d\omega = \left(\int_{-\infty}^{\infty} \lambda_{\max}(\mathbf{M}^*(j\omega)\mathbf{M}(j\omega)) d\omega \right)^{1/2}, \quad (3.28)$$

зокрема для скалярних функцій:

$$\|M\|_2 = \left(\int_{-\infty}^{\infty} |M(j\omega)|^2 d\omega \right)^{1/2}. \quad (3.29)$$

Аналогічних вхідних-вихідних залежності для H_2 - та H_1 -норм передатних функцій системи не існує, але є наступні наближення:

- для об'єктів з одним входом і виходом за $u(t) \in L_2$, $\|u(t)\|_2 = 1$:

$$\|y(t)\|_\infty \geq \|g(s)\|_2,$$

де $g(s)$ – передатна функція системи від входу $u(t)$ до виходу $y(t)$;

- для багатовимірних систем за вхідного сигналу $\mathbf{u}(t)$, для якого визначені спектральна щільність $\mathbf{S}_{uu}(j\omega) = \mathbf{I}$ та обмежена автокореляційна функція $\mathbf{R}_{uu}(\tau)$, для енергії вхідного сигналу можна записати:

$$\|\mathbf{u}(t)\|_p^2 = \text{trace}(\mathbf{R}_{uu}(0)),$$

тоді енергія вихідного сигналу $\mathbf{y}(t)$ має обмежену спектральну щільність:

$$\|\mathbf{S}_{yy}(j\omega)\|_\infty < \infty \text{ або } \|\mathbf{y}(t)\|_s = \|\mathbf{S}_{yy}(j\omega)\|_\infty,$$

а H_2 -норма передатної функції системи є мірою підсилення вхідного сигналу:

$$\|\mathbf{H}(s)\|_2 = \|\mathbb{L}\|_{p,s}.$$

- для дискретних об'єктів з одним входом та одним виходом:

$$\|h(z)\|_1 = \sup_{\|u\|_\infty \leq r} \|y\|_\infty = \|\mathbb{L}\|_{\infty,\infty}.$$

Викладені поняття норм та їхні результати мають дискретні аналоги. В цьому випадку розглядається стійка матриця $\mathbf{M}(z)$, а її норми розраховуються:

$$\begin{aligned} \|\mathbf{M}\|_\infty &= \sup_{|z| \leq 1} \|\mathbf{M}(z)\|_2 = \sup_{0 \leq \omega \leq 2\pi} \|\mathbf{M}(e^{j\omega})\|_2 = \\ &= \sup_{0 \leq \omega \leq 2\pi} \left(\lambda_{\max} \left(\mathbf{M}^* (e^{j\omega}) \mathbf{M}(e^{j\omega}) \right) \right)^{1/2} \end{aligned} \quad (3.30)$$

А для дискретної системи зі стійкою матрицею \mathbf{A} справедливе співвідношення:

$$\|\mathbf{H}(z)\|_\infty = \sup_{\|u\|_2 \neq 0} \frac{\|y\|_2}{\|u\|_2}. \quad (3.31)$$

Значимо, що для одновимірних систем H_∞ -норма визначає максимальну амплітуду вихідного сигналу на логарифмічній амплітудно-частотній характеристиці об'єкта. Для багатовимірних систем ця залежність набагато складніша.

Аналогічно вводяться простори для передатних функцій:

- RL_∞ – простір матричних передатних функцій (Лебега), елементами якого є дробово-раціональні вирази простору RL_∞ , порядок чисельника яких менший за порядок знаменника, а полюси розташовані як у лівій, так і в правій комплексній площині (за виключенням нуля);

- RH_∞ – простір матричних передатних функцій (Харді), елементами якого є дробово-раціональні вирази простору RH_∞ , порядок чисельника яких менший за порядок знаменника, а полюси розташовані лише в лівій комплексній площині. Тобто, цьому простору належать строго правильні стійкі передатні функції;

- RH_∞^\perp – простір матричних передатних функцій, елементами якого є дробово-раціональні вирази простору RH_∞^\perp , порядок чисельника яких менший за порядок знаменника, а полюси розташовані лише в правій комплексній площині (без нуля). Тобто цьому простору належать нестійкі передатні функції.

Тоді, для простору RL_∞ можна записати вираз $RL_\infty = RH_\infty \oplus RH_\infty^\perp$.

Підсумовуючи викладене, для невеликих n , зважаючи на особливості побудови математичної моделі об'єкта, систему з невизначеностями (параметричне матричне сімейство матриць) можна задати у вигляді найбільшого відсотка \mathbf{d} від матриці \mathbf{A}_0 , тоді:

$$\mathbf{A}(\mathbf{q}) = \mathbf{A}_0 + \mathbf{d}\mathbf{A}_0. \quad (3.32)$$

Наприклад, найбільше відхилення матриці \mathbf{A}_0 складає 5%, тоді $\mathbf{A}(\mathbf{q}) = \mathbf{A}_0 + 0,05\mathbf{A}_0$, що можна представити у формі афінного матричного сімейства:

$$\mathbf{A}(\mathbf{q}) = \mathbf{A}_0 + \sum_{i=1}^l q_i \mathbf{A}_i, \quad |q_i| \leq \gamma, \quad i=1, \dots, l \quad (3.33)$$

при $l=1$, $\gamma=d$ – розмах невизначеності, та $\mathbf{A}_1 = \mathbf{A}_0$; або інтервального матричного сімейства:

$$\mathbf{A}(\mathbf{q}) = \mathbf{A}_0 + \mathbf{\Delta}, \quad |\Delta_{ij}| \leq \gamma, \quad i, j = 1, \dots, n \quad (3.34)$$

при $\mathbf{\Delta} = \mathbf{d}\mathbf{A}_0$ або $|d a_{ij}^0| \leq \gamma$.

Для системи керування, що замкнена від'ємним зворотнім зв'язком із матричним коефіцієнтом підсилення \mathbf{K} відповідно маємо:

$$\mathbf{A}^3(\mathbf{q}) = (\mathbf{A}_0 + \Delta) - \mathbf{BK} = (\mathbf{A}_0 - \mathbf{BK}) + \Delta = \mathbf{A}^3_0 + \Delta. \quad (3.35)$$

Система з невизначеністю датчика або виконавчого механізму можна описати передатною функцією зі структурною динамічною невизначеністю виду:

$$[I + \Delta(s)W_\Delta(s)]G_0(s), \quad \|\Delta(s)\|_\infty < 1, \quad (3.36)$$

а зі зворотною динамічною невизначеністю:

$$[I - G_0(s)W_\Delta(s)\Delta(s)]^{-1}G_0(s), \quad \|\Delta(s)\|_\infty < 1, \quad (3.37)$$

де $G_0(s)$ – передатна функція номінального об'єкта, $W_\Delta(s)$ – вагова передатна функція, що визначає масштаб невизначеності та діапазон частот, на яких вона діє; $\Delta(s)$ – передатна функція структурної невизначеності. У загальному випадку всі передатні матриці з ϵ матричними.

Отже, невизначеність об'єкта показує неточність моделі, причому як параметричну, так і структурну. Невизначеність вхідних сигналів показує різну природу зовнішніх збурень, що діють на об'єкт і регулятор, тому невизначений об'єкт може розглядатися як деяка множина об'єктів. Обирається одна з характеристик (або властивостей) системи, наприклад, стійкість. Тоді регулятор буде робастним відносно цієї характеристики, якщо вона зберігається для системи з множини об'єктів, які задаються цією невизначеністю. Отже, поняття робастності передбачає наявність регулятора, множини об'єктів і фіксацію певної характеристики системи управління.

Загальним підходом до аналізу стійкості та синтезу робастних систем із використанням різних типів невизначеності є μ -аналіз та синтез. В основу теорії покладено поняття структурованого сингулярного числа матриці – μ . Тут система перетворюється до так званої «М- Δ »-конфігурації, що відповідає рисунку 3.32, б, де \mathbf{w} – вектор вхідних збурень; \mathbf{z} – вектор стабілізуємих виходів; $\mathbf{M}(s)$ – стійка

номінальна система, а $\Delta(s)$ – матрична невизначеність, що має спеціальну структуру:

$$\Delta = \text{diag}\{r_1 I_1, \dots, r_m I_m, \delta_1 I_{m+1}, \dots, \delta_s I_{m+s}, \dots, \Delta_1, \dots, \Delta_p, \Delta_{p+1}, \dots, \Delta_{p+f}\} \quad (3.38)$$

де r_i – дійсні числа; δ_i – комплексні числа; $\Delta_i, i=1, \dots, p$ – дійсні квадратні матриці; $\Delta_i, i=p+1, \dots, p+f$ – комплексні квадратні матриці; I_1, \dots, I_{m+s} – одиничні матриці деяких фіксованих розмірностей.

Тоді, за визначенням структуроване сингулярне число передатної матриці замкненої системи від збуреного входу до вимірюваного виходу є величиною, що обернена мінімальній H_∞ -нормі структурованого параметричного збурення $\Delta(j\omega)$, яке виводить систему на межу стійкості. Визначається за формулою:

$$\mu_\Delta(\mathbf{M}(j\omega)) = \frac{1}{\min_{\Delta} \{\sigma(\Delta) : \det(\mathbf{I} - \mathbf{M}(j\omega)\Delta(j\omega)) = 0\}} \quad (3.39)$$

Тоді, за теоремою про малий коефіцієнт підсилення [10] у разі всіх збурень $\|\Delta(s)\|_\infty \leq \gamma$ заданої структури робастна стійкість має місце за забезпечення умови:

$$\sup_{\omega \geq 0} \mu(\mathbf{M}(j\omega)) \leq \frac{1}{\gamma} \quad (3.40)$$

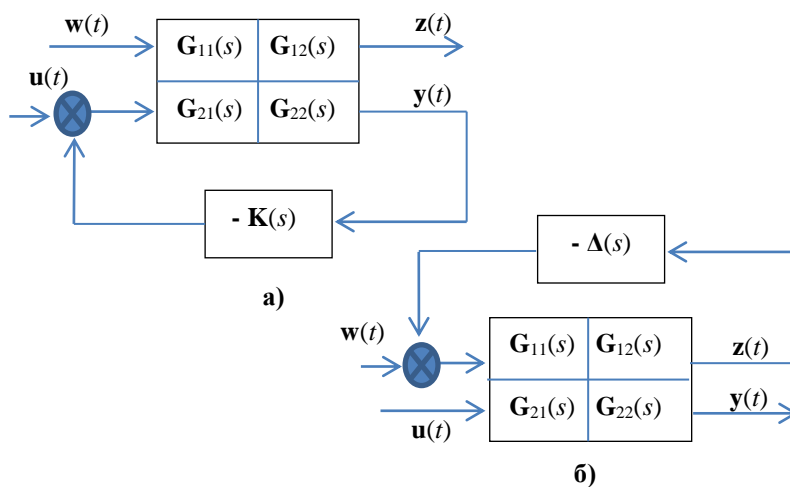


Рисунок 3.32 – Система керування з дробово-лінійним перетворенням (LFT): а) нижнє; б) верхнє

За вибору регулятора $\mathbf{K}(j\omega)$ умова (3.38) перепишеться:

$$\mu(\mathbf{F}_L(\mathbf{G}(s), \mathbf{K}(s))) \leq \frac{1}{\gamma}, \quad (3.41)$$

де $\mathbf{F}_L(\mathbf{G}(s), \mathbf{K}(s))$ – нижнє дробово-лінійне перетворення (lower linear fractional transformation – LLFT) визначається:

$$\begin{aligned} \mathbf{y}(s) &= \mathbf{F}_L[\mathbf{G}(s), \mathbf{K}(s)]\mathbf{u}(s) = \\ &= \left\{ \mathbf{G}_{11}(s) + \mathbf{G}_{12}(s)\mathbf{K}(s)[\mathbf{I} - \mathbf{G}_{22}(s)\mathbf{K}(s)]^{-1}\mathbf{G}_{21}(s) \right\} \mathbf{u}(s) \end{aligned} \quad (3.42)$$

Тоді критерієм задачі про максимальну робастність буде вираз:

$$\min_{\mathbf{K}(s)} \mu(\mathbf{F}_L(\mathbf{G}(s), \mathbf{K}(s))) \quad (3.43)$$

Отже, мінімізуючи $\mu_{\Delta}(\mathbf{M})$ за передатною матрицею регулятора $\mathbf{K}(j\omega)$ визначається максимальна H_{∞} -норма невизначеності $\Delta(j\omega)$, за якої система зберігатиме стійкість.

На сьогодні прямих методів розв'язку задачі (3.41) не існує, тому використовуються непрямі методи, що мінімізують дещо інший критерій:

$$\min_{\mathbf{K}(s)} \left\| \mathbf{D}\mathbf{F}_L(\mathbf{G}(s), \mathbf{K}(s))\mathbf{D}^{-1} \right\|_{\infty}, \quad (3.44)$$

де \mathbf{D} – блочно-діагональна матриця, що має структуру аналогічну Δ .

Отже, задача зведена до стандартної задачі H_{∞} -мінімізації, для якої відомі ефективні методи, наприклад, перехід до простору станів та використання рівнянь Ріккати, або методи типу Неванлини-Піка. Такі підходи, що використовуються для задач μ -синтезу називають D-C-ітераціями [64-68].

Для випадку системи водо очищення (ВМЕВ) розглянемо пластинчастий теплообмінник із протилежною течією теплоносія та продукту (його використання для корекції тепломасообмінних процесів в ВМЕВ), математична модель якого описується диференціальними рівняннями в частинних похідних [56]:

$$\begin{cases} \frac{\partial T(x,t)}{\partial t} + V \frac{\partial T(x,t)}{\partial x} = \frac{1}{\tau} (T_{st}(x,t) - T(x,t)), \\ \frac{dT_{st}(x,t)}{dt} = C_1 (T(x,t) - T_{st}(x,t)) - C_2 (T_{st}(x,t) - T_t(x,t)), \\ \frac{\partial T_t(x,t)}{\partial t} + V_t \frac{\partial T_t(x,t)}{\partial x} = \frac{1}{\tau_t} (T_{st}(x,t) - T_t(x,t)), \end{cases} \quad (3.45)$$

де T , T_t , T_{st} – відповідно температури гріючої, нагріваючої рідин та температура стінки; V , V_t – лінійні швидкості відповідно гріючої та нагріваючої рідин, що залежать від витрат потоків; C_1 , C_2 , τ , τ_t – коефіцієнти, що в загальному випадку окрім конструктивних параметрів теплообмінника залежать від нестационарних коефіцієнтів тепловіддачі, теплоємності та густини рідин; t , x – відповідно часова та просторова координати.

До системи (3.45) обов'язково додаються початкові та крайові умови. З (3.45) електролізер є нестационарним об'єктом, температура якого розподілена за просторовою координатою. Побудуємо робастний регулятор за лінійною апроксимацією моделі (3.45), що буде враховувати нестационарність та розподіленість об'єкта. Спрощена параметрична схема лінеаризованого об'єкта наведена на рисунку 3.33, де ΔG , ΔGt – відповідно відхилення витрат через теплообмінник гріючої та гарячої води; ΔT_{in} , ΔT_{tin} – відповідно відхилення температур на вході в теплообмінник гріючої та гарячої води; ΔT – відхилення температури нагрітої рідини.

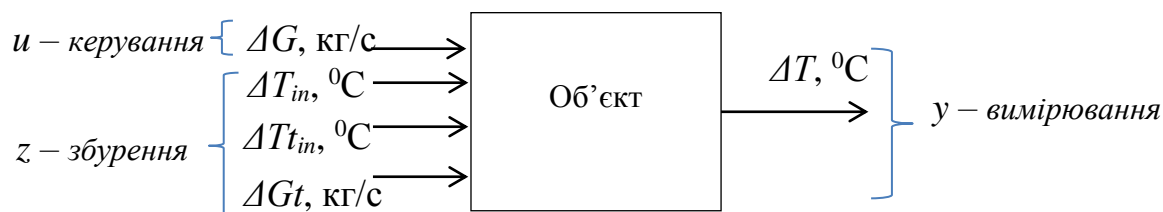


Рисунок 3.33 – Спрощена параметрична схема пластинчастого

Апроксимуючи просторову координату x кінцево-різницевиими формулами, а потім лінеаризуючи систему в робочій точці отримуємо математичну модель

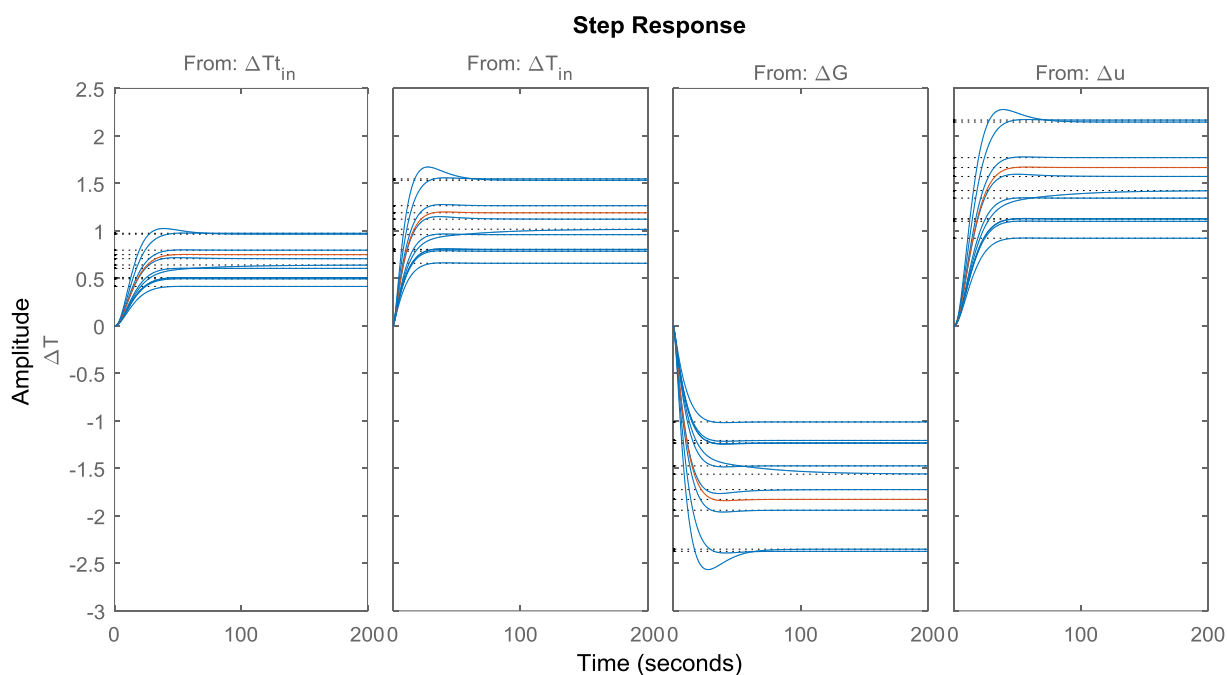


Рисунок 3.35 – Сімейство кривих розгону об'єкта: червона – за номінальних значень невизначеностей; сині – інші значення

Використовуючи алгоритм μ -синтезу за критерієм (3.44), отримано передаточну функцію регулятора 12-го порядку, яку для подальшого використання було понижено до 4-го. Обґрунтування вибору проводилося за гистограмою сингулярних значень Ганкеля (рис.3.36).

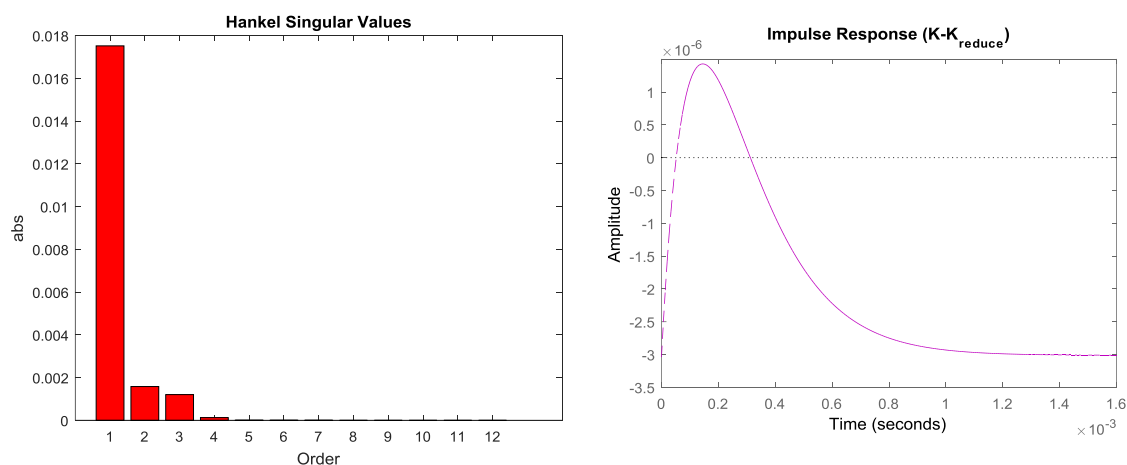


Рисунок 3.36 – Гістограма сингулярних значень Ганкеля $K(s)$ та похибка пониження.

Далі використовуючи метод пониження порядку на основі сингулярних значень за Ганкелем [69], що використовує критерій виду:

$$\min_{\theta} \|K(s) - K_{reduce}(s)\|_{\infty},$$

де $K(s)$, $K_{reduce}(s)$ – відповідно початкова та понижена передатна функція регулятора, θ – параметри регулятора, отримали передатну функцію регулятора:

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

Для аналізу перехідних процесів системи з μ -регулятором побудована структурна схема, що показана на рисунку 3.37, та розраховані значення параметрів ПІД-регулятора. Останні розраховувалися для номінальної системи без врахування невизначеностей (табл. 3.11).

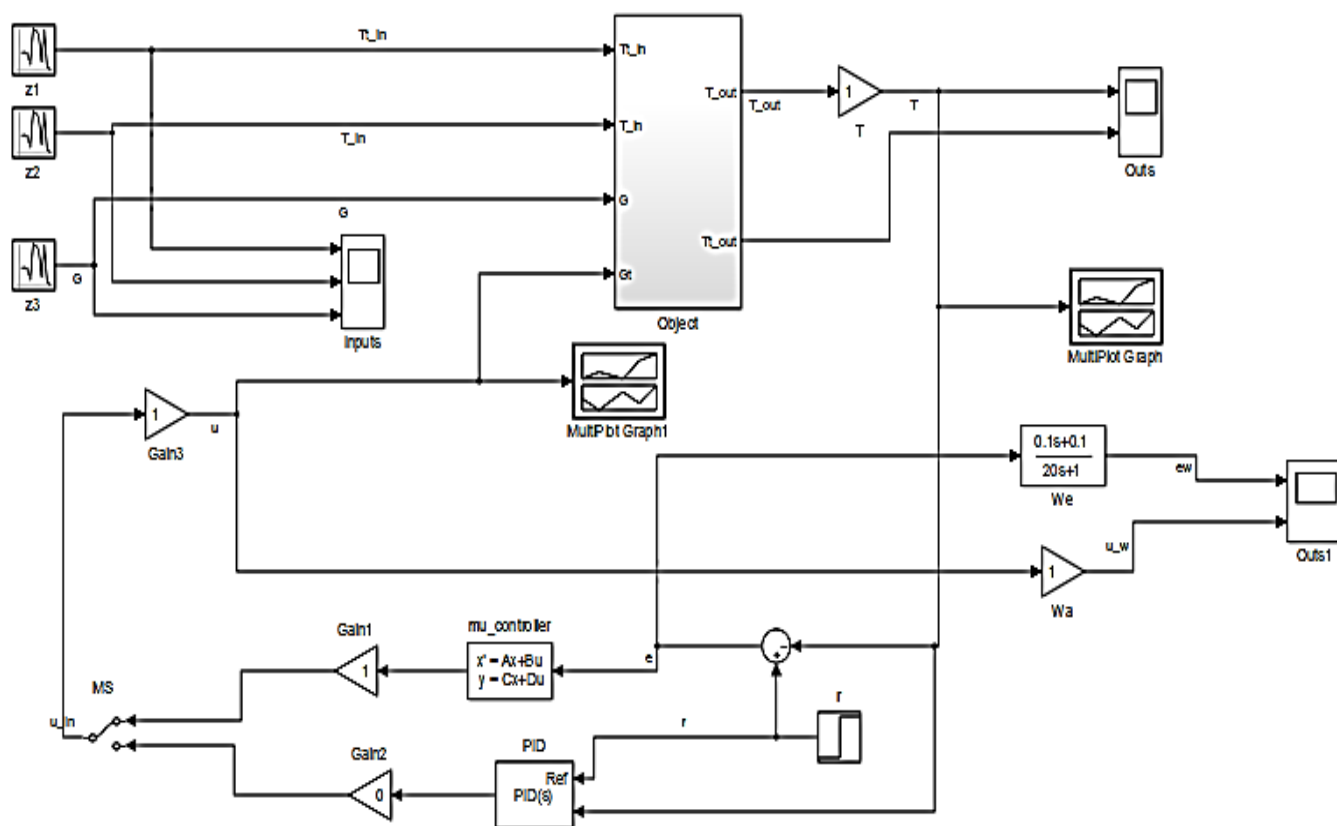


Рисунок 3.37 – Структурна схема системи з μ - та ПІД-регуляторами

Перехідні процеси за дії різних типів вхідних сигналів для номінального об'єкта та у разі найгірших комбінацій невизначеностей показані на рисунку 3.38.

Таблиця 3.11 – Порівняльні характеристики систем з різними регуляторами

Регулятор	Максимальне ЛАЧХ, dB при частоті, c^{-1}	$\ H_{in-out}(s)\ _{\infty}$	$\ S(s)\ _{\infty}$		$\ R(s)\ _{\infty}$	
			Nom	WC	Nom	WC
μ -регулятор	Gain=0,51 Frequency= $9,7 \cdot 10^{-5}$	0,25	0,83	1,02	0,33	0,72
ПІД-регулятор	Gain=1,54 Frequency=0,014	1,38	1,0	1,65	0,80	1,05

Gain – максимальне посилення ЛАЧХ, dB; Frequency – частота максимального посилення ЛАЧХ, c^{-1} ; $\| \dots \|_{\infty}$ – норма передавальної функції або матриці; H_{in-out} – передавальна функція системи від входу до виходу; $S(s)$ – передавальна функція чутливості системи (від уставки до неузгодженості); $R(s)$ – передавальна функція від сигналу завдання до сигналу управління; Nom (Nominal) – номінальний режим (параметри і структура системи розрахункові); WC – (Worst case) найгірший режим невизначеності параметрів і структури системи (найгірша комбінація).

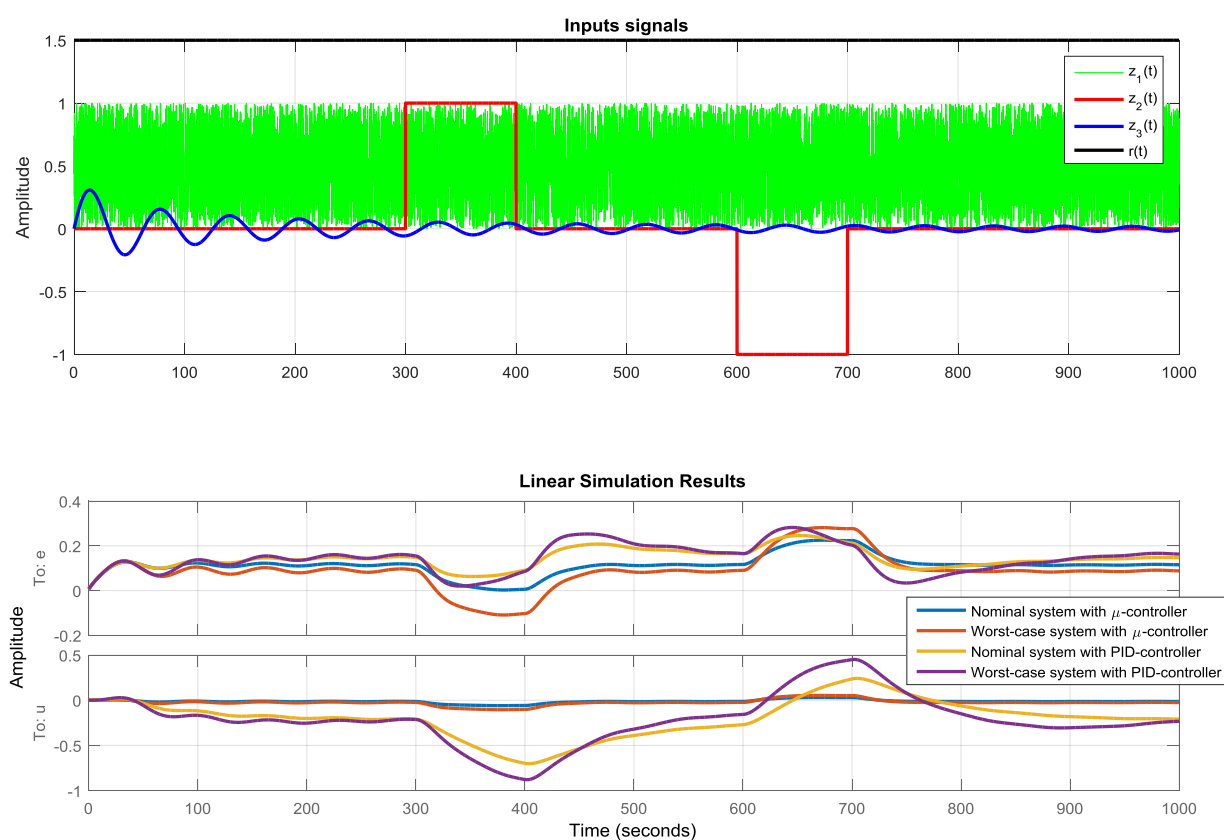
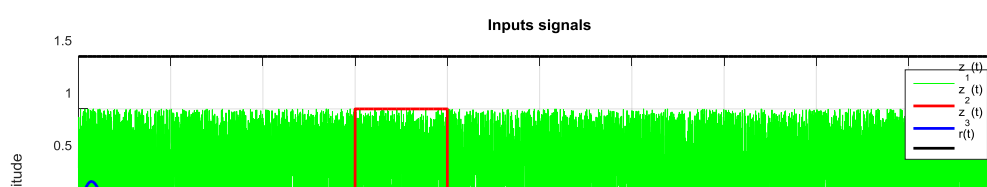


Рисунок 3.38 – Результати моделювання функціонування робастно-оптимальної підсистеми керування температурним режимом водних розчинів ВМЕВ



Зважаючи на дані рисунку 3.38 та порівняльної таблиці 3.11, підтверджуємо міркування щодо правильності вибору μ -регулятора для реалізації окремого контуру керування електролізером на основі врахування температури водного розчину. Програмне забезпечення робастної системи керування буде інтегровано в локальний автоматичний управляючий пристрій (ЛАУП) локальної системи управління ВМЕВ (див. рис. 3.32).

Такий підхід дає можливість підвищувати енергозбереження функціонування водоочищення (електрокоагуляція, електрофлотація, електродіаліз, електродеструкція) за забезпечення якісного видалення забруднюючих речовин (мінімізація шкідливого впливу навколишнього середовища) завдяки оптимальному використанню температури впливу на електропровідність водних розчинів: питома витрата енергії електролізу тим нижче, ніж менша напруга й чим вище вихід по струмові продуктів реакцій. Водночас вихід по струмові залежить від відстані між електродами, густини струму, висотами електродів, складу електроліту та температури, а напруга залежить від цих же параметрів і може бути визначений за формулою [365]:

$$U = E + \frac{l \cdot D}{x} + ir \quad (3.46)$$

де E – напруга електролізу, В; x – електропровідність, мкСм/см; l – відстань між електродами, см; D – густина струму в електроліті, А/см²; ir – падіння напруги в шинопроводі, контактах й електродах, В.

Відповідно, щоби мінімізувати питомі витрати електроенергії, необхідно підтримувати температуру стоків в обладнанні в зоні максимізації електропровідності: $+20 \text{ }^{\circ}\text{C} \pm 4,5 \text{ }^{\circ}\text{C}$. На основі (3.52) і прийняття експериментальних досліджень [98] за основу (відхилення на $10 \text{ }^{\circ}\text{C}$ температури від $+20 \text{ }^{\circ}\text{C}$ (у бік її зниження або підвищення) призведе до зменшення електропровідності орієнтовно на 15 %, за відсутності збурюючих факторів), констатуємо, що за фактичних постійних значень інших параметрів формули

(3.52) фіксується значна зміна енергетичних характеристик процесів – погіршення енергоефективності (рис. 3.39).

Фактично матиме місце збільшення споживаної потужності на електротехнологію водоочищення на 10-20 % (див. рис. 3.39). Тоді згідно ДБН В.2.5-75:2013 «Каналізація. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування» приймемо витрати електроенергії на експлуатацію електрокоагулятора під час очищення стоків витратою 1000 м³/добу 30 кВт•год (720 кВт•добу). Однак, ці енергетичні параметри ідеальні (проектні), зміна ж температури може спричинити за собою їх погіршення (див. рис. 3.57) і за температури стічної води +40 °С вони можуть мати значення 36 кВт•год (864 кВт•добу).

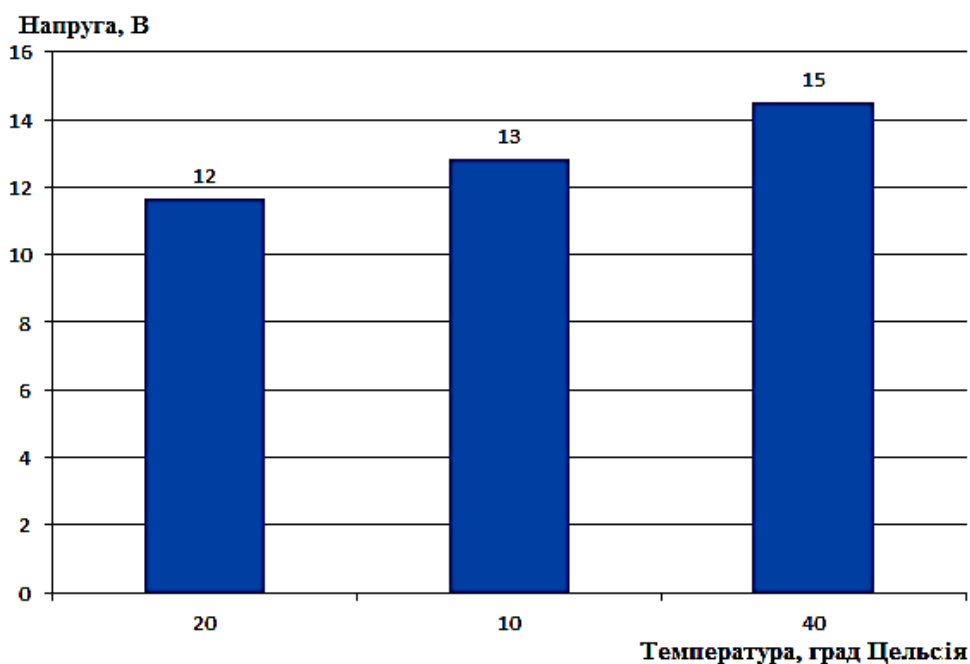


Рисунок 3.39 – Чисельна оцінка впливу температури стоків на напругу електролізу за: міжелектродної відстані 2 см; густини струму – 0,01 А/см²; напруги електролізу – 2 В; падіння напруги –3 В

Отже, управління теплотехнічними режимами водоочищення є важливим фактором оптимізації структури й параметрів енергетичних систем і комплексів видалення забруднювачів із водних розчинів [139, 178, 204, 233, 303]. Водночас використання μ -регулятором замість класичних рішень (ПД-регулятора,

наприклад) дасть змогу підвищити ефективність процесів за різними показниками якості системи управління, порівняно з останніми, на 17 – 82 % (див. табл. 3.11).

Відповідно, для ВМЕВ розроблено програмне забезпечення мовою програмування C ++ з використанням бібліотеки QT в середовищі програмування Qt Creator 4.1.0 (Community).

Головне уніфікованої програми для управління комбінованими установками водоочищення (до яких належить ВМЕВ) включає:

1. Блок вимірювань технологічних параметрів.
2. Інтелектуальний блок;
3. Блок стану технічних засобів водоочищення.

Кожен блок являє собою окреме вікно. Розглянемо кожен із блоків окремо. Блок програмного забезпечення працює згідно з ітераційною концепцією (рис. 3.40).

Інтерфейс блоку складається з наступних компонентів:

- назва вибраного обладнання;
- анімація, яка показує в якому стані зараз знаходиться вбрання обладнання;
- кнопка виклику майстра для ремонту обладнання при його несправності;
- текстове поле в яке записується вся інформація пов'язана з технічними засобами водоочищення.

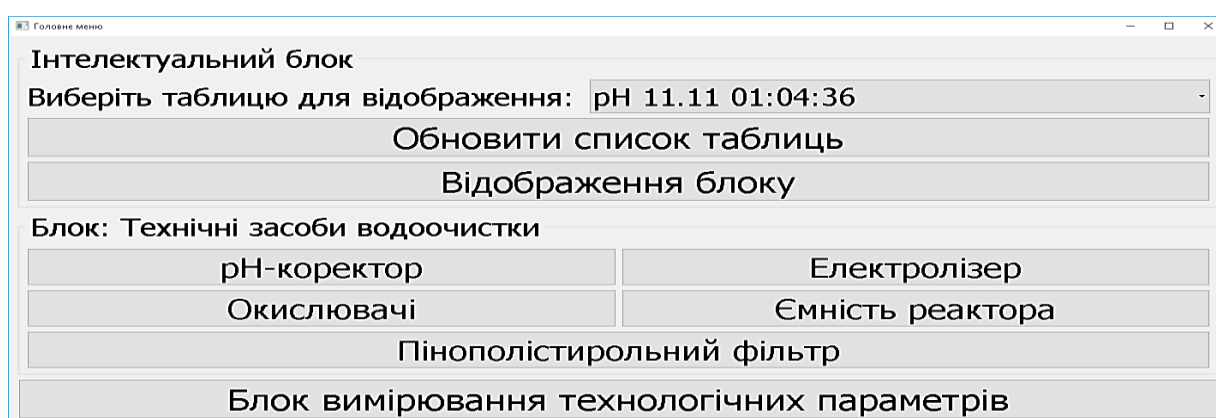


Рисунок 3.40 – Головне вікно програмного забезпечення управління комбінованими установками водоочищення (включаючи ВМЕВ) на основі ефективного опрацювання техніко-економічної інформації

Розроблене ПЗ ВМЕВ відповідає вимогам уніфікованості (рис. 3.41), що дає можливість його використання на різногалузевих промислових об'єктах без тривалої та складної адаптації (переналаштування) під наявні на виробництвах програмно-апаратні ресурси та висування особливих вимог щодо забезпечення інформаційних систем.

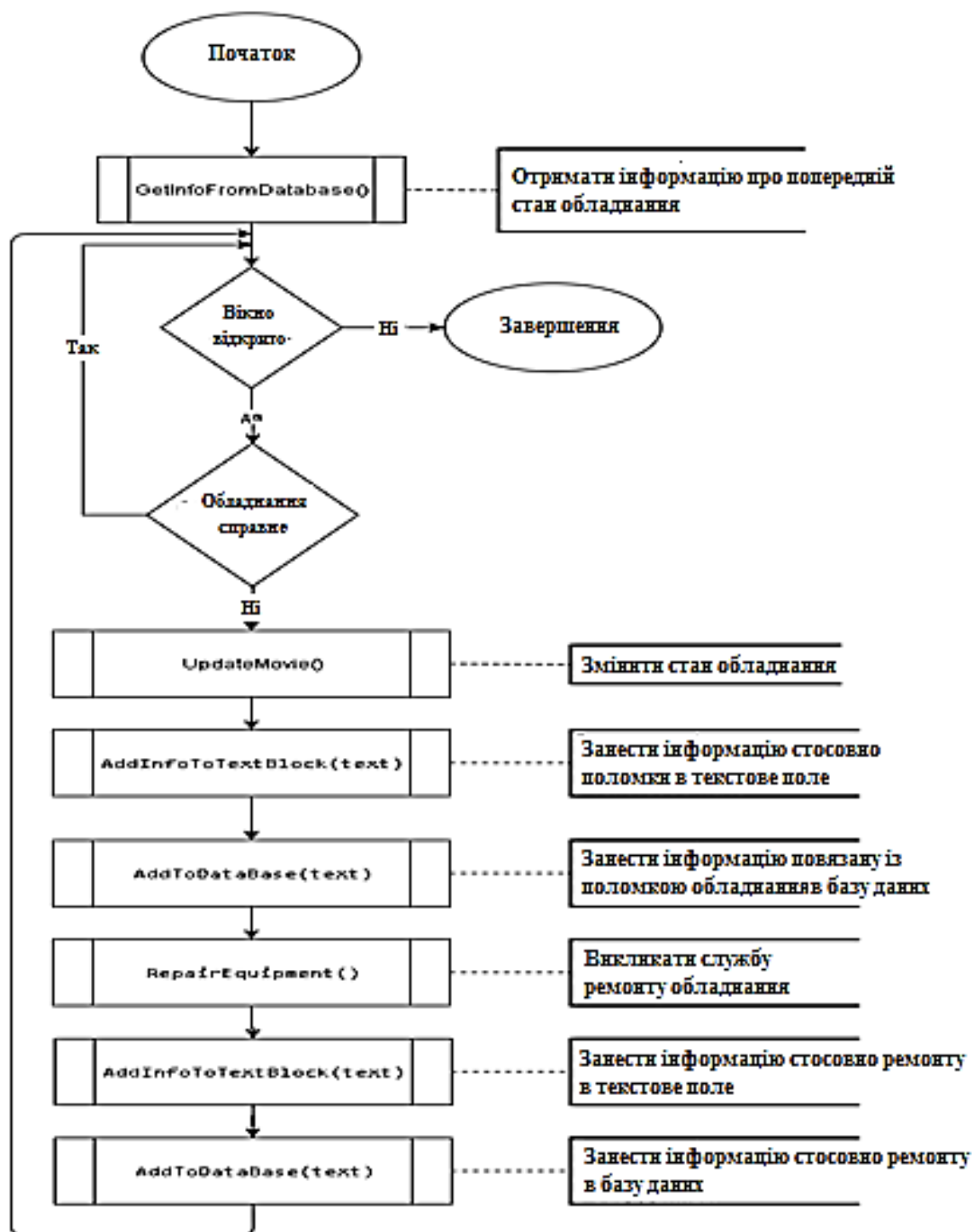


Рисунок 3.41 – Блок-схема програмного забезпечення оцінки стану технічних засобів ВМЕВ

3.5. Розроблення методу домінуючого динамічного забруднювача удосконалення промислового водоочищення

3.5.1. Технологічний базис методу домінуючого динамічного забруднювача. На етапі очищення стоків реальних підприємств і модельних розчинів (пункти 3.2 та 3.4) виникла *гіпотеза*: «*для видалення одних забруднювачів необхідно спочатку усунути інші забруднювачі, які стримують усунення перших*» [294, 295, 310].

Наприклад, за очищення стоків м'ясопереробного комбінату (пункт 3.2), що включають як органічні (жири), так і неорганічні (фосфор, хлориди) відходи, було якісно встановлено, що стічні води спочатку необхідно очистити від органічних складових, а лише потім усувати неорганічні забруднювачі. В іншому випадку органіка буде зменшувати або взагалі зупиняти процеси очищення від фосфору і хлоридів: пасивуючи електродну систему (електрохімічні методи очищення води), блокуючи коагуляцію (хімічні методи), забиваючи мембрани (фізичні методи).

У продовження цієї гіпотези на основі водопровідної води був створений модельний розчин та проведено експерименти, проводилися на розробленому комплексі обладнання (пункт 3.4). Оцінювалась ефективність видалення фосфатів. Очищення включала електрокоагуляцію (зміною сили струму коригувалося виділення реагентів) та фільтрацію на пінополістирольному фільтрові. Водночас концентрація СПАР підтримувалась стабільною – оцінювався негативний вплив СПАР на ефективність очищення води від фосфатів.

Експеримент 1 (включає блок досліджень).

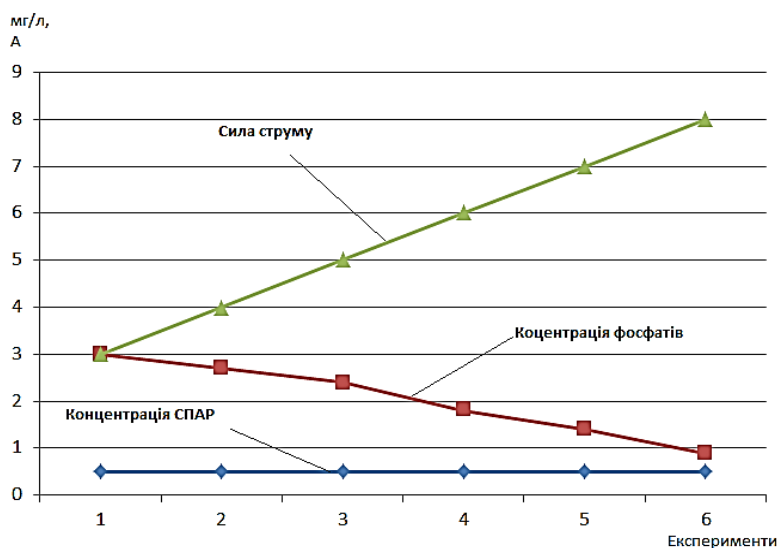
На кожному етапі модельний розчин містив 0,5 мг/л СПАР. Сила струму змінювалась на 1 А (від 3 А до 8 А). Концентрація фосфатів на початок кожного етапу досліджень – 3 мг/л (на рисунку 3.42 відповідає першій точці).

Експеримент 2 (включає блок досліджень).

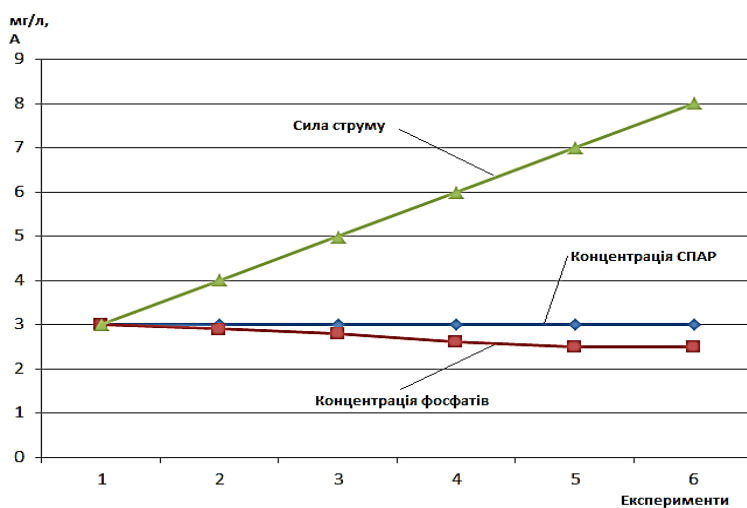
На кожному етапі модельний розчин містив 3,0 мг/л СПАР. Сила струму змінювалась на 1 А (від 3 А до 8 А). Концентрація фосфатів на початок кожного етапу досліджень – 3 мг/л (на рисунку 3.42 відповідає першій точці).

У результаті досліджень було підтверджено гіпотезу стосовно негативної дії одного забруднювача на очищення води від іншого: дія концентрації СПАР на комбінованому очистку води від фосфатів.

Отримані результати пояснюються негативною дією сполук миючих засобів (комплексонів) на процес окислення виділеного заліза та його подальші коагуляційні властивості.



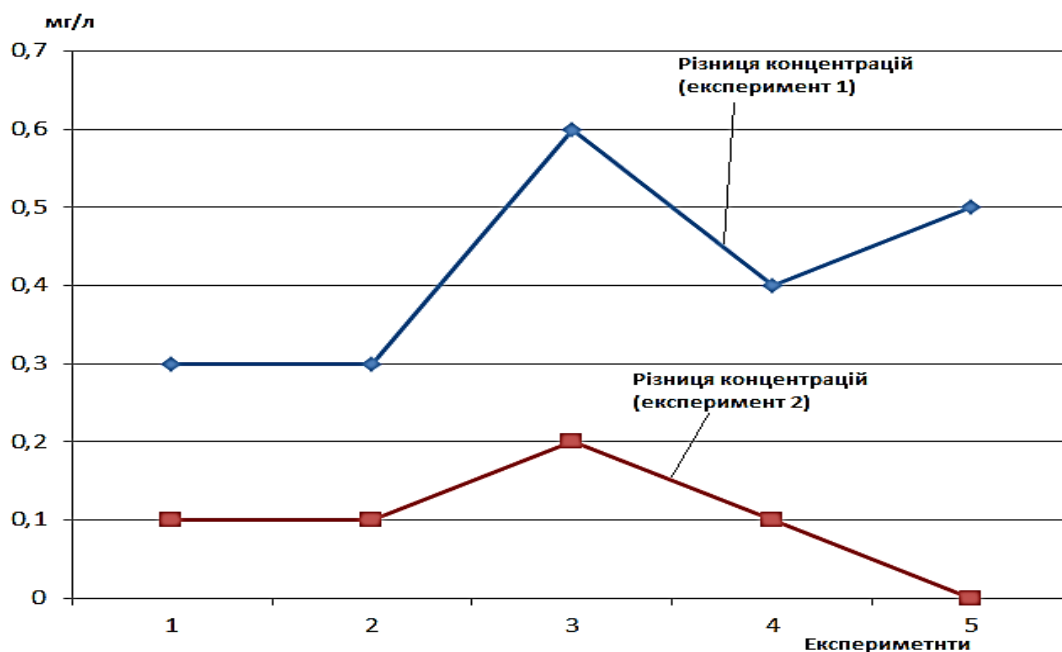
А)



Б)

А – експеримент 1, Б – експеримент 2, В – порівняння отриманих ефектів видалення забруднювачів

Рисунок 3.42 – Експериментальна оцінка впливу концентрацій СПАР на очистку води від фосфатів



В)

Рисунок 3.42, аркуш 2

Тобто, на основі отриманих результатів (пункти 3.2 та 3.4) виникає необхідність у створенні алгоритму очищення багатоконпонентних стічних вод, між тим індивідуально для кожного окремого підприємства: склад стоків залежить від якості вхідної води, конкретної технологічної схеми та інших об'єктноорієнтованих показників.

Ситуація ускладнюється тим, що склад стоків на виробництві може непередбачено й нестаціонарно змінюватися (залпові скиди, позаштатні ситуації) [310] – відповідно, виникає необхідність зміни пріоритету по черговості видалення забруднювачів.

З огляду на все вищевикладене приходимо до того, що для теоретичного обґрунтування побудови ефективного обладнання раціонально запропонувати використання поняття *домінуючого динамічного забруднювача (ДДЗ)* – забруднювач багатоконпонентних стічних вод, який у цей момент часу за фактичного складу стоків необхідно першочергово видалити.

Тоді правила й ефективні умови роботи систем водоочищення з урахуванням концепції методу домінуючого динамічного забруднювача (рис. 3.43):

- максимально зменшити умови створення, прояви, поширення та впливу головного небезпечного забруднювача, згідно з попередніми дослідженнями технології об'єкта і якості води;

- поетапне рециркуляційне усунення ДДЗ, з урахуванням гранично-допустимі концентрації (ГДК);

- перехід до вилучення другого за важливістю забруднювача, якщо він у комплексі з першим домінуючим не видалений або не нейтралізований.

Для різних виробництв як ДДЗ виступатимуть різні забруднювачі: виробництво одягу – барвники; гальвановиробництво – важкі метали; м'ясокомбінати – жири і хлориди.

Водночас необхідно враховувати, що у процесі роботи системи водоочищення відбуваються кардинальні зміни складу робочого водного розчину (наприклад, у гальванічному цеху в першу половину дня здійснювалося цинкування, у другу – хромування, як результат – необхідні різні режимні параметри обладнання).

Базове технологічне устаткування, на якому апробуватиметься концепція управління з урахуванням ДДЗ (обладнання розроблене в пункті 3.4).

Зважаючи на аналіз нормативно-правових вимог, досвіду промислового використання [322] і створення комбінованих систем водоочищення, для синтезу методів ефективного опрацювання техніко-економічної інформації доцільно застосувати інтелектуальні системи, які реалізовані базі ВМЕВ.

На початковому етапі, з врахуванням досвіду попередніх досліджень (пункти 3.2, 3.4) та літературних джерел було систематизовано стоки підприємств.

На другому етапові перевірки технологічної відповідності ДДЗ на різних ітераціях по черзі, у випадковому порядку, пред'являються всі можливі вхідні вектори (отримані експериментальним шляхом).

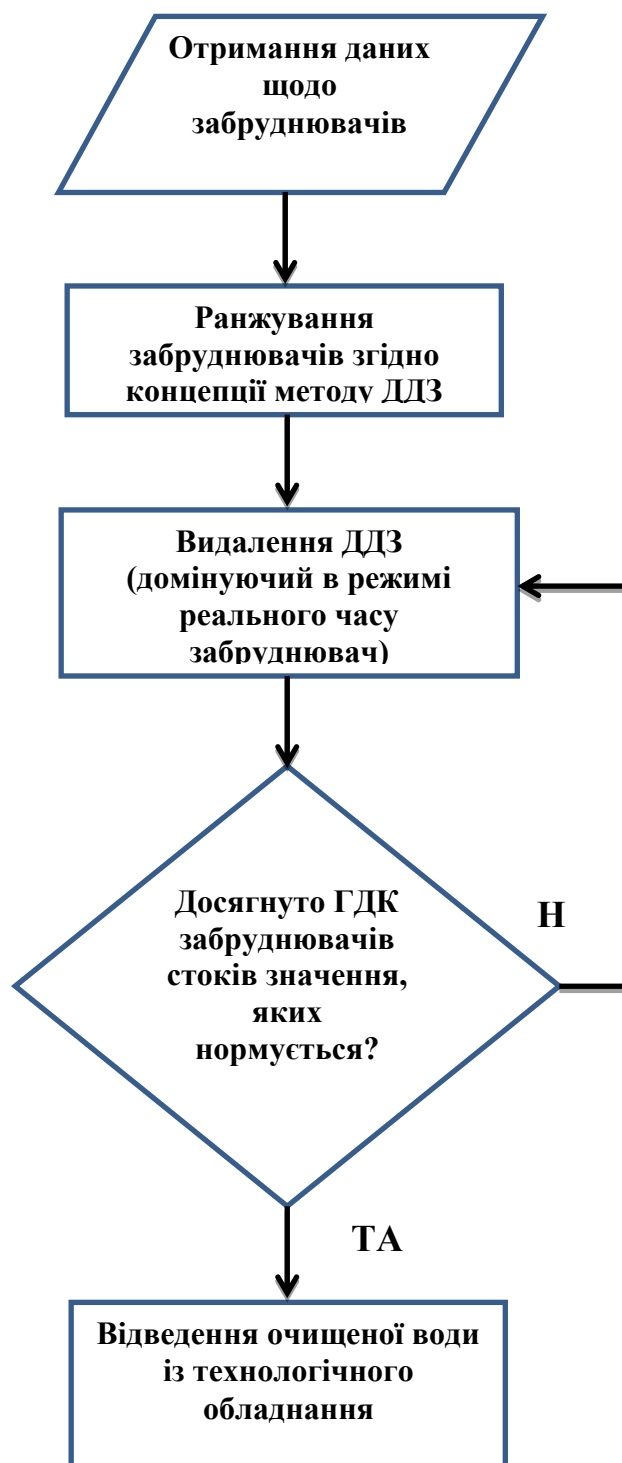


Рисунок. 3.43 – Блок-схема реалізації методу домінуючого динамічного забруднювача очищення багатокомпонентних стоків

Оцінювання ефективності водоочищення за вторинним забруднювачем (наприклад, для м'ясокомбінатів такий забруднювач – зважені частинки) продемонструвала, що за використання комбінованих комплексів, досягається

його видалення, за усунення базового ДДЗ, мінімум на 50 % – 95 % (у випадку завислих частинок на 95 %), що пояснюється:

- дією окислювально-відновних реакцій в електролізному блоці й на вторинного забруднювача;
- електросорбційною фільтрацією як ДДЗ, так і вторинного забруднювача;
- за корекції рН відбувається хімічне окислення та відновлення елементів, що покращує якісні показники води.

Проведення ж очищення не з її орієнтуванням на першочергове усунення ДДЗ, а на дію на інші забруднювачі, продемонстрували значне погіршення ЕЕК роботи обладнання (критерій припинення роботи – доведення показників до ГДК) на 30 % – 90 %. Відповідно, у разі створення інформаційно-функціонально моделей комбінованого водоочищення обґрунтовано враховувати метод ДДЗ (табл. 3.12).

Таблиця 3.12 – Практична перевірка системи водоочищення згідно визначених ДДЗ різногалузевих об'єктів

Динамічний домінуючий забруднювач	Виробничий об'єкт для якого типовим є ДДЗ	ЕЕК водоочищення за ДДЗ,%/кВт
Нітрати (NO_3^-) і фосфати (ортофосфати PO_4^{3-} і поліфосфати)	Побутові стоки, агропромислові підприємства, хімічна промисловість	0,01
Жири - (критерій оцінки - біологічне споживання кисню (БСК))	М'ясокомбінати, молочні комбінати, сироварні заводи	0,02
Концентрація завислих частинок	Характерно більшості харчових та агропромислових (за відсутності забою) об'єктів	0,015
Синтетичні поверхнево-активні речовини (СПАР)	Побутові стоки, автомийки, підприємства побутової хімії	0,03
рН	Гальвановиробництва	0,02

Ранжування забруднювачів відбувається таким чином: забруднювач, котрий було видалено останнім, з використанням усього переліку обладнання та режимів згідно з нормативними рекомендаціями забезпечення ГДК і визначається ДДЗ на початковому етапі.

3.5.2. Адаптація оптимізаційного методу покоординатного спуску для ранжування забруднювачів та визначення ДДЗ згідно еколого-енергетичного критерію. Теоретична основа такої багатомірної чисельної мінімізації базується на тому, що потрібно знайти безумовний мінімум функції багатьох змінних $Y = F(\vec{x})$, тобто таку точку, що $\vec{x}^* \in R$:

$$F(\vec{x}^*) = \min_{\vec{x} \in R} F(\vec{x}) \quad (3.47)$$

Для заданої початкової точки \vec{x}^0 генерується послідовність точок із координатами $\vec{x}^0, \vec{x}^1, \vec{x}^2, \dots$. Перехід від точки \vec{x}^k до точки \vec{x}^{k+1} являє собою ітерацію.

Прийнявши за функцію багатьох змінних (3.61) обґрунтований еколого-енергетичний критерій водочищення (2.8), відповідно у якості аргументів виступають:

- значення контрольованих забруднювачів;
- значення енергозатрат на процес водоочищення.

Завдання багатомірної чисельної оптимізації – забезпечити його мінімізацію (2.8) за модулем (прямування до значення «0» [%/кВт])

Тобто:

$$F(L, W) = \min \frac{\left[\left(\frac{L1_{вих} - L1_{зад} \cdot 100\%}{L1_{зад}} \right) + \dots + \left(\frac{LN_{вих} - LN_{зад} \cdot 100\%}{LN_{зад}} \right) \right] \cdot \sum_{i=1}^N Q_i}{\sum_{i=1}^N W_i}, \%/\text{кВт}, (3.48)$$

Тоді на початковому етапові задаємо початкову точку \vec{x}^0 , похибки розрахунку $\varepsilon > 0$, $\varepsilon_1 > 0$, $\varepsilon_2 > 0$, M – кінцеве число циклів розрахунку, кратне n , де n – розмірність вектору \vec{x} ; знаходимо градієнт функції у довільній точці [27, 263]:

$$\nabla f(\bar{x}) = \left(\frac{\partial f(\bar{x})}{\partial x_1}, \dots, \frac{\partial f(\bar{x})}{\partial x_n} \right)^T, \quad (3.49)$$

Задаємо номером цикла $j = 0$, перевіряючи умову $j \geq M$:

- якщо $j \geq M$, то приймаємо $\bar{x}^* = \bar{x}^{jk}$ і розрахунок завершено; – якщо ні, то задаємо $k = 0$.

Тоді перевіряємо умову $k \leq n-1$:

- якщо $k \leq n-1$, то розраховуємо $\nabla f(\bar{x}^{jk})$; - якщо $k = n$, то прийняти $j = j+1$ і $\bar{x}^{j+1,k} = \bar{x}^{jn}$ і перевіряємо умову $j \geq M$.

Перевірка виконання критерію завершення $\|\nabla f(\bar{x}^{jk})\| < \varepsilon_1$:

- якщо такий критерій виконано, то розрахунок завершено $\bar{x}^* = \bar{x}^{jk}$;

- якщо критерій не виконано, то задаємо t_k .

Встановлюємо точку $\bar{x}^{jk+1} = \bar{x}^{jk} - t_k \left(\frac{\partial f(\bar{x})}{\partial x_{k+1}} \right)_{\bar{x}=\bar{x}^{jk}} \cdot e_{k+1}$.

Перевірка виконання умови [314]:

$$f(\bar{x}^{jk+1}) - f(\bar{x}^{jk}) < 0, \quad (3.50)$$

- якщо умова виконана, то перевірити адекватність умови:

$$\|\bar{x}^{jk+1} - \bar{x}^{jk}\| \leq \varepsilon_2, \quad \|f(\bar{x}^{jk+1}) - f(\bar{x}^{jk})\| \leq \varepsilon_2; \quad ;$$

- якщо умова не виконується, то прийняти $t_k = \frac{t_k}{2}$ і встановити точку:

$$\bar{x}^{jk+1} = \bar{x}^{jk} - t_k \left(\frac{\partial f(\bar{x})}{\partial x_{k+1}} \right)_{\bar{x}=\bar{x}^{jk}} \cdot e_{k+1}.$$

У такий спосіб оцінюється кількість ітерацій досягнення умови зупинки чисельної оптимізації – з використанням ВМЕВ (формування статистики водоочищення: всі значення показників забруднення приймаються середніми, лише один задається максимально можливим, що встановлюється на основі об'єктноорієнтованої оцінки водоскиду підприємства; затрати електроенергії поступово збільшуються до моменту виконання умов нормативних документів щодо якості стоків).

У якості ДДЗ приймається показник у якого найбільше кількість ітераційних спроб, із ранжуванням інших забруднювачів (стосовно їхнього впливу на енергоефективність очищення) за таким же критерієм.

Застосувавши такий підхід, на основі встановлених на підприємствах значеннях забруднювачів, встановили ранжир ДДЗ (табл. 3.13).

Таблиця 3.13 – Ранжир ДДЗ для промислових підприємств із створеними водними технологічними паспортами

Промислове підприємство	Ранжир ДДЗ	Значення забруднювачів стічних вод	Підвищення ступеня агрегування обладнання водоочищення за рахунок методу ДДЗ (за ключовими забруднювачами)
Виробництва побутової хімії	1. СПАР 2. Сухий залишок	СПАР – до 8700 мг/л Азот амонійний – до 90 мг/л ХСК – до 1500 мгО ₂ /л Сухий залишок – до 2200 мг/л	біля 50%
Мясопереробне підприємство	1. Азот амонійний 2. Завислі частинки 3. Хлориди	Азот амонійний – до 60 мг/л Фосфор – до 15 мг/л Хлориди – до 2500 мг/л Завислі частинки – 4500 мг/л	біля 25%
Деревопереробне підприємство	1. Формальдегід 2. Азот амонійний	Формальдегід – до 20 мг/л Азот амонійний – до 100 мг/л Завислі частинки – до 1500 мг/л	біля 25%
Підприємство малої металургії	1. СПАР 2. Свинець	СПАР – до 10 мг/л Свинець – до 0,05 мг/л Завислі частинки – до 400 мг/л	біля 25%

Примітка: Підвищення ступеня агрегування обладнання водоочищення завдяки методу ДДЗ за іншими забруднювача (наприклад, згідно Наказу № 316 Мінрегіонрозвитку та ЖКГ України) сягатиме порядку 75-85 %.

Для реалізації технічного регулювання процесів водоочищення такими підприємствами (див. табл. 3.13) через реалізацію агрегування на основі методу ДДЗ застосували підходи нечітких нейронних мереж (ННМ) [28, 32, 34, 59, 120, 183] із використанням алгоритму зворотнього розповсюдження похибки. Він навчання включає такі кроки [76]:

1. Задаються деякі η ($0 < \eta < 1$), E_{max} і деяка мала випадкова вага w_i мережі.

2. Задаються $k = 1$ і $E = 0$.

3. Вводиться чергова навчальна пара (x^k, y^k) . Вводяться позначення:

$$x := x^k, \quad y := y^k, \quad (3.51)$$

і обчислюється величина виходу мережі:

$$O = \frac{1}{1 + e^{-W^T o}}, \quad (3.52)$$

де: W – вектор вагів вихідного нейрона, o^k – вектор виходів нейронів прихованого шару з елементами:

$$o_i = \frac{1}{1 + e^{-w_i^T x}}, \quad (3.53)$$

w_i позначає вектор вагів, пов'язаних з i -м прихованим нейроном, $i = 1, 2, \dots, L$.

4. Проводиться коректування терезів вихідного нейрона:

$$W := W + \eta \delta o, \quad (3.54)$$

$$\text{де: } \delta = (y - O)O(1 - O). \quad (3.55)$$

5. Коректується вага нейронів прихованого шару:

$$w_i := w_i + \eta \delta W_i o_i (1 - o_i), \quad i = 1, 2, \dots, L. \quad (3.56)$$

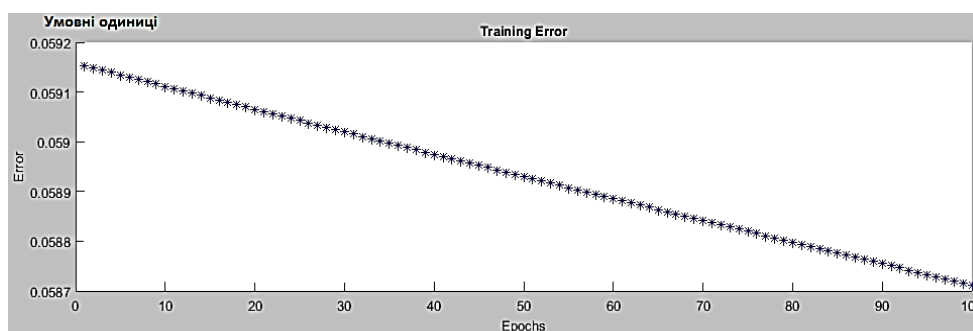
6. Коректується (нарощується) значення функції похибки:

$$E := E + \frac{1}{2} (y - o)^2. \quad (3.57)$$

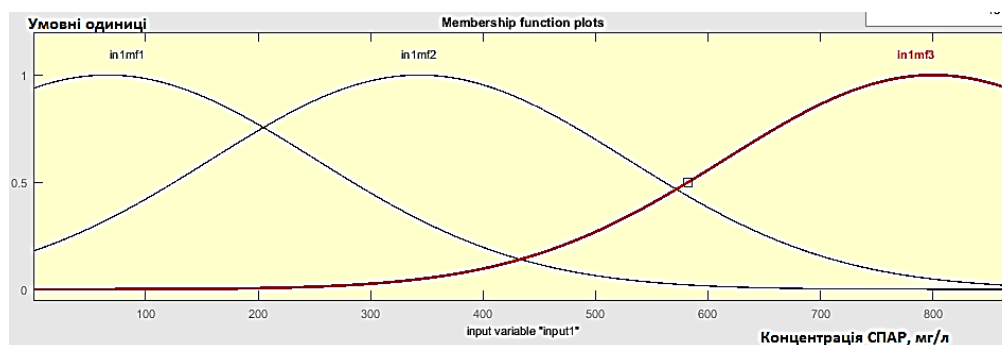
Якщо $k < N$, тоді $k := k + 1$ і перехід до кроку 3, у протилежному випадку перехід на крок 8.

7. Завершення циклу навчання. Якщо $E < E_{max}$, то закінчення всієї процедури навчання. Якщо $E \geq E_{max}$, тоді починається новий цикл навчання з переходом до кроку 2.

Результатом застосування НМ (з подальшою реалізацією алгоритму Сугено) для отримання нових знань щодо технічного регулювання процесами водоочищення на досліджуваних підприємствах стали: функції приналежності, які структурують значення забруднювачів за визначення залежності ранжиру ДДЗ від їх значень (рис. 3.44 – 3.47) – вибирались за критерієм «мінімальна похибка навчання»; бази знань щодо формування в режимі реального часу ранжиру ДДЗ (рис. 3.48, Додаток С).



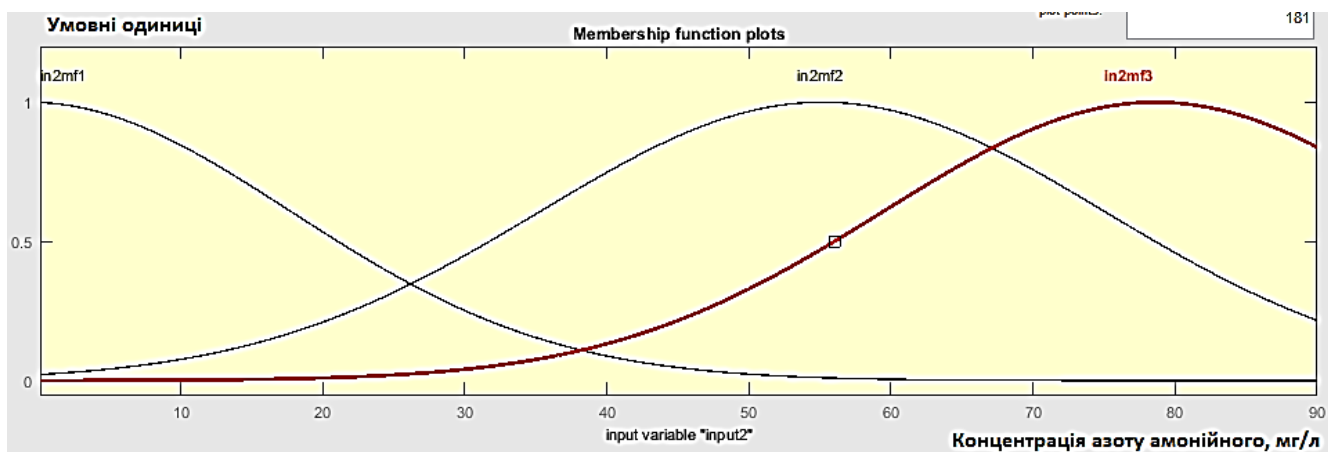
А)



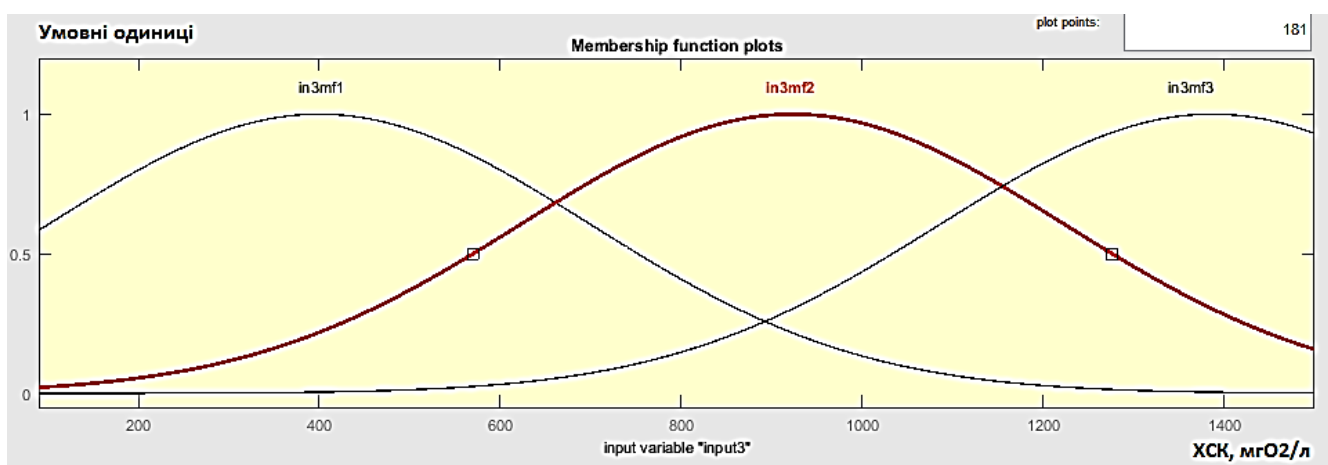
Б)

А – перевірка на адекватність, згідно середньоквадратичної похибки, процесу створення функцій приналежності та бази знань; Б – Д – функції приналежності параметрів забруднення стоків

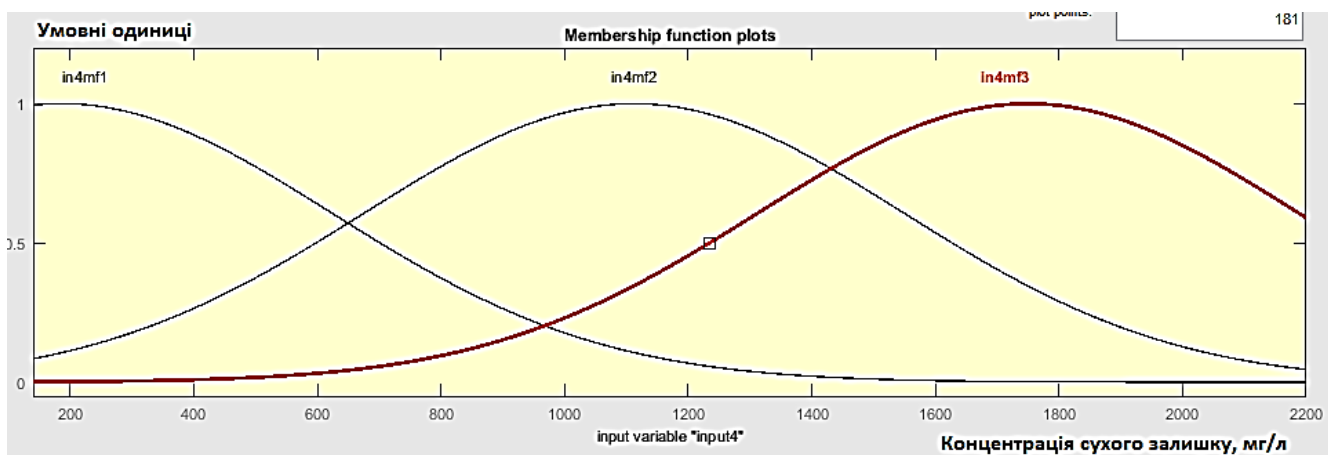
Рисунок 3.44 – Функції приналежності забруднювачів за визначення ранжиру ДДЗ очищення стічних вод підприємства виробництва побутової хімії



В)

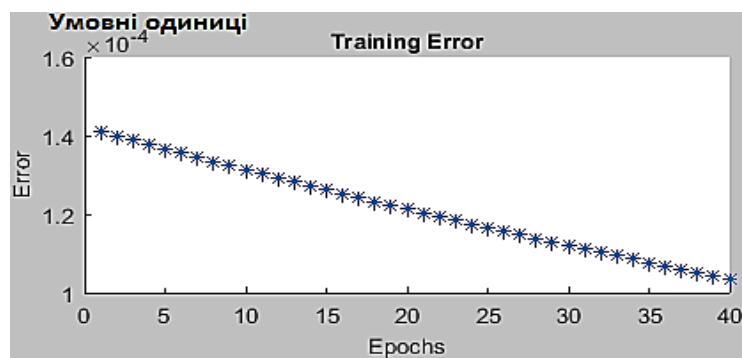


Г)

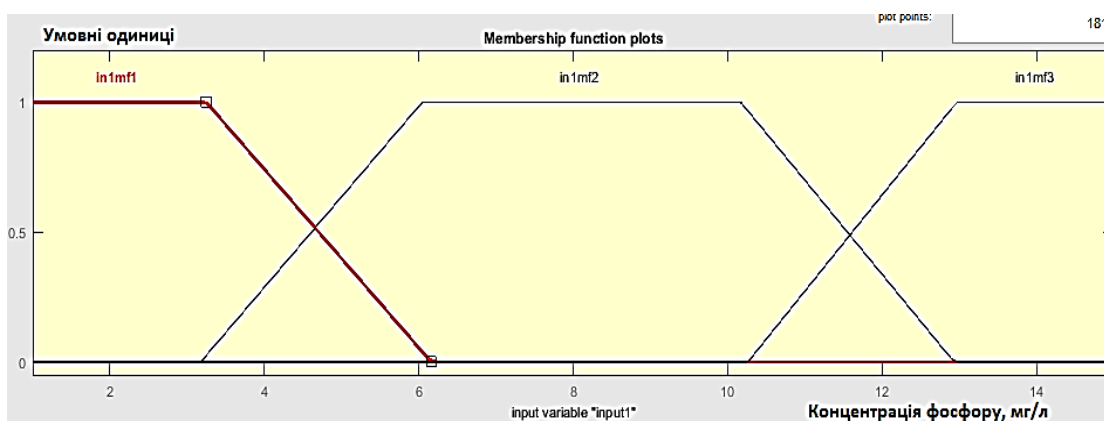


Д)

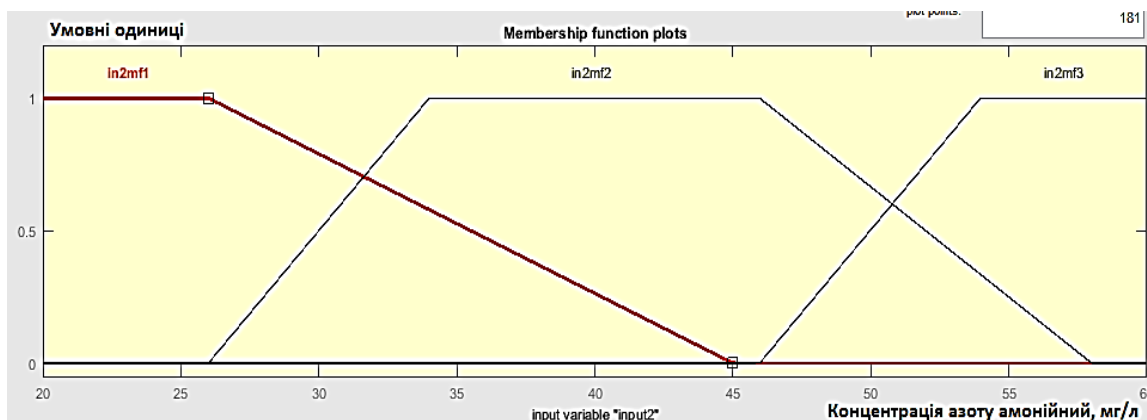
Рисунок 3.44, аркуш 2



А)



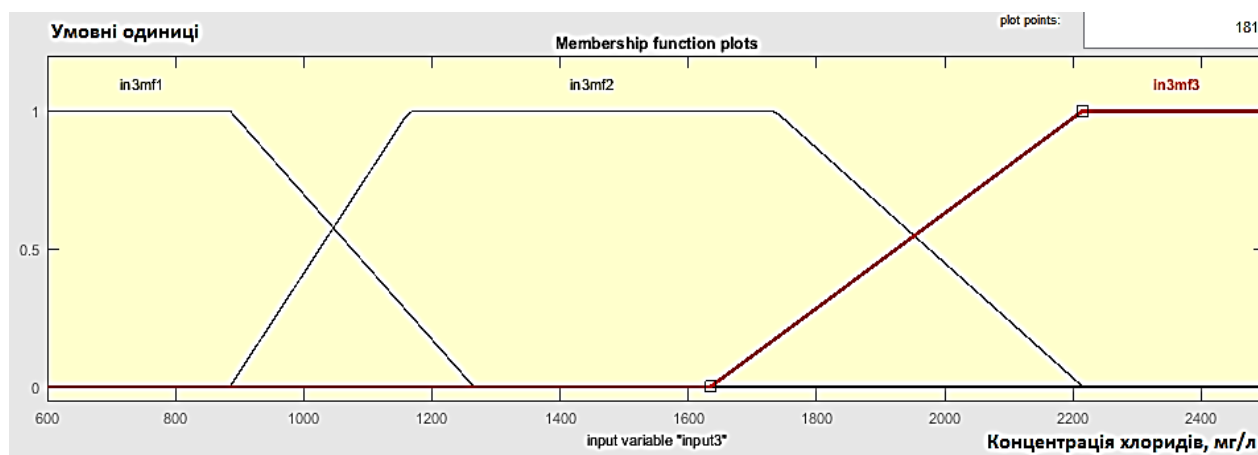
Б)



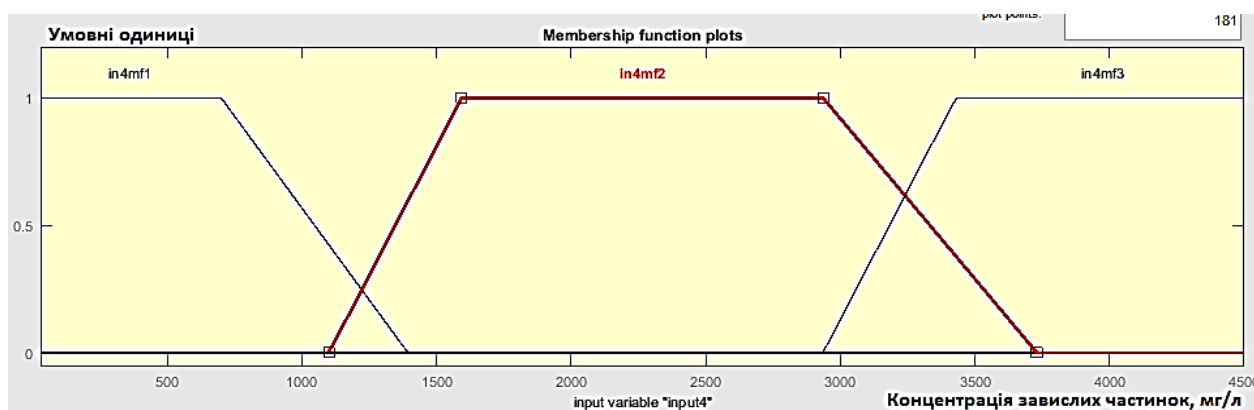
В)

А – перевірка на адекватність, згідно середньоквадратичної похибки, процесу створення функцій приналежності та бази знань; Б – Д – функції приналежності параметрів забруднення стоків

Рисунок 3.45 – Функції приналежності забруднювачів за визначення ранжиру ДДЗ очищення стічних вод підприємства м'ясопереробки

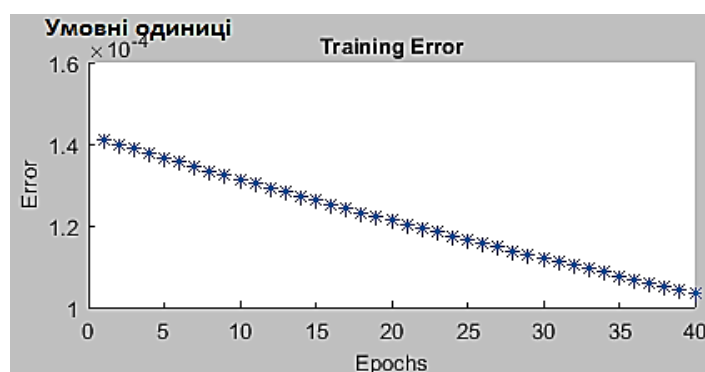


Г)



Д)

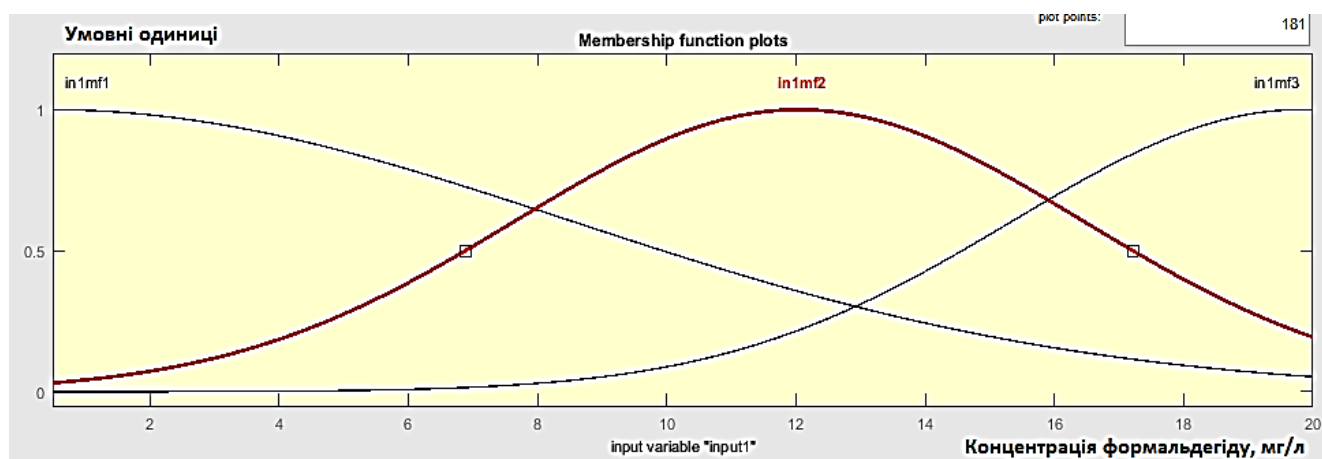
Рисунок 3.45, аркуш 2



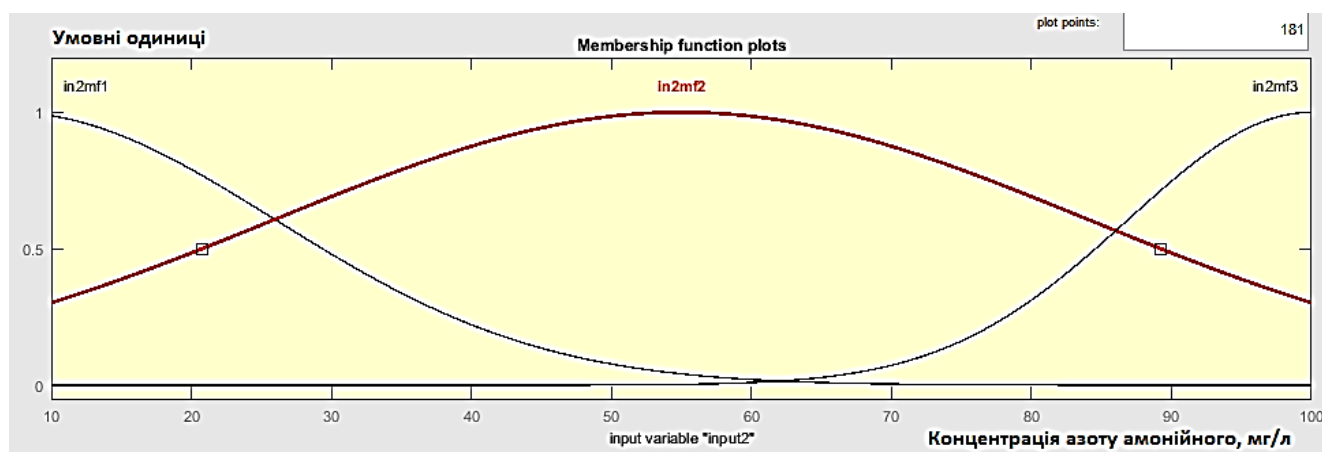
А)

А – перевірка на адекватність, згідно середньоквадратичної похибки, процесу створення функцій приналежності та бази знань; Б – Г – функції приналежності параметрів забруднення стоків

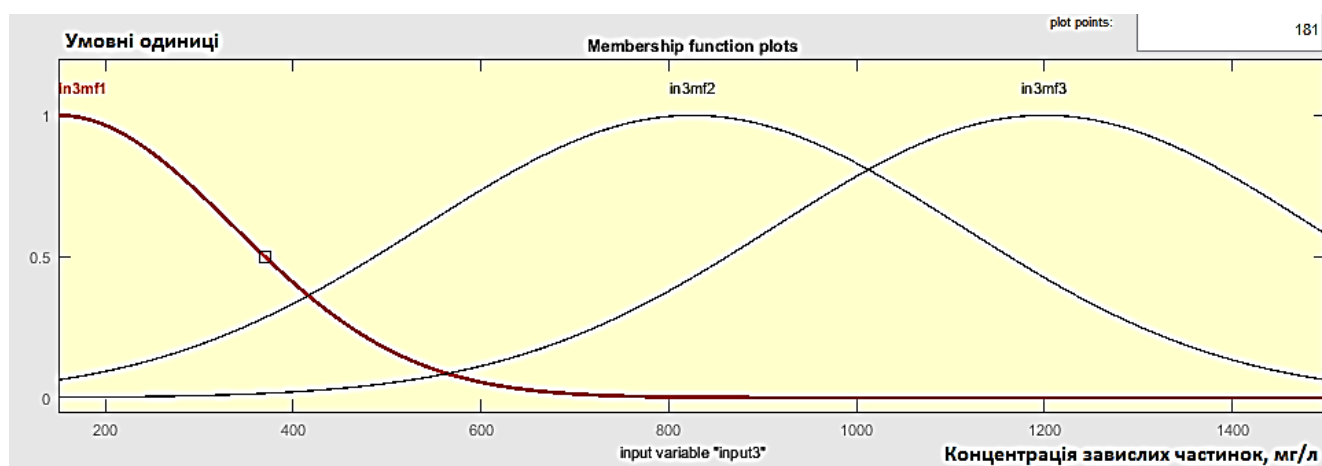
Рисунок 3.46 – Функції приналежності забруднювачів за визначення ранжиру ДДЗ очищення стічних вод підприємства деревопереробки



Б)

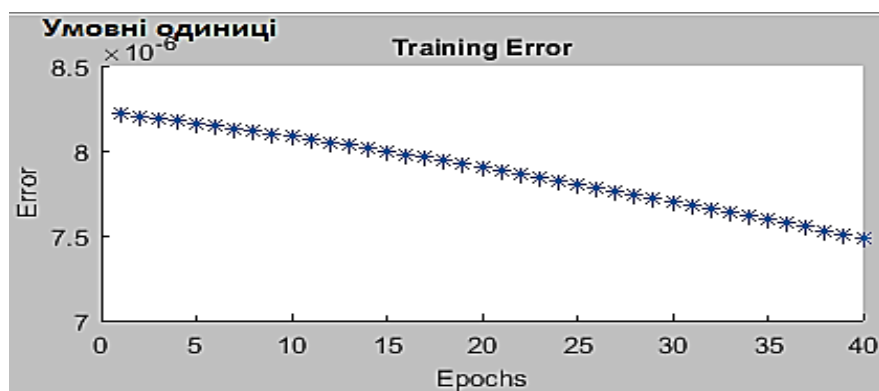


В)

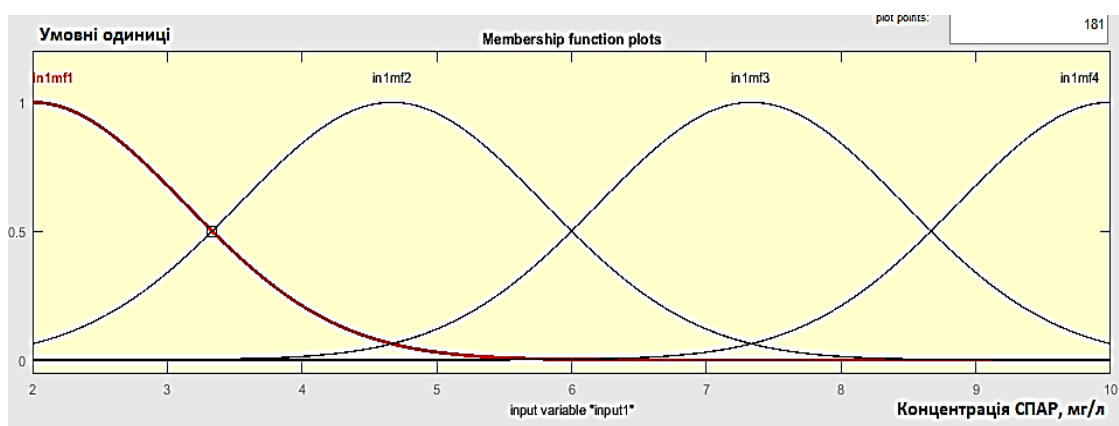


Г)

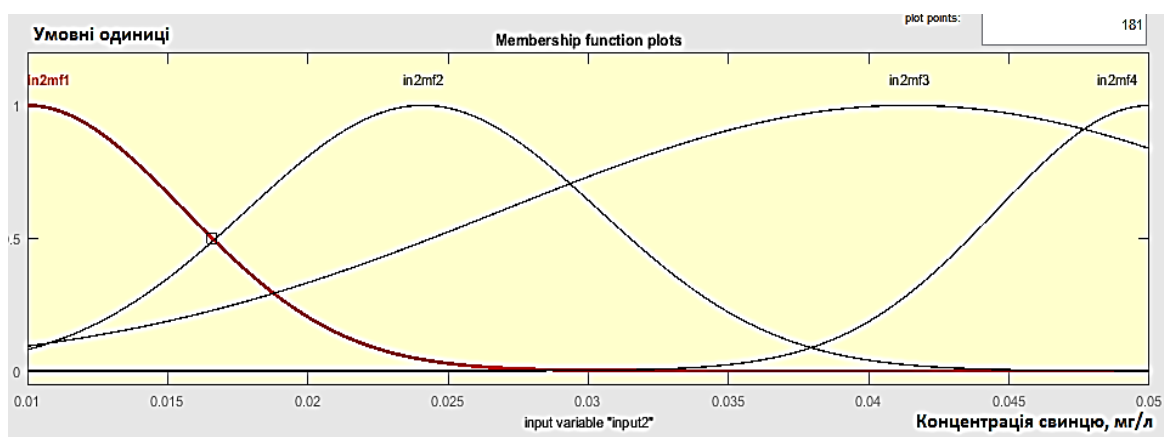
Рисунок 3.46, аркуш 2



А)



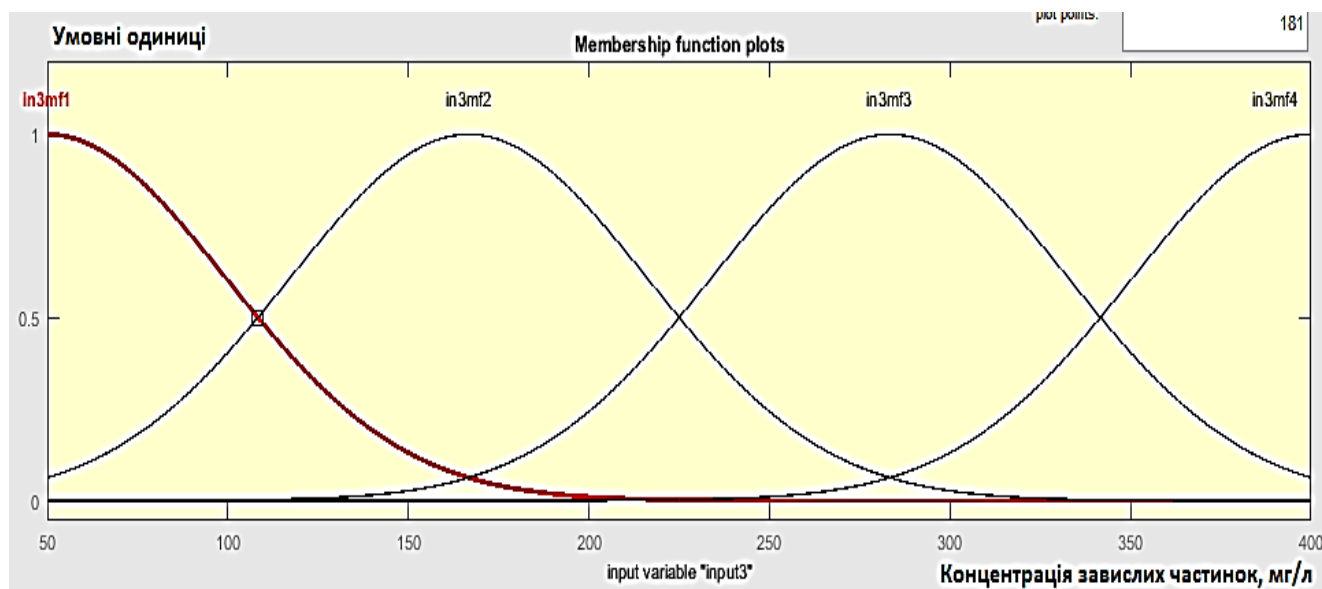
Б)



В)

А – перевірка на адекватність, згідно середньоквадратичної похибки, процесу створення функцій приналежності та бази знань; Б – Г – функції приналежності параметрів забруднення стоків

Рисунок 3.47 – Функції приналежності забруднювачів за визначення ранжиру ДДЗ очищення стічних вод підприємства малої металургії



Г)

Рисунок 3.47, аркуш 3

1. If (input1 is in1mf1) and (input2 is in2mf1) and (input3 is in3mf1) and (input4 is in4mf1) then (output is out1mf1) (1)
2. If (input1 is in1mf1) and (input2 is in2mf1) and (input3 is in3mf1) and (input4 is in4mf2) then (output is out1mf2) (1)
3. If (input1 is in1mf1) and (input2 is in2mf1) and (input3 is in3mf1) and (input4 is in4mf3) then (output is out1mf3) (1)
4. If (input1 is in1mf1) and (input2 is in2mf1) and (input3 is in3mf2) and (input4 is in4mf1) then (output is out1mf4) (1)
5. If (input1 is in1mf1) and (input2 is in2mf1) and (input3 is in3mf2) and (input4 is in4mf2) then (output is out1mf5) (1)
6. If (input1 is in1mf1) and (input2 is in2mf1) and (input3 is in3mf2) and (input4 is in4mf3) then (output is out1mf6) (1)
7. If (input1 is in1mf1) and (input2 is in2mf1) and (input3 is in3mf3) and (input4 is in4mf1) then (output is out1mf7) (1)
8. If (input1 is in1mf1) and (input2 is in2mf1) and (input3 is in3mf3) and (input4 is in4mf2) then (output is out1mf8) (1)
9. If (input1 is in1mf1) and (input2 is in2mf1) and (input3 is in3mf3) and (input4 is in4mf3) then (output is out1mf9) (1)
10. If (input1 is in1mf1) and (input2 is in2mf2) and (input3 is in3mf1) and (input4 is in4mf1) then (output is out1mf10) (1)
11. If (input1 is in1mf1) and (input2 is in2mf2) and (input3 is in3mf1) and (input4 is in4mf2) then (output is out1mf11) (1)
12. If (input1 is in1mf1) and (input2 is in2mf2) and (input3 is in3mf1) and (input4 is in4mf3) then (output is out1mf12) (1)
13. If (input1 is in1mf1) and (input2 is in2mf2) and (input3 is in3mf2) and (input4 is in4mf1) then (output is out1mf13) (1)
14. If (input1 is in1mf1) and (input2 is in2mf2) and (input3 is in3mf2) and (input4 is in4mf2) then (output is out1mf14) (1)
15. If (input1 is in1mf1) and (input2 is in2mf2) and (input3 is in3mf2) and (input4 is in4mf3) then (output is out1mf15) (1)
16. If (input1 is in1mf1) and (input2 is in2mf2) and (input3 is in3mf3) and (input4 is in4mf1) then (output is out1mf16) (1)
17. If (input1 is in1mf1) and (input2 is in2mf2) and (input3 is in3mf3) and (input4 is in4mf2) then (output is out1mf17) (1)

А)

А – для підприємств м'ясопереробки та виробництва побутової хімії; Б – для підприємств дерево переробки та малої металургії

Рисунок 3.48 – Формати баз знань щодо формування в режимі реального часу ранжиру ДДЗ (індексована нотація FIS-Editor Matlab, деталізація та розшифровка позначень представлені в Додатку С)

1. If (input1 is in1mf1) and (input2 is in2mf1) and (input3 is in3mf1) then (output is out1mf1) (1)
2. If (input1 is in1mf1) and (input2 is in2mf1) and (input3 is in3mf2) then (output is out1mf2) (1)
3. If (input1 is in1mf1) and (input2 is in2mf1) and (input3 is in3mf3) then (output is out1mf3) (1)
4. If (input1 is in1mf1) and (input2 is in2mf1) and (input3 is in3mf4) then (output is out1mf4) (1)
5. If (input1 is in1mf1) and (input2 is in2mf2) and (input3 is in3mf1) then (output is out1mf5) (1)
6. If (input1 is in1mf1) and (input2 is in2mf2) and (input3 is in3mf2) then (output is out1mf6) (1)
7. If (input1 is in1mf1) and (input2 is in2mf2) and (input3 is in3mf3) then (output is out1mf7) (1)
8. If (input1 is in1mf1) and (input2 is in2mf2) and (input3 is in3mf4) then (output is out1mf8) (1)
9. If (input1 is in1mf1) and (input2 is in2mf3) and (input3 is in3mf1) then (output is out1mf9) (1)
10. If (input1 is in1mf1) and (input2 is in2mf3) and (input3 is in3mf2) then (output is out1mf10) (1)
11. If (input1 is in1mf1) and (input2 is in2mf3) and (input3 is in3mf3) then (output is out1mf11) (1)
12. If (input1 is in1mf1) and (input2 is in2mf3) and (input3 is in3mf4) then (output is out1mf12) (1)
13. If (input1 is in1mf1) and (input2 is in2mf4) and (input3 is in3mf1) then (output is out1mf13) (1)
14. If (input1 is in1mf1) and (input2 is in2mf4) and (input3 is in3mf2) then (output is out1mf14) (1)
15. If (input1 is in1mf1) and (input2 is in2mf4) and (input3 is in3mf3) then (output is out1mf15) (1)
16. If (input1 is in1mf1) and (input2 is in2mf4) and (input3 is in3mf4) then (output is out1mf16) (1)
17. If (input1 is in1mf2) and (input2 is in2mf1) and (input3 is in3mf1) then (output is out1mf17) (1)

Б)

Рисунок 3.48, аркуш 2

3.6. Методологія удосконалення науково-теоретичних засад управління екологічною безпекою промислового водоочищення

Налаштування систем промислового водоочищення з використанням міри здійснюється згідно з ДБН В.2.5-75:2013 та документів, які деталізують вибір технологічних параметрів та режимів роботи водоочисного обладнання [6, 47, 73, 267].

Водночас, із врахуванням номенклатури обладнання ВМЕВ, початково умовно здійснимо поділ обладнання на (рис. 3.49):

- таке, що використовує електроенергію для впливу на забруднювачі;
- таке, що використовує електроенергію для виконання допоміжних функцій.

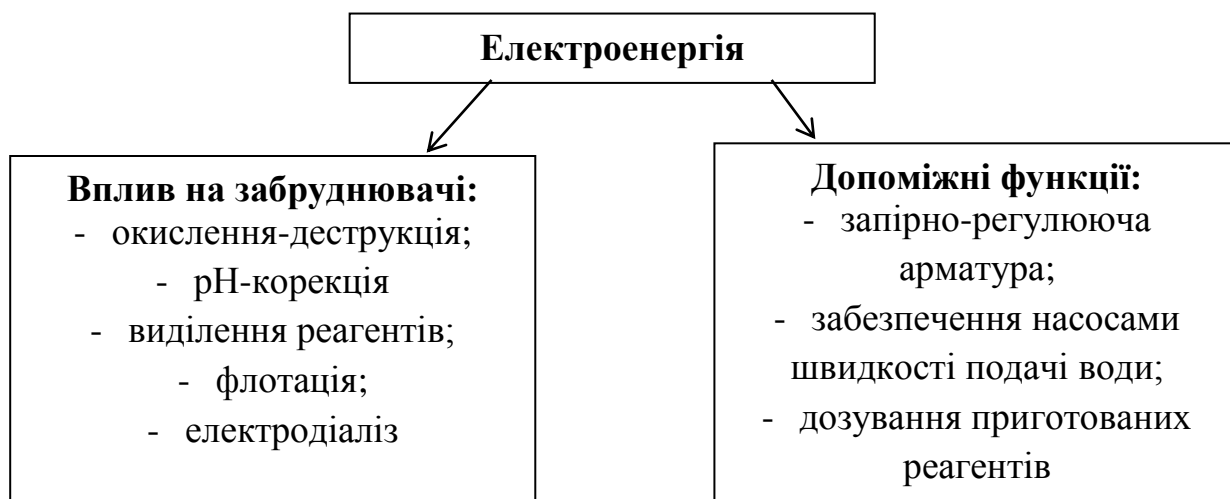


Рисунок 3.49 – Приклад поділу використання електроенергії промисловими системами водоочищення

Стосовно обладнання, яке використовує електроенергію для безпосереднього впливу на забруднювачі, то для налаштування використовуються нормативні залежності та імітаційним шляхом отриманий ефект водоочищення за мінімальних затрат на його досягнення (еколого-енергетичний критерій 2.8) в перерахунку на продукти, які отримуються та діють на забруднювачі (рис. 3.50).

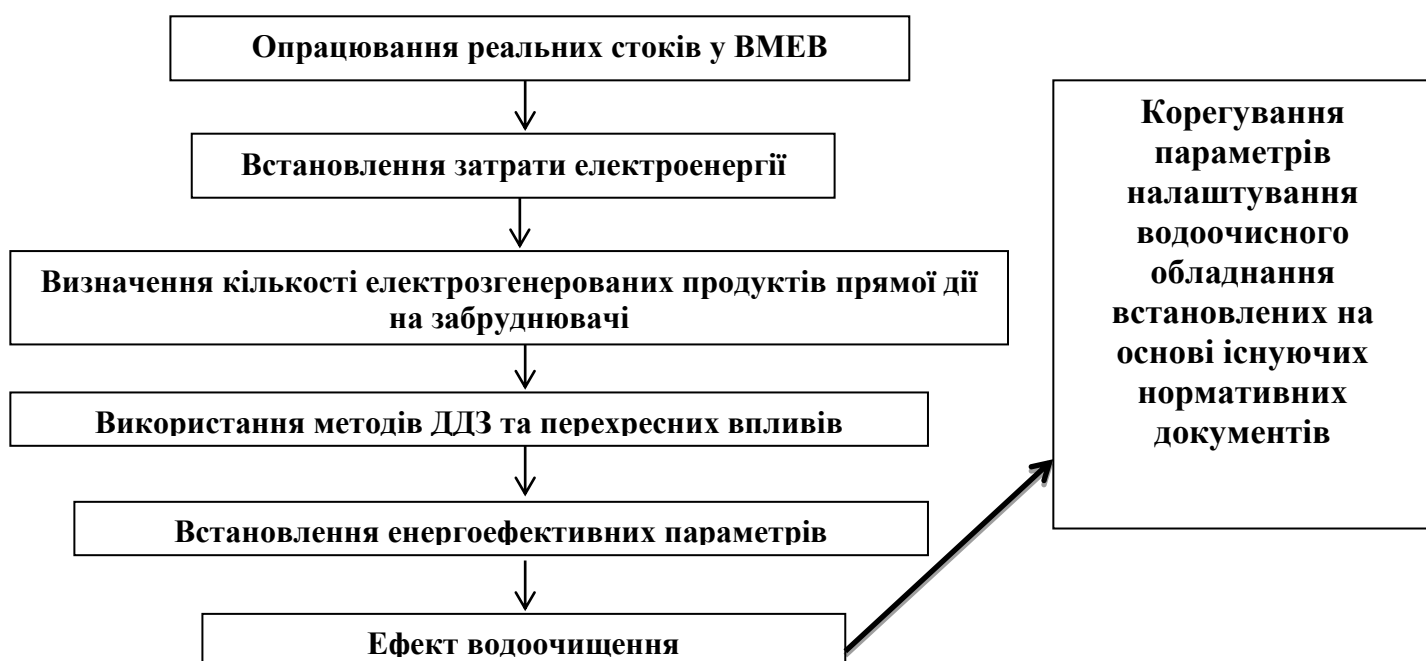


Рисунок 3.50 – Структура налаштування водоочисного обладнання згідно ВМЕВ (за умовно прямої дії електроенергії на забруднювачі)

Перерахунок від енергетичних витратних показників виконується згідно із залежностями ДБН В.2.5-75:2013 та іншими базовими дослідженнями (табл. 3.14).

Послідовність опрацювання результатів використання ВМЕВ така:

1. Облік поелементних електровитрат.
2. Розрахунок витрат електроенергії на нагрів води [23, 268]:

$$P = Q \cdot (T_1 - T_2) \cdot 0,073 \quad (3.58)$$

де: P – потужність (кВт); Q – витрати води (л/м); T_1 – температура вихідної рідини ($^{\circ}\text{C}$); T_2 – температура вхідної рідини ($^{\circ}\text{C}$).

3. Встановлення різниці між загальними затратами електроенергії та витратами на нагрів.

4. Розрахунок виділених продуктів електролізних процесів згідно із законом Фарадея.

Таблиця 3.14 – Перерахунок електроенергетичних витрат ВМЕВ у електрозгенеровані продукти прямої дії

Елемент ВМЕВ	Кількісний показник продукт прямої дії	Спосіб встановлення кількості продукту прямої дії (через електроенергетичні показники)
Компресори	Кількість повітря	Паспортні дані компресора
Електрокоагулятор (рН-коректор)	Кількість реагенту (металу)	Закон Фарадея: $M = k \cdot I \cdot t$
	Кількість аніонів та катіонів	Закон Фарадея: $M = k \cdot I \cdot t$
Електрохімічні окислювачі	Кількість атомарних кисню та водню	Закон Фарадея: $M = k \cdot I \cdot t$

Примітка: M – маса отриманого продукту, k – електрохімічний еквівалент,

I – сила струму, t – час протікання реакцій.

Для електрокоагулятора (рН-коректора): спочатку масу виділеного металу; потім показники виділених електролізних газів.

Для електрохімічних окислювачів (з врахуванням інертності графітового анода): значення показників виділених електролізних газів.

Для виділення катіонітів та аніонітів: прямий перерахунок через закон Фарадея (потрібна загальна кількість носіїв зарядів).

5. Зводиться загальна статистика енерговитрат, продуктів прямої дії на забруднювачі (згідно з табл. 3.14) та ефекту водоочищення.

6. Проводиться декомпозиція витрат та ефекту водоочищення для кожного окремого функціонального елемента – встановлюється інфографіка, на якому етапові було досягнуто ГДК та скільки ресурсів було для цього затрачено.

7. Формується об'єктноорієнтована база даних параметрів енергоефективного водоочищення для конкретної промислового водоочищення системи

Алгоритм вибору параметрів водоочисного обладнання з використанням ВМЕВ включатиме ряд етапів об'єктноорієнтованої прив'язки енергоефективності режимів до конкретного завдання (рис. 3.51), між тим вибір типу та номенклатури обладнання водоочищення виконується згідно з методами перехресних впливів (пункт 2.2) та ДДЗ пункту 3.5.

Наприклад, якщо у якості реагенту використовувати не електрозгенеровані гідроксиди заліза, а гленозем, то доза останнього має бути у 12,3 разів більша. У випадку відсутності аналітичних виразів перерахунку доцільно провести деякі експерименти з використанням ВМЕВ – відключивши певні технологічні блоки або/і доповнивши новими (насосами дозаторами реагентів, наприклад). Відкрита архітектура міри дає таку можливість.

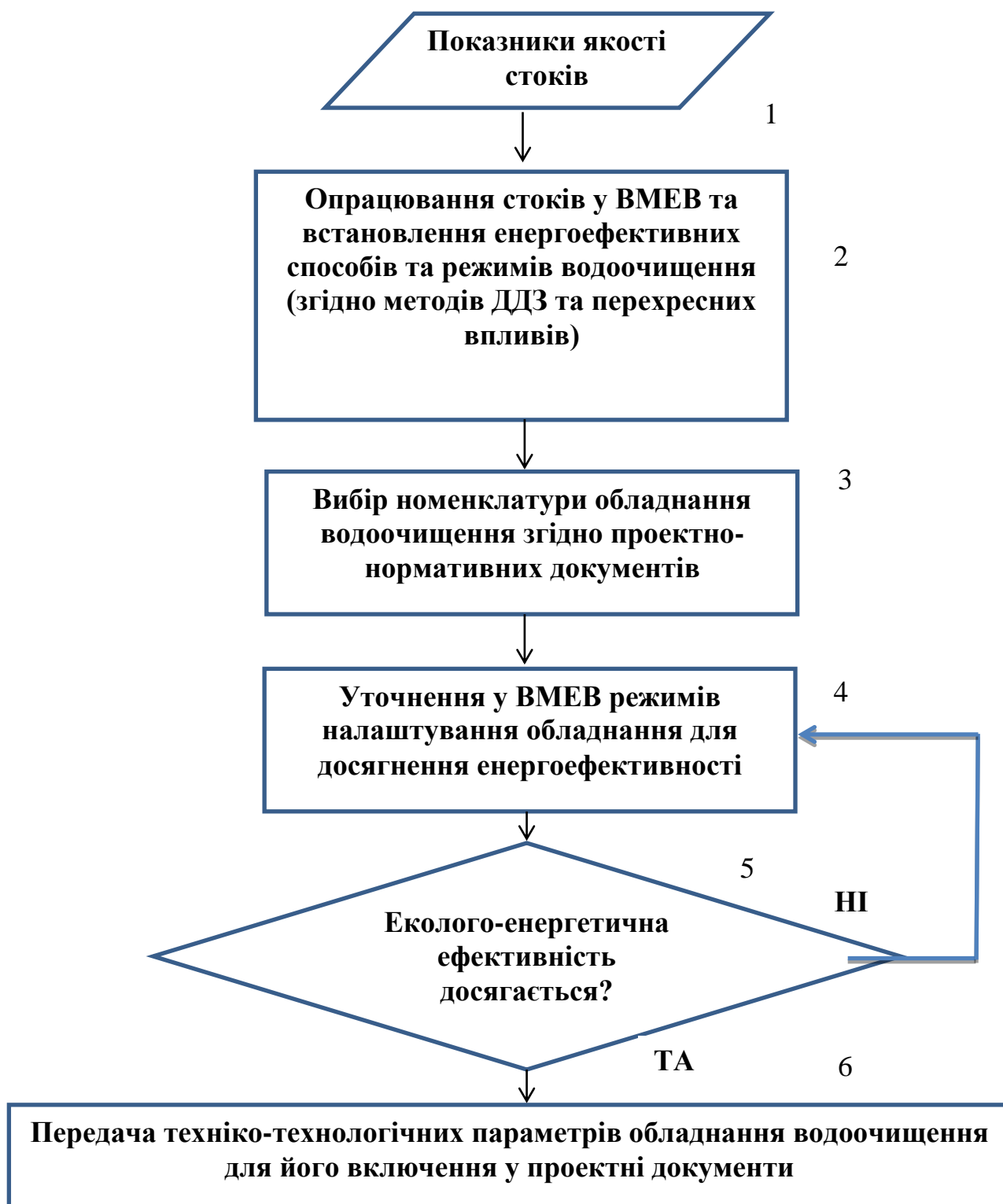


Рисунок 3.51 – Послідовність налаштування обладнання промислового водоочищення з використанням ВМЕВ (етап проектування)

Водночас експериментальні дослідження сумісного з ДДЗ видалення інших забруднювачів створили передумови щодо удосконалення підходів створення

інформаційно-вимірювальних систем (рис. 3.52): зменшують параметричну невизначеність; спрощують схеми вимірювальних систем внаслідок того, що потрібно використовувати меншу кількість вимірювальних каналів, відповідно, підвищується швидкодія та надійність отримання результатів вимірювань.

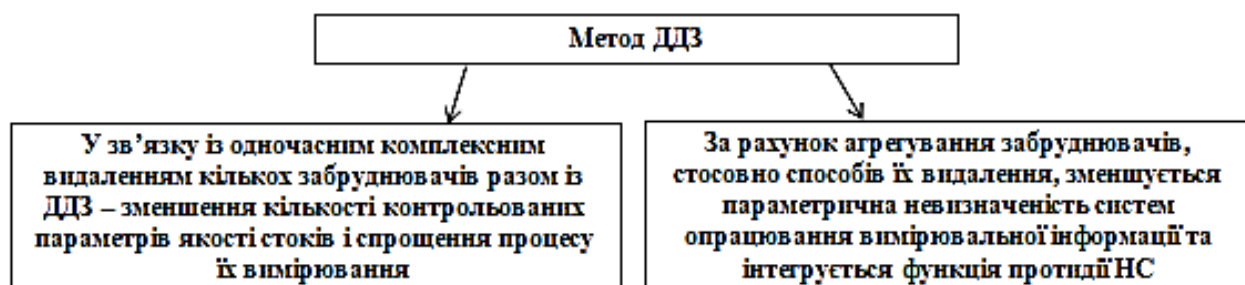


Рисунок 3.52 – Вплив методу ДДЗ на процес вимірювання показників якості стоків

Тоді створюємо методику формування переліку вимірювальних каналів технологій водоочищення на основі інтегрованого видалення ДДЗ та супутніх забруднювачів (рис. 3.53).

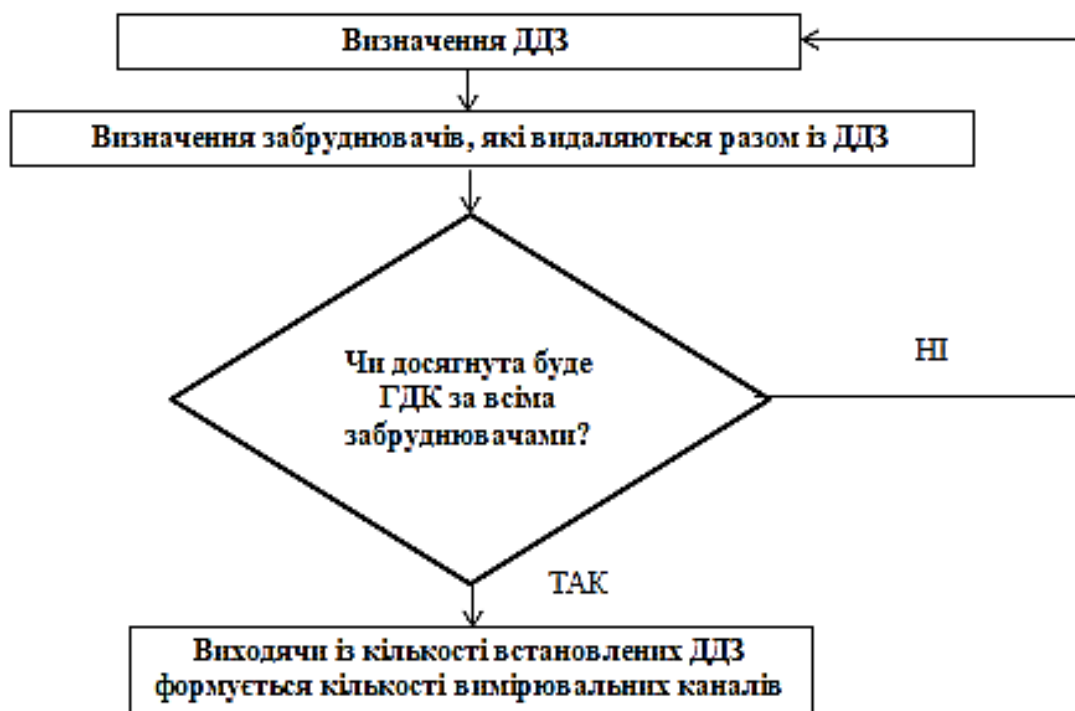


Рисунок 3.53 – Визначення на основі ДДЗ кількості вимірювальних каналів промислового водоочищення

Наприклад, для м'ясопереробного підприємства зменшується у фактично 3 рази кількість показників якості стоків, які необхідно контролювати в режимі реального часу: жири, хлориди, азот амонійний.

Водночас встановлення характеру взаємозв'язків, для корегування коефіцієнтів формул нормативних документів, реалізовується на основі формалізованого підходу до вибору структури статичних моделей на базі алгебраїчних поліномів.

Із використанням ВМЕВ, сформувавши набори реальних даних впливу незалежного фактора X_i на вихід моделі Y_i (енергоефективність), за допомогою використання пакету прикладних програм «Matlab» є можливість оперативного вибору виду математичної моделі та розрахунку похибки ідентифікації.

Пропонується три варіанти вигляду математичних моделей об'єкта, що обираються в залежності від похибки ідентифікації.

1. Ряд Фур'є – сума синусоїдальних та косинусних функцій, що описує періодичний сигнал [36]:

$$Y = a_0 + \sum_{i=1}^n (a_i \cdot \cos(iwx) + b_i \cdot \sin(iwx)) \quad (3.59)$$

w – основна частота сигналу, n – кількість гармонік, $1 \leq n \leq 8$

2. Експоненціальна модель представлена в двох варіантах одновимірної і двовимірної [36]:

$$Y = a \cdot e^{b \cdot X} \quad (3.60)$$

$$Y = a \cdot e^{b \cdot X} + c \cdot e^{d \cdot X} \quad (3.61)$$

Експоненціальна модель часто використовуються, коли швидкість зміни величини пропорційна початковій величині кількості. Якщо коефіцієнт, пов'язаний з b і (або) d , негативний тоді вихід Y представляє експонентний спад, якщо коефіцієнт позитивний – Y представляє експоненціальне зростання.

3. Поліноміальна модель задається виразом [36]:

$$Y = \sum_{i=1}^{n+1} p_i X^{n+1-i} \quad (3.62)$$

$n + 1$ – це порядок полінома, n – ступінь поліноми, а $1 \leq n \leq 9$.

Похибка ідентифікації оцінюється за наступними показниками [36]:

- сума квадратів похибки:

$$SSE = \sum_{i=1}^n w_i (Y_i - \hat{Y}_i)^2 \quad (3.63)$$

Якщо коефіцієнт SSE приймає значення ближче до 0, це вказує на те, що математична модель має менший компонент випадкової похибки та придатна для використання.

- квадрат множинного коефіцієнта кореляції визначається як відношення суми квадратів регресії (SSR) і загальної суми квадратів (SST):

$$R^2 = SSR/SST \quad (3.64)$$

$SST = \sum_{i=1}^n w_i (Y_i - \bar{Y})^2$ – загальна сума квадратів; $SSR = \sum_{i=1}^n w_i (\hat{Y}_i - \bar{Y})^2$ – сума квадратів регресії; \bar{Y} – середнє значення вихідної змінної; \hat{Y} – значення вихідної змінної, знайдені за побудованим рівнянням регресії.

R^2 може мати будь-яке значення від 0 до 1. Якщо коефіцієнт R^2 приймає значення ближче до 1, це вказує на те, що більша частина дисперсії враховується моделлю і співвідношення між дійсними та прогнозованими значеннями вихідного параметру збігаються; його також називають коефіцієнтом множинного визначення.

Провівши з використанням ВМЕВ (фізичне та нейромережеве моделювання) дослідження очищення стоків м'ясопереробного підприємства, отримали залежність якості застосування електричної енергії («Енергоефективність») від енергетичного параметра «Сила струма» (рис. 3.54): інші вхідні параметри ВМЕВ цілеспрямовано не регулювались.

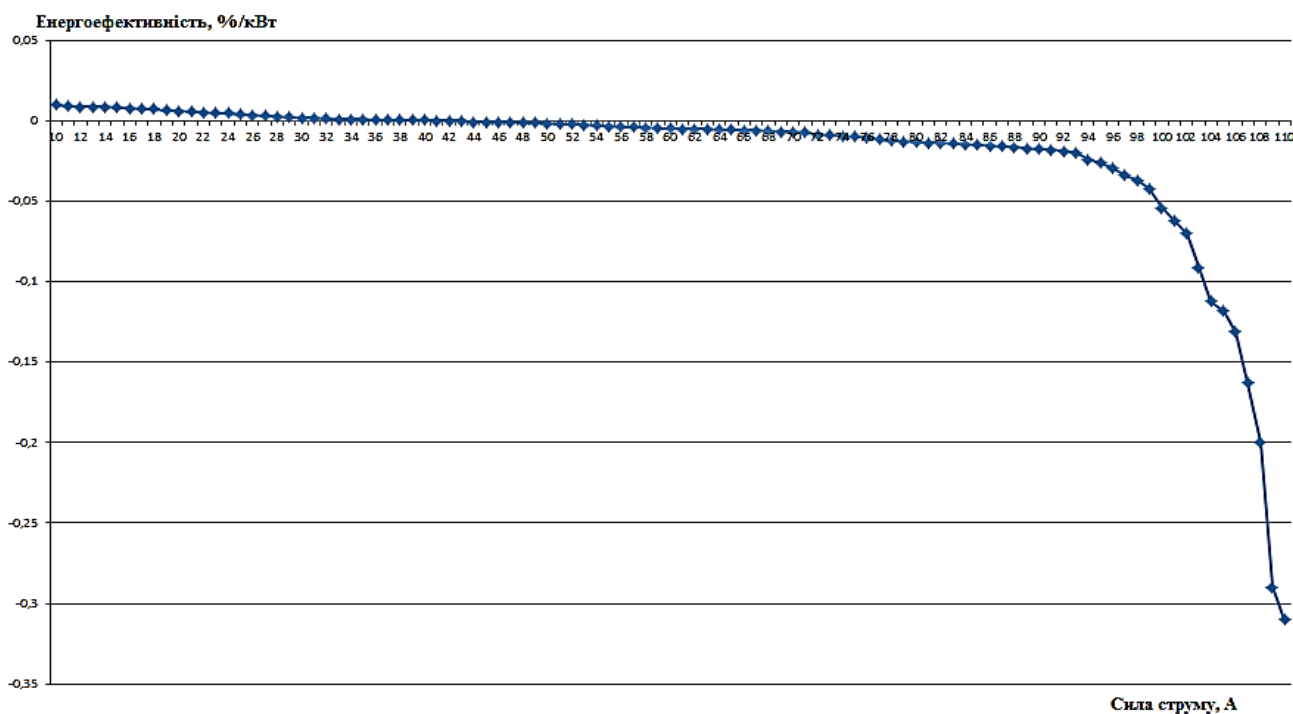


Рисунок 3.54 – Залежність енергоефективності очищення стоків м'ясопереробного підприємства від сили струму

Для ідентифікації об'єкта досліджень та отримання моделі залежності енергоефективності очищення стоків м'ясопереробного підприємства від сили струму застосовано три підходи:

1. Ряд Фур'є (рис. 3.55 – 3.57)

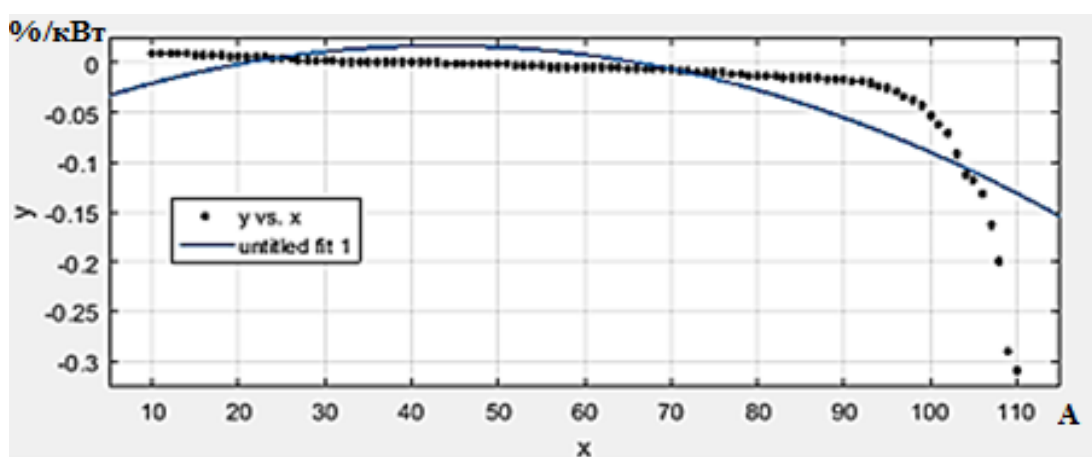


Рисунок 3.55 – Результати ідентифікації моделі ряду Фур'є за $n=1$ (похибки ідентифікації: $SSE = 0,109$, $R^2=0,612$)

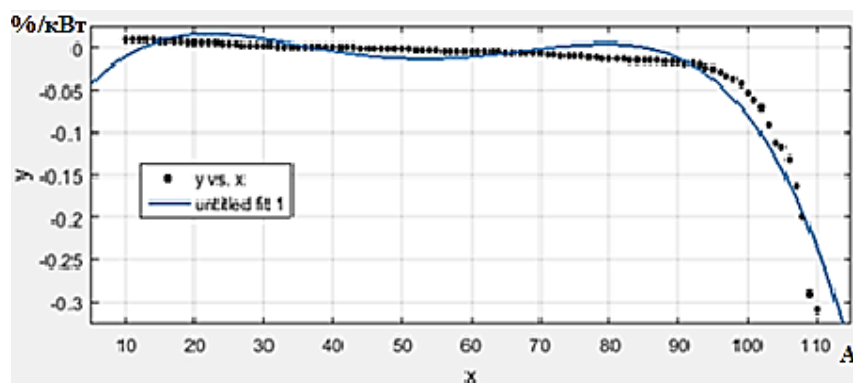


Рисунок 3.56 – Результати ідентифікації моделі ряду Фур'є за $n=2$ (похибки ідентифікації: $SSE = 0,027$, $R^2=0,905$)

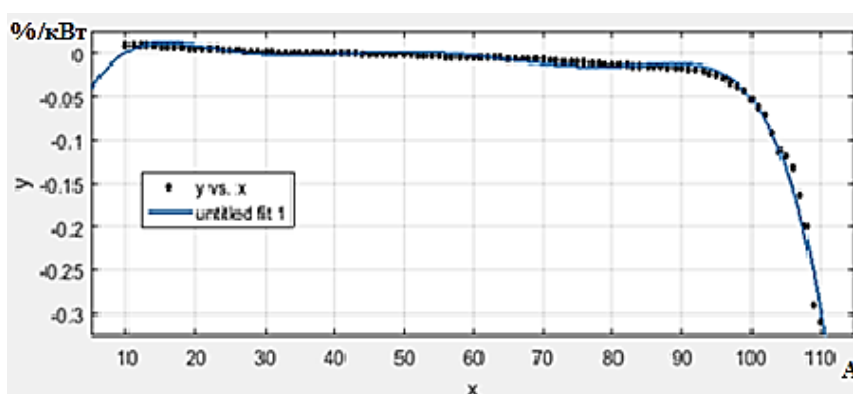


Рисунок 3.57 – Результати ідентифікації моделі ряду Фур'є за $n=3$ (похибки ідентифікації: $SSE = 0,0049$, $R^2=0,982$)

2. Експоненціальна модель (рис. 3.58, 3.59):

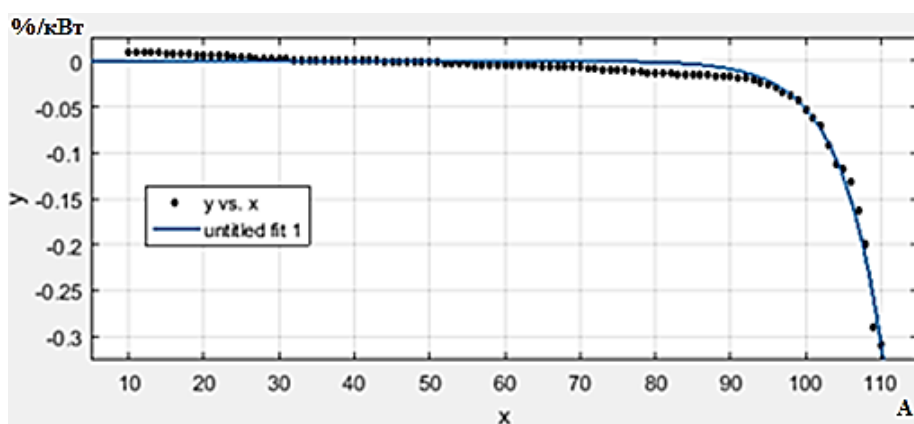


Рисунок 3.58 – Результати ідентифікації одновимірної експоненціальної моделі (похибки ідентифікації: $SSE = 0,0058$, $R^2=0,979$)

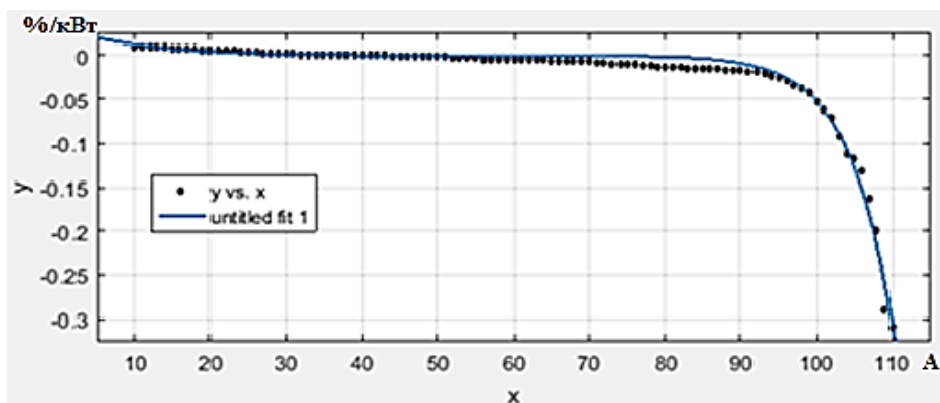


Рисунок 3.59 – Результати ідентифікації двовимірної експоненціальної моделі (похибки ідентифікації: $SSE = 0,0044$, $R^2=0,985$)

3. Поліноміальна модель (рис. 3.60 – 3.62):

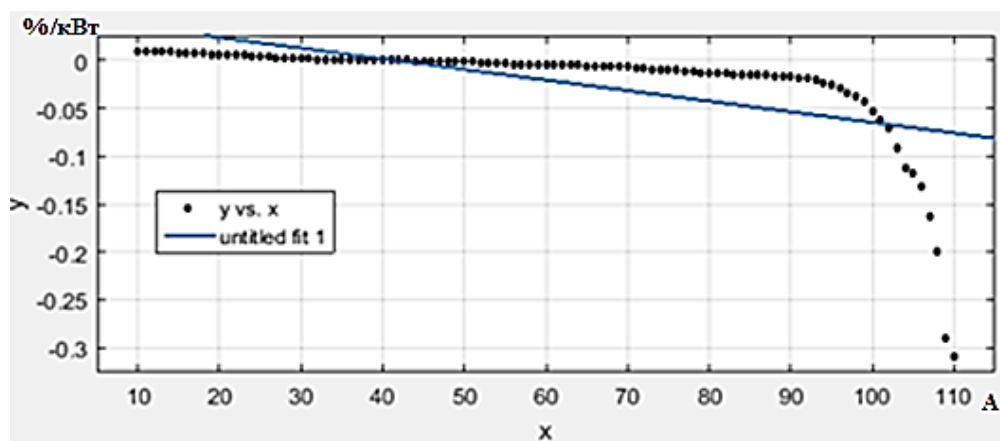


Рисунок 3.60 – Результати ідентифікації поліноміальної моделі першого порядку (похибки ідентифікації: $SSE = 0,1752$, $R^2=0,3753$)

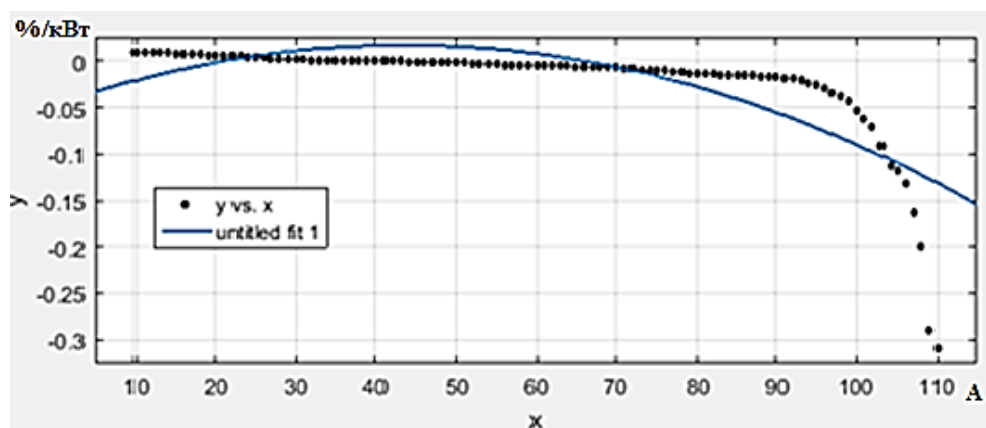


Рисунок 3.61 – Результати ідентифікації поліноміальної моделі другого порядку (похибки ідентифікації: $SSE = 0,109$, $R^2=0,6112$)

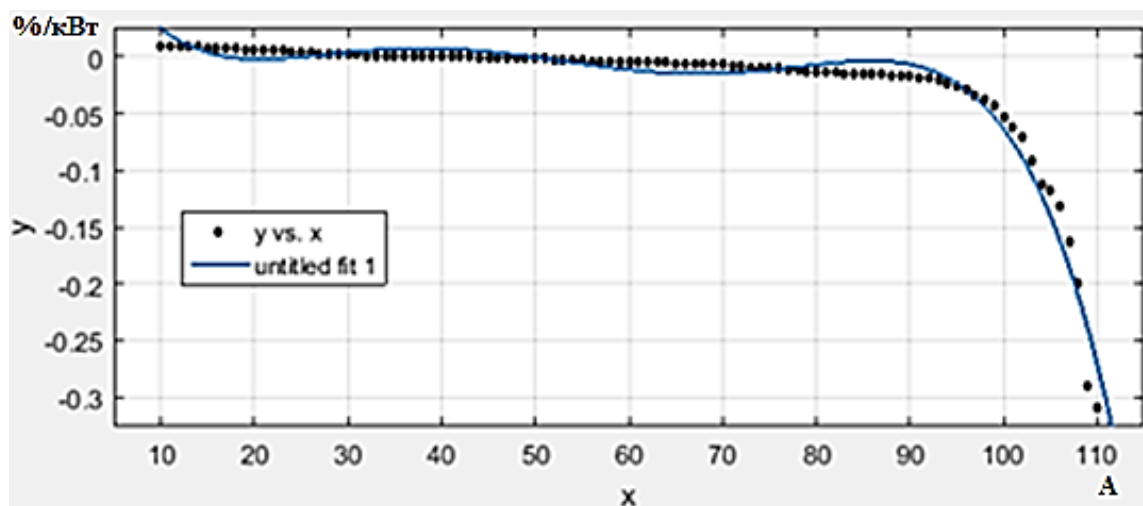


Рисунок 3.62 – Результати ідентифікації поліноміальної моделі п'ятого порядку (похибки ідентифікації: $SSE = 0,0109$, $R^2=0,961$)

Отже, за результатами імітаційного моделювання обираємо математичну модель із найменшою сумою квадратів похибки SSE та найбільшим квадратом множинного коефіцієнта кореляції – двовимірну експоненціальну модель другого порядку.

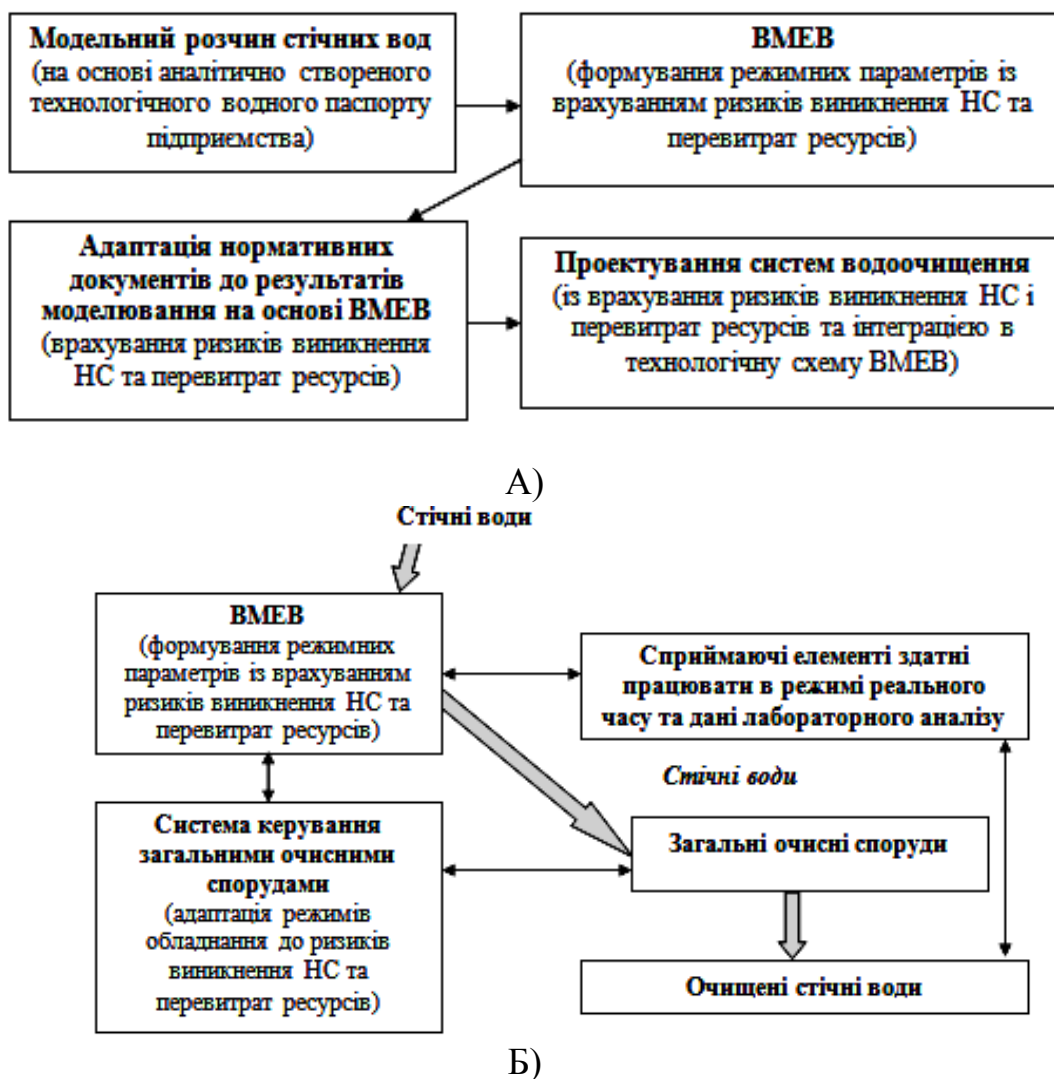
Коефіцієнти a , b , c , d – визначаємо з програми Matlab, відповідно, синтезована модель залежності енергоефективності очищення стоків м'ясопереробного підприємства від сили струму:

$$Y = -0,000001045 \cdot e^{0,1773 \cdot X} + 0,03325 \cdot e^{-0,0986 \cdot X} \quad (3.65)$$

Тобто (3.70) можна застосовувати для корегування залежностей наведених у нормативних документах, даючи можливість врахування НС, наприклад, ДБН В.2.5-75:2013, реалізуючи об'єктноорієнтовану концепцію проектування систем водоочищення м'ясопереробних підприємств із використанням ВМЕВ, методів ДДЗ та перехресних впливів.

ВМЕВ дозволяє отримувати функціональну залежність стану систем водоочищення від вхідних параметрів і отримувати функціонал реакцій на НС $F(X)$ (пункт 2.3) і, відповідно, прогнозувати ризики виникнення НС та перевитрат

ресурсів (2.8) як на етапі проектування, так і за штатного функціонування (рис. 3.63).



А – на етапі проектування, Б – за штатного функціонуванні обладнання
Рисунок 3.63 – Концепція використання ВМЕВ у разі удосконалення науково-технічних засад проектування та використання систем водоочищення

У запропонованій схемі (див. рис. 3.63) ВМЕВ виконує такі задачі:

- постійне корегування (адаптація) режимів основних очисних споруд методом порівняння якості стоків на їхньому виході з якістю стоків після проходження (опрацювання) у ВМЕВ із врахуванням ризиків виникнення НС та перевитрат ресурсів (частина опрацьованих стічних вод не більше 1 % від загального об'єму);

- корегування нормативної бази створення систем водоочищення із метою врахування на етапі проектування ризиків виникнення НС та перевитрат ресурсів у технологічних регламентах підприємств.

На рисунку 3.64 у вигляді блок-схеми представлена методика практичного використання ВМЕВ на промислових об'єктах з інтеграцією в її блок управління інформаційно-функціональної моделі, наприклад, на основі нечіткої когнітивної карти (НКК).

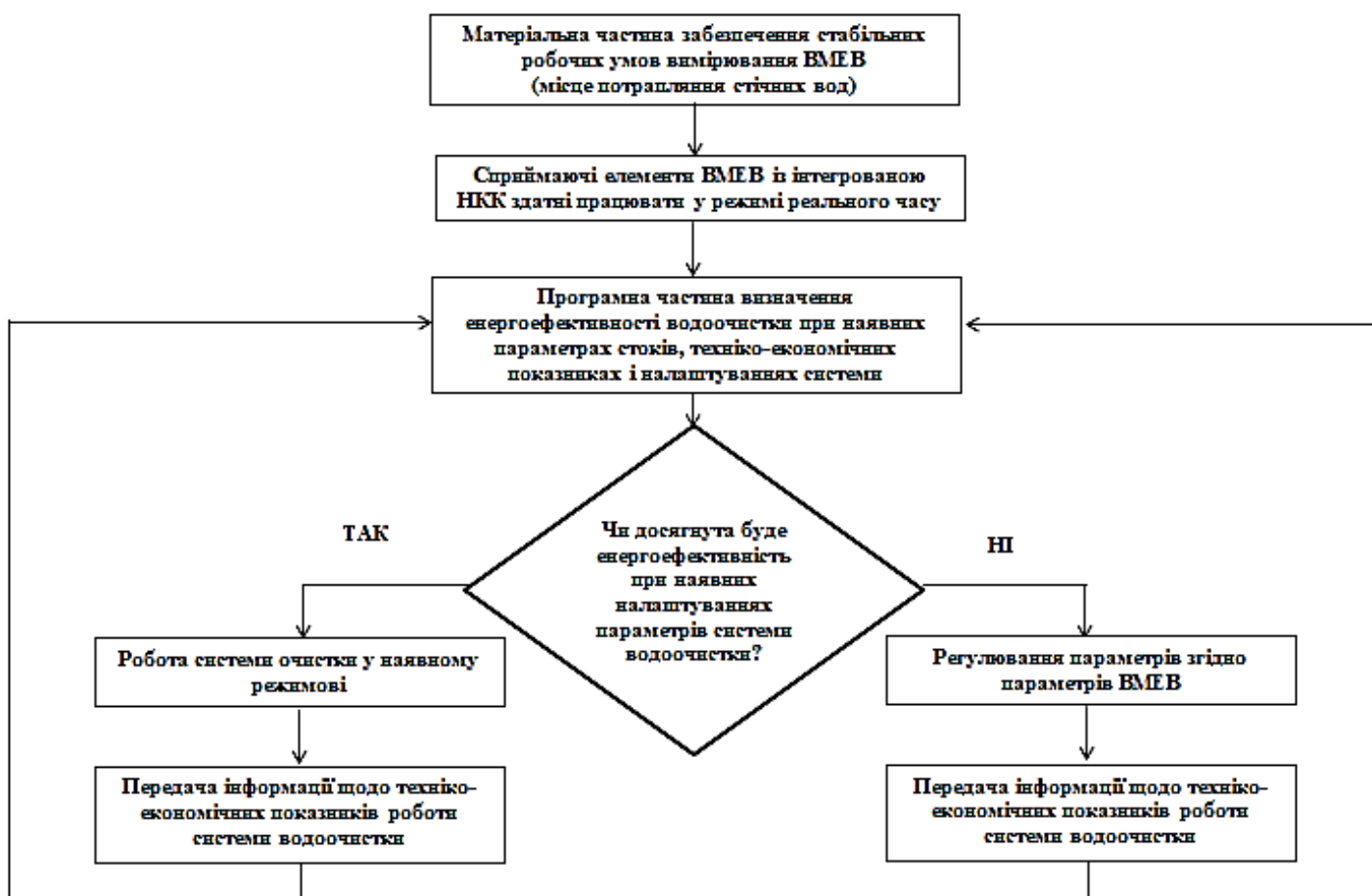


Рисунок 3.64 – Методика використання ВМЕВ з інтегрованою нечіткою когнітивною картою опрацювання техніко-економічної інформації для налаштування в режимі реального часу очисних споруд за ЕЕК

Водночас для якісного промислового функціонування ВМЕВ, за відсутності атестованої лабораторії якості стічних вод (ситуація трапляється на 80-90 % підприємствах), потрібно створити математичне забезпечення, наприклад, на

основі НКК, здатне в режимі реального часу комплексно оцінювати параметри енергоефективності в умовах функціональної невизначеності: через порівняння режимів роботи наявних очисних споруд із режимом роботи ВМЕВ.

Водночас коригування налаштувань перших виконується на основі:

- техніко-економічної інформації підприємства (згідно з локальними класифікаторами),
- інформації з вимірювального обладнання здатного працювати режимі реального часу.

Вплив решти показників якості стічних вод (де немає можливості отримувати вимірювальну інформацію в режимі реального часу) на параметри енергоефективності прогнозуються на основі інтелектуального моделювання на основі нейромереж та нечіткої когнітивної карти.

Водночас переведення значень встановлених енергоефективних електроенергетичних параметрів водоочищення при аналітичних дослідженнях хімічних способів видалення забруднювачів, можна здійснювати, виходячи з того, що для оборотних хімічних систем перший та другий закони термодинаміки прийнято виражати через вирази [128, 271, 272]:

$$U = T \cdot S - P \cdot V; \quad (3.66)$$

$$H = U + P \cdot V; \quad (3.67)$$

$$F = U - T \cdot S \quad (3.68)$$

$$G = H - T \cdot S \quad (3.69)$$

де U – внутрішня енергія системи, H – ентальпія, F – вільна енергія (ізохорний процес), G – термодинамічний потенціал Гіббса (ізобарний потенціал), T – абсолютна температура, S – ентропія, P – тиск, V – об'єм.

Внутрішня енергія U визначається, як повний диференціал від ентропії S і об'єму V :

$$dU = TdS - PdV, U = f(S, V); \quad (3.70)$$

відповідно:

$$dH = TdS + VdP, H = f(S, P); \quad (3.71)$$

$$dF = -SdT - PdV, F = f(T, V); \quad (3.72)$$

$$dG = -SdT + VdP, G = f(T, P). \quad (3.73)$$

Хімічна енергія процесів водоочищення може бути представлена у вигляді похідних двох змінних: фактору інтенсивності та фактору ємності. За аналогією з електричною енергією (фактор інтенсивності – електричний потенціал, фактор ємності – кількість електроенергії) хімічна енергія кожної складової системи розкладається на хімічний потенціал μ_i (фактор інтенсивності) і масу m_i або кількість частинок певного виду n_i (фактор ємності). Тоді замість (3.70):

$$dU = TdS - PdV + \sum \mu_i dn_i, \quad (3.74)$$

Залежність (3.75) можна представити у вигляді:

$$dU = \left(\frac{\partial U}{\partial S} \right)_{V,N} dS + \left(\frac{\partial U}{\partial V} \right)_{S,N} dV + \sum \left(\frac{\partial U}{\partial n_i} \right)_{S,V,n'} dn_i, \quad (3.75)$$

де $\left(\frac{\partial U}{\partial n_i} \right)_{S,V,n'} = \mu_i$, $N = \sum n_i$, n' означає, що маси всіх компонентів, крім i – го,

постійні.

Відповідно перетворюються і рівняння (3.76) – (3.78):

$$dH = \left(\frac{\partial H}{\partial S} \right)_{P,N} dS + \left(\frac{\partial H}{\partial P} \right)_{S,N} dP + \sum \left(\frac{\partial H}{\partial n_i} \right)_{S,P,n'} dn_i; \quad (3.76)$$

$$dF = \left(\frac{\partial F}{\partial T} \right)_{V,N} dT + \left(\frac{\partial F}{\partial V} \right)_{S,N} dV + \sum \left(\frac{\partial F}{\partial n_i} \right)_{T,V,n'} dn_i; \quad (3.77)$$

$$dG = \left(\frac{\partial G}{\partial T} \right)_{P,N} dT + \left(\frac{\partial G}{\partial P} \right)_{T,N} dP + \sum \left(\frac{\partial G}{\partial n_i} \right)_{T,P,n'} dn_i. \quad (3.78)$$

Можна прийняти, що хімічний потенціал виражає частку енергії, яка відноситься до однієї частинки (або одиниці маси), якщо замість кількості

частинок n_i використати масу m_i такого компоненту. За сталих температур та тиску (3.78) спрощується до:

$$dG_{T,P} = \sum \left(\frac{\partial G}{\partial n_i} \right)_{T,P,n'} dn_i = \sum \mu_i dn_i, \quad (3.79)$$

звідки після інтегрування отримаємо:

$$G_{T,P} = \sum \mu_i n_i, \quad (3.80)$$

продиференціювавши (3.80):

$$dG_{T,P} = \sum \mu_i dn_i + \sum n_i d\mu_i, \quad (3.81)$$

тоді:

$$\sum n_i d\mu_i = 0, \quad (3.82)$$

Залежність (3.82) є формулою Гібсса-Дюгема. Використавши залежність потенціалу Гібса протікання хімічних процесів від електричних показників [108]:

$$dG_{T,P} = -z \cdot Fa \cdot dE_{T,P} \quad (3.83)$$

де z – число елементарних зарядів, Fa – добуток числа Аваадро на елементарний заряд, E – електрорушійна сила.

та (3.83) отримали формулу зв'язку електричної енергії електрохімічної системи і, відповідно, хімічної енергії реакцій:

$$z \cdot Fa \cdot E = -\sum \mu_i n_i, \quad (3.84)$$

Водночас через електрохімічну систему ВМЕВ проходить електричний струм I реакцій водоочищення, відповідно, вона перестає бути термодинамічно оборотною й починає функціонувати як електролітична ванна [108, 277, 278].

У корисну енергію хімічних перетворень видалення забруднювачів переходить не вся електрична енергія (частина втрачається):

$$(z \cdot Fa \cdot E_I)_B \succ z \cdot Fa \cdot E, \quad (3.85)$$

де $(E_I)_B$ – напруга на електролізерові (U_B).

Звідси, на основі закону Ома:

$$(z \cdot Fa \cdot I \cdot R)_B \succ z \cdot Fa \cdot E. \quad (3.86)$$

де R – загальний опір електролізної системи

або:

$$(z \cdot Fa \cdot I \cdot R)_B \succ W \quad (3.87)$$

де W – корисна робота водоочищення виконана в необоротних умовах

Отже:

$$(z \cdot Fa \cdot I \cdot R)_B = -\sum \mu_i n_i \quad (3.88)$$

Тобто, отримавши енергофактивні режими водоочищення із використанням ВМЕВ, відповідно, і значення сили струму, та експериментально встановивши загальний електричний опір устаткування, можна масштабувати отримані результати на хімічні способи видалення забруднювачів зі стоків згідно (3.86) – (3.88).

Водночас для розрахунку енергії повного біологічного окислення забруднювачів, наприклад, глюкози за методикою [99, 282, 288], розрахунок виконується згідно з наступною схемою (табл. 3.15): у процесі повного біологічного окислення глюкози $C_6H_{12}O_6$ утворюється 6 CO_2 . Для цього потрібно 12 атомів кисню, 6 з яких надає глюкоза, а решта 6 – вода. У результаті виділяється 24Н ($H^+ + e^-$). Кожна пара водню ($H^+ + e^-$) надає енергію для синтезу 3 молекул АТФ (аденозинтрифосфорна кислота). 24Н (12 пар) = 36 АТФ = 1098

кДж/моль. Розрахунок енергії для ацетату дає 12 АТФ, для пирувату – 15 АТФ [99, 289, 297].

Таблиця 3.15 – Варіант визначення енергії повного біологічного окислення

Склад органічної молекули	$C_mH_nO_z$
Кількість вуглекислого газу, утвореного в результаті повного окислення вуглецю молекули	$m CO_2$
Кількість атомів кисню, які потрібно для окислення вуглецю	$2m$
Кількість води, як джерела кисню, недостатнього для окислення вуглецю	$(2m - z) H_2O$
Сумарна кількість атомів водню, отриманого у разі повного окислення вуглецю (еквівалентно кількості електронів – джерела енергії для АТФ: $1H^+ = 1 \bar{e}$)	АТФ $(1H^+ = 1\bar{e})$ $(n+4m - 2z) H$
Кількість АТФ, яка синтезована за рахунок такої енергії водню	$3(n+4m - 2z)/2$ АТФ

У кінцевому підсумку розрахунок енергії повного окислення зводиться до стехіометричної формули [99, 298]:

$$E = 183C + 45,75H - 91,5O \text{ (кДж / моль)}. \quad (3.89),$$

де С, Н і О – атомні частки або індекси елементів вуглецю, водню і кисню в молекулі органічного субстрату (забруднювача стоків).

Перехід від електроенергетичних показників до біоенергетичних (див. табл 4) можна виконати через встановлену енергоефективну кількість виділених: на анодах електролізних блоків кисню та водню, повітряної суміші поданої компресорним обладнанням (див. табл. 3.15). Окремо слід зазначити, що з використанням ВМЕВ можна визначити значення рН та окисно-відновлювального

потенціалу Eh стоків, за яких ефективно протікає повне біологічне окислення забруднювачів стічних вод конкретного об'єкта водоскиду (підтримуючи мінімізацію ресурсовитрат [304], наприклад, згідно (3.89).

3.7. Висновки до Розділу 3

1. Аналіз якості водовідведення різногалузевих промислових об'єктів (м'ясопереробне підприємство, деревопереробне підприємство, підприємство малої металургії та підприємство виробництва продукції побутової хімії) продемонстрував різнокомпонентність забруднювачів, що викликано різним технологічним використанням водних ресурсів; перевищення ГДК на кожному окремому об'єкті індивідуальне й коливається (за різними шкідливими та небезпечними речовинами) від 5 % до 410 %

2. На основі застосування методів математичної статистики щодо опрацювання результатів оцінки якості водоскиду промислових підприємств, із врахуванням того, що не всі отримані вибірки відповідають вимогам нормальності закону розподілу випадкових величин, застосовано непараметричні підходи, а саме оцінка згідно з вимогами ISO 16269-4-2017 на наявність викидів – водночас встановлено, що викидів, які потрібно було б відсіювати не виявлено і, відповідно, потрібно застосовувати непараметричні підходи та розробляти технологічні рішення, здатні працювати в умовах різких змін концентрацій забруднювачів.

3. У результаті використання комбінованих установок водоочищення забезпечено дотримання ГДК за ключовими забруднювачами стоків досліджуваних різногалузевих об'єктів, однак, внаслідок різної природи забруднювачів, для цього затрачено різну кількість електроенергії: м'ясопереробне підприємство – до 400 кВт/добу, деревопереробне підприємство – до 76 кВт/добу, підприємство малої металургії – до 85 кВт/добу, підприємство виробництва продуктів побутової хімії – до 26 кВт.

4. Дослідження динаміки утворення та осадження завислих у воді частинок у розробленому приладі продемонстрували, що під час відбору води з мережі водовідведення та забезпечені сталого тиску (умовно сталого режиму): у період із 0 до 80-100 хвилин відбувається збільшення фіксованої приладом КФК каламутності (на 0,09-0,21 мг/л); у період із 80-100 до 1260-1270 хвилин фіксована каламутність зменшується до фактично нульового значення.

5. Експериментальними дослідженнями впливу гідродинамічних режимів мережі водовідведення на якість стоків встановлено, що показники Coli-index (48-56 години від початку проведення експерименту) мали місце, коли воду відбирали в зонах ємностей, звідки завислі частинки разом із “захопленими” ними кишечними паличками вже перемістились (осіли) до дна; максимальні (стрибкоподібні) значення Coli-index реєструвалися саме під час останніх відборів води на аналіз (56-72 год.) – із зон, де акумулювалися (осаджувалися) агреговані комплекси. Такі результати відповідають швидкості осадження завислих частинок згідно з їхньою гідравлічною крупністю – тобто останній гідравлічний параметр має вплив на біологічну безпеку (небезпеку) стоків, хоча його на реальних системах промислового водовідведення не контролюють.

6. Аналізуючи результати системного аналізу (граф операцій цільового сценарію та базовий програф), приходимо до висновку, що комбіновані системи водоочищення складні багатопараметричні об'єкти, під час функціонування яких у режимі реального часу виникає задача координації роботи керованих підсистем, розв'язком якої є визначення взаємодії підсистем, за якої управління, оптимальні за критеріями ефективності кожної з підсистем, є також оптимальними за загальним критерієм для процесу загалом.

7. Середнє відхилення фактичного ступеня автоматизації, оцінено окремо для кожного з модулів водоочисного обладнання, від оптимальних значень розглянутих п'яти технологічних способів (електрокоагуляція, аерація, фільтрація, електротехнологічне окислення, електротехнологічна рН-корекція) – 55,56 %; між тим інтегральне відхилення від оптимальних значень виявилось значно нижче середньоарифметичного за окремими блоками і становить 31,7 %.

8. Оцінюючи похибку реконструкції сигналу (2,04%), можна зробити висновок щодо доцільності подальшого використання перетворення Гільберта-Хуанга при очистці від шумів інформаційних каналів інформаційно-вимірювальних комплексів технічного забезпечення методів ефективного опрацювання техніко-економічної інформації комбінованого очищення стічних вод різногалузевих промислових об'єктів.

9. На основі 49 блоків експериментальних досліджень для різних комбінацій параметрів якості стічних вод до і після очищення, встановлено наступні технологічно прийнятні діапазони значень невизначеностей при вимірюванні енергоефективності:

- сумарна невизначеність водоочищення: (7,8 ... 9,6) %/кВт,
- розширена невизначеність: (12,87... 15,84) %/кВт (при $p = 0,95$).

10. Система керування інформаційно-вимірювального комплексу ВМЕВ включає блоки верхнього та нижнього рівнів керування (мікроконтролера класу ПЛК ICP DAS i-8417, мікроконтролер ATmega128-16AU) із можливістю реалізації інтелектуальних програмних рішень; отримані результати створення відповідної НМ ІВК ВМЕВ (відносна навчальна похибка – 0,2 %; відносна перевірна похибка – 0,6 %) підтверджують можливість використання такої математичної моделі для подальших досліджень режимів роботи комбінованих систем очищення стічних вод промислових об'єктів.

11. Використовши алгоритм μ -синтезу отримано передаточну функцію робастного регулятора 12-го порядку для каналу управління «температура води», яку для подальшого використання було понижено до 4-го, обґрунтування вибору проводилося за гістограмою сингулярних значень Ганкеля; порівняння з ПД-регулятором показало перевагу робастного рішення над ним у за різними показниками в діапазоні 17 % – 88 %.

12. Для теоретичного обґрунтування побудови ефективного обладнання раціонально використовувати метод динамічного домінуючого забруднювача (забруднювач багатокomпонентних стічних вод, який у цей момент за фактичного складу стоків необхідно першочергово видалити): оцінка ефективності

водоочищення за вторинним забруднювачем (наприклад, для м'ясокомбінатів такий забруднювач – зважені частинки) продемонструвала, що у разі використання комбінованих комплексів, досягається його видалення, за усунення базового ДДЗ, мінімум на 50 % – 95 % (у випадку завислих частинок на 95 %); проведення очищення не з її орієнтуванням на першочергове усунення ДДЗ, а на дію на інші забруднювачі, продемонстрували значне погіршення (на 30 % – 90 %) ЕЕК роботи обладнання (критерій припинення роботи – доведення показників до ГДК).

13. Приймаючи за функцію багатьох змінних ЕЕК водоочищення (забезпечення його мінімізації за модулем – прямування до «0» [%/кВт], відповідно у якості аргументів виступають значення контрольованих забруднювачів та енергозатрат на процес водоочищення), встановлено обґрунтованість адаптації методу покоординатного спуску для ранжування забруднювачів та визначення ДДЗ.

14. Результатом застосування нечітких нейронних мереж (із подальшою реалізацією алгоритму Сугено) для отримання нових знань щодо технічного регулювання процесами водоочищення на досліджуваних підприємствах (виробництво побутової хімії, м'ясопереробна, деревопереробка, мала металургія) стали: функції приналежності, які структурують значення забруднювачів під час визначення залежності ранжиру ДДЗ від їхніх значень – вибиралися за критерієм «мінімальна похибка навчання»; бази знань щодо формування в режимі реального часу ранжиру ДДЗ.

15. Розроблена методологія налаштування систем промислового водоочищення із використанням ВМЕВ водоочищення дає можливість, із використанням методів ДДЗ та перехресних впливів, налаштовувати промислові системи водоочищення, які використовують такі базові способи: біологічний (через розрахунок подачі компресором кисню та відомих параметрів його окислюючої дії на органічні забруднювачі); фізичний (оцінюючи фільтрація через сорбційний фільтр); хімічний (через встановлення ступеня окислення в окислювачах та ефективності коагуляції в ємності реакторів); фізико-хімічний

(ключовий метод ВМЕВ) (оцінюючи роботу електролізера-рН-коректора та окиснювачів); якісний характер взаємозв'язків для м'ясопереробних підприємств оцінено на основі двовимірної експоненціальній моделі другого порядку (похибки ідентифікації: $SSE = 0,0044$, $R^2 = 0,985$).

Отримані у розділі наукові результати являються основою для розроблення методичного забезпечення опрацювання та екологічно безпечно використання еколого-енергетичної інформації промислового водоочищення з урахуванням дії надзвичайних ситуацій.

Матеріал розділу викладено у публікаціях автора [83, 99, 100, 103, 105, 106, 109, 111, 112, 139, 144, 189, 200, 204, 210, 272, 293, 295, 301, 303, 307, 312, 313, 315, 316, 320, 322].

РОЗДІЛ 4

ОПРАЦЮВАННЯ ТА ЕКОЛОГІЧНО БЕЗПЕЧНЕ ВИКОРИСТАННЯ ЕКОЛОГО-ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ІНФОРМАЦІЇ ПРОМИСЛОВОГО ВОДООЧИЩЕННЯ З УРАХУВАННЯМ ДІЇ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ

4.1. Система підтримки прийняття рішень еколого-енергетичного водоочищення

У результаті проведених досліджень (пункти 3.1 – 3.5) встановлено: коливання об'ємів та концентрацій забруднювачів, зміна технологічних вимог щодо якості води на виході з установок, коливання концентрацій продуктів фізико-хіміко-біологічних реакцій у водних розчинах тощо постійні, нестационарні та нелінійні – тобто необхідним, для енергоефективного водоочищення, є адаптивне корегування в режимі реального часу робочих режимів обладнання, яке б опрацьовувало всі збурюючі впливи із врахуванням невизначеності, що можуть спричиняти дії надзвичайних ситуацій природного та техногенного походження [9, 15, 50, 170, 180, 182].

Розроблено (Розділи 2 та 3) моделі комбінованих процесів водоочищення, що дало змогу обґрунтувати методи ефективної обробки техніко-економічної інформації з адаптивним корегуванням у режимі реального часу стратегій управління видаленням забруднювачів та здатністю працювати в умовах дії збурень природного та техногенного походження (НС) [226, 227]. Узагальнено в такий комплекс входять: локальна система управління та підсистема прийняття рішень, з блоком фільтрації вхідного сигналу, між тим підсистема прийняття рішень містить блок адаптивного формування в режимі реального часу стратегій управління на основі самоорганізованих карт Кохонена: (рис. 4.1) [278, 307]: підсистеми прийняття рішень 1, яка включає блок фільтрації вхідного сигналу 2, блок нейромережевого коригування концептів НКК 3; блок прийняття рішень 4, блок адаптивного формування в режимі реального часу стратегій управління 5, блок управління 6;

- локальної системи управління 7, що складається з локального автоматичного управляючого пристрою 8, виконавчих елементів 9 (електролізери, насоси, вакуум-насоси, клапана, нагрівачі тощо), об'єкта управління 10.

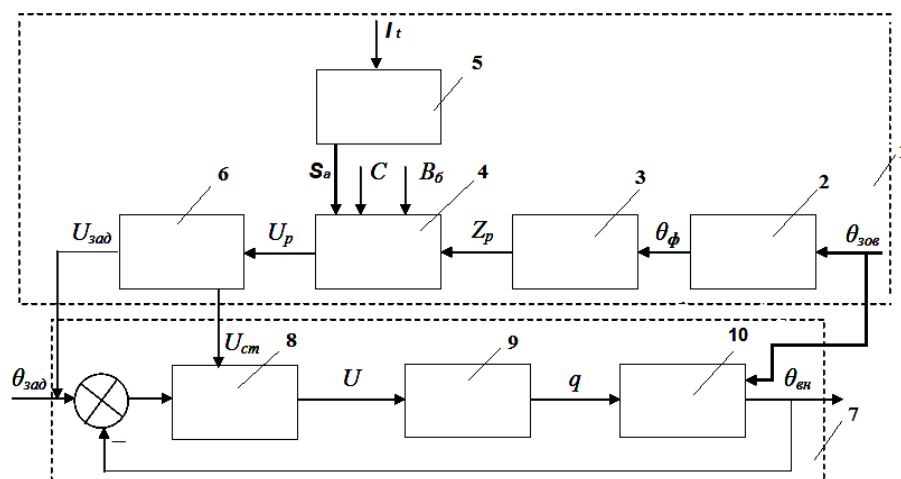


Рисунок 4.1 – Архітектура системи підтримки прийняття рішень еколого-енергетичного комбінованого водоочищення на основі опрацювання еколого-енергетичної інформації: «Інформація щодо режимних параметрів» (входить у блок № 4) – це інформація з ВМЕВ, НКК – блок № 5.

Опрацьоване значення збурення (Z_p) передається в блок прийняття рішень 4, де для кожного прогнозу зберігаються можливі варіанти дій управління й показники якості (B_0) для кожної дії за продуктивністю виробництва, матеріальними та енергетичними витратами у фізичних одиницях. У блок прийняття рішень 4 вводяться дані вартості складових технологічного процесу C , з урахуванням яких нейронна мережа, синтезована на основі НКК, здійснюється вибір стратегії управління (U_p).

Стратегії в режимі реального часу формуються (оновлюються) у блоці адаптивного формування стратегій 5 на основі методів домінуючого динамічного забруднювача та перехресних впливі способів водоочищення, даних автоматичних вимірювачів та інформації, яку вводять технологи-оператори (I_t) (накопичується база знань): показники якості води, об'єми витрат, стан технології (зупинка, зміни вимог до якості води тощо). Для такого створення (оновлення)

нових стратегій використовуються самоорганізовані карти Кохонена, де алгоритм функціонування становить собою один із варіантів кластеризації багатовимірних векторів. Оновлений набір стратегій (S_a) із блоку адаптивного формування стратегій 5 передається на блок прийняття рішень 4. Передача стратегій, формування нових стратегій у блоці 5 та їхнє порівняння зі стратегіями блоку 4 виконується періодично та керується програмно (з використанням мереж Кохонена та ймовірнісних нейронних мереж), перезапис стратегій в блоці 4 здійснюється у випадку виявлення різниці між новими стратегіями та наявними у блоці 4. За допомогою блоку управління 6 проводиться зміна заданої дії $U_{зад}$ або зміна оптимальної – для нового образу стратегії управління U_{cm} у локальному автоматичному управляючому пристрої 8. Використання інтелектуальної підсистеми прийняття рішень на основі ефективного опрацювання техніко-економічної інформації з блоком адаптивного формування стратегій управління згідно з домінуючим динамічним забруднювачем та перехресними впливами у режимі реального часу, дасть змогу підвищити енергоефективність процесів у комбінованому водоочисному обладнанні, з можливістю якісного функціонування в умовах надзвичайних (нештатних) ситуацій природного та техногенного походження, при виконанні вимог екологічної безпеки [277, 278, 285, 286, 295, 296]. Результати досліджень оформлено в патенті України Патент № 95200 UA, МПК G 05 B 13/00 (2006.01) «Система управління водоочисним та водопідготовчим обладнанням».

4.2. Розробка структури когнітивної моделі опрацювання еколого-енергетичної інформації комбінованого очищення стічних вод промислових об'єктів

Виходячи з попередніх досліджень щодо застосування для інформаційно-функціонального моделювання когнітивних карт (пункт 2.4) та результатів Розділу 3, базуючись на архітектурі системи підтримки прийняття рішень (див. рис. 4.1) завдання НКК, під час моделювання процесів комбінованого

водоочищення– встановлення функціональних режимів обладнання [4, 14, 16]. Відповідна структура нечіткої когнітивної карти розроблялася з огляду на попередні дослідження (Розділи 2, 3) й об'єктноорієнтованого аналізу підприємств (пункт 1.2). Водночас із врахуванням подальшого застосування отриманих інформаційно-функціональних моделей для створення технологічних регламентів різногалузевих об'єктів, у якості виходу включено й економічний фактор для оцінювання інвестиційно-фінансових показників [39, 150]. З огляду на технологічні особливості комбінованих систем водоочищення (встановлено на основі застосування ВМЕВ), сценарне планування виконується раз у 5 хвилин.

У матрицю взаємовпливу НКК включено такі елементи:

1. *Проміжні концепти*: - E1 – технічне й технологічне оснащення установок водоочищення; - E2 – ступінь використання обладнання; - E3 – управління виробництвом.

2. *Вхідні дії*: X1 – ціни на енергоносії; X2 – витрата 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 – БСК вхідної води; X8 – концентрація СПАР у вхідній воді; X9 – температура вхідної води; X10 – рН вихідної води; X11 – концентрація суспензій у вихідній воді; – X12 – концентрація нітратів у вихідній воді; X13 – концентрація фосфатів у вихідній воді; X14 – БСК вихідної води; X15 – концентрація СПАР у вихідній воді.

3. *Вихідні дії*: Y1 – фінансові витрати; Y2 – енергоефективність.

Модель процесів у комбінованій установці водоочищення представлено у вигляді відповідного орграфу (нечіткої когнітивної карти), яка приведена на рисунку 4.2 і ілюструє множинні зв'язки й характер взаємодії факторів. Концепт «Енергоефективність» відповідає ЕЕК (2.8) є інтегральним показником, який об'єднує витрати електроенергії і якість водоочищення.

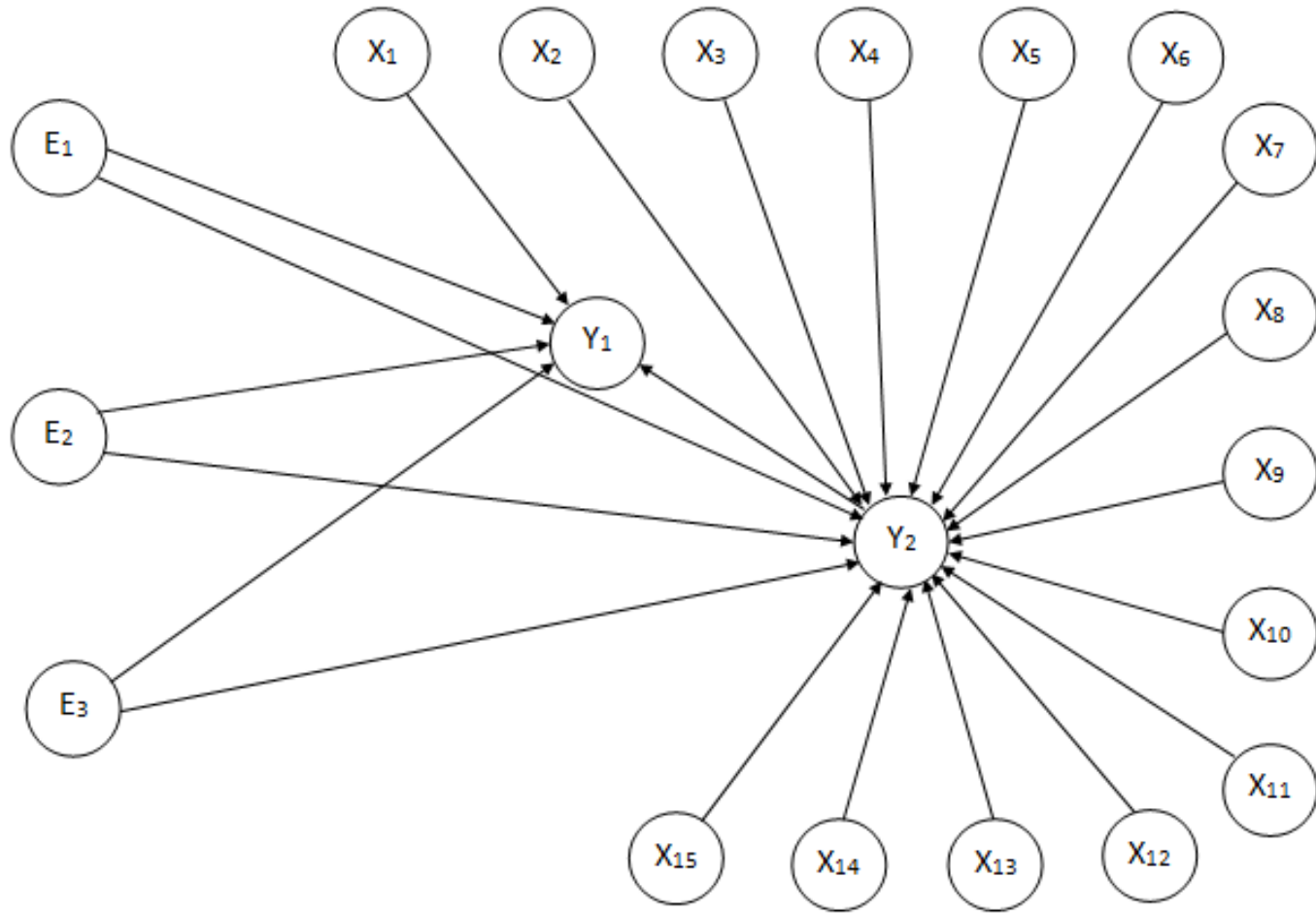


Рисунок 4.2 – Інформаційно-функціональна модель комбінованого водоочищення у вигляді нечіткої когнітивної карти

Однак, недолік НКК, що обмежують їхнє використання в системах реального часу, у тому числі для установок зміни властивостей водних розчинів – стаціонарність показників вагових коефіцієнтів і необхідність їхньої експертної корекції за зміни структури об'єкта моделювання.

Відповідно, розробка блоку динамічної корекції вагових коефіцієнтів НКК завдання актуальне [193, 194]. Попередньо концепти необхідно класифікувати за характером інформації, яка визначалає значення вагових коефіцієнтів (табл. 4.1).

Таблиця 4.1 – Класифікація коефіцієнтів НКК

Концепти	Джерело інформації, на основі якого встановлюється значення вагових коефіцієнтів
1	2
E ₁ – технічне і технологічне оснащення установок водоочищення	Експертна оцінка
E ₂ – ступінь використання обладнання	Експертна оцінка
E ₃ – управління виробництвом	Експертна оцінка
X ₁ – ціни на енергоносії	Дані інформаційно-вимірювального комплексу
X ₂ – витрати води	Дані інформаційно-вимірювального комплексу
X ₃ – рН вхідної води	Дані інформаційно-вимірювального комплексу
X ₄ – концентрація завислих частинок вхідної води	Дані інформаційно-вимірювального комплексу
X ₅ – концентрація нітратів вхідної води	Дані інформаційно-вимірювального комплексу
X ₆ – концентрація фосфатів вхідної води	Дані інформаційно-вимірювального комплексу
X ₇ – БСК вхідної води	Дані інформаційно-вимірювального комплексу
X ₈ – концентрація СПАР вхідної води	Дані інформаційно-вимірювального комплексу
X ₉ – температура вхідної води	Дані інформаційно-вимірювального комплексу
X ₁₀ – рН вихідної води	Дані інформаційно-вимірювального комплексу

Продовження табл. 4.1

1	2
X_{11} – концентрація завислих частинок вихідної води	Дані інформаційно-вимірювального комплексу
X_{12} – концентрація нітратів вихідної води	Дані інформаційно-вимірювального комплексу
X_{13} – концентрація фосфатів вихідної води	Дані інформаційно-вимірювального комплексу
X_{14} – БСК вихідної води	Дані інформаційно-вимірювального комплексу
X_{15} – концентрація СПАР вихідної води	Дані інформаційно-вимірювального комплексу
Y_1 – фінансові витрати	Дані інформаційно-вимірювального комплексу
Y_2 – енергоефективність	Дані інформаційно-вимірювального комплексу

4.3. Створення методу налаштування вагових коефіцієнтів концептів нечіткої когнітивної моделі опрацювання еколого-енергетичної інформації комбінованого водоочищення

4.3.1. Методика формування та адаптації значень вагових коефіцієнтів нечіткої когнітивної моделі. Формування початкових значень вагових коефіцієнтів буде відбуватися на основі експериментально-аналітичних досліджень (Розділ 3) [169].

Зважаючи на архітектуру НКК, потрібно зазначити, що всі концепти, крім ціни на енергоносії, впливають на один інтегральний вихідний – «Енергоефективність» (формула 2.8).

База даних функціонування НКК періодично поповнюється інформацією від вимірювальних пристроїв і/або лабораторними дослідженнями, що забезпечує переналаштування раніше синтезованої нейронної мережі визначення значень вагових коефіцієнтів, забезпечуючи адаптивність функціонування системи опрацювання техніко-економічної інформації (рис. 4.3).

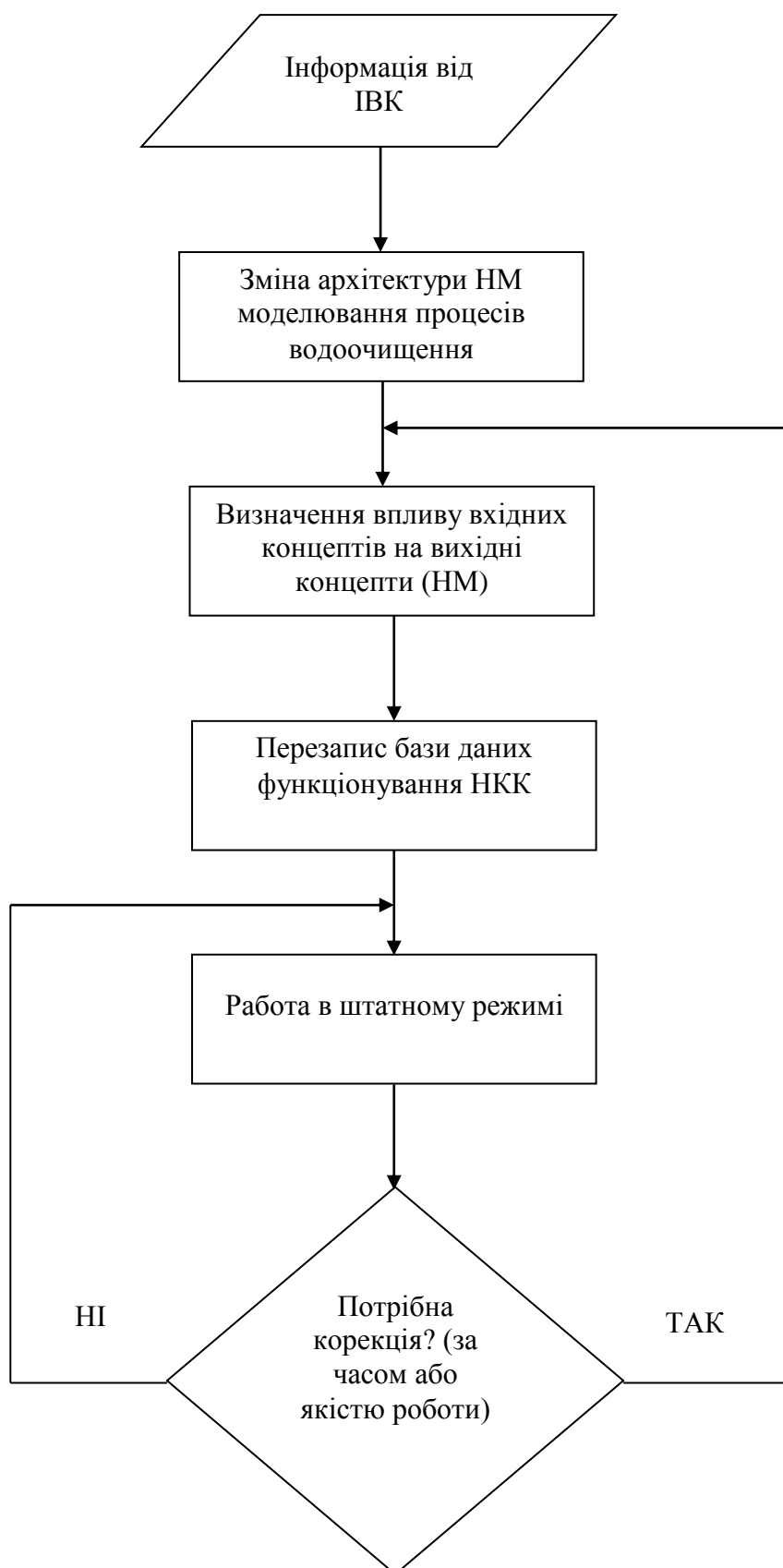


Рисунок 4.3 – Блок схема алгоритму формування й використання блоку адаптивної корекції значень вагових коефіцієнтів концептів НКК (у разі отримання даних від інформаційно-вимірювальних комплексів)

Перенавчання відбувається або в разі виходу системи за встановлені межі енергоефективності, або періодично, залежно від раніше досліджених характеристик об'єкта (комбінованих установок водоочищення).

Використання раніше синтезованої НМ буде відбуватися в кілька етапів [312, 313]:

- перенавчання НМ на підставі інформації з бази даних;
- визначення її адекватності;
- розрахунок нових значення коефіцієнти НКК;
- збереження інформації в базі даних.

4.3.2. Синтез блоку адаптивної корекція значень вагових коефіцієнтів когнітивної моделі при отриманні даних від інформаційно-вимірювального комплексу. Під час синтезу відповідної НМ адаптивного корегування коефіцієнтів НКК (рис 4.4) [5, 285]:

1. Архітектура НМ ВМЕВ доповнюється параметром – сила струму (I , A), отриманим під час проведення експериментальних досліджень.

2. Всі вхідні параметри нормуються в проміжку $[-1; +1]$ (Додаток Т):

$$y_{норм} = \frac{2 \cdot x_n - (x_{макс} + x_{мін})}{x_{макс} - x_{мін}} \quad (4.1)$$

де: $x_{макс}$ – максимальне значення параметру; $x_{мін}$ – мінімальне значення параметру; x_n – поточне значення параметру.

3. Синтезується адекватна НМ типу радіально-базисної функції (рис. 4.4) згідно з архітектурою НКК (див. рис. 4.2). Використання такої архітектури НМ пояснюється її логістичною функцією активації вихідного шару мережі, котрий здійснює "зрізання" вихідних значень, не даючи змоги екстраполювати, оскільки такий тип функцій приймає в якості аргументу відстані між вхідним вектором і деякими заданими центрами активаційних функцій.

Значення цієї функції тим вище, чим ближче до центру вхідний вектор [234]:

$$y = \exp\left(-\frac{(S - R)^2}{2\sigma^2}\right). \quad (4.2)$$

де $S = S = \|X - C\|$ – відстань між центром C і вектором вхідних сигналів X ;
 σ – параметр визначає швидкість спадання функції за віддалення вектору від центру;
 R – параметр, який визначає зміщення активаційних функцій по осі абсцис.

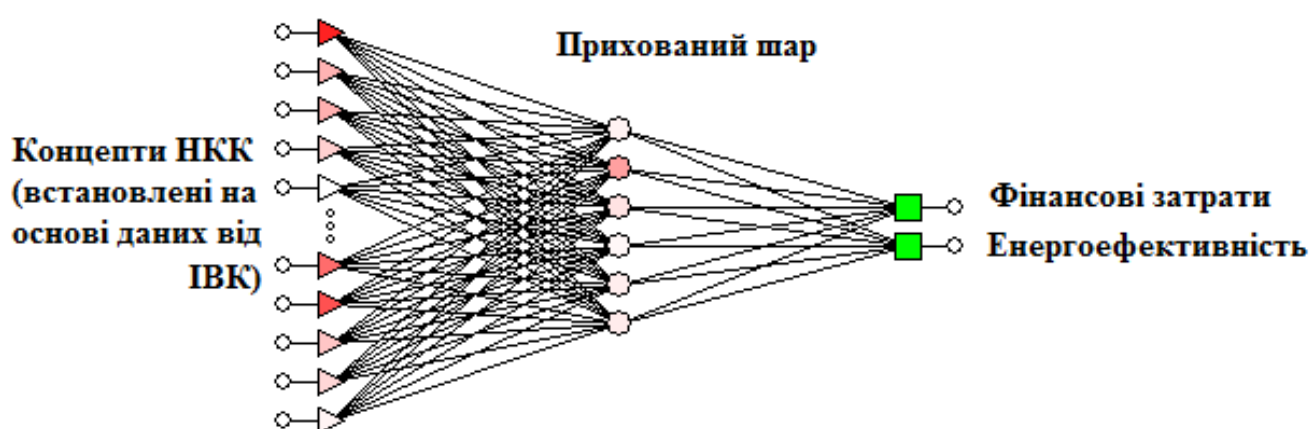


Рисунок 4.4 – Архітектура радіально-базисної НМ розрахунку значень вагових коефіцієнти НКК (відносні похибки: навчання – 1,6 %, перевірки – 2,3 %, тестування – 2,1 %)

Встановлення у синтезованій адекватній НМ (див. рис. 4.4) всіх вхідних значень, крім досліджуваного, «0».

5. Зміни досліджуваного входу від «-1» до «+1» – фіксування показань виходів НМ (рис 4.7).

6. Розрахунок значень вагових коефіцієнтів впливу проміжних концептів (вхідна інформація від ІВК) на вихідні концепти «Енергоефективність» і «Фінансові витрати» (табл 4.2):

$$BK = E_k - E_{поч}. \quad (4.3)$$

де: E_k – початкове значення концепту «Енергоефективність»;

E_n – кінцеве значення концепту «Енергоефективність».

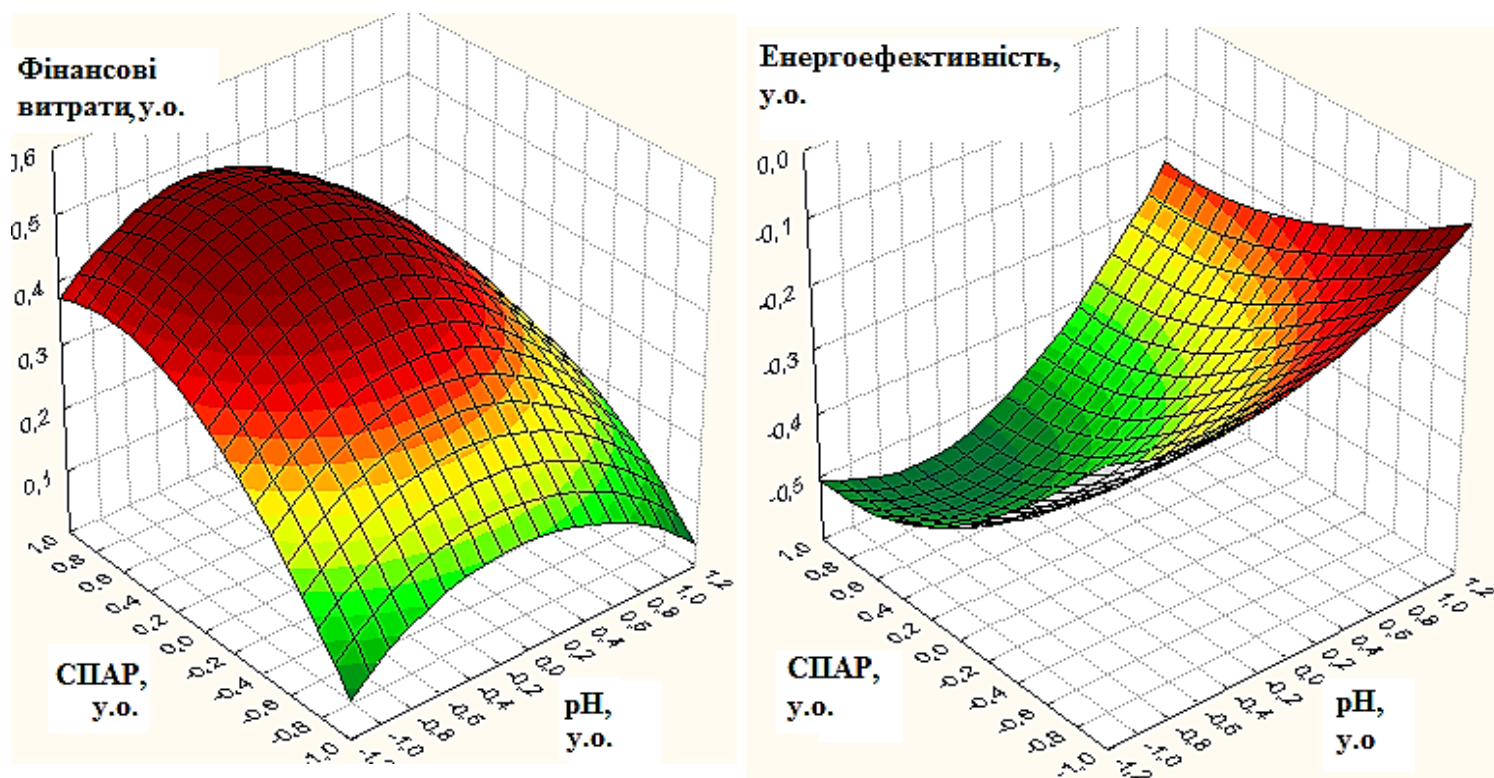


Рисунок 4.5 – Поверхні відгуків вихідних концептів НКК моделювання промислового водоочищення

Таблиця 4.2 – Значення вагових коефіцієнти впливу проміжних концептів (вхідна інформація від ІВК) на вихідні концепти

Концепти	Значення вагових коефіцієнтів
1	2
<i>Вихідний концепт “Фінансові витрати”</i>	
X_1 – ціни на енергоносії	-0,95
<i>Вихідний концепт “Енергоефективність”</i>	
X_2 – витрати води	-0,05
X_3 – рН вхідної води	+0,11
X_4 – концентрація завислих частинок вхідної води	-0,43
X_5 – концентрація нітратів вхідної води	-0,18
X_6 – концентрація фосфатів вхідної води	-0,27
X_7 – БСК вхідної води	-0,39

Продовження табл. 4.2

1	2
X ₈ – концентрація СПАР вхідної води	-0,12
X ₉ – температура вхідної води	+0,68
X ₁₀ – рН вихідної води	+0,02
X ₁₁ – концентрація завислих частинок вихідної води	-0,12
X ₁₂ – концентрація нітратів вихідної води	-0,08
X ₁₃ – концентрація фосфатів вихідної води	-0,12
X ₁₄ – БСК вихідної води	-0,23
X ₁₅ – концентрація СПАР вихідної води	- 0,12

7. З використанням формули (4.4) і НМ (див. рис 4.4) визначаємо значення вагового коефіцієнта впливу концепту «Енергоефективність» на концепт «Фінансові витрати» – - 0,14.

8. З використанням формули (4.2) визначаємо значення вагових коефіцієнтів впливу концептів «Витрати електроенергії» й «Ціни на енергоносії» на концепт «Фінансові витрати» – відповідно 0,83 і 0,96.

9. Синтезуються програмне забезпечення адаптивної корекції концептів НКК (Додаток У).

4.4. Адаптивне налаштування значень вагових коефіцієнтів впливу концептів нечіткої когнітивної карти (експертна оцінка)

4.4.1. Методика формування та використання блоку розрахунку значень вагових коефіцієнтів отриманих експертною оцінкою. Завдання розробленої методики формування значень вагових коефіцієнтів на основі експертних оцінок має розв'язати проблему складності оперативного опитування експертів у разі зміни параметрів процесів водоочищення [24, 187]. Водночас експерти (взято три експерти) дають оцінку не тільки типовим, отриманим у результаті екомоніторингу, діапазнам параметрів якості води (рис. 4.6).

У разі запропонованої послідовності експертні оцінки зводяться в одну таблицю з експериментальними даними (Додатки Ф, Х). Для збільшення гнучкості

оцінки кожний експерт дає не одне можливе значення, а три найбільш ймовірні, на його думку, значення вагових коефіцієнтів.

Потім дані групуються (кластеризуються) для визначення єдиного значення вагового коефіцієнта на основі думки експертів. На наступному етапі формується адекватна НМ, завдання якої – розрахунок значень параметрів НКК. Зважаючи на інформацію, отриману від вимірювальних комплексів.

Синтезується програмне забезпечення, яке включає реалізацію роботи обох модулів, що підтримує умову адаптивності: у разі виходу системи за межі встановленої енергоефективності можливо перенавчання системи.

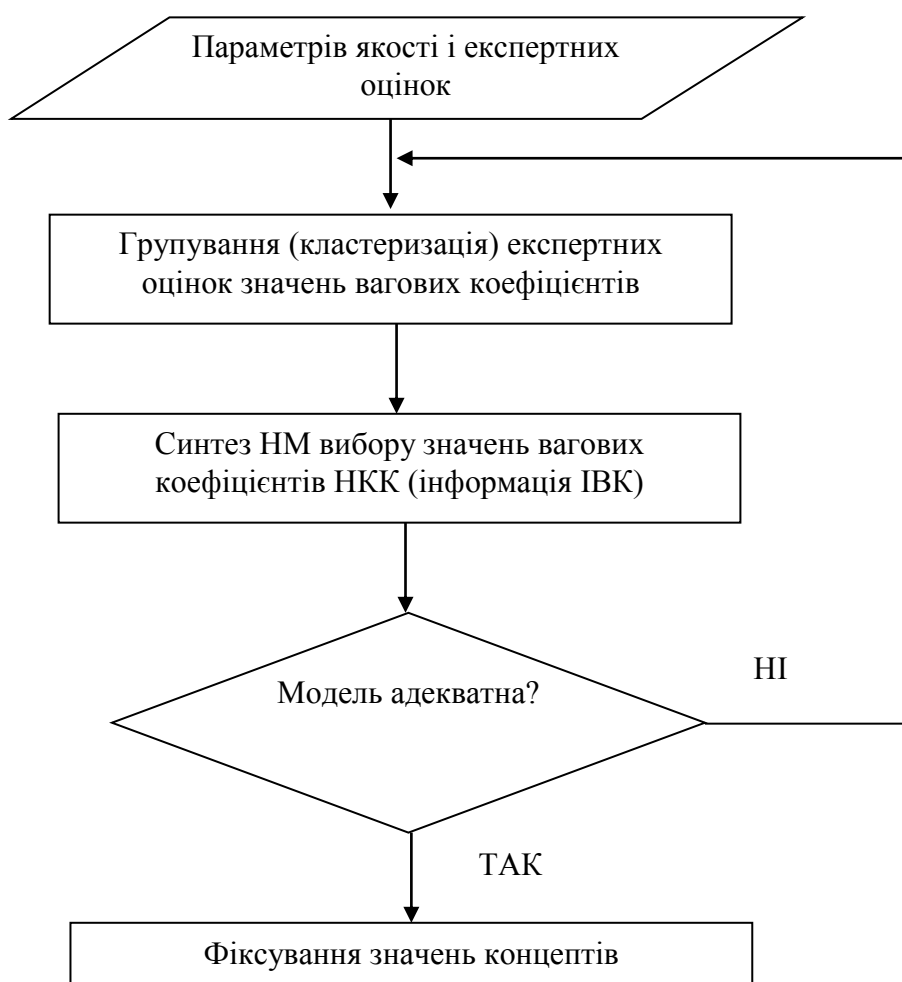


Рисунок 4.6 – Блок-схема алгоритму формування і використання методики визначення значень вагових коефіцієнтів концептів НКК (отриманні у результаті експертної оцінки)

У штатному режимі (реальний час) працює тільки модуль вибору значення вагових коефіцієнтів НКК, зважаючи на інформацію вимірювальних комплексів (якість води і технологічні параметри).

4.4.2. Синтез блоку розрахунку значень вагових коефіцієнтів когнітивної моделі отриманих експертною оцінкою. Подальша послідовність розрахунків виконується на основі методичних засад пункту 2.5. Таблиця експериментальних досліджень розширюється експертними оцінками, водночас кожен з експертів дає три варіанти значення вагових коефіцієнтів (розширення експертної області) (Додаток X). Використовуючи пакет прикладних математичних програм "Statistica" на підставі експериментальних досліджень (Додаток Ц) синтезуємо нейронну мережу Кохонена (рис. 4.7) [3, 33, 36, 41].

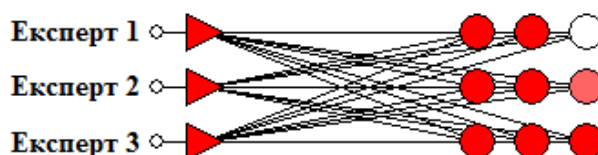


Рисунок 4.7 – Архітектура самоорганізаційної нейронної мережі Кохонена визначення числових значень параметрів НКК (експертні оцінки) – відносна похибка (рис. 4.8): навчальна вибірка – 0,83 %, контрольна вибірка – 0,03 %

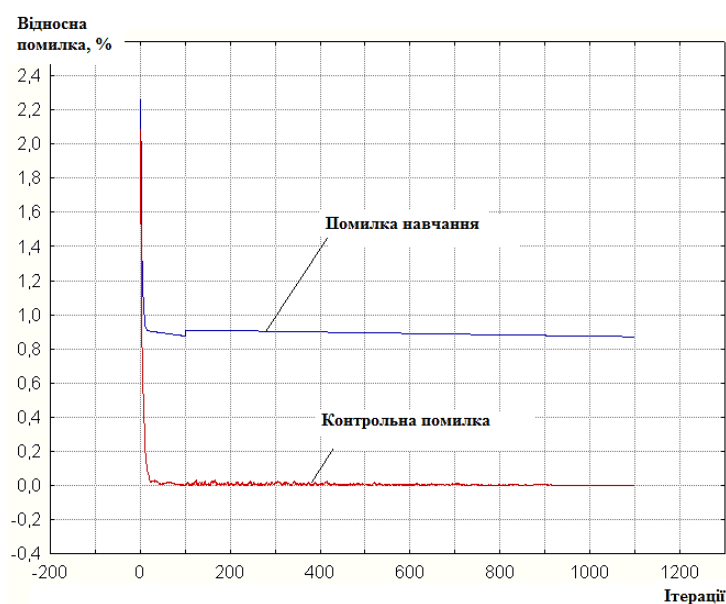


Рисунок 4.8 – Перевірка адекватності самоорганізаційної НМ Кохонена визначення числових значень параметрів НКК (експертні оцінки)

Із врахуванням прогнозних властивостей і з використанням синтезованої топологічної карти НМ Кохонена (рис. 4.9) розраховуються одиничні значення для всіх вагових коефіцієнтів концептів НКК (Додатки Ц, Ш).

Загальна математична модель нейромережі розрахунку значень вагових коефіцієнтів:

$$\begin{cases} Y_1 = w_{11} \cdot X_1 + w_{12} \cdot X_2 + w_{13} \cdot X_3 \\ Y_2 = w_{21} \cdot X_1 + w_{22} \cdot X_2 + w_{23} \cdot X_3 \\ Y_3 = w_{31} \cdot X_1 + w_{32} \cdot X_2 + w_{33} \cdot X_3 \\ Y_4 = w_{41} \cdot X_1 + w_{42} \cdot X_2 + w_{43} \cdot X_3 \\ Y_5 = w_{51} \cdot X_1 + w_{52} \cdot X_2 + w_{53} \cdot X_3, \\ Y_6 = w_{61} \cdot X_1 + w_{62} \cdot X_2 + w_{63} \cdot X_3 \\ Y_7 = w_{71} \cdot X_1 + w_{72} \cdot X_2 + w_{73} \cdot X_3 \\ Y_8 = w_{81} \cdot X_1 + w_{82} \cdot X_2 + w_{83} \cdot X_3 \\ Y_9 = w_{91} \cdot X_1 + w_{92} \cdot X_2 + w_{93} \cdot X_3 \end{cases} \quad (4.4)$$

X – входи нейроної мережі (див. рис. 4.8);

w – вагові коефіцієнтів відповідних синаптичних вагів нейромережі Кохонена

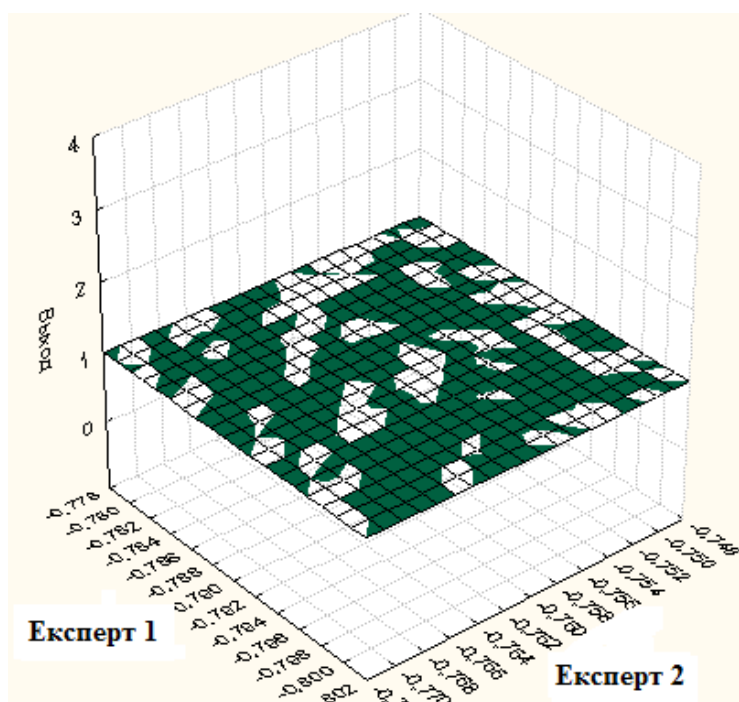


Рисунок 4.9 – Плато прогнозу самоорганізаційної НМ Кохонена визначення числових значень параметрів НКК (експертні оцінки)

Використовую експериментальні дані в пакеті прикладних математичних програм Statistica реалізували PNN-мережу [220, 311]. Вихідні безперервні змінні кодуємо – переводимо в категоріальні. Для кожної окремого міжконцептуального зв'язку створюється своя НМ (рис. 4.10) [36, 321].

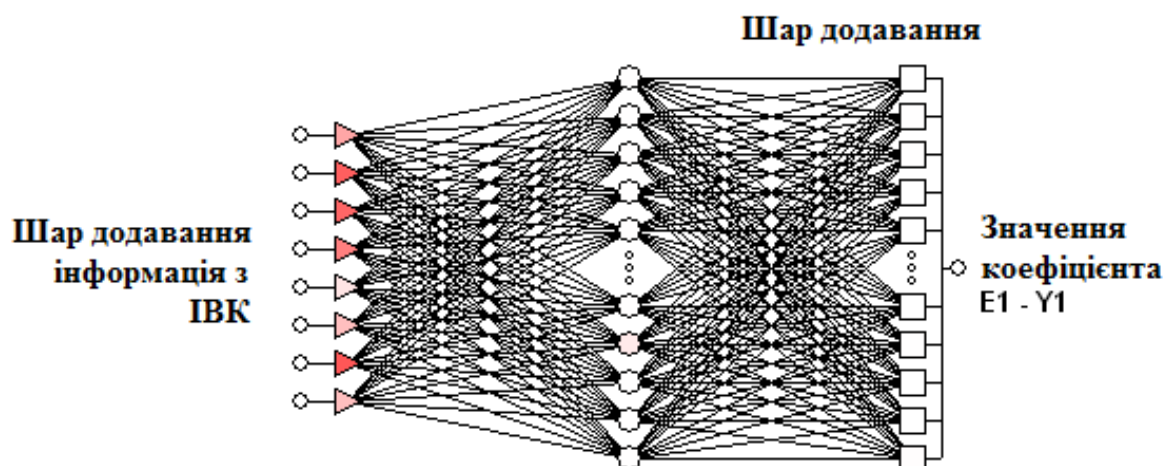


Рисунок 4.10 – Приклад архітектури ймовірнісної НМ визначення значень вагових коефіцієнтів НКК (НМ зв'язок E1-Y1: відносні похибки навчальної вибірки – 1,23 %, контрольної – 1,14 %)

У разі експлуатації блоку інформація подається на окремі PNN-мережі, а вони реалізують вибір експертних значень (рис. 4.11).

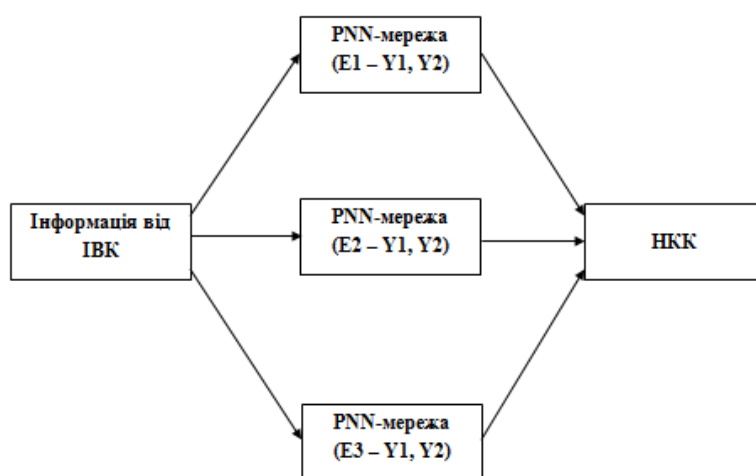


Рисунок 4.11 – PNN-мережа розрахунку експертних оцінок значень вагових коефіцієнтів НКК (програмної реалізації НМ у Додаток III)

Отримані значення вагових коефіцієнтів НКК (від експертної оцінки): $(E1 - Y1) - -0,77$, $(E1 - Y2) - 0,79$, $(E2 - Y1) - -0,78$, $(E2 - Y2) - 0,8$, $(E3 - Y1) - -0,89$, $(E3 - Y2) - -0,9$.

4.5. Реалізація методу опрацювання еколого-енергетичної інформації комбінованих технологічних процесів водоочищення на основі когнітивних моделей

4.5.1. Створення і структурний аналіз нечіткої когнітивної моделі екологічної безпеки систем комбінованого водоочищення. На підставі проведених досліджень (пункти 4.1 – 4.4) заповнюється матриця вагових коефіцієнтів (Додаток Ц).

Для створення й дослідження НКК використовуємо спеціалізований програмний продукт FCMapper, де міститься математичний апарат узагальнених нечітких когнітивних карт.

Реалізувавши розроблену в пункті 4.2 матрицю вагових коефіцієнтів концептів НКК, провели аналіз її структурних характеристик (рис. 4.12):

- 19 концептів виконують функції тільки передавачів (Transmitter);
- 1 концепт тільки отримує інформацію (Receiver);
- 1 концепт є "приймально-передавачем" (Ordinary).

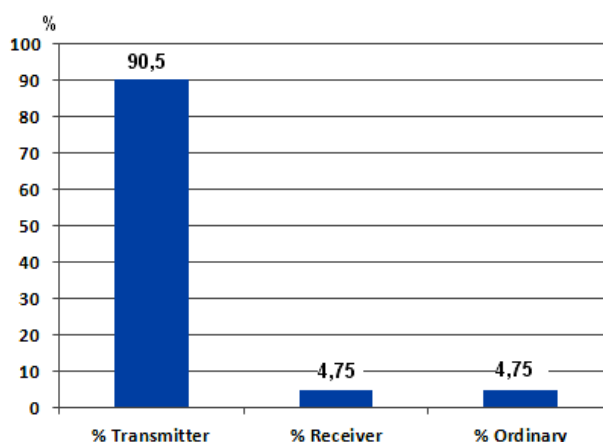
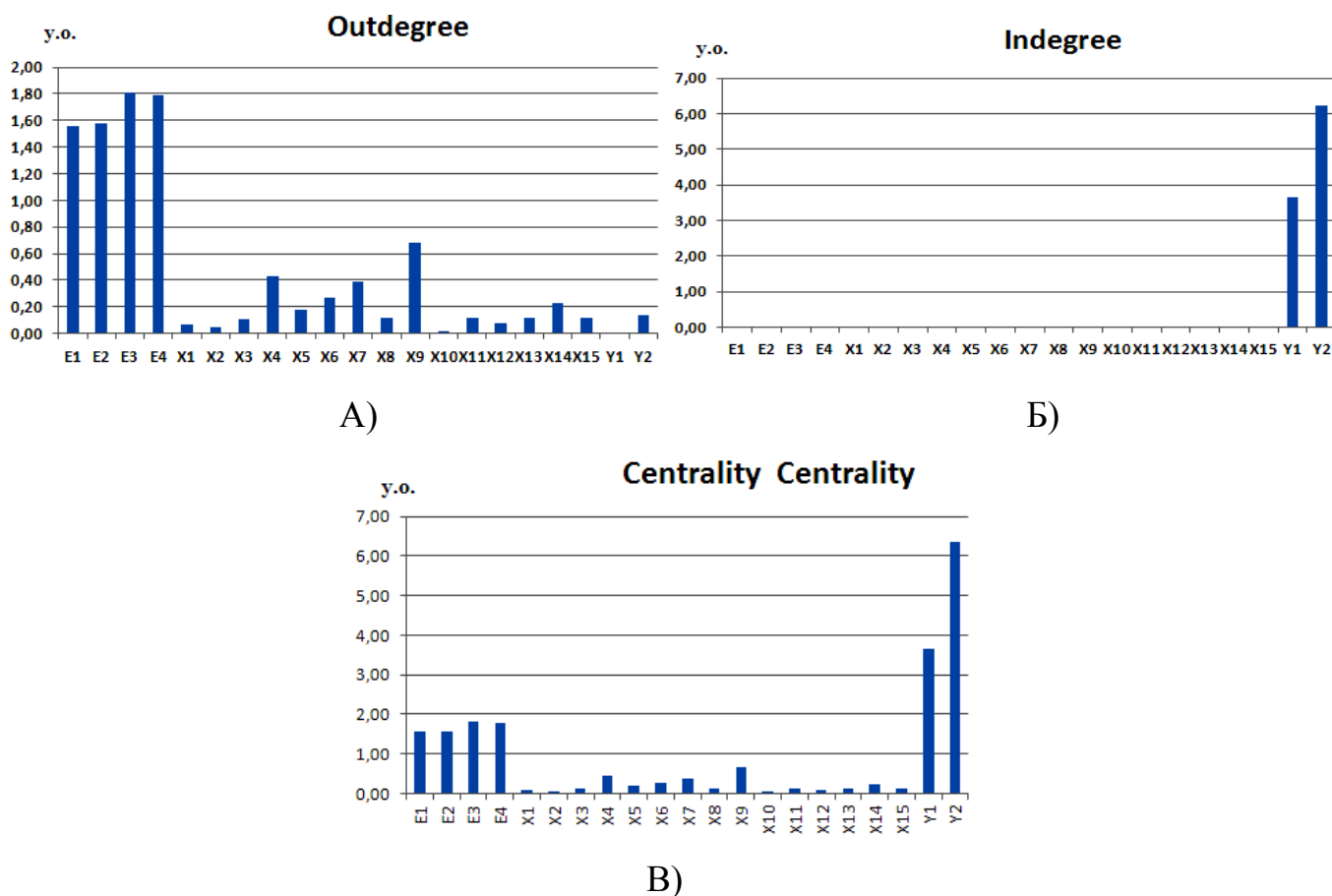


Рисунок 4.12 – Структурні характеристики НКК моделювання процесів у комбінованих системах водоочищення

На базі матриці концептів НКК розрахували функціональні індекси (рис. 4.13): консонансів (Outdegree), дисонансів (Indegree) і вплив одного фактора на інший (Centrality).



А – консонанс, Б – дисонанс, В – взаємовплив факторів

Рисунок 4.13 – Структурно-функціональні характеристики матриці концептів НКК

За значущістю впливу на енергоефективність концепти доцільно розділити на три групи:

– впливові концепти: *E1* (технічне й технологічне оснащення установок водоочищення), *E2* (ступінь використання обладнання), *E3* (витрата електроенергії), *E4* (управління виробництвом);

– концепти, які мають певний вплив: *X4* (концентрація завислих частинок у вхідній воді), *X6* (концентрація фосфатів у вхідній воді), *X7* (БСК вхідної води), *X9* (температура вхідної води);

– концепти, які мають незначний вплив на енергоефективність (інші).

Очевидно, що серед найвпливовіших концептів *E1* (технічне й технологічне оснащення установок водоочищення), *E2* (ступінь використання обладнання), *E4* (управління виробництвом) за сценарного моделювання процесів водоочищення будуть фактично константами, оскільки оснащення не зміниться, а ступінь використання обладнання і ступінь його керованості в короткі проміжки також принципово не зміняться. Тільки *E3* (витрата електроенергії) змінюється в часі, залежно від кількісно-якісних показників водоочищення. Саме тому, акцентуємо увагу на аналізі енергоспоживання.

4.5.2. Сценарно-когнітивне й нейромережеве моделювання ефективності використання еколого-енергетичної інформації промислового водоочищення.

Моделювання включати кілька послідовних етапів [114]:

ЕТАП 1. Формування набору значень концептів на основі аналітичних досліджень (пункт 3.6).

ЕТАП 2. Проведення сценарно-когнітивного моделювання для заповнення всієї площі можливих значень – формування навчального набору експериментальних даних.

ЕТАП 3. Синтез нейронної мережі – результуючої сценарно-когнітивне моделювання процесів у установках водоочищення.

У FCMapper за сценарного моделювання використовується нелінійна функція з насиченням, так звана логістична функція або сигмоїд (тобто функція S-подібного виду). Водночас всі значення концептів змінюються в умовному діапазоні [0, 1]. Для переходу в реальні фізичні величини, після закінчення *ЕТАПУ 3*, необхідно провести денормування згідно зі статистичними даними реального процесу водоочищення й залежності:

$$x_n = \frac{x_i - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}}, \quad (4.5)$$

де: x_i – реальне значення елемента; x_{min} – елемент, який має мінімальне значення; x_{max} – елемент, який має максимальне значення.

Звідси:

$$x_i = x_n \cdot (x_{max} - x_{min}) + x_{min}, \quad (4.6)$$

За аналізу вихідного концепту "Енергоефективність" необхідно врахувати, що значення, яке необхідно забезпечити – 0,5.

Згідно з розробленою послідовністю сценарно-когнітивного моделювання для одного набору даних:

ЕТАП 1. Початкові значення концептів вибираються, виходячи з попередніх досліджень (пункт 4.4, 4.5). Результати сценарно-когнітивного моделювання стає базисом для побудови нейронної мережі.

ЕТАП 2. Сценарно-когнітивне моделювання містить в собі розрахунок 22 поведінкових сценаріїв, водночас вирішується завдання заповнення всієї області значень (рис. 4.14, 4.15).

SelectScene	3	calculate selected Scenario		Compare Scenarios		
Number of Iterations	20					
Concepts	No Changes (Scene 1)	Scene 2	Scene 3	Results - No Changes (Scene 1)	Results - Scene 2	Results - Scene 3
E1	1,00	1,00	0,90	0,50	1,00	0,9
E2	1,00	1,00	0,10	0,5	1	0,1
E3	1,00	1,00	0,90	0,5	1	0,9
E4	1,00	1,00	0,10	0,5	1	0,1
X1	1,00	1,00	0,90	0,5	1	0,9
X2	1,00	1,00	0,10	0,5	1	0,1
X3	1,00	1,00	0,90	0,5	1	0,9
X4	1,00	1,00	0,100000	0,500000	1	0,1
X5	1,00	1,00	0,90	0,500000	1	0,9
X6	1,00	1,00	0,10	0,500000	1	0,1
X7	1,00	1,00	0,90	0,500000	1,000000	0,900000
X8	1,00	1,00	0,10	0,500000	1,000000	0,100000
X9	1,00	1,00	0,90	0,500000	1,000000	0,900000
X10	1,00	1,00	0,10	0,500000	1,000000	0,100000
X11	1,00	1,00	0,90	0,500000	1,000000	0,900000
X12	1,00	1,00	0,10	0,500000	1,000000	0,100000
X13	1,00	1,00	0,90	0,500000	1,000000	0,900000
X14	1,00	1,00	0,10	0,500000	1,000000	0,100000
X15	1,00	1,00	0,90	0,500000	1,000000	0,900000
Y1	1,00	0,10	0,60	0,298178	0,100000	0,600000
Y2	1,00	0,10	0,60	0,328495	0,100000	0,600000

Рисунок 4.14 – Інтерфейсний модуль сценарно-когнітивного моделювання процесів у комбінованих установках водоочищення (програмний продукт FCMapper)

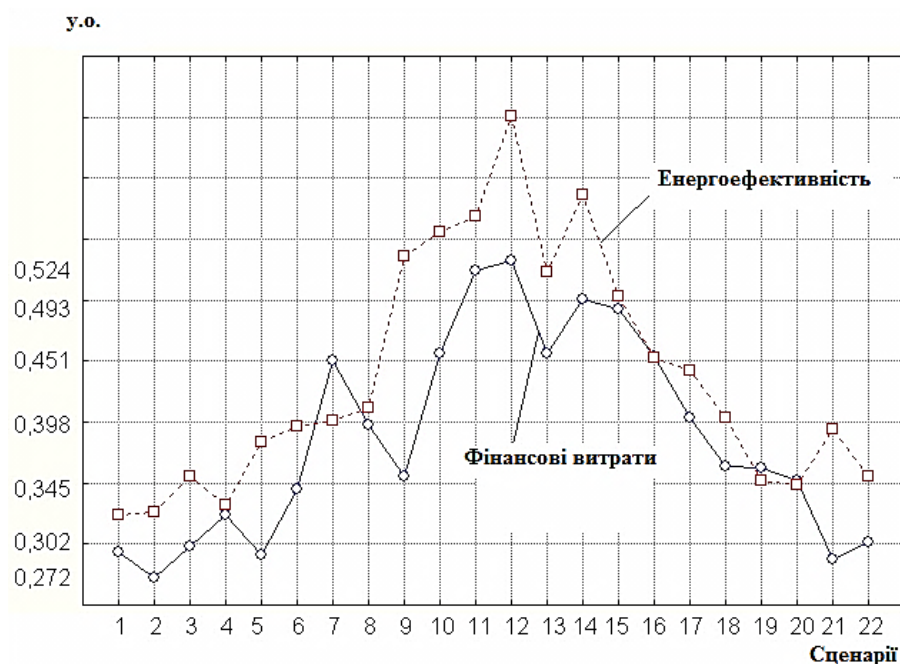


Рисунок 4.15 – Результати сценарно-когнітивного моделювання процесів комбінованого водоочищення

ЕТАП 3. На підставі створеної навчальної вибірки (Додатки Ю) синтезуємо НМ, водночас додається ще один вхідний параметр – сила струму (зважаючи на експериментально-аналітичні дослідження і роботу адекватної НМ пункту 3.3) (рис. 4.16).

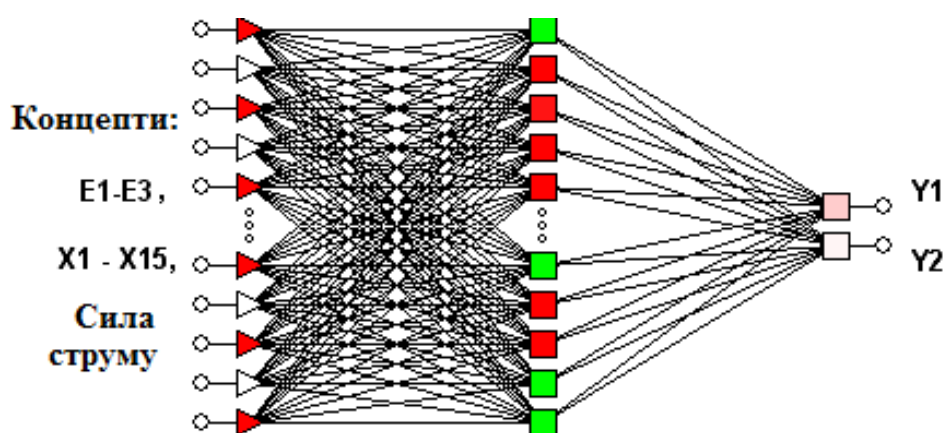


Рисунок 4.16 – Архітектура НМ (багатошаровий перцептрон) оцінки когнітивного моделювання процесів комбінованого водоочищення

Якість функціонування НМ не повною мірою відповідає вимогам адекватності, оскільки отримано такі відносні похибки: навчальна вибірка – 2,7 %, контрольна вибірка – 2,9 %, тестова вибірка – 3,05 % (рис. 4.17, 4.18).

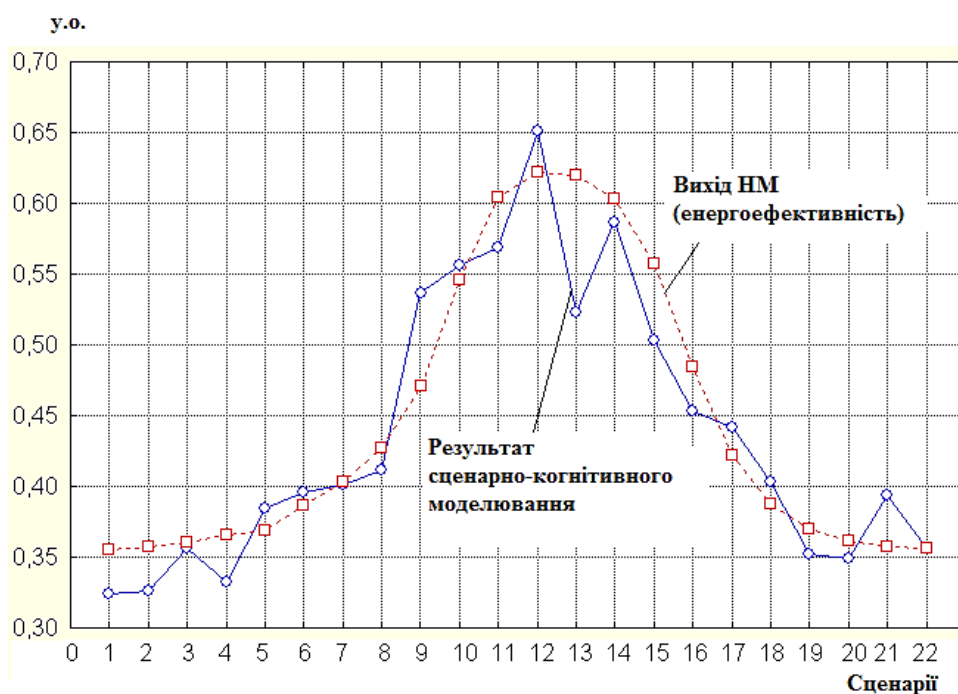
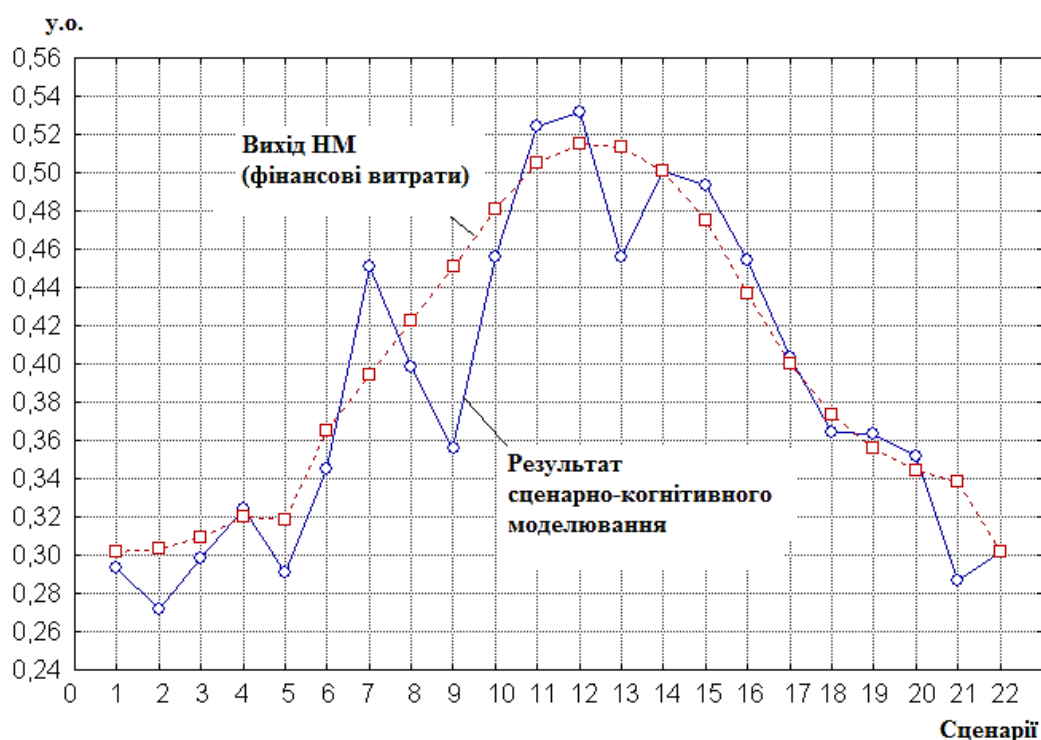


Рисунок 4.17 – Якість навчання НМ оцінки сценарно-когнітивного моделювання процесів комбінованого водоочищення

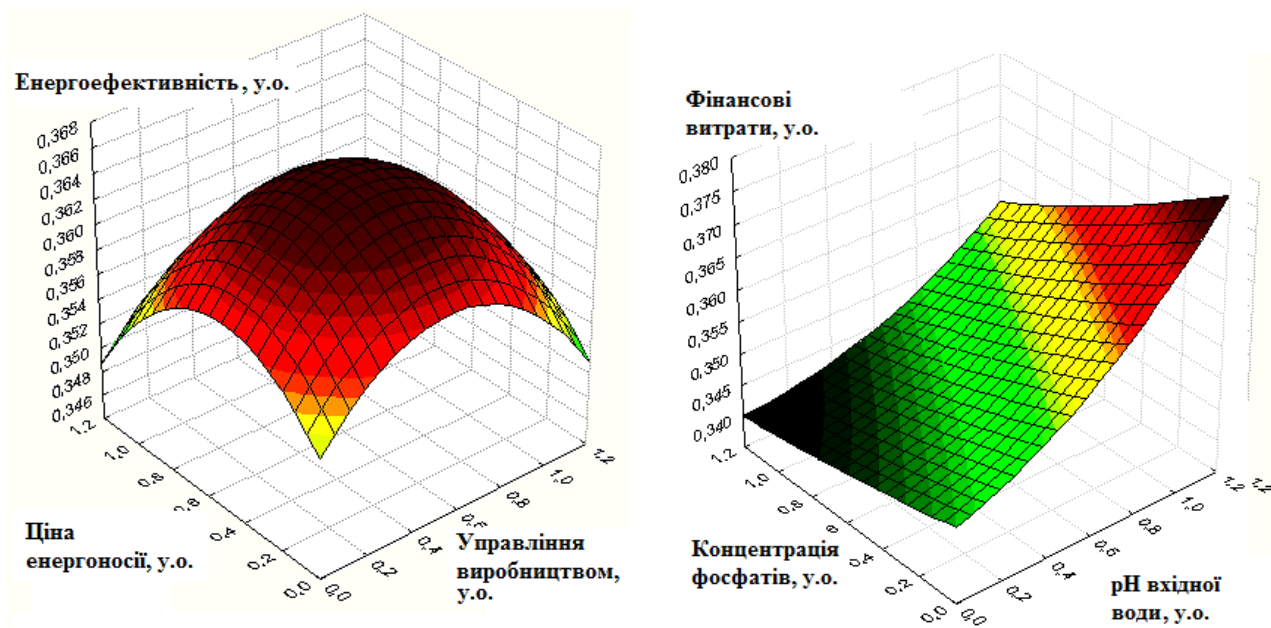


Рисунок 4.18 – Залежності вихідних концептів ("Енергоефективність" і "Фінансові витрати") від проміжних і вхідних концептів (результати роботи оптимізованої НМ)

4.5.3. Оптимізація нейронної мережі результатів сценарно-когнітивного моделювання (визначення ефективних еколого-енергетичних режимів) з використанням мурашиного алгоритму. Під час оптимізації НМ використовуємо лістинг програми (Додаток Я), що реалізована на "C ++".

З урахуванням двох виходів НМ приймаємо наступний критерій для оптимізації й керуючого впливу (сила струму), з врахуванням кодування значень за побудови НКК, який полягає в підстроювання вагових коефіцієнтів:

$$\begin{cases} \text{Еколого-енергетична_ефективність} \rightarrow 0,5 \\ \Phi B \rightarrow \min \\ CT \rightarrow \min \end{cases} \quad (4.7)$$

де: ΦB – фінансові витрати, CT – сила струму.

Загальний алгоритм синтезу нейромережевої системи управління включає ряд етапів (рис. 4.19). Для коригування вагових коефіцієнтів використовуємо мурашиний алгоритм (МА) [158] з його адаптацією до завдань оптимізації НМ.



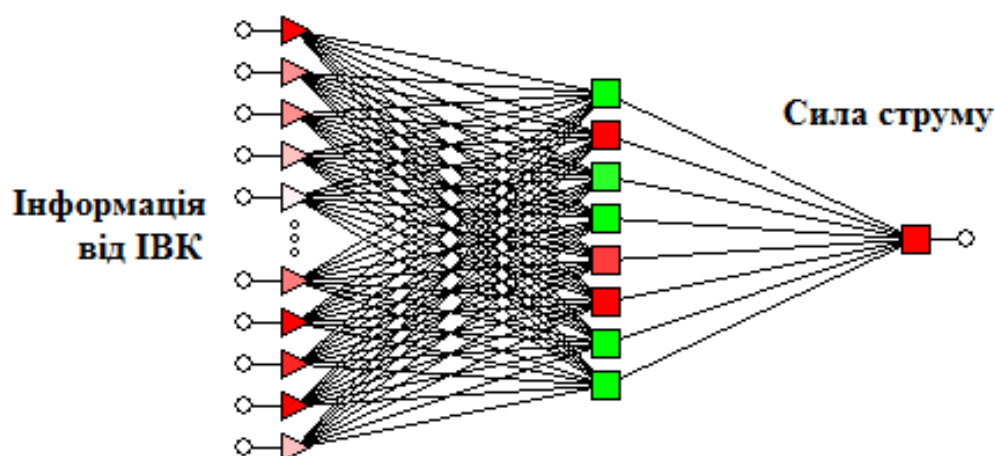
Рисунок 4.19 – Блок-схема алгоритму синтезу НМ оптимального управління комбінованим водоочищенням

У контексті нашої задачі МА має вигляд [158]: Введення матриці D (параметри функцій активації згідно з параметрами НС пункту, значення для

розрахунком згідно з таблицею навчання НКК); 2. Ініціалізація параметрів алгоритму – α, β, Q, A^e, l ; Ініціалізація ребер – присвоєння видимості η_{ij} і початкової концентрації феромона (вагові коефіцієнти НМ); Модифікована стратегія початкового розміщення мурах; Вибір початкового найкоротшого маршруту T^* і визначення L^* ; Цикл за часом життя колонії $t = 1, t_{max}$; Цикл по всіх мурашках $k = 1, m$; Побудувати маршрут T і розрахувати довжину L ; Проміжне випрямлення T і перерахунок L ; Якщо $L < L^*$, то $L^* = L$ і $T^* = T$ кінець циклу по мурашках; Цикл по всіх ребрах графа; Оновити сліди феромону на ребрі на основі; Кінець циклу по ребрах; Формування шаблону; Оновити сліди феромону «еліти» на основі; Кінець циклу за часом; Додаткове випрямлення T^* і перерахунок L^* ; Вивести найкоротший маршрут T^* і його довжину L^* .

Оптимізована з використанням МА нейромережа продемонструвала кращі результати (відносні похибки: навчальна вибірка – 1,7 %, контрольна вибірка – 1,9 %, тестова вибірка – 1,85 %).

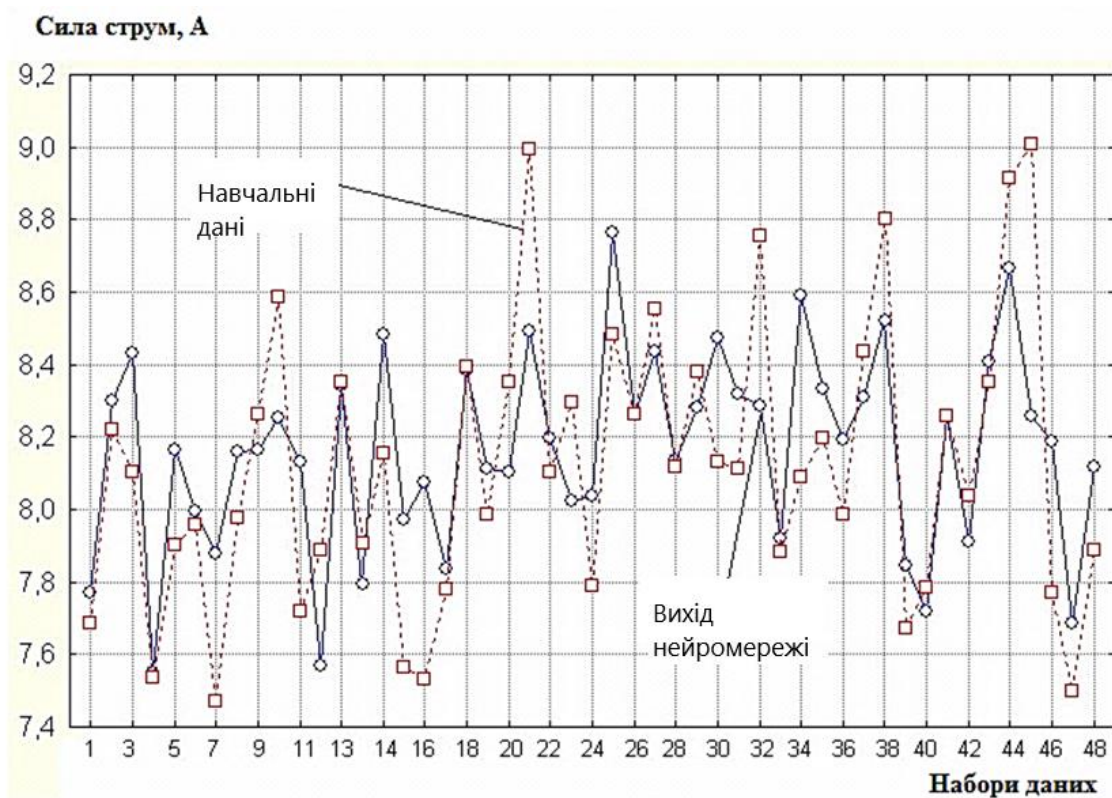
Тоді синтезується НМ енергоефективного управління (рис. 4.20, 4.21) (Додаток АА, АБ).



А)

А – архітектура НМ, Б – якість навчання НМ

Рисунок 4.20 – НМ управління водоочищенням (відносні похибки: навчальна вибірка – 1,23 %, контрольна вибірка – 1,4 %, тестова вибірка – 1,34 %)



Б)

Рисунок 4.20, аркуш 2

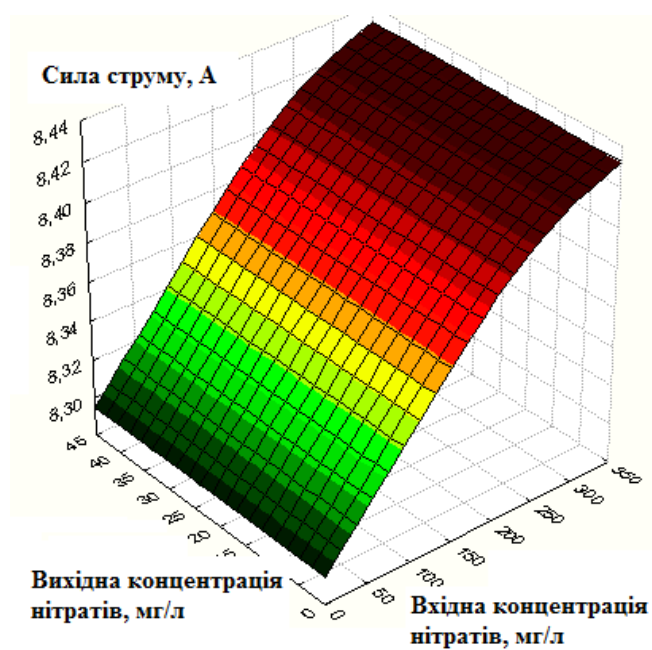


Рисунок 4.21 – Поверхні відгуків моделювання процесів управління комбінованим водоочищенням

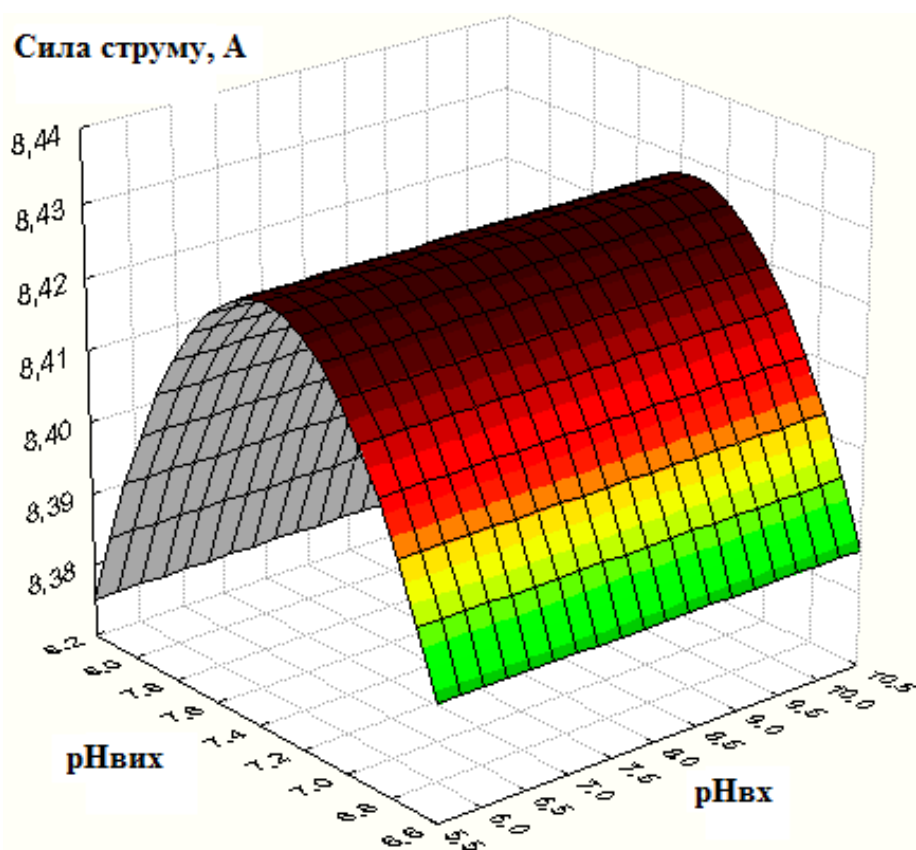
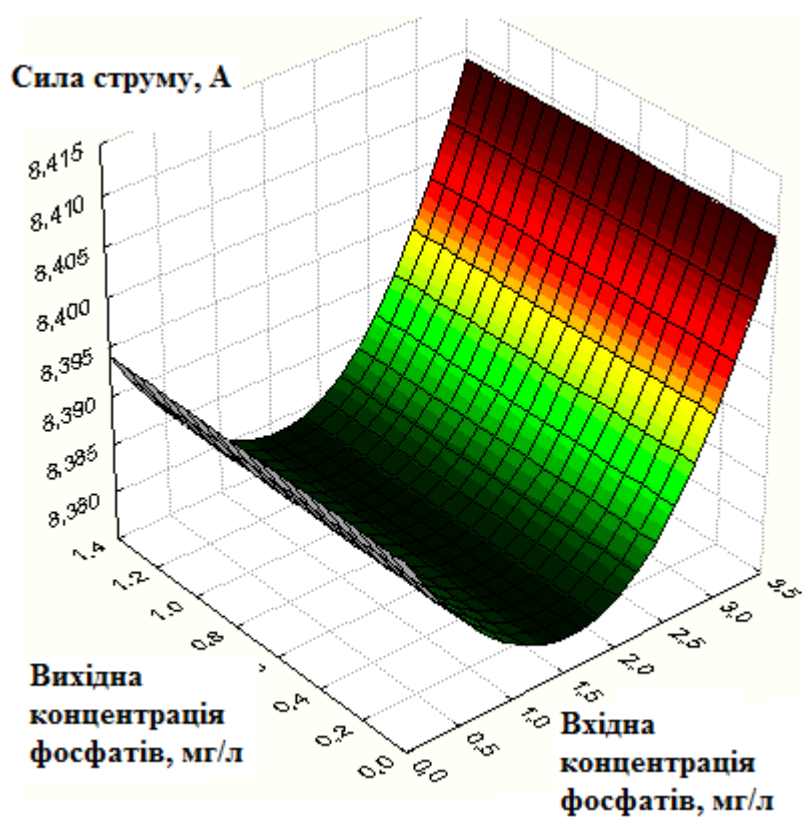


Рисунок 4.21, аркуш 2

Загальна математична модель нейромережі управління водоочищенням:

$$\begin{aligned}
 \text{Сила _ струму} = & (1/(1 - \exp(-((X_1 \cdot w_{11}) + (X_2 \cdot w_{21}) + (X_3 \cdot w_{31}) + (X_4 \cdot w_{41}) + (X_5 \cdot w_{51}) + \\
 & + (X_6 \cdot w_{61}) + (X_7 \cdot w_{71}) + (X_8 \cdot w_{81}) + (X_9 \cdot w_{91}) + (X_{10} \cdot w_{101}) + (X_{11} \cdot w_{111}) + \\
 & + (X_{12} \cdot w_{121}) + (X_{13} \cdot w_{131})) + 1/(1 - \exp(-((X_1 \cdot w_{12}) + (X_2 \cdot w_{22}) + \\
 & + (X_3 \cdot w_{32}) + (X_4 \cdot w_{42}) + (X_5 \cdot w_{52}) + (X_6 \cdot w_{62}) + (X_7 \cdot w_{72}) + (X_8 \cdot w_{82}) + \\
 & + (X_9 \cdot w_{92}) + (X_{10} \cdot w_{102}) + (X_{11} \cdot w_{112}) + (X_{12} \cdot w_{122}) + (X_{13} \cdot w_{132}))) + 1/(1 - \exp(- \\
 & - ((X_1 \cdot w_{13}) + (X_2 \cdot w_{23}) + (X_3 \cdot w_{33}) + (X_4 \cdot w_{43}) + (X_5 \cdot w_{53}) + (X_6 \cdot w_{63}) + (X_7 \cdot w_{73}) + \\
 & + (X_8 \cdot w_{83}) + (X_9 \cdot w_{93}) + (X_{10} \cdot w_{103}) + (X_{11} \cdot w_{113}) + (X_{12} \cdot w_{123}) + (X_{13} \cdot w_{133}))) + \\
 & + 1/(1 - \exp(-((X_1 \cdot w_{14}) + (X_2 \cdot w_{24}) + (X_3 \cdot w_{34}) + (X_4 \cdot w_{44}) + (X_5 \cdot w_{54}) + (X_6 \cdot w_{64}) + \\
 & + (X_7 \cdot w_{74}) + (X_8 \cdot w_{84}) + (X_9 \cdot w_{94}) + (X_{10} \cdot w_{104}) + (X_{11} \cdot w_{114}) + (X_{12} \cdot w_{124}) + (X_{13} \cdot w_{134}))) + \\
 & + 1/(1 - \exp(-((X_1 \cdot w_{15}) + (X_2 \cdot w_{25}) + (X_3 \cdot w_{35}) + (X_4 \cdot w_{45}) + (X_5 \cdot w_{55}) + (X_6 \cdot w_{65}) + \\
 & + (X_7 \cdot w_{75}) + (X_8 \cdot w_{85}) + (X_9 \cdot w_{95}) + (X_{10} \cdot w_{105}) + (X_{11} \cdot w_{115}) + (X_{12} \cdot w_{125}) + \\
 & + (X_{13} \cdot w_{135}))) + 1/(1 - \exp(-((X_1 \cdot w_{16}) + (X_2 \cdot w_{26}) + (X_3 \cdot w_{36}) + (X_4 \cdot w_{46}) + (X_5 \cdot w_{56}) + \\
 & + (X_6 \cdot w_{66}) + (X_7 \cdot w_{76}) + (X_8 \cdot w_{86}) + (X_9 \cdot w_{96}) + (X_{10} \cdot w_{106}) + (X_{11} \cdot w_{116}) + (X_{12} \cdot w_{126}) + \\
 & + (X_{13} \cdot w_{136}))) + 1/(1 - \exp(-((X_1 \cdot w_{17}) + (X_2 \cdot w_{27}) + (X_3 \cdot w_{37}) + (X_4 \cdot w_{47}) + (X_5 \cdot w_{57}) + \\
 & + (X_6 \cdot w_{67}) + (X_7 \cdot w_{77}) + (X_8 \cdot w_{87}) + (X_9 \cdot w_{97}) + (X_{10} \cdot w_{107}) + (X_{11} \cdot w_{117}) + (X_{12} \cdot w_{127}) + \\
 & + (X_{13} \cdot w_{137}))) + 1/(1 - \exp(-((X_1 \cdot w_{18}) + (X_2 \cdot w_{28}) + (X_3 \cdot w_{38}) + (X_4 \cdot w_{48}) + (X_5 \cdot w_{58}) + \\
 & + (X_6 \cdot w_{68}) + (X_7 \cdot w_{78}) + (X_8 \cdot w_{88}) + (X_9 \cdot w_{98}) + (X_{10} \cdot w_{108}) + (X_{11} \cdot w_{118}) + (X_{12} \cdot w_{128}) + \\
 & + (X_{13} \cdot w_{138})))
 \end{aligned} \tag{4.8}$$

X – входи нейроної мережі (див. рис. 4.23); w – вагові коефіцієнтів відповідних синаптичних вагів нейромережі моделювання процесів.

4.6. Імітаційне дослідження та оцінювання результатів роботи моделей визначення ефективних еколого-енергетичних режимів комбінованого водоочищення

Для проведення імітаційного моделювання синтезуємо НМ, згідно з результатами експериментальних досліджень (пункт 3.1), де на вході сила струму, вихідні параметри – технологічні показники процесу водоочищення (рис. 4.22).

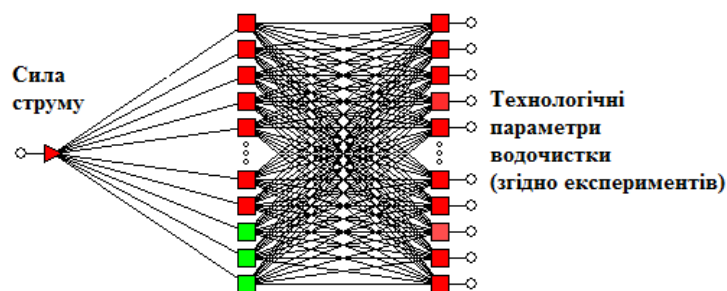
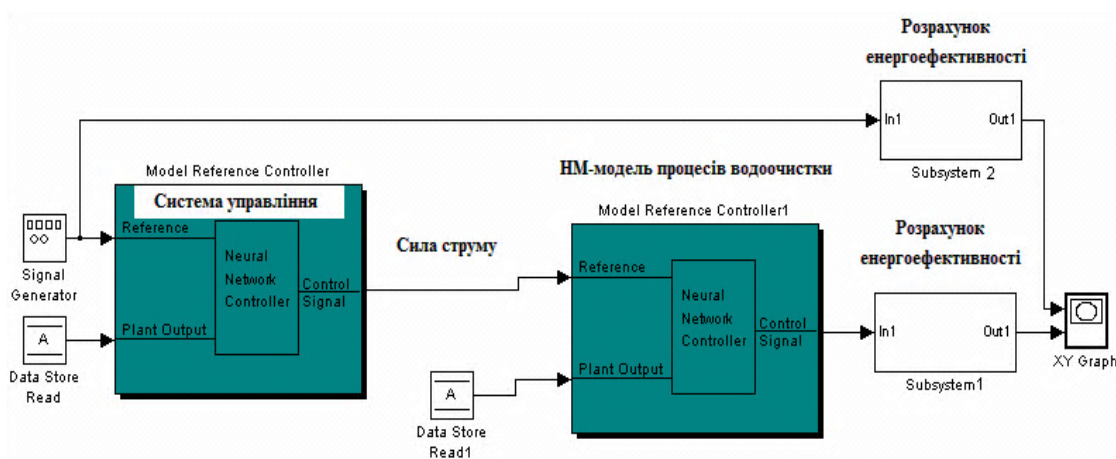


Рисунок 4.22 – Архітектура НМ моделі процесів комбінованого водоочищення (відносні похибки: навчальна вибірка – 2,42 %, контрольна вибірка – 3,84 %, тестова вибірка – 3,75 %)

У пакеті прикладного математичного програмного забезпечення "MatLAB Simulink", який містить блок нейромережевого моделювання, застосувавши створені програмні реалізації (Додаток АВ, АГ), зробили імітаційні дослідження функціонування НМ енергоефективного управління комбінованого водоочищення (рис. 4.23).

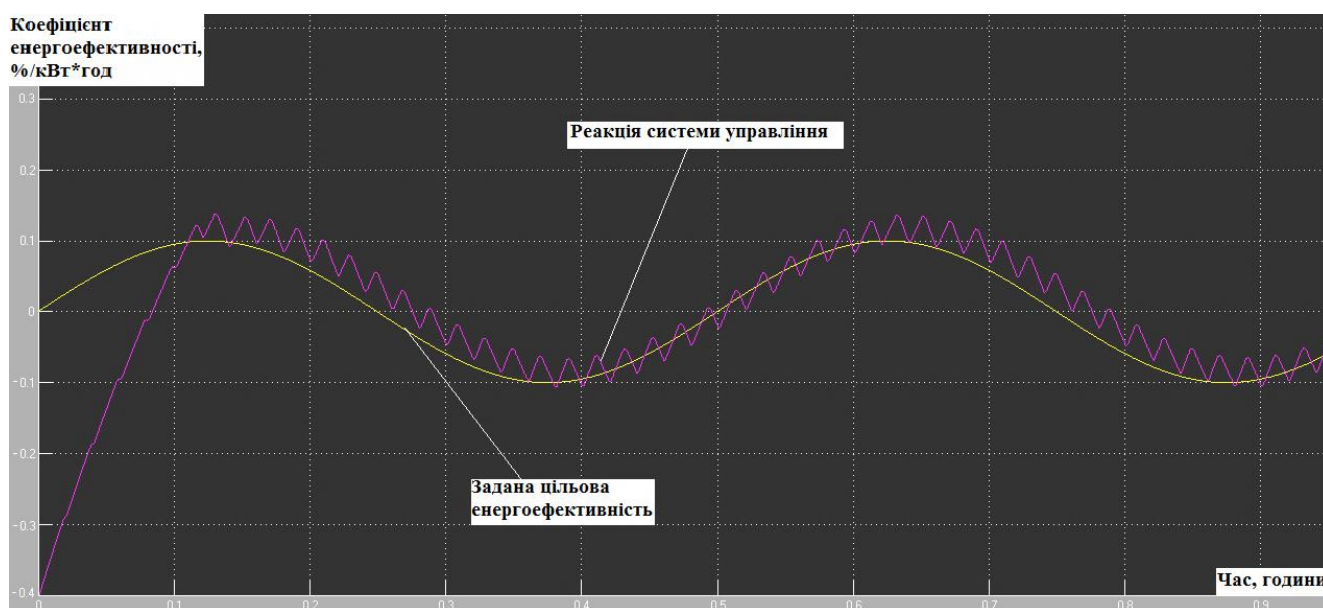
Підсистеми Subsystems виконують такі завдання: *Subsystems1* – розрахунок значення коефіцієнта енергоефективності після розрахунку НМ-моделі процесів водоочищення; *Subsystems2* – розрахунок значення заданого значення коефіцієнта енергоефективності.



А)

А – структура імітаційної моделі, Б – якість функціонування нейромережевої системи управління (відносна похибка реакції системи – 3,82 %)

Рисунок 4.23 – Імітаційне моделювання функціонування системи управління



Б)

Рисунок 4.23, аркуш 2

Під час оцінювання результатів імітаційного моделювання промислового водоочищення враховується, що на достовірність результатів негативно можуть впливати ціла низка факторів, основними з яких є:

- фізичне моделювання випадкових факторів (параметри якості стічних вод), що ґрунтується на використанні технічних засобів водоочищення (ВМЕВ), які можуть вносити «спотворення» в поведінку інформаційно-функціональних моделей;
- наявність нестационарного режиму роботи моделі;
- використання декількох різнотипних математичних методів у рамках однієї моделі;
- необхідність синхронізації роботи деяких компонентів моделі, у тому числі фізичних та математичних засобів;
- наявність моделі робочого навантаження, якість якої залежить, своєю чергою, від тих же факторів.

Придатність імітаційної моделі для розв'язання задач дослідження характеризується тим, якою мірою вона володіє так званими цільовими властивостями.

Основними з них є:

- адекватність;
- стійкість;
- чутливість.

Отже, оцінимо результати моделювання:

1. Оцінювання адекватності моделі.

Один із найбільш поширених способів формального обґрунтування адекватності розробленої моделі - використання методів математичної статистики. Суть цих методів полягає в перевірці висунутої гіпотези на основі деяких статистичних критеріїв, однак у пункті 3.4 було доведено не відповідність нормальному розподілові даних щодо якості водоочищення – відповідно, не прийнятним є застосування параметричних підходів опрацювання статистичної інформації.

Тоді рішення щодо адекватності результатів моделювання приймемо відштовхуючись від того, що всі складові загальної моделі технологічно адекватні результатам функціонування ВМЕВ і, відповідно, і їхня композиція адекватна (згідно з максимальними відносними похибками, по-модельно):

- радіально-базисна нейромережа розрахунку вагових коефіцієнтів НКК від інформації, що отримується від ІВК – 2,1 %;
- нейромережа Кохонена кластеризації експертних оцінок – 0,83 %;
- ймовірнісна нейромережа вибору значень вагових коефіцієнтів НКК отримуваних на основі експертних оцінок – 2,02 %;
- нейромережа типу багат шаровий персептрон підтримки сценарно-когнітивного моделювання – 1,9 %;
- нейромережа типу багат шаровий персептрон управління процесами водоочищення – 1,4 %.

Такий висновок підтверджується реалізацією 30 імітаційних моделювань (рис. 4.23): максимальна відносна похибка – 4,12 %.

2. Стійкість моделі.

Стійкість моделі перевірялась шляхом збільшення часу експлуатації моделі від 1 години (базовий час) до 6 годин та реєстрації відносної похибки (рис. 4.24).

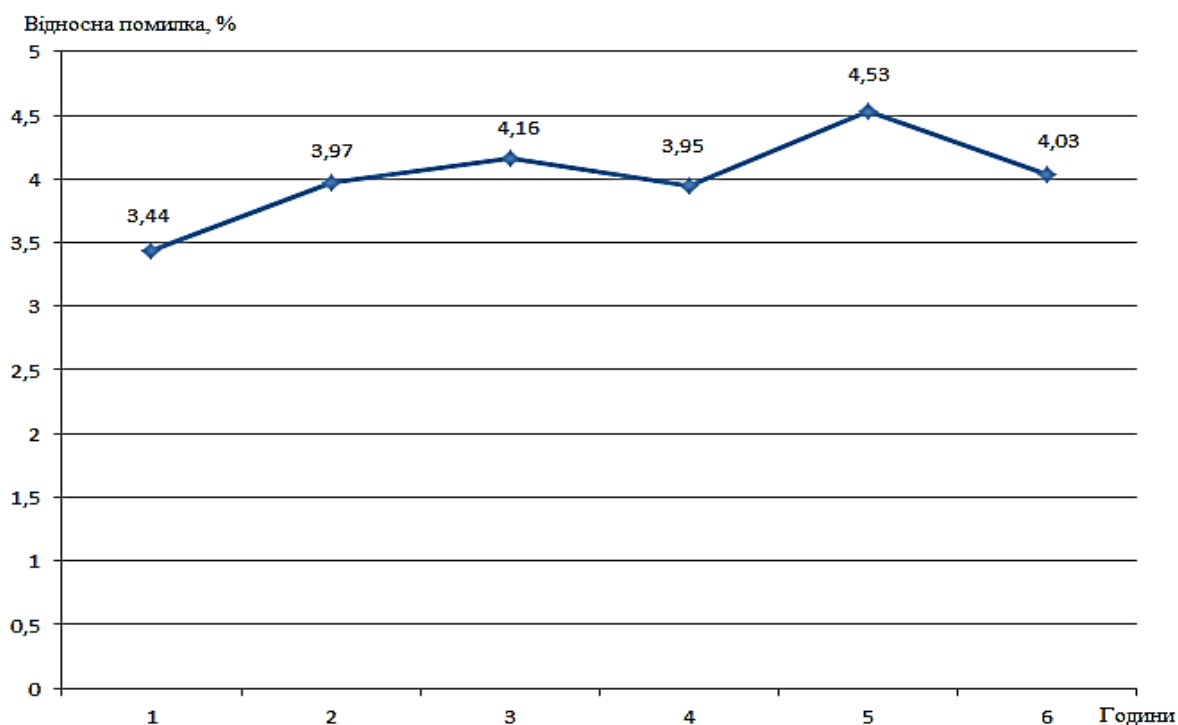


Рисунок 4.24 – Дослідження на стійкість інформаційно-функціональної моделі промислового водоочищення

Стійкість же імітаційної моделі до непередбачуваних змін вхідних параметрів закладені в сам алгоритм моделювання – значення вхідних параметрів задаються випадковим чином та не описуються певними закономірностями.

Тобто модель відповідає вимогам необхідної стійкості.

3. Чутливість.

Чутливість моделі було закладено вже на етапі синтезу бази знань (пункти 3.3 та 3.4), оскільки база знань формувалася фактично згідно з методикою перевірки чутливості моделей: шляхом фіксації параметрів і поступовим збільшенням одного із них до максимального значення. Перевірялася відповідність складових моделей відносною помилкою.

Оскільки було встановлено не виконання закону нормальності розподілу величин водоочищення, то для подальшого аналізу кращими є непараметричні методи, а саме критерій Краскела-Уоллеса, що дозволяє перевірити гіпотезу про рівність середніх з мінімальними вимогами до вибірових даних. Під час перевірки гіпотези H_0 вибірові значення x_{ij} замінюються їхніми рангами x'_{ij} . Для кожного

рівня обчислюється середній ранг $R_i = \frac{1}{k_i} \sum_{j=1}^{k_i} x'_{ij}$, $i=\overline{1,r}$, і порівнюється із загальним

середнім рангом, який, у припущенні справедливості H_0 , дорівнює $R = \frac{n+1}{2}$.

Для цього використовується статистика Краскела-Уоллеса, критичні точки [168]:

$$K = \frac{12}{n(n+1)} \sum_{i=1}^r k_i (R_i - R)^2 \quad (4.9)$$

Критична область в цьому завданні є правобічною, тому, якщо $K_{\text{набл}} \geq K_{\text{табл}}$, то гіпотеза H_0 відкидається.

У разі великих значень $n = \sum_{i=1}^r k_i$ розподіл статистики Краскела-Уоллеса наближається до розподілу χ_{r-1}^2 .

Шляхом використання імітаційної моделі отримали три реалізації реакцій інтелектуальної інформаційно-функціональної моделі промислового водоочищення на випадково задане значення енергоефективності процесів, на яке потрібно вийти системі (табл. 4.3).

Сформулюємо основну та альтернативну гіпотези, стосовно аналізу однорідності результатів імітаційної реакції моделі та вставки, на яку потрібно вийти системі:

- H_0 : всі набори даних однорідні – відповідно реакції інтелектуальної інформаційно-функціональної моделі промислового водоочищення технологічно прийнятні й модель можна використовувати в реальних умовах;

- H_1 : набори даних неоднорідні – відповідно реакції інтелектуальної інформаційно-функціональної моделі промислового водоочищення технологічно неприйнятні й модель не можна використовувати в реальних умовах.

Таблиця 4.3 – Результати функціонування інтелектуальної інформаційно-функціональної моделі промислового водоочищення

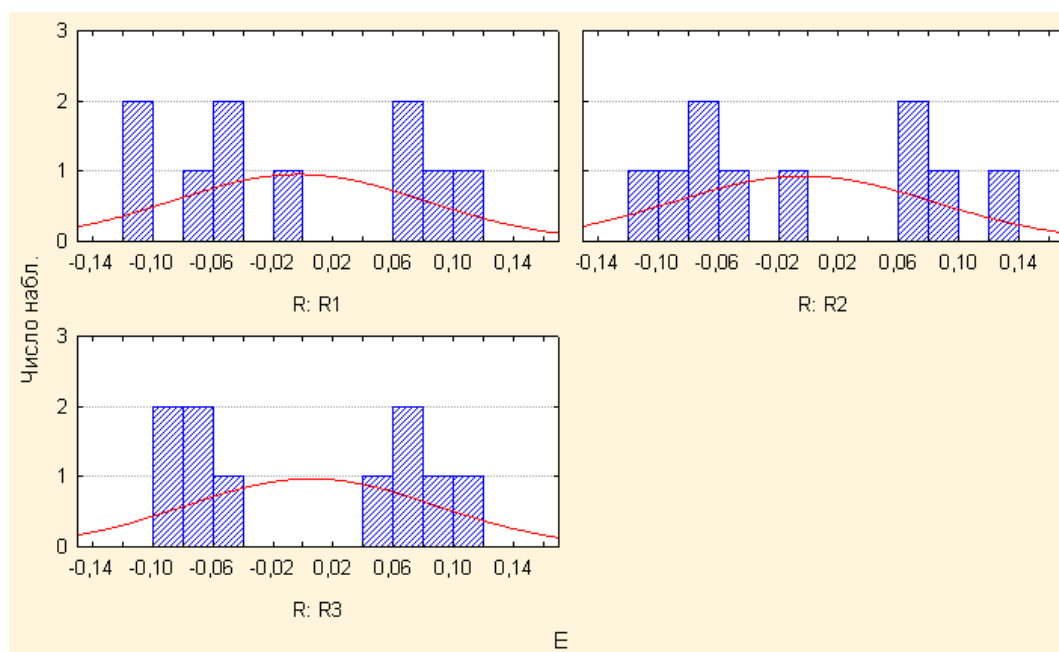
Значення енергоефективності, яке потрібно забезпечити, %/кВт	Реакція системи 1, %/кВт	Реакція системи 2, %/кВт	Реакція системи 3, %/кВт
0,1	0,12	0,125	0,11
0,06	0,07	0,068	0,072
-0,065	-0,055	-0,05	-0,045
-0,09	-0,1	-0,11	-0,085
0	-0,018	-0,015	0,05
0,095	0,093	0,096	0,1
0,065	0,07	0,068	0,068
-0,06	-0,05	-0,065	-0,06
-0,095	-0,1	-0,098	-0,09
-0,07	-0,065	-0,06	-0,075

Використавши спеціалізований програмний пакет “Statistica”, оцінили результати тесту Красклера-Уоллеса (рис. 4.25), які підтвердили вірність гіпотези H_0 (ймовірність її прийняття рівна $p = 0,9673$).

Ранговый ДА Краскела-Уоллеса; E (Таблица)				
Группирующая переменная: R				
Кр.Краскела-Уоллеса: H (2, N= 30) = ,0665849 p = ,9673				
Зависим.: E	Код	Допуст N	Сумма Ряды	
R1	1	10	154,0000	
R2	2	10	150,5000	
R3	3	10	160,5000	

Рисунок 4.25 – Результати тесту Красклера-Уоллеса

Гістограми розподілів енергоефективності підтвердила не відповідність їхньому закону нормальності розподілу (рис. 4.26).



R1 – реакція системи 1, R2 – реакція системи 2, R3 – реакція системи
 Рисунок 4.26 – Гістограми розподілів енергоефективностей, отриманих у
 результаті імітаційного моделювання 3)

Для перехресної перевірки гіпотези (окреми оцінюючи різні реакції системи) застосували статистику Манна – Уїтні, де розглядається модель експериментальних даних:

$$x_{ij} = m + \tau_i + \varepsilon_{ij}, \quad j = \overline{1, k_i}, \quad i = \overline{1, r}. \quad (4.10)$$

Величина τ_i характеризує відхилення експериментальних даних від генерального середнього на i -му рівні й називається ефектом обробки. Потрібно вирішити наступне завдання [46]:

$$\begin{cases} H_0 : \tau_1 = \tau_2 = \dots = \tau_r \\ H_1 : \tau_1 \leq \tau_2 \leq \dots \leq \tau_r, \text{ причому } \exists i, j (i < j) : \tau_i < \tau_j \end{cases} \quad (4.11)$$

Під час вирішення задачі (4.13) кожній парі спостережень (a; b) зіставляється

$$\text{значення } u(a, b) = \begin{cases} 1, \text{ якщо } a < b; \\ 0.5, \text{ якщо } a = b; \\ 0, \text{ якщо } a > b; \end{cases} \quad \text{потім знаходиться сума значень цієї функції}$$

для кожної пари рівнів [139]:

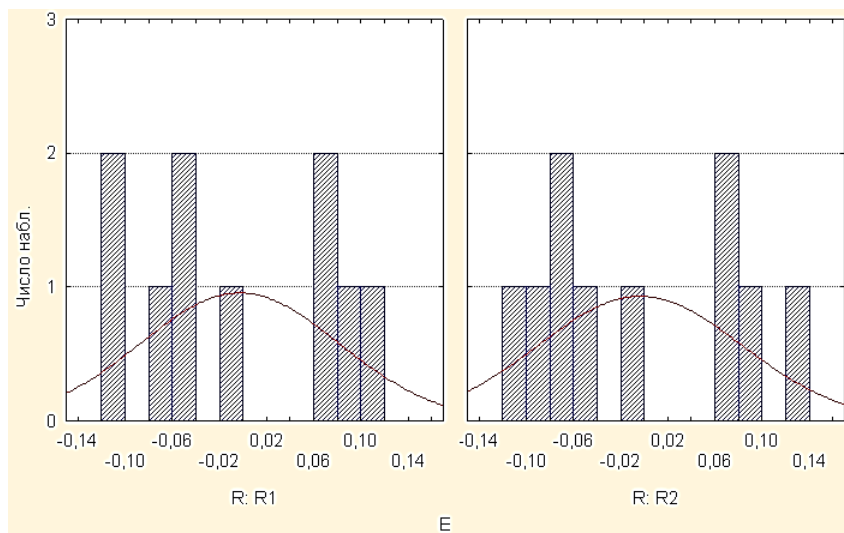
$$U_{gh} = \sum_{i=1}^{k_g} \sum_{j=1}^{k_h} u(x_{gi}, x_{hj}) \quad (4.12)$$

Статистика Джонкхіера розраховується як сума $J = \sum_{g < h} U_{gh}$. Великі значення

статистики Джонкхіера свідчать проти гіпотези H_0 .

Використавши спеціалізований програмний пакет “Statistica”, отримали результати опрацювання всіх пар вибірок енергоефективності (див. табл. 4.3) на основі значень статистики Джонкхіера (U) та ймовірності прийняття гіпотези H_0 (p) (рис. 4.27) за рівня значущості такої гіпотези 5 %; оцінювалися розподіли вибірок.

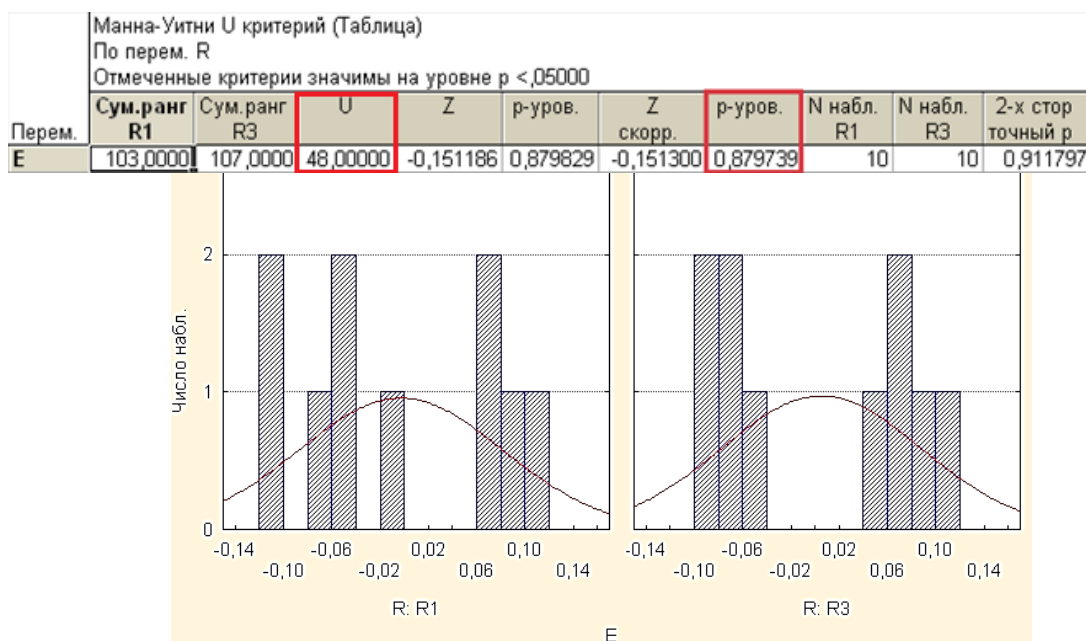
Манна-Уїтні U критерій (Таблица)										
По перем. R										
Отмеченные критерии значимы на уровне p < ,05000										
Перем.	Сум. ранг R1	Сум. ранг R2	U	Z	p-уров.	Z скорр.	p-уров.	N набл. R1	N набл. R2	2-х стор точный p
E	106,0000	104,0000	49,00000	0,075593	0,939743	0,075735	0,939630	10	10	0,970512



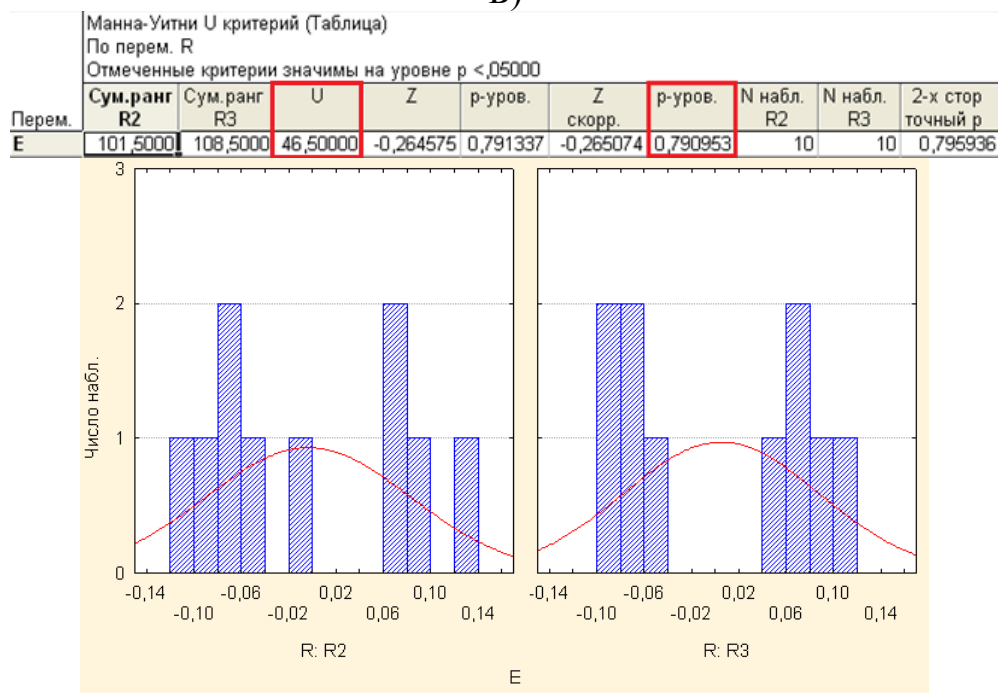
А)

А – пара: реакція системи 1 – реакція системи 2; Б – пара: реакція системи 1 – реакція системи 3; В – пара: реакція системи 2 – реакція системи 3

Рисунок 4.27 – Результати тесту Манна-Уїтні та розподілу вибірок ЕЕК



B)



B)

Рисунок 4.27, аркуш 2

Проаналізувавши результати тесту Манна-Уітні для всіх пар вибірок (статистика Джонкхіера (U) та ймовірність прийняття гіпотези H_0 (p) і розподіл вибірок енергоефективності різних реакцій системи дійшли висновку:

- гіпотеза H_0 приймається (найменші значення $U = 46,5$, а $p = 0,790953$): усі набори даних однорідні – відповідно реакції інтелектуальної інформаційно-

функціональної моделі промислового водоочищення технологічно прийнятні й модель можна використовувати в реальних умовах;

- розподіли вибірок енергоефективності не відповідають вимогам нормальності – відповідно вірно, що застосовували непараметричні методи.

Отже, створений підхід інформаційно-функціонального моделювання промислового водоочищення та, відповідно, створення відповідних адаптивних автоматизованих систем управління, у тому числі комп'ютерно-інтегрованих, рекомендується використовувати в подальших дослідженнях.

4.7. Реалізація методу удосконалення науково-теоретичних засад збирання, опрацювання та екологічно безпечного використання еколого-енергетичної інформації водоочищення із врахуванням надзвичайних ситуацій

З огляду на підтверджену адекватність створених моделей (пункт 4.6) та на основі використання методів нечітких нейронних мереж (згідно з оптимізаційною методикою зворотного розповсюдження похибки апробованої у пункті 3.7), синтезовано функції приналежності вхідних параметрів видалення забруднювачів із стоків еколо-енергетичної ефективності режимів водоочищення (дані Додатку АБ, середньоквадратична похибка генерації функцій приналежності термів – 1,44 %), яку рекомендується використовувати під час технічного регулювання функціонування відповідного комбінованого обладнання на промислових об'єктах [94, 97, 113], включно з підприємствами м'ясопереробки, деревопереробки, виробництва побутової хімії та малої металургії (рис. 4.28).

Водночас для всіх вхідних параметрів використано терми: «Незначний вплив на енергоефективність», «Середній вплив на енергоефективність», «Значний вплив на енергоефективність».

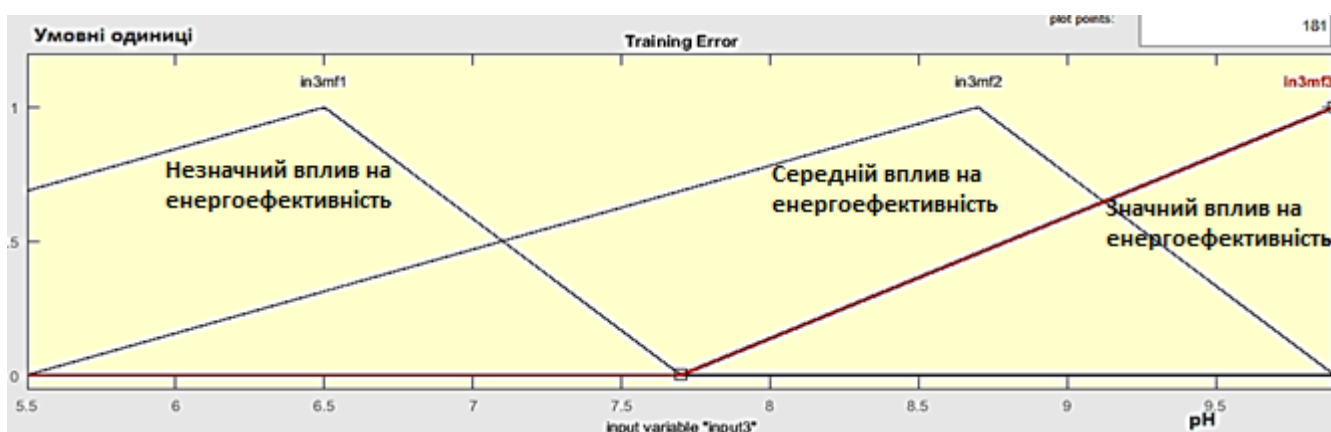
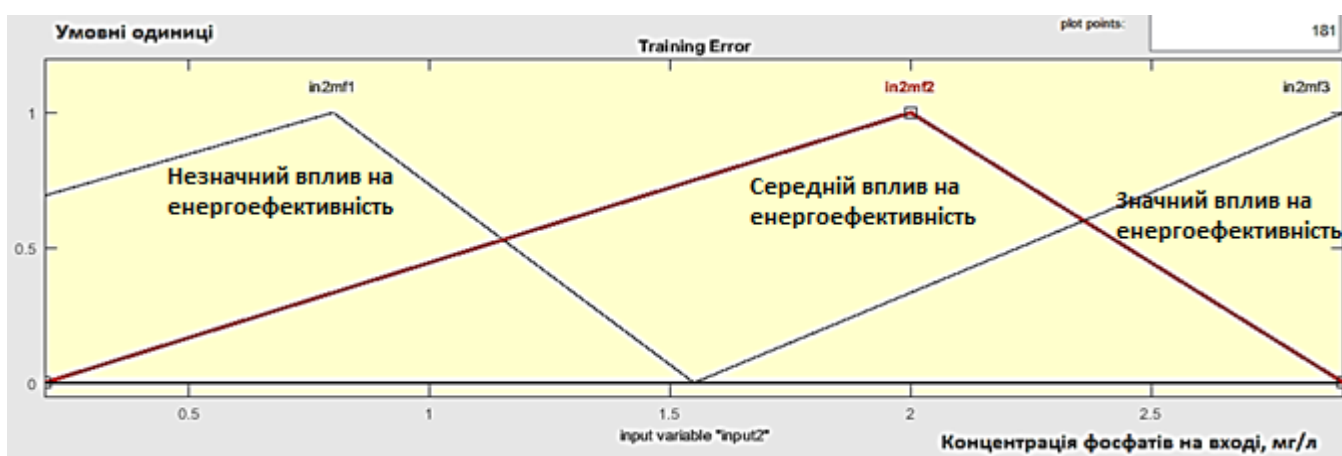


Рисунок 4.28 – Функції приналежності ефективних еколого-енергетичних параметрів промислового очищення стічних вод промислових підприємства (керуючий вплив – сила струму)

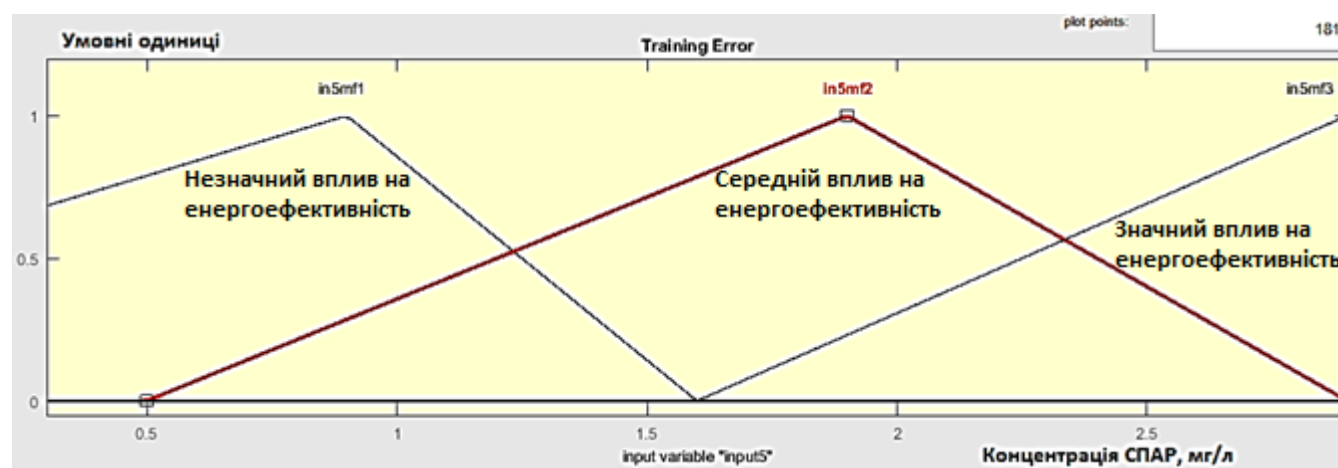
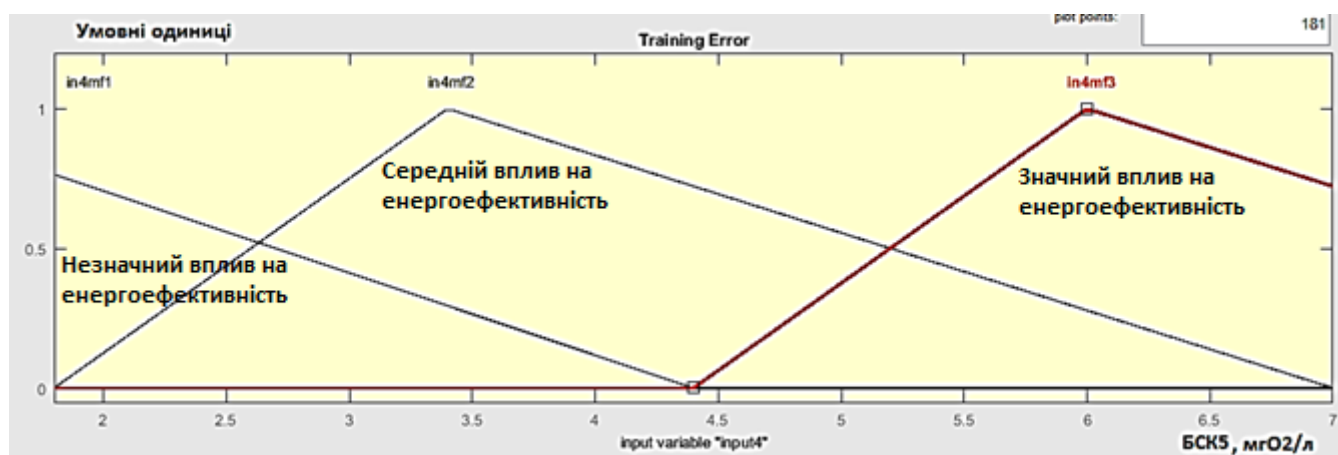


Рисунок 4.28, аркуш 2



Рисунок 4.28, аркуш 3

Отримані функції приналежності (див. рис. 4.28) термів «Незначний вплив на енергоефективність», «Середній вплив на енергоефективність», «Значний вплив на енергоефективність» параметрів якості стічних вод та їхніх об'ємних витрат дають змогу:

- створити технологічні карти технічного регулювання промислового водоочищення – відслідковуючи якісні зони значень вхідних для обладнання параметрів із використанням ВМЕВ та, при можливості, корегуючи подачу стоків, наприклад, через стабілізуючі ємності, з різних об'єктів водоскиду (цехів, блоків тощо);

- прогнозувати потенцію дію НС (на основі створеного математичного забезпечення Розділ 2 та поточної інформації щодо місця залпового скиду забруднювачів).

Водночас перерахунок за параметром «Витрати стоків» виконуються пропорційно з відповідним нормуванням.

Тоді метод удосконалення науково-технічних засад збору, опрацювання та ефективного використання техніко-економічної інформації промислового водоочищення (пункт 2.6) включає послідовність обґрунтованих кроків із залученням відповідних функціонально-інформаційних підходів та техніко-

технологічних засобів [115, 305] із реалізацією відповідної структури методичного забезпечення (рис. 4.29).



Рисунок 4.29 – Структурна модель отримання, опрацювання використання техніко-економічної інформації з вимірюванням параметрів еколого-енергетичної ефективності в промислових умовах на основі ВМЕВ

Його практична реалізація створюється в уніфікованій мові моделювання UML.

Відповідно, встановлюємо, що в системі є «актори-люди»:

– Експерти (беруть участь у формуванні значень концептів НКК);

Більшість же акторів – це «актори зовнішні системи»:

– Технічні засоби моделювання комбінованого електротехнологічного водоочищення (МКЕВ), у нашому випадку таку функцію виконує ВМЕВ, (електротехнологічне обладнання водоочищення) – ТЗВМКЕВ;

– База знань комбінованого електротехнологічного водоочищення конкретного підприємства – БЗКЕВ;

–Математичні засоби МКЕВ (нейромережа модель – багат шаровий персептрон) – МЗМКЕВ;

–Блок фільтрації техніко-економічної інформації (перетворення Гільберта-Хуанга) – БФМІ;

–Радиально-базисна нейромережа формування значень концептів НКК отриманих від вимірювальних пристроїв – НМРБФ;

–Нейромережа Кохонена групування концептів НКК встановлених експертами – НМК;

–Ймовірнісна Байєсівська нейромережа визначення значень концептів НКК встановлених експертами – НМБ;

–Нечітка когнітивна карта сценарного моделювання комбінованих процесів водоочищення – НКК;

–База знань енергоефективного управління комбінованою електротехнологічним водоочищенням – БЗЕУ;

–Нейромережа типу багат шаровий персептрон енергоефективного управління – НМУБП.

– Прецедент розглядатимемо один – «Розробка науково-технічних засад збору, опрацювання та ефективного використання техніко-економічної інформації електротехнологічного промислового водоочищення», кінцевим нормативним документом якого є «Технологічний регламент», що встановлює правила, загальні принципи та характеристики таких процесів на виробництві.

Основний потік подій:

1. Проведення експериментальних досліджень (ТЗМКЕВ), як варіант використання ВМЕВ.

2. Формування бази комбінованого електротехнологічною водоочищення конкретного підприємства (БЗКЕВ).

3. Створення нейромережевої моделі процесів комбінованого електротехнологічною водоочищення (МЗМКЕВ).

4. Фільтрація техніко-економічної інформації (БФМІ).

5. Розрахунок значень концептів НКК, які будуть передаватись у систему управління від вимірювальних пристроїв (НМРБФ).
6. Формування експертами значень концептів.
7. Опрацювання концептів НКК встановлених експертами (НМК).
8. Визначення значень концептів НКК встановлених експертами (НМБ).
9. Формування НКК та проведення сценарно-когнітивного моделювання.
10. Створення БЗЕУ.
11. Синтез системи управління комбінованим водоочищенням (НМУБП).

Синтезований метод (див. рис. 4.29), крім етапу проектування, забезпечує штатний режим функціонування з адаптацією в режимі реального часу налаштування обладнання, оскільки періодично: поновлюється база знань процесу видалення забруднювачів (БЗКЕВ); перенавчається МЗ МКЕВ; розраховуються значення концептів НКК отримуваних від вимірювальних пристроїв; переналаштовується НКК зі збереженням даних у БЗЕУ; корекція параметрів НМУБП.

Не коректуються безпосередньо на підприємстві лише значення концептів пов'язаних з експертними оцінками: E_1 – технічне й технологічне оснащення установок водо очищення; E_2 – ступінь використання обладнання E_3 – управління виробництвом. Однак, із використанням сучасних телекомунікаційних засобів, реалізувавши віддалене отримання експертами техніко-економічної інформації, вирішується й таке завдання – експерти пересилають на систему управління суб'єктивні значення відповідних концептів. Тоді НМК і НМБ у режимі реального часу виконують адаптація НКК, яка, на основі сценарно-когнітивного моделювання, створює базу знань для перенавчання управляючої нейромережі із врахуванням НС.

Такий метод створення систем опрацювання техніко-економічної інформації дає змогу враховувати потенційний вплив надзвичайних ситуацій на низці етапів дослідження якості воодоочищення [305, 306] (рис. 4.30). Водночас таке врахування повинно виконуватись об'єктно-орієнтовно із чітким виконанням усіх попередніх досліджень (дослідження Розділів 2 та 3).

Найбільш доцільно, з погляду подальшої адекватності функціонування реальних систем, дію надзвичайних ситуацій імітувати під час налаштування обладнання водоочищення:

- у разі створення модельних розчинів перед опрацюванням води із використанням МКЕВ – шляхом стехіометричного додавання забруднювача із перевищенням показників, які зафіксовано у водному паспорті конкретного підприємства;

- за формування бази знань для синтезу нейромережі імітаційного моделювання (МЗМКЕВ).



Рисунок 4.30 – Етапи методу удосконалення НТЗ НБ водоочищення, де можливе врахування дії надзвичайних ситуацій

Логічна послідовність такого методу наведена на рисунках 4.31 і 4.32.

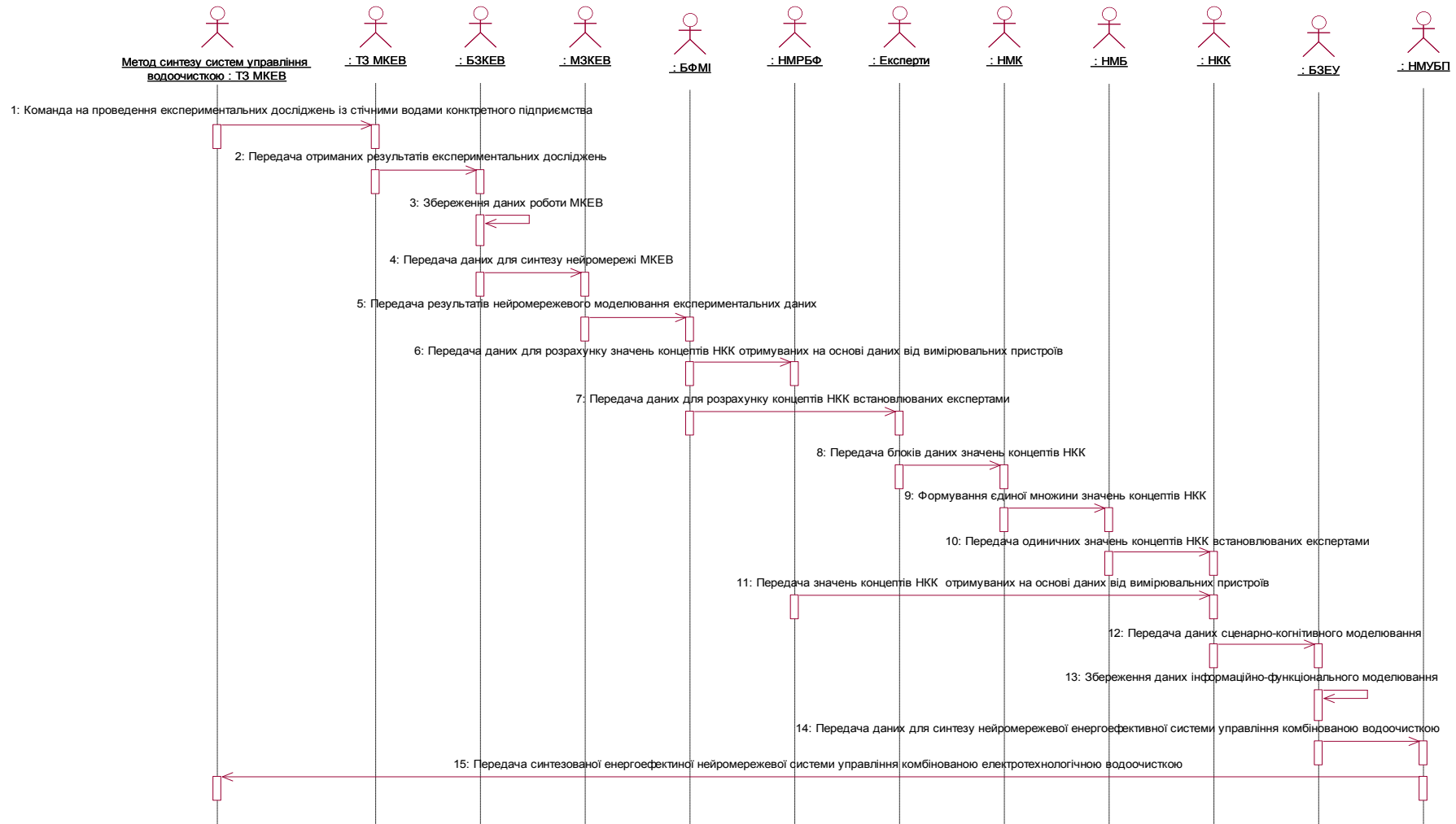


Рисунок 4.31 – Діаграма послідовності (нотація UML) методу удосконалення науково-технічних засад збору, опрацювання та ефективного використання еколого-енергетичної інформації водоочищення із врахуванням дії НС



Рисунок 4.32 – Логічна модель результатів досліджень промислового водоочислення на основі отримання та опрацювання та ефективного використання еколого-енергетичної інформації із врахуванням дії надзвичайних ситуацій

Тоді, узагальнюючи, сформуємо схеми створених методів (рис. 4.33 – 4.35).



Рисунок 4.33 – Схема науково-пізнавальної діяльності методу розширення функціональних границь використання водоочислення

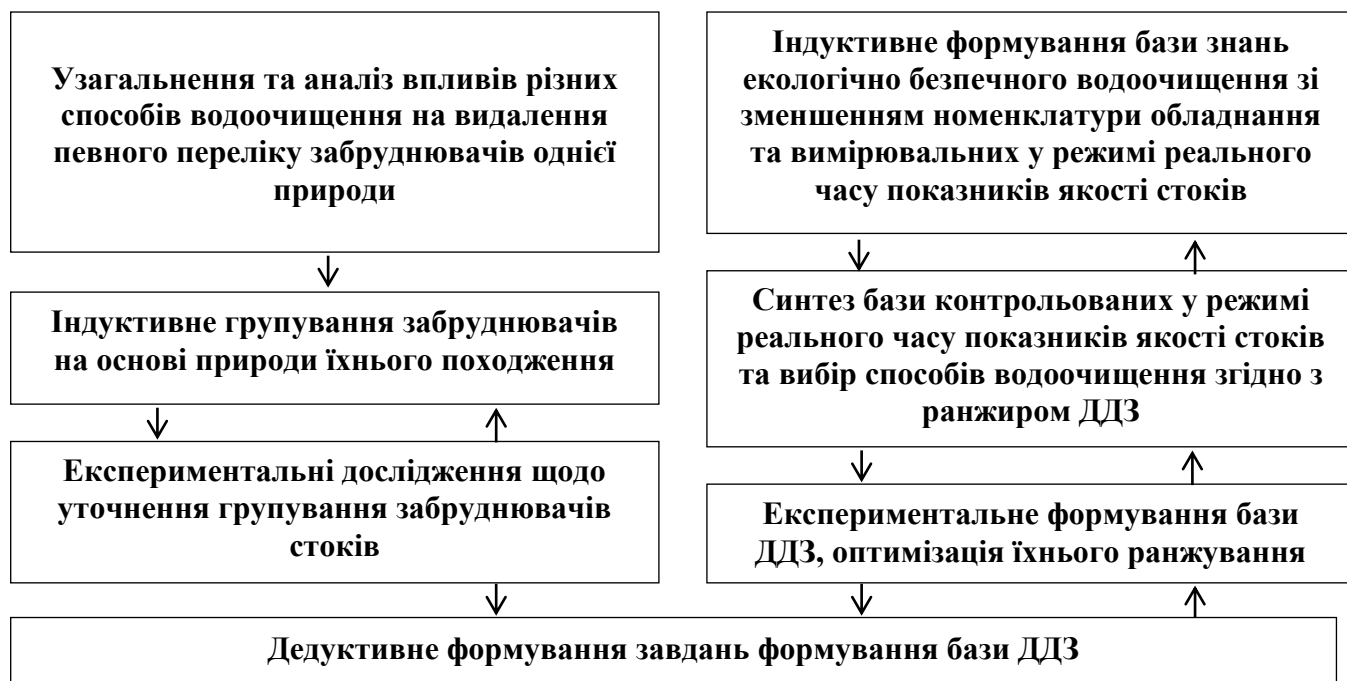


Рисунок 4.34 – Схема науково-пізнавальної діяльності методу ДДЗ удосконалення технологій водоочищення та обґрунтування зменшення кількості контрольованих у режимі реального часу показників якості стоків



Рисунок 4.35 – Схема науково-пізнавальної діяльності методу опрацювання та використання техніко-економічної інформації технологій промислового водоочищення із врахуванням ризиків виникнення НС

4.8. Висновки до Розділу 4

1. Використання інтелектуальної підсистеми прийняття рішень на основі ефективного опрацювання еколого-енергетичної інформації із блоком адаптивного формування стратегій управління згідно з домінуючим динамічним забруднювачем у режимі реального часу, дасть змогу підвищити енергоефективність процесів у комбінованому водоочисному обладнанні, з можливістю якісного функціонування в умовах надзвичайних (нештатних) ситуацій природного та техногенного походження, за виконання вимог екологічної безпеки.

2. Недолік НКК, що обмежують їхнє використання в системах реального часу, у тому числі для установок зміни властивостей водних розчинів – стаціонарність показників вагових коефіцієнтів і необхідність їхньої експертної корекції у разі зміни структури об'єкта моделювання, що відбувається у вирішуваний проблематиці. Відповідно, розробка блоку динамічної корекції вагових коефіцієнтів НКК є актуальним завданням.

3. З використанням НМ визначено ступінь взаємовпливу впливу різних концептів НКК (отримуваних від ІВК): ваговий коефіцієнт впливу концепту «Енергоефективність» на концепт «Фінансові витрати» – 0,14; вагових коефіцієнтів впливу концептів «Витрати електроенергії» й «Ціни на енергоносії» на концепт «Фінансові витрати» – відповідно 0,83 і 0,96.

4. Для групування експертних оцінок (кластеризації) і визначення єдиних значень ефективно використано самоорганізаційні карти Кохонена; адекватність таких НМ підтверджена оцінкою помилок: навчальна вибірка – 0,83 %, контрольна вибірка – 0,03 %.

5. Після розрахунку, за допомогою самоорганізаційної НМ Кохонена, одиничних експертно встановлених значень вагових коефіцієнтів НКК, за різних комбінацій вхідних параметрів, синтезовані адекватні ймовірнісні НМ моделювання зв'язки між такими концептами: НМ зв'язку E1-Y1 (відносне відхилення навчальної вибірки 1,23 %, контрольної – 1,14 %); НМ зв'язку E1-Y2 (відносне відхилення навчальної вибірки 1,34 %, контрольної – 1,32 %); НМ зв'язку

$E2-Y1$ (відносне відхилення навчальної вибірки 1,89 %, контрольної – 1,52 %); HM зв'язку $E1-Y2$ (відносне відхилення навчальної вибірки 1,34 %, контрольної – 1,32 %); HM зв'язку $E3-Y1$ (відносне відхилення навчальної вибірки 2,02 %, контрольної – 1,98 %); HM зв'язку $E3-Y2$ (відносне відхилення навчальної вибірки 1,71 %, контрольної – 1,74 %)

6. Когнітивним моделювання визначено, що серед найвпливовіших концептів $E1$ (технічне й технологічне оснащення установок водоочищення), $E2$ (ступінь використання обладнання), $E4$ (управління виробництвом) при сценарному моделюванні процесів водоочищення будуть фактично константами, оскільки оснащення не зміниться, а ступінь використання обладнання і ступінь його керованості в короткі проміжки принципово не зміняться; тільки концепт $E3$ (витрата електроенергії) змінюється в часі, залежно від кількісно-якісних показників водоочищення. Саме тому, акцентується увага на аналізі енергоспоживання.

7. З урахуванням двох виходів витрачуваних ресурсів, прийнято наступний критерій для оптимізації і формування керуючого впливу (сила струму), орієнтуючись на який і виконується підстроювання вагових коефіцієнтів:

$$\begin{cases} \text{Еколого-енергетична_ефективність} \rightarrow 0,5 \\ \Phi B \rightarrow \min \\ CT \rightarrow \min \end{cases}$$

де: ΦB – фінансові витрати, CT – сила струму.

8. Для побудови динамічної імітаційної моделі, для визначення еколого-енергетичних ефективних режимів за різних значень вхідних параметрів, використано комплекс рішень: когнітивне моделювання та синтез багатошарового перцептрона (якість функціонування синтезованої HM не повною мірою відповідає вимогам адекватності, де похибки: навчальна вибірка – 2,7 %, контрольна вибірка – 2,9 %, тестова вибірка – 3,05 %).

9. Для коригування вагових коефіцієнтів HM моделювання енергоефективності, застосовано мурашиний алгоритм із його адаптацією до завдань оптимізації HM (оптимізована з використанням MA нейромережа

продемонструвала кращі результати, про що свідчать відносні похибки: навчальна вибірка – 1,7 %, контрольна вибірка – 1,9 %, тестова вибірка – 1,85 %). З використанням такого ж підходу створено оптимальну енергоефективну НМ управління водоочищенням (навчальна вибірка – 1,23 %, контрольна вибірка – 1,4 %, тестова вибірка – 1,34 %).

10. У пакеті прикладного математичного програмного забезпечення "MatLAB Simulink", який містить блок неймережевого моделювання, перевірено функціональні характеристики синтезованої інформаційно-функціональної моделі енергоефективності НМ та встановлено відповідність її технологічним вимогам і можливість подальшого використання: відносна похибка реакції системи у разі виходу на задане значення – 3,82 %; також встановлено відповідність запропонованого підходу вимогам адекватності, стійкості та чутливості.

11. Із застосуванням синтезованого методу побудови систем комбінованого водоочищення стічних вод промислових об'єктів на основі ефективного отримання та опрацювання техніко-економічної інформації та використанням сучасних телекомунікаційних засобів, реалізувавши віддалене отримання експертами даних щодо технологічних процесів, вирішується проблема розробки та адаптації в режимі реального часу енергоефективного видалення забруднювачів, яке базується на результатах аналізу функціонування обладнання на реальних підприємствах.

12. Отримані функції приналежності термів «Незначний вплив на енергоефективність», «Середній вплив на енергоефективність», «Значний вплив на енергоефективність» параметрів якості стічних вод та їхніх об'ємних витрат дають змогу: створити технологічні карти технічного регулювання промислового водоочищення – відслідковуючи якісні зони значень вхідних для обладнання параметрів із використанням ВМЕВ та, за можливості, коригуючи подачу стоків, наприклад, через стабілізуючі ємності, із різних об'єктів водоскиду (цехів, блоків тощо); прогнозувати потенцію дію НС (на основі створеного математичного забезпечення Розділ 2 та поточної інформації щодо місця залпового скиду забруднювачів).

13. Синтезований метод побудови систем промислового водоочищення дає змогу враховувати потенційний вплив НС на низці етапів, однак найбільш доцільно це зробити:

- у разі створення модельних розчинів перед опрацюванням води з використанням МКЕВ – шляхом стехіометричного додавання забруднювача з перевищенням показників, які зафіксовано у водному паспорті конкретного підприємства;

- за формування бази знань для формування нейромережі імітаційного моделювання (МЗМКЕВ).

Викладені у розділі результати є науковим підґрунтям використання удосконалених науко-теоретичних засад технологій промислового водоочищення для управління їх екологічною безпекою з врахуванням дії надзвичайних ситуацій, чому присвячено наступний розділ.

Матеріал розділу викладено у публікаціях автора [149, 158, 179, 187, 201, 300, 305, 309, 310, 321].

РОЗДІЛ 5

ВИКОРИСТАННЯ УДОСКОНАЛЕНИХ НАУКО-ТЕОРЕТИЧНИХ ЗАСАД ТЕХНОЛОГІЙ ПРОМИСЛОВОГО ВОДООЧИЩЕННЯ ДЛЯ УПРАВЛІННЯ ЇХ ЕКОЛОГІЧНОЮ БЕЗПЕКОЮ З ВРАХУВАННЯМ ДІЇ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ

5.1. Оцінювання економічної ефективності водоочищення та удосконалення методу аналізу еколого-економічних перспектив його впровадження

Комплексне використання розроблених технологічних рішень (Додаток АД, Патент 95201 UA, МПК Е 03 В 7/00 (2014.01) «Водопровідна насосна станція», Патент 98867 UA, МПК А 01 С 3/00 (2012.01) «Бродильна камера для біогазових установок», Патент 108196 UA, МПК В 01 D 29/11, В 01 D 21/00, С 02 F 1/52 (2006.01) «Фільтр») чи їхніх аналогів, включаючи із закордонними розробками, під час реалізації ефективного опрацювання техніко-економічної інформації дасть змогу реалізувати замкнуті цикли водопостачання різногалузевих об'єктів із використання продуктів очищення (рис. 5.1) [51 – 54, 79, 110 116].

Створення ресурсоефективних схем (рис. 5.1) дасть змогу перетворити різногалузеві промислові підприємства в екологічно безпечні керовані об'єкти з можливістю отримання прибутку під час реалізації продуктів водоочищення та повторного використання водних ресурсів.

Розробки в галузі екології та природокористування включають як питання зниження екологічного навантаження на довкілля, у результаті антропогенної діяльності, так і залучення природних ресурсів, перш за все, місцевих, у господарський обіг. Аналіз використання місцевих природних ресурсів виявляється не завжди ефективно й економічно виправдано, що пояснюється недостатнім їхнім використанням у ланцюжках створення вартості [159, 177, 188, 225, 228, 229]. Для розв'язання цієї проблеми потрібно створення інфраструктури для використання, наприклад, альтернативних джерел енергії, а також проведення

технологічної модернізації підприємств, наприклад, обладнання забезпечує зниження шкідливих викидів.

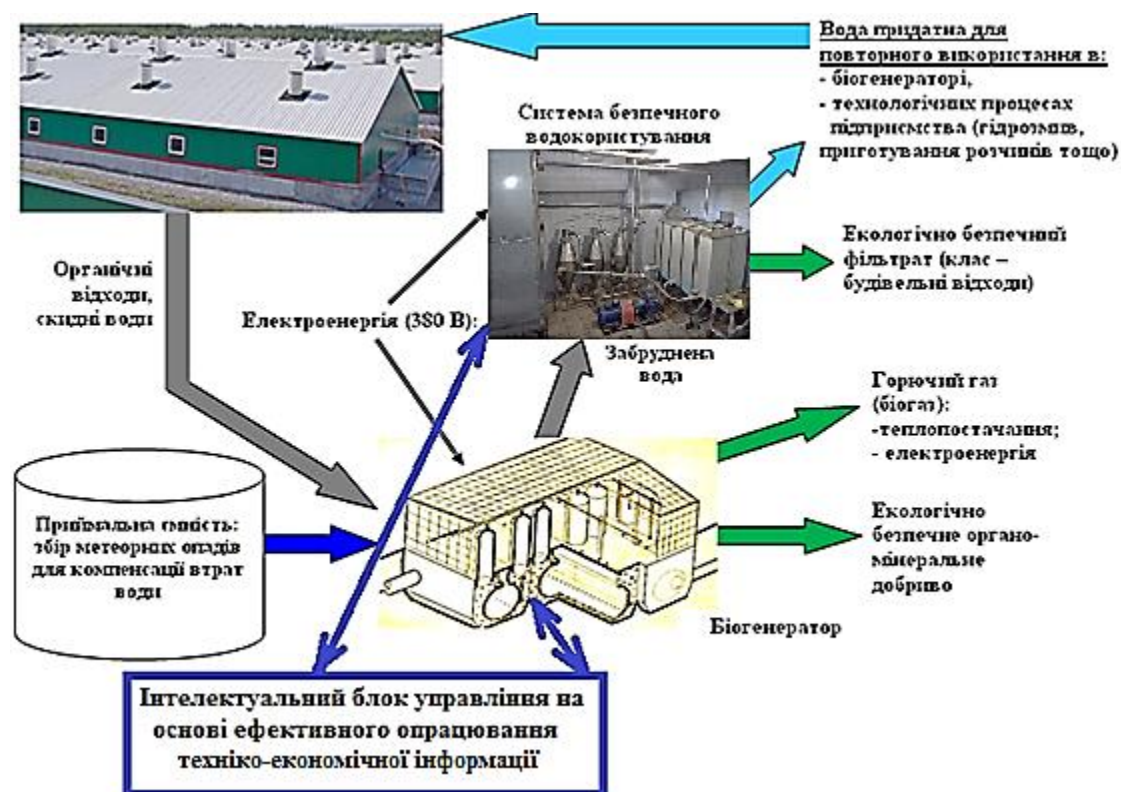


Рисунок 5.1 – Приклад ресурсо- та екологічно безпечного водопостачання промислових підприємств (із застосуванням замкнутого циклу на свинокомплексі)

Інвестиції вимагають стратегічного підходу: інтенсивно повинні інвестуватися ті галузі, які в майбутньому можуть забезпечити більше зростання створення валової доданої вартості [230, 231]. Це передбачає формування технологічного ланцюжка виробництва кінцевої продукції в рамках однієї економічної системи.

Є три групи показників, що забезпечують оцінювання ефективності інноваційних рішень в області водоочищення:

1. Показники, що зображають більш ефективне використання води з урахуванням кількості використаної у виробничому процесі оборотної води. Грунтуються на складанні балансів водовідведення і водоспоживання, порівняння їхніх питомих показників.

2. Показники, що характеризують комерційну привабливість проекту.

3. Показники, що зображають екологічну оцінку проекту, ґрунтуються на нормативах плати за водовідведення та водокористування.

Загальна проблема, яка утрудняє впровадження інноваційних технологій у сфері раціонального природокористування – фактична відсутність ефективного механізму фінансування:

- Рішення про фінансування для державних установ приймаються на рівні бюджетів, відповідно використання кредитних ресурсів – обмежена;

- Малі підприємства не володіють достатніми компетенціями для залучення фінансових ресурсів, роботи з різними фінансовими інститутами;

- Економічний ефект від природоохоронних технологій не завжди має яскраво виражений економічний ефект, у той час як екологічний ефект очевидний.

Суть цієї проблеми полягає в тому, що технології раціонального водокористування в створенні вартості і формуванні фінансового результату діяльності підприємства не приймають – це «посередники». Завдання таких технологічних рішень – підтримання нормативних вимог щодо екологічної безпеки та, при можливості, реалізація схем повторного використання природних ресурсів (див. рис. 5.1).

Отже, є два базові напрямки обґрунтування їхнього впровадження на реальних підприємствах: мінімізація витрат ресурсів, у тому числі енергетичних, та обов'язковість виконання нормативних вимог щодо якості стоків (мінімізація штрафних санкцій).

У якості економічного показника використаємо індекс рентабельності [90]:

$$IP = \frac{ДП + ДІ}{ДІ} \quad (5.1)$$

де $ДП$ – дисконтований прибуток; $ДІ$ – дисконтова на вартість загальних інвестиційних затрат і плата за кредити (займи), пов'язані із здійсненням капітальних затрат по проекту за розрахунковий період (горизонт розрахунку).

Стосовно раціональності водокористування, то використаємо удосконалений коефіцієнт використання (введено об'єми води, які повторно використовуються):

$$K_{\text{в}} = \frac{S_{\text{mex}} - W_{\text{mex}}}{P + W_{\text{mex}}}, \text{ м}^3, \quad (5.2)$$

W_{mex} – нормативний об'єм води, який використовують на технологічні потреби, м^3 ;
 S_{mex} – нормативний об'єм стічних вод, що утворюються в процесі виробництва, м^3 ;
 P – об'єм очищеної стічної води, який повторно використовується у виробництві, м^3 .

$$W_{\text{mex}} = W_{\text{nn}} + W_{\text{o}}, \text{ м}^3 \quad (5.3)$$

W_{np} – об'єм води, який використовується в i -ому виробничому процесі, м^3 ;
 W_{o} – нормативні об'єми води на потреби, що не залежать від виробництва продукції, зумовлені виробничим процесом, м^3 .

$$W_{\text{mex}} = W_{\text{nn}} + W_{\text{o}}, \text{ м}^3. \quad (5.4)$$

S_{np} – об'єм стічних вод, що утворюються в i -м виробничому процесі, м^3

S_{o} – об'єм стічних вод, які не залежать від виробництва продукції, але обумовлений виробничим процесом, м^3 .

Очевидно, що коефіцієнт використання водних ресурсів повинен прямувати до одиниці – усі стічні води повторно використовуються в технологічних процесах (реально не можливо через втрати за транспортування, водоочищення тощо).

Для попереднього оцінювання прийнятності використання такого підходу (5.1–5.4), провели чисельний експеримент: бралися до уваги три варіанти встановлення водоочисного обладнання на підприємствах, які відрізняються технологічними процесами й масштабами виробництва: м'ясопереробка, деревопереробка, металургійний комбінат. Порівнюється варіант впровадження обладнання з одними й тими ж технологічними і фінансовими характеристиками.

Умовно приймалися: об'єм скиду стоків – $7000 \text{ м}^3/\text{місяць}$ ($233 \text{ м}^3/\text{добу}$); оборотне водопостачання – $3000, 4000$ і $5000 \text{ м}^3/\text{місяць}$. Очевидно, що коефіцієнт використання водних ресурсів зі збільшенням повторного використання стічної води зростає, наближаючись до одиниці (рис. 5.2).

Далі розрахований індекс рентабельності (5.8), за аналогією з індексом рентабельності інноваційних проектів, для кожного з трьох підприємств (м'ясопереробка, деревопереробка, металургійний комбінат), за умови реалізації проекту. Під час оцінювання ефективності інноваційних проектів індекс рентабельності розраховується за виручкою від реалізації. Для досягнення цілей дослідження під час розрахунку індексу рентабельності був використаний прибуток за двома варіантами (до впровадження обладнання та після реалізації оборотного водопостачання – у всіх випадках поверталось 3000 м³/місяць).

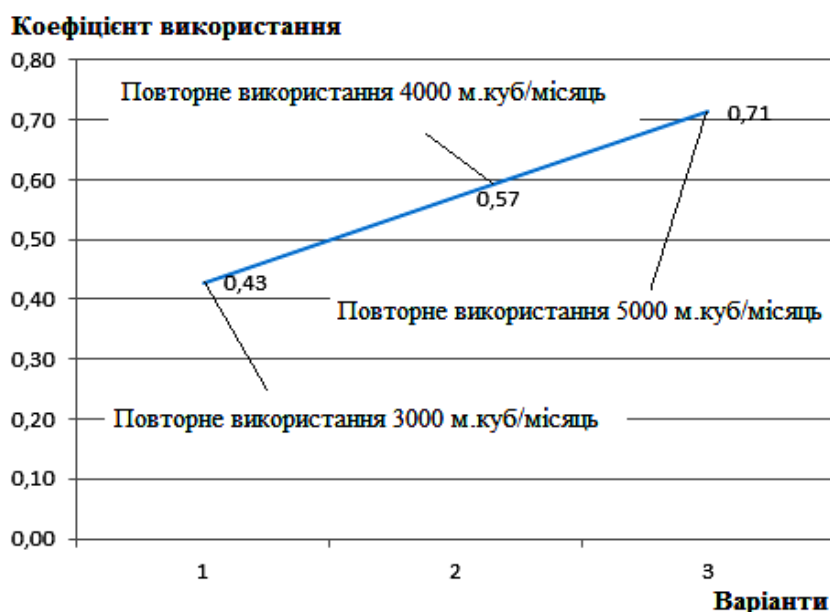


Рисунок 5.2 – Вплив об'ємів повторного використання водних ресурсів (оборотне водопостачання) на коефіцієнт використання ресурсів

Також у кожному з трьох варіантів (із врахуванням типових економічних параметрів виробництв [230, 231]) передбачається реалізацію проекту протягом трьох років. За норму дисконту було прийнято значення 9 %, що відповідає середній ставці комерційних банків на валютні депозити (розрахунок в у.о.). Дана ставка може бути скоригована з урахуванням цілей оцінки, а також з урахуванням ризиків проекту або ризику ненадходження грошових коштів від реалізації проекту. Отримані результати продемонстрували, що повторне використання

водних ресурсів покращує інвестиційні показники впровадження обладнання – індекс рентабельності (5.1) збільшувався (рис. 5.3).

З класичної економічної точки зору, наведених параметрів цілком достатньо для оцінки інвестиційних перспектив природоохоронних заходів (проектів) із реалізації технологій водоочищення. Однак, у такому підході цілком не враховуються функціональні характеристики обладнання та вартості очищення та отримання із водозабору 1 м³, що дуже часто призводить до невідповідності розрахункових результатів перспективності впроваджень реальним даним, які отримуються вже на етапі реалізації.

Аналіз виробничих об'єктів (Розділ 2) показує, що затрати на очищення стічних вод більші, ніж на водозабір (доочистку), однак така пропорція іверсивно змінюється у разі неякісного очищення (штрафи) та зменшення плат за використання надр (повторне використання води). Тому, на етапі обґрунтування методики об'єктивно прийняти ці показники рівними.

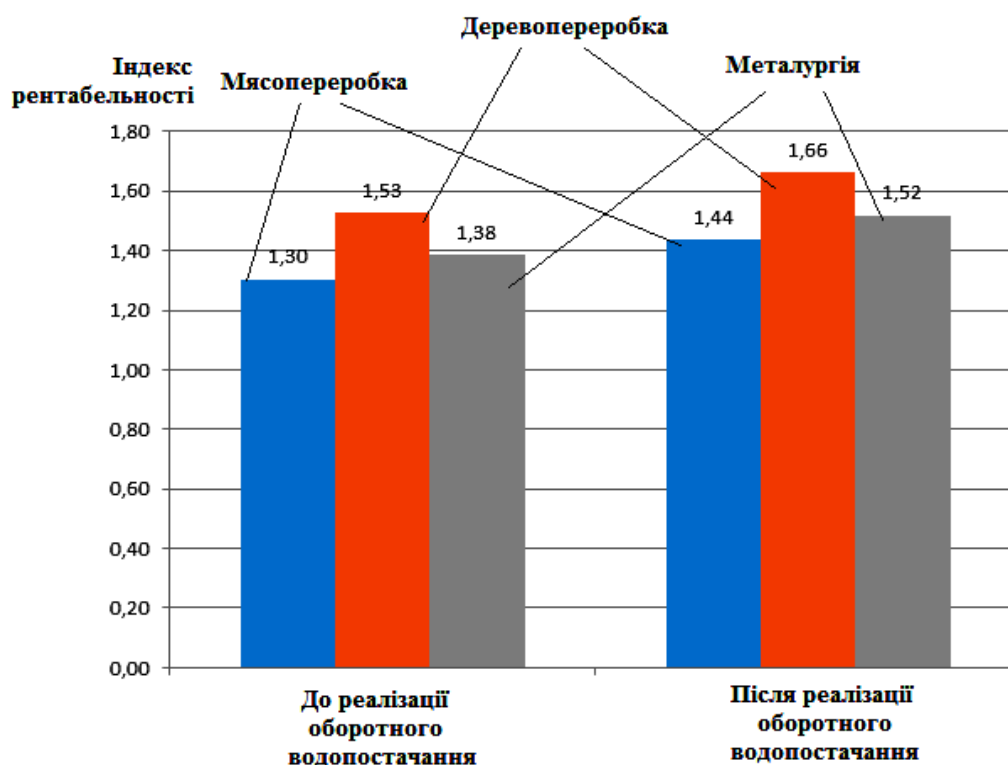


Рисунок 5.3 – Вплив оборотного водопостачання на індекс рентабельності проектів

Вплив же функціональних характеристик обладнання на фінансово-інвестиційні показники проектів можуть бути викликані:

- штрафними санкціями за неякісне водоочищення;
- перевитратами ресурсів (електроенергія, реагенти, витратні матеріали).

Водночас акцент робиться на електрообладнання тому, що ступінь залучення електротехнологій під час водоочищення становить 15-90 %, водночас найефективніші зі способів видалення забруднювачів максимально використовують електроенергію [52].

Тому, з урахуванням виробничих випробувань та теоретичних напрацювань (Розділи 2 – 4) у фінансові викладки додамо ЕЕК функціонування обладнання (2.8).

Тоді для об'єктноорієнтованої оцінки інвестиційно-фінансової перспективності впровадження заходів раціонального водокористування доцільно використовувати таку систему залежностей:

$$\begin{cases} EF_y \rightarrow 0 \\ IP \rightarrow \max \end{cases} \quad (5.5)$$

Послідовність прийняття рішень щодо перспективності реалізації проектів включатиме низку етапів, водночас початковою буде оцінка еколого-енергетичної ефективності, оскільки відповідність такому критерію (5.5) дасть змогу проводити подальший аналіз заходів (проекту), як сталого об'єкта – усуваючи штрафні санкції та перевитрати ресурсів [317, 323]:

1. Оцінка об'єму і якості стічних вод конкретного підприємства (або проектних матеріалів); розрахунок витрат, у тому числі енергетичних, на водопостачання та водовідведення (з водоочищенням).

2. Вибір, із використанням ЕЕК (2.8) та розроблених методів (Розділи 2, 3), комплексу електрообладнання водоочищення.

3. Розрахунок індексу рентабельності впровадження технологій із реалізацією оборотного водопостачання. За необхідності коригування номенклатури та параметрів обладнання (пункт 2).

Такий об'єктноорієнтований підхід вимагає детального аналізу не лише інвестиційно-фінансових характеристик, але й енергетичних показників проекту, що розширює перелік фахівців, які залучаються у разі прийнятті рішень щодо фінансування відповідних заходів.

Відповідно, обґрунтований та розроблений об'єктноорієнтований підхід оцінки інвестиційно-фінансової перспективності, із використанням індексу рентабельності та критерію енергоефективності, доцільно використовувати у разі прийняття рішень щодо фінансування встановлення обладнання водоочищення; водночас економічно доцільніше реалізовувати замкнуті цикли водопостачання виробничих підприємств.

5.2. Реалізація удосконалених науково-теоретичних засад водоочищення та оцінка еколого-економічного ефекту роботи систем водоочищення на промислових об'єктах

5.2.1. Розроблення вимірювальних пристроїв встановлення параметрів стоків із метою врахування дії надзвичайних ситуацій. Основною задачею інтегрованої системи управління (ІСУ) водоочищення є аналіз ситуації й підготовка комплексу управлінь та рекомендацій. Генерація рекомендацій виникає на основі знань накопичених у результаті попередніх досліджень (Розділи 2-4) управління процесів очищення стічних вод із застосуванням інтелектуальних обчислювальних засобів аналізу та обробки техніко-економічної інформації [82].

На основі концептуальної схеми інтелектуального управління комбінованим водоочищення (пункт 4.1) розроблена функціональна структура комп'ютерно-інтегрованої системи управління комбінованим водоочищенням, що має три рівні управління (рис. 5.4).

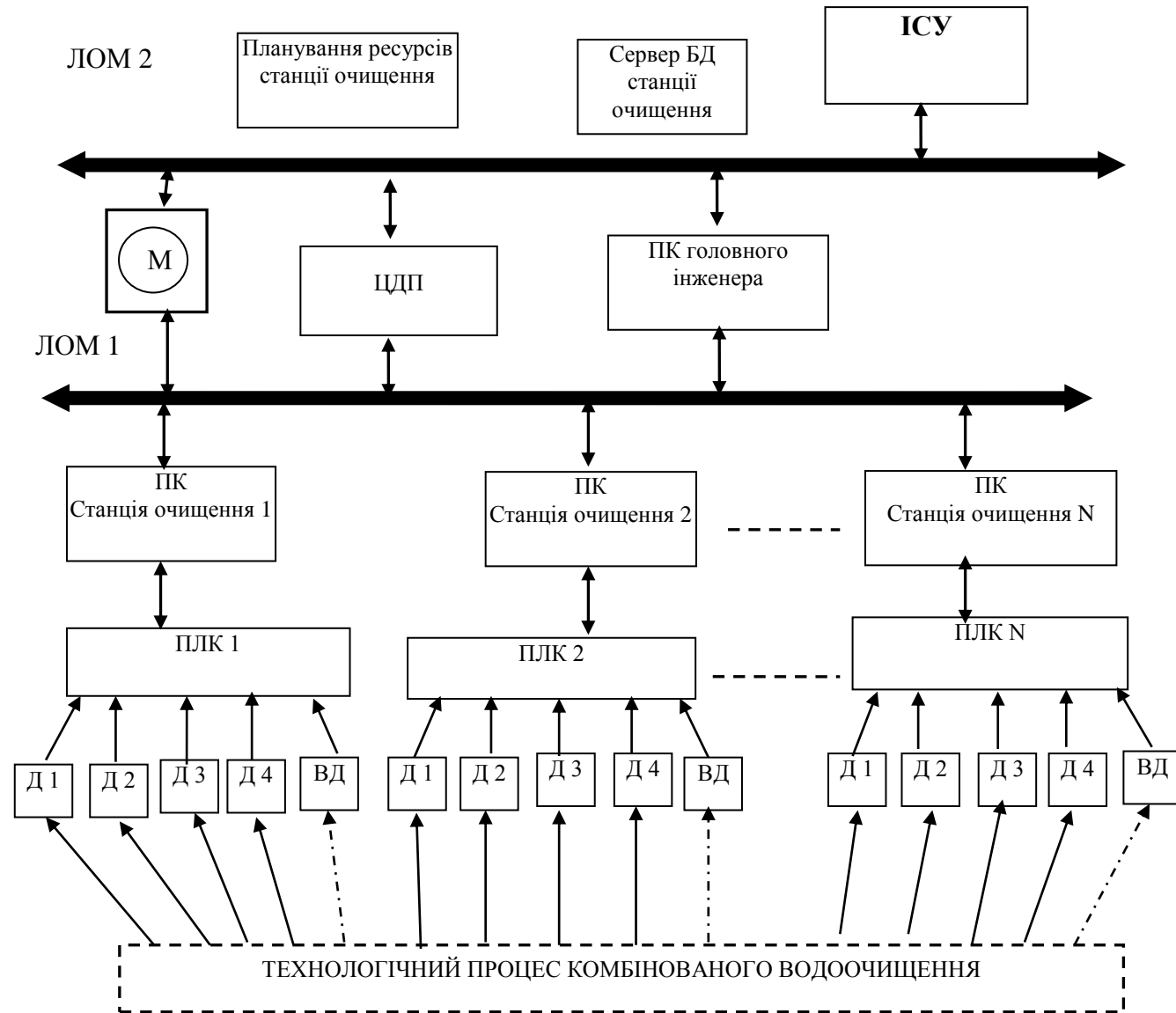


Рисунок 5.4 – Комп'ютерно-інтегрована система управління комбінованим очищенням стічних вод різногалузевих промислових об'єктів на основі ефективного опрацювання техніко-економічної інформації

Вузли верхнього рівня функціонально забезпечують адміністративно-комерційну діяльність підприємства, виконуючи функції техніко-економічного планування та управління матеріальними, технічними, трудовими та фінансовими ресурсами, та включають сервер бази даних станцій очищення. До вузлів середнього рівня належать центральний диспетчерський пункт (ЦДП) та операторська станція головного інженера. Нижній рівень вузлів складають локальні технологічні станції для безпосереднього управління технологічним об'єктом у вигляді окремих станцій очищення та програмовані логічні контролери (ПЛК). Для кожної станції очищення передбачається наявність таких базових: Д1 – датчики мутності води; Д2 – датчики рН; Д3 – датчики тиску; Д4 – датчики рівня; ВД - виносні датчики тиску й температури в трубопроводі (див. рис. 5.4). Локальні обчислювальні мережі (ЛОМ), до яких підключаються всі вузли верхнього, середнього та нижнього рівнів з'єднані між собою маршрутизатором (М). Вимірювальна інформація від вимірювальних пристроїв, які не інтегровані в комплекс технічних засобів (див. рис. 5.4), передається безпосередньо в ЦДП.

Водночас характерною особливістю подачі стічної води на очищення в напірній каналізації є наявність протягом доби періодів із мінімальним та максимальним тиском водоскидом ($Q \rightarrow 0$). Тривалість перерви в штатному режимі подачі стічної води досягає чотирьох годин і більше. Коливальні періоди, у напірній каналізації, з мінімальним ($P_{\min} = 0$ МПа) та максимальним тиском ($P_{\max} = 0,5$ МПа) супроводжуються періодичним частковим спорожненням труб та заповненням мережі повітрям.

Після поновлення подачі в процесі руху потоку води в ньому частково розчиняються повітряні суміші. Час настання, періодичність, та інтенсивність зазначених процесів у стічній воді в наслідок аварій, знеструмлення приводів насосів, проведені планових технологічних випробуваннях та дезактивації мережі тощо — невідомі (процеси стохастичні).

Для оцінювання впливу процесів аерації й деаерації на фізико-хімічні властивості води були досліджені зміни концентрацій зважених речовин у часі за допомогою приладу КФК- 2МП № 9102105. Забезпечення абсолютної похибки

вимірювання коефіцієнту пропускання до 1 % забезпечили попереднім підбором відповідного світлофільтра та кювети згідно з технічним описом й інструкцією з експлуатації приладу (рис. 5.5).

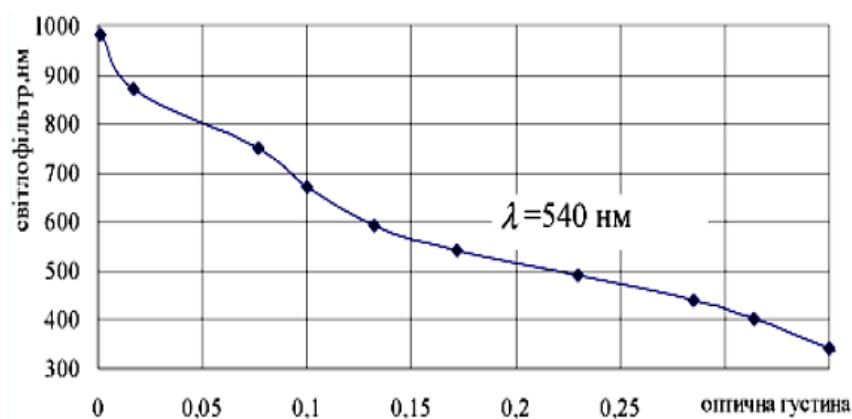


Рисунок 5.5 – Графічний метод вибору світлофільтра ($\lambda = 540$ нм)

Для вимірювання зміни концентрації речовин у воді після попереднього визначення градуовальної характеристики та коефіцієнтів пропускання й оптичної густини, у кювету було набрано "стічну воду" (аналог стоку ТОВ «БІТ-Сплав»). Досліди проводилися за температури середовища 20 ± 5 оС, відносній вологості повітря – 45-80 %, за напруги живлення 220 ± 22 В, частоти – 50 Гц (рис. 5.6).

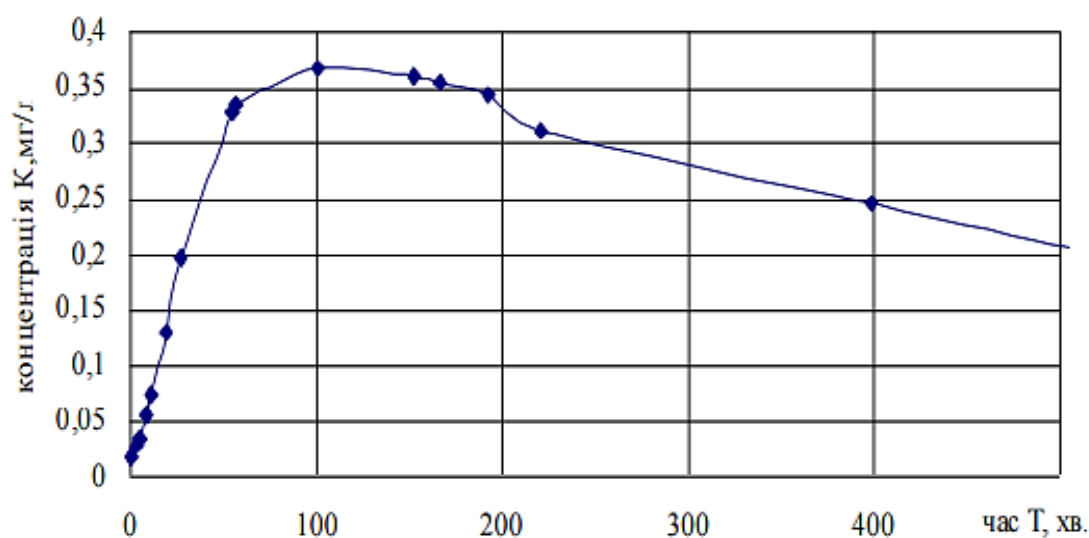


Рис. 5.6. Зміна концентрації зважених речовин у часі після заповнення ємності з мережі водоскиду

З діаграми видно, що вода за параметрами каламутність, після заповнення стакану водоспоживача, із часом змінила свої властивості. Суттєво збільшилася концентрація зважених речовин.

Водночас відомо [95, 112, 121], що фільтри водоочищення являються інкубаторами бактерій та генераторами амінокислот (токсинів) з невідомими формами та методами боротьби з ними. Сучасні системи водоочищення промислового призначення амінокислоти не фільтрують і не нейтралізують.

Для усунення зазначених недоліків сучасного, у тому числі закордонного, водовідведення та покращення умов водокористування розроблено [269] прилад попередньої оцінювання стану водовідведення. Прилад забезпечує в режимі реального часу контроль за безпекою водовідведення.

Пристрій (рис. 5.7), під керуванням мікроконтролера, має в собі систему запису та аналізу зміни напірно- витратних характеристик у водопроводі та видає інформацію не тільки про час виникнення аварії, але і про її причини, такі як: знеструмлення агрегатів насосної станції, планове випробування мережі або хлорування системи водопостачання, аварійний порив у мережі, віддаленість пориву від очисних споруд тощо.



Рисунок 5.7 – Зовнішній вигляд пристрою попереднього технічного вимірювання гідродинамічного та температурного режиму потоку стічних вод

Наявні методи високочастотного аналізу природних, у тому числі біологічних, об'єктів базуються на зміні в процесі реакції комплексної провідності розчину або колоїду. Запропонований підхід використовуватиметься для аналізу колоїдних суспензій та емульсій (стічних вод), провідність яких визначається зарядом складових частинок, що, своєю чергою, визначається розмірами і властивостями поверхні мікрочастинок.

Розроблений вимірювальний прилад містить в собі: генератор сигналу; генератор керованої напруги; вимірювальний блок. Узагальнено вимірювальний блок складається з вимірювальних комірок (сприймаючий елемент), аналогово-цифровий перетворювач (АЦП), підблоку порівняння і зберігання інформації.

Основою для експерименту з частотного випробування рідин є спеціальна вимірювальна комірка, генератор синусоїдних коливань і вимірювач сигналу (рис. 5.8).

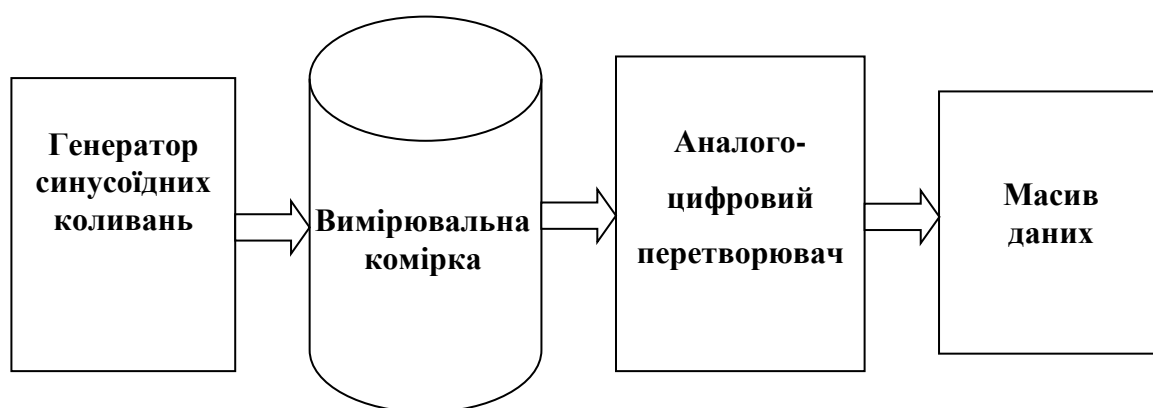


Рисунок 5.8 – Структурна схема пристрою частотних випробувань складу промислових стічних вод

Для частотного аналізу рідин (розчинів) розроблено два прилади (рис. 5.9):

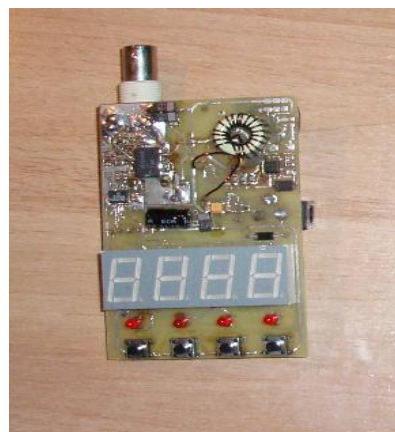
- Сканер вимірювач – «FA-1»;
- Генератор сигналів – «FG-1».

Керування частотним сканером-вимірювачем «FA-1» та генератором «FG-1» здійснює ПІС-контролер згідно з розробленим алгоритмом через реалізацію програмного забезпечення мовою “Assembler”.

Для полегшення візуального аналізу й математичної обробки розроблене у середовищі “Borland Bilder” спеціалізоване програмне забезпечення (рис. 5.9).



А)

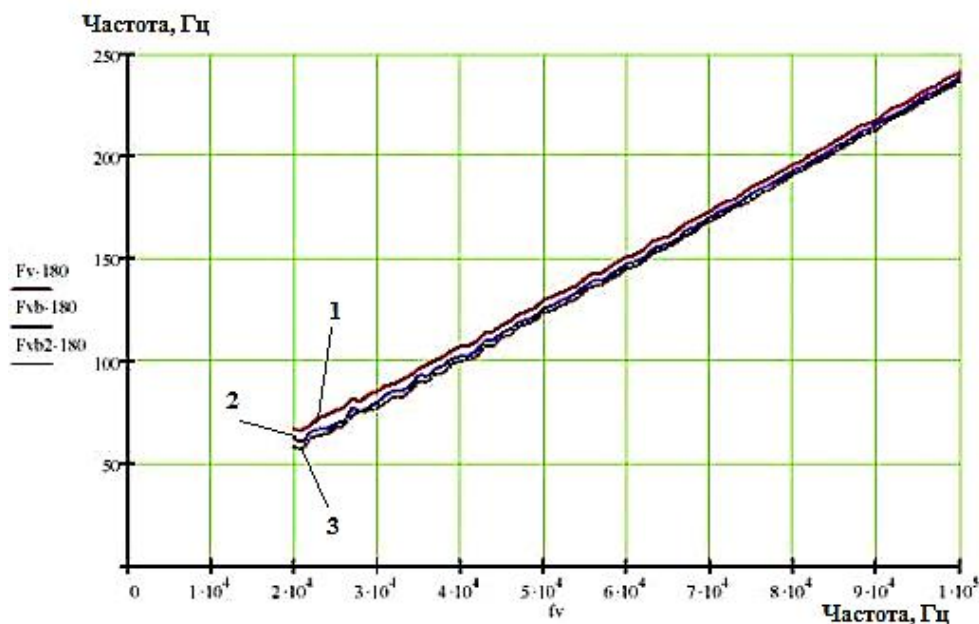


Б)

А – сканер-вимірювач «FA-1»; Б – генератор «FG-1»

Рисунок 5.9 – Зовнішній вигляд елементів аналізатора складу стічної води

За результатами досліджень дійшли висновку щодо прийнятності використання такого технічного пристрою для експрес-аналізу стічних вод (рис. 5.10) стосовно наявності в ній біологічних елементів: дослідження проводилися з використанням крові свиней (період забою на м'ясопереробному підприємстві).



1 – водопровідна вода, 2 – дві краплі крові, 3 – три краплі крові

Рисунок 5.10 – Результати використання технічного пристрою частотного аналізу складу води

На рисунку 5.11 показана структурна схема аналізатора (повна комплектація). Вона орієнтована на автономний виїзний варіант роботи, наприклад, у віддалених господарствах країни.

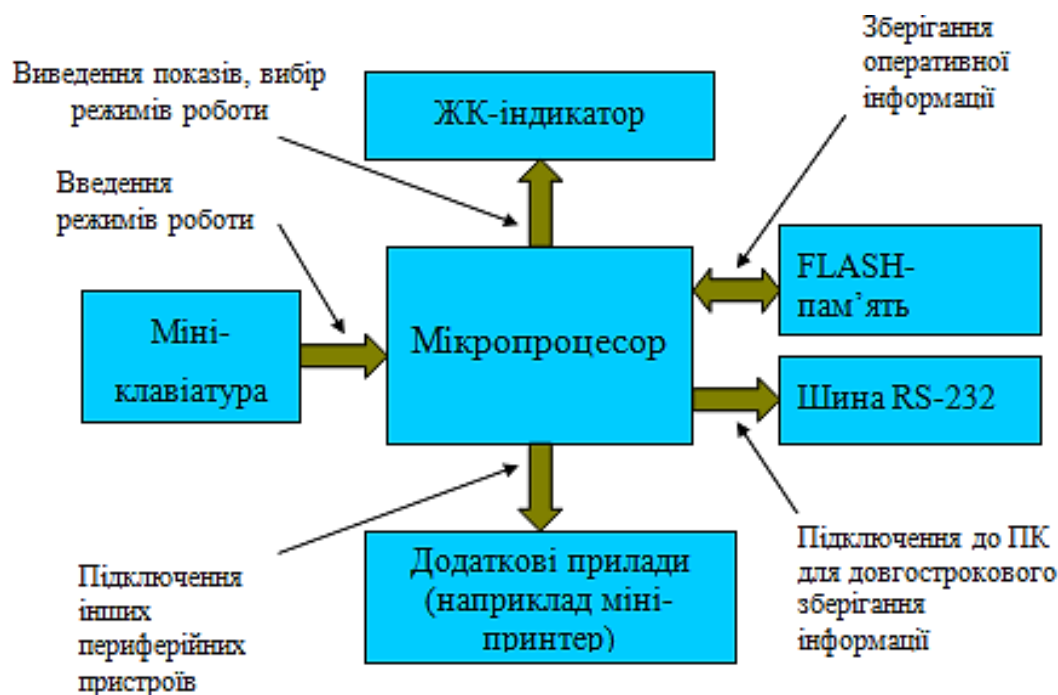


Рис.5.11. Структурна схема частотного аналізатора складу стічної води

Зважаючи на результати розробки та використання інструментальних інформаційно-вимірювального комплексу моделювання комбінованого водоочищення (Розділ 3) та архітектури КІСУ (див. рис. 5.4), у якості керуючих пристроїв загальної системи управління вимірюванням вибрано мікроконтролер класу ПЛК ICP DAS i-8417 (верхній рівень), мікроконтролер ATmega128-16AU (нижній рівень).

5.2.2. Промислова апробація методів та засобів збирання, опрацювання та екологічно безпечного використання еколого-енергетичної інформації очищення стічних вод. Виробнича апробація методів удосконалення НТЗ НБ на низці різногалузевих підприємств (Додаток АЕ), у тому числі на підприємствах м'ясопереробки та малої металургії. Попередньо для таких підприємств було створено технологічні водні паспорти та розроблено ТР згідно з удосконаленим методом пункту 2.5.

На основі використання обладнання ВМЕВ для м'ясопереробного підприємства виявили ДДЗ – жири (добові витрати – 1500 м³/добу (\pm 300 м³/доба [89, 299]). Однак, оскільки жири належать до органічних забруднювачів (їхнє повне видалення не забезпечить очистку стоків від азоту амонійного, фосфору та хлоридів), то дішли висновку, що потрібно встановити відповідний ДДЗ для неорганічних забруднювачів. Таким прийнято «концентрація хлоридів» – технологічно-складно усувається.

НС щодо водовідведення, у випадку м'ясопереробного підприємства:

- понаднормовий забій (відбувається періодично і призводить до значних перевищень концентрацій жирів, фосфору, азоту амонійного та каламутності стоків);

- миття технологічного обладнання (відбувається періодично і призводить до значних перевищень концентрацій синтетичних поверхнево-активних речовин (СПАР) та каламутності стоків);

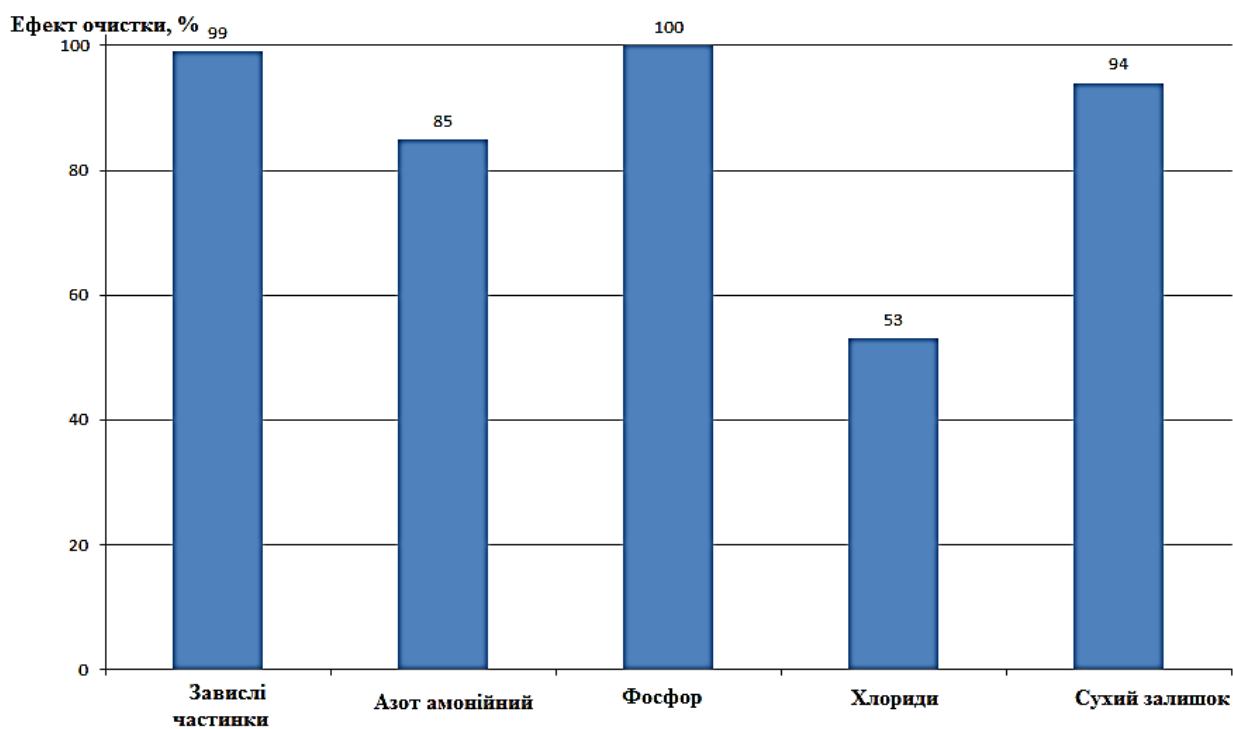
- опорожнення ван засолювання шкір (відбувається періодично і призводить до значних перевищень концентрацій хлоридів).

Розроблена та виробничо впроваджена, на основі ТР та попереднього використання ВМЕВ, система водоочищення (електрофлокоагуляція, електролізна деструкція, сорбційна фільтрація, седиментація та гідроциклонування) продемонструвала необхідну ефективність – забезпечивши вимоги щодо ГДК у стічних водах підприємства, видаливши необхідний перелік забруднювачів (рис. 5.12).

Налаштування обладнання на виконання розробленого критерію енергоефективності (2.8) дало змогу виконувати вимоги щодо забезпечення якості водоочищення за мінізації ресурсозатрат – еколого-енергетичний критерій (2.8) протягом місяця (жовтень 2016 року) мав відхилення від нуля \pm 9,6 % (включно з роботою в умовах невизначеності викликані дією надзвичайних ситуацій) (рис. 5.13).



А)



Б)

А – зовнішній вигляд системи водоочищення, Б – ефективність комбінованого очищення стічних м'ясопереробного підприємства

Рисунок 5.12 – Промислове водоочищення на підприємстві м'ясопереробки

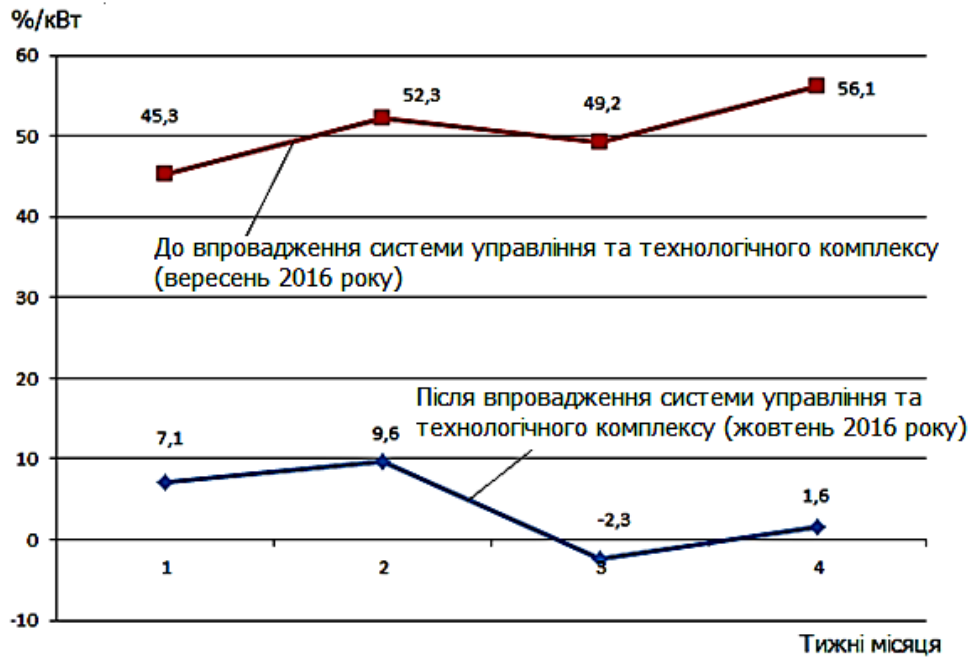
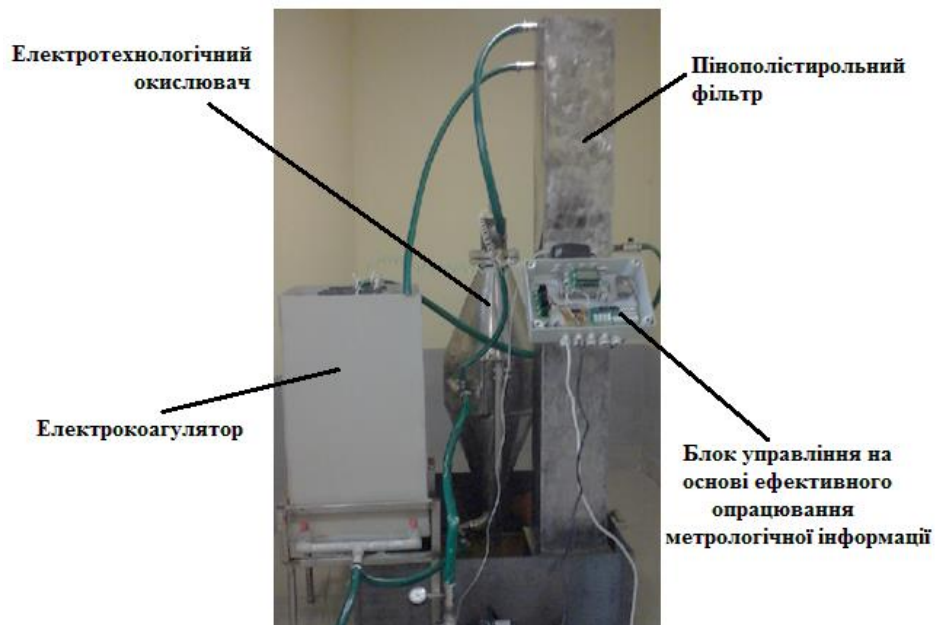


Рисунок 5.13 – Порівняння еколого-енергетичної ефективності промислового водоочищення (м'ясопереробне підприємство)

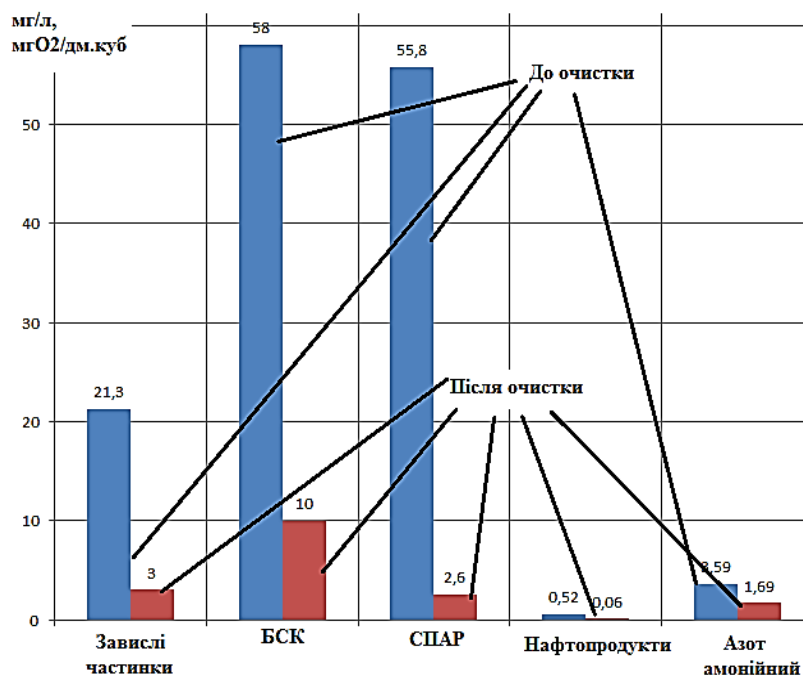
Добові витрати стічних вод підприємства малої металургії, які потребують очищення – $18 \text{ м}^3/\text{добу}$ ($\pm 2 \text{ м}^3/\text{добу}$). На основі використання обладнання ВМЕВ виявили ДДЗ для стоків підприємства малої металургії – СПАР. Експериментальним моделюванням встановлено, що видалення СПАР забезпечить видалення інших забруднювачів (азоту амонійного, нафтопродуктів, азоту амонійного).

НС можуть бути спричинені потраплянням непередбачуваних забруднювачів у стічні води (решта ситуацій, як, наприклад, одночасне використання всіх душових кабінок) загалом враховано на стадії проектування. До таких забруднювачів належить токсичний свинець, який може потрапити на одяг працівників біля технологічних агрегатів, а потім змитись у каналізацію. Саме тому до складу системи включено електрокоагулятор із функцією рН-корекції до лужних розчинів із подальшою нейтралізацією стоків. Також туди інтегровано (рис. 5.14): сорбційний фільтр, деаератор з електролізною деструкцією, гідродинамічні інтенсифікатори.

Налаштування обладнання на виконання ЕЕК (2.8) дало змогу виконувати вимоги щодо забезпечення якості водоочищення за мінізації ресурсозатрат – еколого-енергетичний критерій (2.8) протягом місяця (березень 2017 року) мав відхилення від нуля $\pm 3,4\%$ (рис. 5.15).



А)



Б)

А – зовнішній вигляд системи водоочищення, Б – ефективність комбінованого очищення стічних підприємства малої металургії

Рисунок 5.14 – Промислове водоочищення на підприємстві малої металургії:

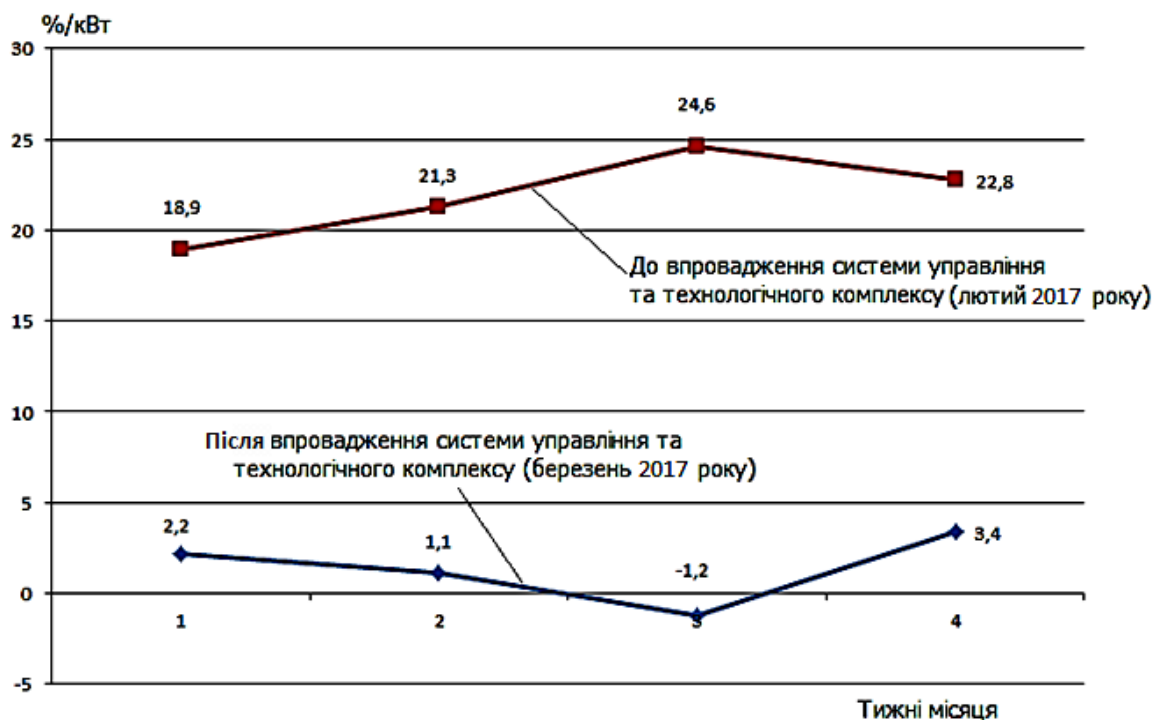


Рисунок 5.15 – Порівняння еколого-енергетичної ефективності промислового водоочищення (підприємство малої металургії)

Виробниче використання удосконалених підходів синтезу технологічних регламентів промислових систем водоочищення на підприємстві м'ясопереробки (відхилення критерію енергоефективності від нуля $\pm 9,6\%$) та малої металургії (відхилення критерію енергоефективності від нуля $\pm 3,4\%$) дали змогу виконати екологічні вимоги щодо якості стічних вод підприємств та впровадити ресурсозберігальні схеми водоскиду.

Аналіз отриманих на промислових об'єктах результатів функціонування створених систем водоочищення на основі створених методів НТЗ продемонстрував, що запропоновані методи дають змогу, завдяки використанню обладнання моделювання комбінованих технологій водоочищення (ВМЕВ) та інтелектуального управління, враховувати дію НС і забезпечити енергоефективність (екологічну безпеку) процесів видалення забруднювачів.

5.2.3. Оцінка антропогенного навантаження досліджуваних промислових об'єктів із використанням розроблених технологічних комплексів. До

найбільш розповсюджених в Україні методик оцінки якості поверхневих вод, у тому числі сформованої скиданням промислових стічних вод, належить методика визначення гідрохімічного індексу забрудненості води (ІЗВ), який розраховується за формулою:

$$ІЗВ = \sum_{i=1}^n \frac{C_i}{ГДК} / n, \quad (5.6)$$

де C_i – фактична концентрація забруднювача, $ГДК$ – гранично-допустима концентрація забруднювача, n – кількість забруднювачів.

Окрім загальновідомих недоліків методики ІЗВ, такий підхід недоцільно застосовувати під час оцінки потенційних ризиків виникнення надзвичайних ситуацій, оскільки він дає змогу оцінити лише наслідки антропогенного впливу без урахування можливості оперативного їхнього виявлення. Тому більш доцільно застосувати для оперативного (у РРЧ) аналізу антропогенного навантаження створюваного скиданням промислових стічних вод аналітичну залежність, у якій враховується ефективність функціонування очисних споруд через розрахунок індикатора антропогенного навантаження [123]:

$$P_{cv} = \frac{E_H}{Q_{min}}, \text{ м}^3/\text{с} \quad (5.7)$$

де: P_{cv} – обсяг скидання стічних вод у масив поверхневих вод ($\text{м}^3/\text{с}$), Q_{min} – мінімальний річний стік води в масиві поверхневих вод ($\text{м}^3/\text{с}$), E_H – сумарний (безрозмірний) еквівалент навантаження, який спричиняється скиданням стічних вод.

Для підприємства із функціонуючими очисними спорудами ця залежність матиме такий вигляд:

$$P_{cv} = \frac{E_H \cdot (1 - \eta)}{Q_{min}}, \text{ м}^3/\text{с} \quad (5.8)$$

де: η – безрозмірний коефіцієнт ефективності очищення стічних вод (у діапазоні 0 – 1,0).

Виробнича апробація оперативного аналізу ризику щодо виявленого антропогенного навантаження (скид неочищених стічних вод) із застосуванням технологічного комплексу (ВМЕВ) згідно з виразом (5.8) відбувалася на підприємствах м'ясопереробки та малої металургії (рис. 5.16). Водночас обидва підприємства скидають стічні води у водотоки, мінімальні річний стік води в масивах їхніх поверхневих вод приймалися згідно із статистичними даними, аналіз навантаження виконувався протягом 20 робочих діб за інтегральним показником ХСК (на підприємстві металургії він формувався через наявність власної пральні). Водночас результати подальших випробувань протягом 10 робочих діб на кожному із них продемонстрували ефективність створеного методичного забезпечення щодо корегування режимних параметрів обладнання водоочищення орієнтованих на зменшення тиску на довкілля (рис. 5.17).

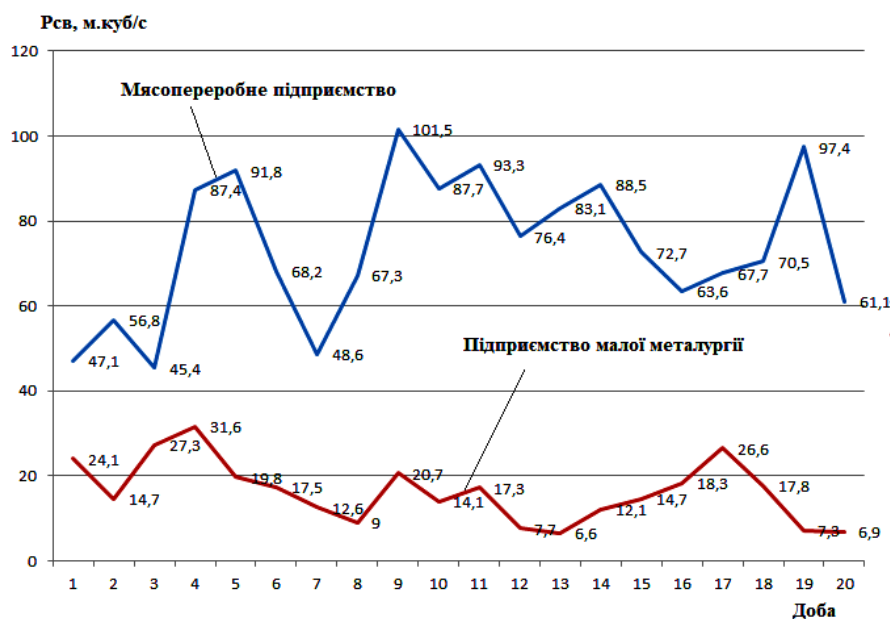


Рисунок 5.16 – Оперативний аналіз ризику щодо виявленого антропогенного навантаження (скид неочищених стічних вод) із використанням технологічного комплексу (ВМЕВ)

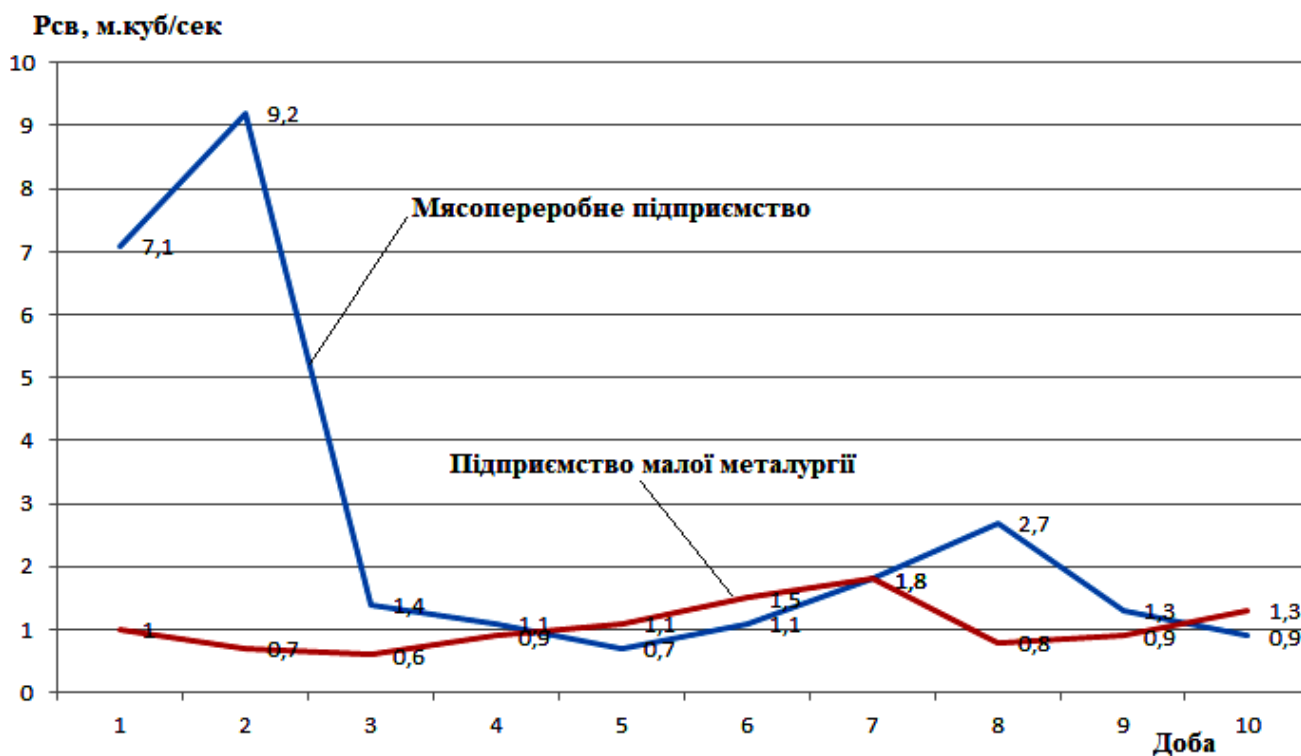


Рисунок 5.17 – Оперативний аналіз антропогенного навантаження (скид неочищених стічних вод) у разі коригування функціонування очисних споруд для зменшення тиску на довкілля (із використанням технологічного комплексу (ВМЕВ))

Оцінка антропогенного навантаження виконувалась згідно з наступними значеннями критеріїв ризику за відповідним індикатором (5.8):

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

Очевидно (див. рис. 5.16), що підприємства створюють значні антропогенні навантаження на довкілля своїми стоками (всі контрольні проби перебували «під ризиком»), водночас коригування режимів обладнання згідно із завданням зменшення такого тиску дало змогу значно зняти негативний вплив на водні об'єкти. Водночас системно досягнути стану «без ризику» вдалось лише на металургійному об'єкті (6 діб); у випадку ж м'ясопереробного виробництва, через дуже значні зміни характеру виробництва, значення індикатору коливались у діапазоні 0,7 – 9,2, лиш тричі перебуваючи в зоні «без ризику» (див. рис. 5.17).

Комплексно досягнути станів «без ризику» в досліджуваній період для обох підприємств не вдалося також через необхідність об'єктноорієнтованої модернізації їхніх систем очищення стічних вод.

5.2.4. Кластерний та дисперсійний аналізи результатів моделювання та виробничого впровадження науково-теоретичних засад управління екологічною безпекою очищення стічних вод. Для аналізу відповідності результатів попередніх теоретично експериментальних досліджень (пункти 3.1) і виробничого впровадження (пункти 5.2.2) застосовували кластерний аналіз (КА), через оцінку наявності окремих сукупностей даних у парах «забруднювач – енергоефективність його стабілізації» на різних об'єктах водоочищення та теоретично експериментальних робіт, що створювало б передумови до висновку щодо неефективності (відсутності інтегральності оцінювання) прийнятої концепції першочерговості забезпечення енергоефективності процесів [86].

Параметрами якості води після очищення стоків та енергоефективності їхньої стабілізації, значення яких опрацьовувалися кластерним аналізом, вибиралися ті, які є як у стічних водах м'ясокомбінату (МК) так і підприємства малої металургії (ПММ) так і досліджені під час теоретично-експериментальних робіт (ТЕР) (приймались усередненими):

- завислі частинки (ЗВ);
- азот амонійний (АА) (для теоретично-експериментальних досліджень провели окремий блок експериментів із використанням ВМЕВ);
- БСК₅ (для м'ясокомбіната такий параметр прийнятий згідно з одноразовим дослідженням за місяць досліджень).

Для всіх таких показників згідно із формулою (2.8) встановлювались індивідуальна енергоефективність (табл. 5.4).

Аналізуючи дендрограму, отриману на основі методу повного зв'язку, можна прийти до попереднього висновку, що існує два кластери стосовно об'єктів водоочищення у парах «забруднювач – енергоефективність його стабілізації»:

кластер м'ясокомбінату та теоретично-експериментальних досліджень і кластер підприємства малої металургії.

Таблиця 5.4 – Результати якості та енергоефективності очищення стічних вод (у нотаціях кластерного аналізу)

Змінна 1 Об'єкт досліджень	Змінна 2 Концентрація ЗВ, мг/л	Змінна 3 Енергоефективність видалення ЗВ, %/кВт	Змінна 4 Концентрація АА, мг/л	Змінна 5 Енергоефективність видалення АА, %/кВт	Змінна 6 БСК ₅ , мг/л	Змінна 7 Енергоефективність зміни БСК ₅ , %/кВт
М'ясокомбінат	934	1,63	83	6,84	43	5,1
Мала металургія	21,5	0,7	2,6	0,8	58	4,31
Теоретично-експериментальні роботи	960	1,84	40	3,01	40	2,2

Однак, враховуючи специфіку використання спеціалізованого програмного продукту «Statistica» (не можна вибрати один кластер при трьох спостереженнях (МК, ПММ, ТЕР) та невелику різницю об'єднання кластерів (див. рис. 5.16) для перевірки такої гіпотези застосуємо кластеризацію згідно методу К-середніх і перевіримо значущість відмінності між групами, отриманими ієрархічною класифікацією.

Під час такого аналізу встановлено значущість відмінності між отриманими кластерами (рис. 5.18).

Ключовим показником значущості відмінностей між потенційними кластерами виступає дисперсія p : чим менше значення внутрішньогрупової дисперсії (Within SS) і більше значення між групової дисперсії (Between SS), тим краще ознака (якість водоочищення та еколого-енергетична ефективність) характеризує приналежність об'єкту до кластера. Водночас ознаки зі значеннями дисперсії p більшими 0,05 доцільно з процесу кластеризації виключити.

перемен.	Дисперсионный анализ (Cluster)					
	Между SS	сс	Внутри SS	сс	F	значим. р
ZCH	1,998817	1	0,001183	1	1689,400	0,015486
E-ZCH	1,940098	1	0,059902	1	32,388	0,110733
AA	1,428846	1	0,571154	1	2,502	0,358920
E-AA	1,214651	1	0,785349	1	1,547	0,431138
BSK	1,255814	1	0,744186	1	1,688	0,417656
E-BSK	0,129199	1	1,870801	1	0,069	0,836399

ZCH – концентрація завислих частинок, E-ZCH – енергоефективність видалення завислих частинок, AA – видалення азоту амонійного, E-AA – енергоефективність видалення азоту амонійного, BSK – стабілізація БСК₅, E-BSK – енергоефективність стабілізації БСК₅

Рисунок 5.18 – Результати дисперсійної оцінки отриманих кластерів якості водоочищення та її енергоефективності

Оцінюючи результати дисперсійної оцінки отриманих кластерів якості водоочищення та її енергоефективності (див. рис. 5.18) за показниками дисперсії можна прийти до висновку, що лише параметр якості водоочищення «концентрація завислих частинок» підтверджує наявність кластерів, решта параметрів (у тому числі всі показники енергоефективності процесів) демонструють відсутність окремих кластерів.

Тоді сформулюємо основну та альтернативну гіпотези щодо аналізу однорідності результатів оцінки енергоефективності:

- H_0 : всі набори даних однорідні – відповідно, концепція оцінки процесів промислового водоочищення на основі її енергоефективності технологічно прийнятна (підтверджується виробничими результатами) і може використовуватись у реальних умовах;

H_1 : набори даних неоднорідні – відповідно, концепція оцінки процесів промислового водоочищення на основі її еколого-енергетичної ефективності технологічно не прийнятна (не підтверджується виробничими результатами) і не може використовуватись у реальних умовах.

Для дисперсійного аналізу використаємо методику (пункт 3.2) та тест Манна-Уїтні для всіх пар вибірок (МК, ПММ, ТЕР) (статистика Джонкхіера (U) та ймовірність прийняття гіпотези H_0 (p) (рис. 5.19).

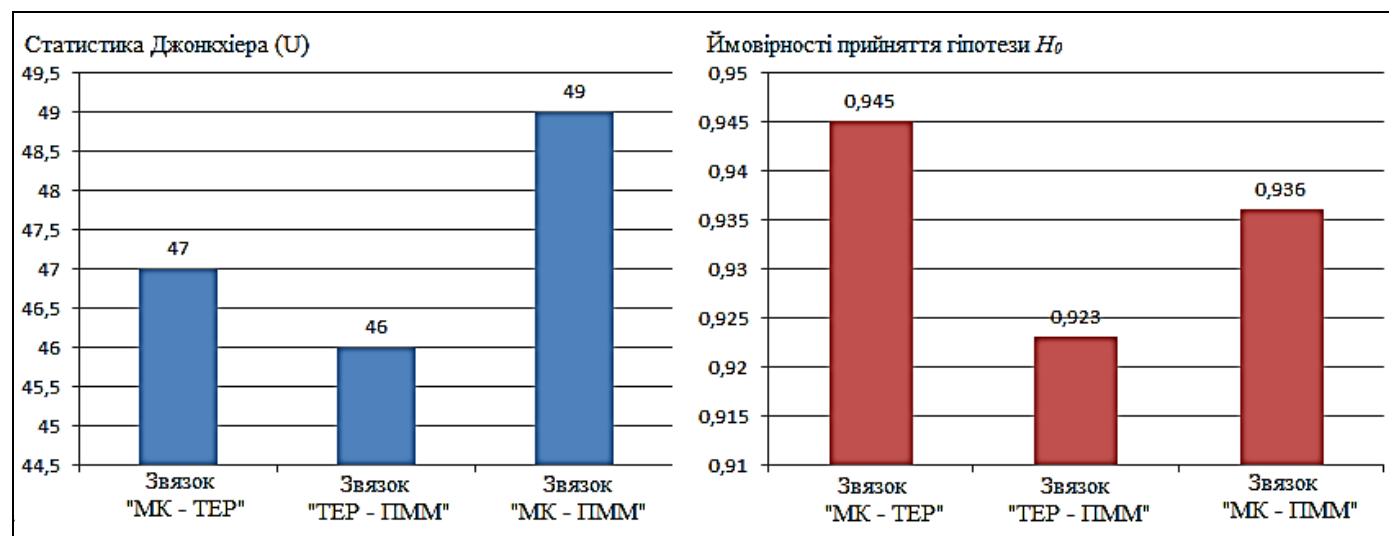


Рисунок 5.19 – Результати тесту Манна-Уїтні для всіх пар вибірок (МК, ПММ, ТЕР) промислового водоочищення

Виходячи з результатів тесту Манна-Уїтні (див. рис. 5.20), для всіх пар вибірок (МК, ПММ, ТЕР) робимо висновки:

- гіпотеза H_0 приймається (найменші значення $U = 46$, а $p = 0,923$): усі набори даних оцінки еколого-енергетичної ефективності водоочищення однорідні – відповідно концепція оцінки процесів промислового водоочищення на основі її енергоефективності технологічно прийнятна (підтверджується виробничими результатами) і може використовуватися в реальних умовах.

5.3. Удосконалена концепція впровадження на різногалузевих промислових об'єктах екологічного менеджменту (канал – раціональне водозабезпечення)

Результати досліджень (Розділи 2 – 4, пункти 5.1 та 5.2, Додаток АІ) [78, 80, 96, 122, 160] дають можливість удосконалити методологію використання нормативної бази промислового водоочищення (рис. 5.20).

Удосконалена структура використання нормативної бази водоочищення (див. Рис. 5.21) дають можливість впровадити на промислових підприємствах систему

екологічного менеджменту (СЕМ), яка покликана побудувати роботу підприємства таким чином, щоб дотримати природний баланс і уникнути екологічної кризи. Вона регулює будь-яку сферу діяльності, але головним аспектом СЕМ є технології: охорони природи; ресурсо- і енергозберігаючі; замкнутого циклу [219, 277, 290].

Відштовхуючись від розробленого методу побудови технологічних регламентів систем водоочищення удосконалено концепцію ітеративного інтегрованого управління СЕМ водними ресурсами підприємств на основі IWRM (Integrated water resources management) (рис. 5.21).

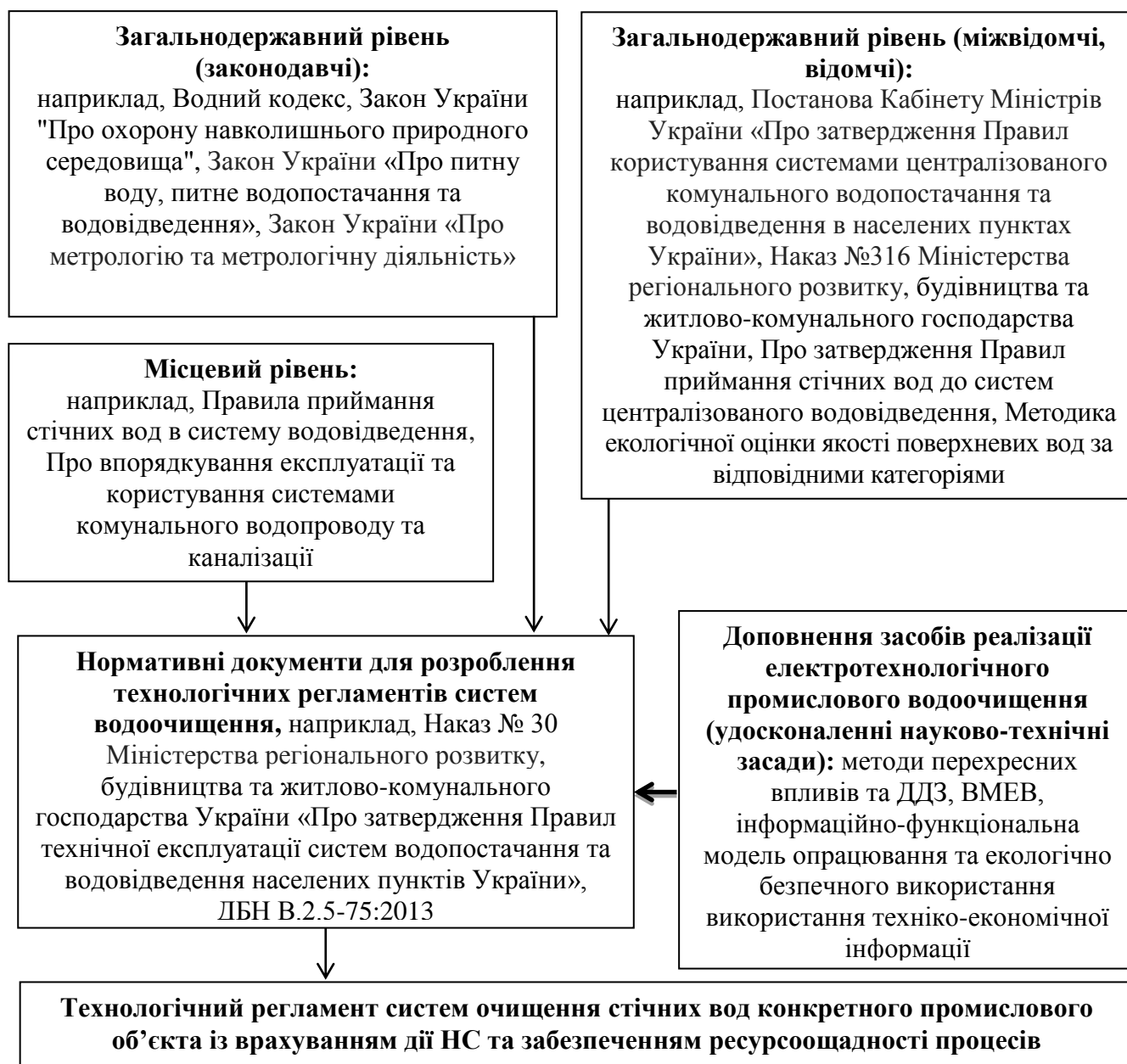


Рисунок 5.20 – Удосконалена структура використання НБ водоочищення для розроблення технологічних регламентів очищення промислових стоків

На першому етапі створення СЕМ передбачається розробка схеми безпеки сталого розвитку на основі водного технологічного паспорту підприємства (ВТП) із створенням концептуальної моделі потоків водних ресурсів та технологічних рішень (їх режимів) впливу на них: будівництво нового підприємства або реконструкція старого не повинні викликати екологічний дисбаланс, незалежно від галузі господарювання.

Другим кроком впровадження СЕМ є метод тестування (оптимізації) створеної на першому етапі моделі із врахуванням потенційної дії НС техногенного та природного характеру: досліджуються окремі моделі елементів СЕМ (на основі декомпозиції концептуальної), де фіксуються задані (цільові) параметри, відбувається імітаційна оцінка ресурсоощадності технологічних параметрів роботи обладнання транспортування та очищення води (у тому числі із застосування квазінатуральних фізичних моделей, віртуальних мір тощо).

Третя стадія реалізації СЕМ – передпроектна, коли на підставі отриманих даних складається бізнес-план, із обов'язковою комплексною оцінкою як економічних (наприклад, через індекс рентабельності) так і технологічних (енергоефективність) критеріїв перспективності проекту.

При цьому використання нових та удосконалених науково-технічних засад нормативної бази промислових систем водозабезпечення дає можливість реалізувати концепцію інтегрованих цілей досягнення ресурсоефективного водозабезпечення згідно міжнародних систем оцінки якості управління підприємствами при врахуванні ризиків дії НС [302, 318].

Підприємство, яке прийняло рішення про проведення менеджменту, аудиту та сертифікації, отримує очевидну вигоду: сертифікат ISO 14001 дає змогу: знизити витрати внаслідок економії природних ресурсів і зменшення штрафних санкцій; домогтися зростання прибутку, завдяки реалізації повторного використання водних і енергетичних ресурсів (пункт 5.1).

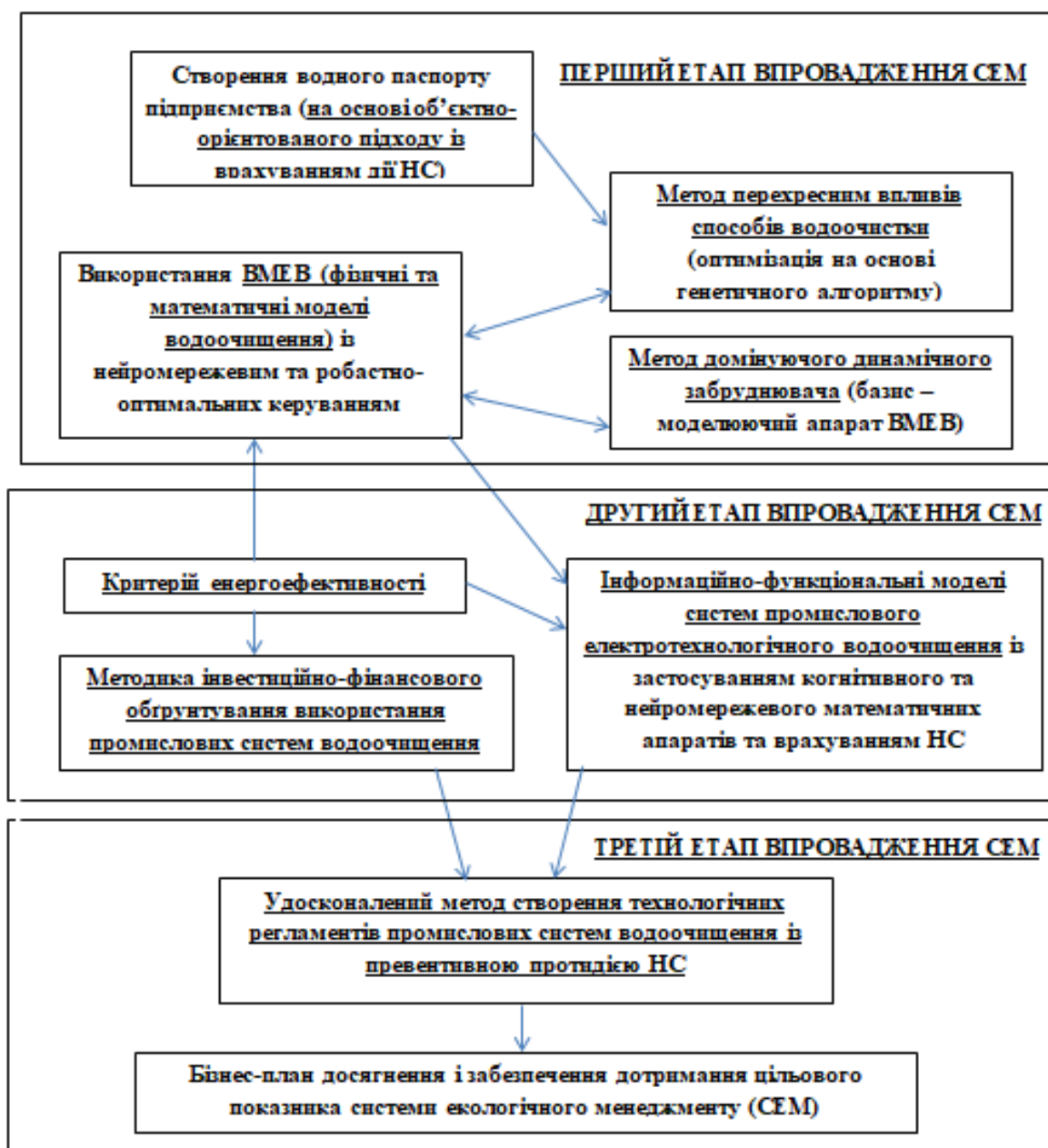


Рисунок 5.21 – Структура об'єктно-орієнтованого впровадження ISO 14001 на основі удосконалених науково-теоретичних засад технологій промислового водоочистки (ТЕІ – техніко-економічна інформація)

5.4. Висновки до Розділу 5

1. Об'єктноорієнтований підхід вимагає детального аналізу не лише інвестиційно-фінансових характеристик, але й енергетичних показників проекту, відповідно, обґрунтований та розроблений об'єктноорієнтований підхід оцінки інвестиційно-фінансової перспективності, із використанням індексу рентабельності

та критерію енергоефективності, доцільно використовувати під час прийняття рішень щодо фінансування встановлення обладнання водоочищення.

2. Комплексне використання ресурсоефективних технологічних комплексів (Патент 95201 UA, МПК Е 03 В 7/00 (2014.01) «Водопровідна насосна станція», Патент 98867 UA, МПК А 01 С 3/00 (2012.01) «Бродильна камера для біогазових установок», Патент 108196 UA, МПК В 01 D 29/11 (2006.01) «Фільтр», Патент № 120530 UA, МПК С02F 9/06 (2006.01) «Автоматична насосна станція») під час реалізації ефективного опрацювання техніко-економічної інформації дасть змогу реалізувати замкнуті цикли водопостачання із використання продуктів очищення.

3. Виробниче впровадження методів обґрунтування та впровадження комбінованих установок видалення із водних розчинів забруднювачів на ВАТ «Пінський м'ясокомбінат» (відхилення критерію енергоефективності від нуля $\pm 9,6\%$) та ТОВ «БІТ-Сплав» (відхилення критерію енергоефективності від нуля $\pm 3,4\%$) дали змогу виконати екологічні вимоги щодо якості стічних вод підприємств та впровадити ресурсозберігальні схеми водоскиду.

4. Із врахування якості функціонування очисних споруд встановлено, що водойми, куди здійснюють скид такі об'єкти перебувають у стані «під ризиком» (для м'ясопереробки значення індикатора – $73,8 \text{ м}^3/\text{с}$, малої металургії – $16,3 \text{ м}^3/\text{с}$). Корегування режимів обладнання водоочищення згідно із завданням зменшення такого тиску дало змогу значно зменшити негативний вплив на водні об'єкти, що засвідчили покращення значень індикатора: для м'ясопереробки – $2,7 \text{ м}^3/\text{с}$, малої металургії – $1,1 \text{ м}^3/\text{с}$.

5. Удосконалена концепція постановки інтегрованих цілей досягнення ресурсоефективного водозабезпечення згідно з міжнародними системами оцінки якості управління підприємствами створює передумови для отримання сертифікату ISO 14001 і відповідно: зниження фінансових витрат внаслідок економії природних ресурсів і зменшення штрафних санкцій; домогтися зростання прибутку, завдяки реалізації повторного використання водних ресурсів.

Матеріал розділу викладено у публікаціях автора [78, 79, 80, 82, 97, 98, 101, 110, 115, 117, 121, 122, 150, 151, 160, 161, 225–233, 234, 296, 323].

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі вирішена науково-прикладна проблема, яка полягає в розробленні методів удосконалення науково-теоретичних засад водоочищення зі зменшенням ризиків виникнення надзвичайних ситуацій та врахуванням вимог енергоефективності, що сприятиме підвищенню екологічної безпеки промислових об'єктів.

Це дало змогу сформулювати 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'єктоорієнтованого 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'єктноорієнтований 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 застосуванні 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 ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Bolle D., Dupont P. Stability properties of Potts neural networks with based patterns and low loading. *Journal Physics*. 1991. V.24. P. 1065–1081
2. Burrascano P. Learning Vector Quantization for the Probabilistic Neural Network. *IEEE Trans. on Neural Networks*. July 1991. 2. P. 458–461.
3. Caudill, M. The Kohonen Model. *Neural Network Primer. AI Expert*. 1990. P. 25–31.
4. Chen S., Ke J.S., Chang J.F. Knowledge representation using fuzzy Petri nets. *IEEE Transactions on Knowledge*. 1990. Vol. 3, No. 3, P. 311–319.
5. 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 Uchbovnoi Literatury, 2014. 240 p.
6. Doherty W. Stacked Generalization. *Neural Networks*. 1992. Vol. 5. P. 241–259.
7. Dohnalik K. Wyniki badan nad elektrokoagulacja zawiesin w wodzie. Warszawa: “Gaz, woda i techn. sanit ”. 1971. № 8. P. 104–113.
8. El-Din A.G., Smith D.W. Neural networks model to predict the wastewater inflow incorporating rainfall events. *Water Res*. 2002. № 12. P. 56–61.
9. Lysenko V., Golovinskyi B., Reshetiuk V., Shcherbatiuk V., Shtepa V. Energy- efficient modes for management of biotechnical objects based on natural disturbances prediction. *Annals of Warsaw University of Life Sciences*. 2015. № 65. P. 111–118.
10. Rosenblatt F. The Perceptron: A Probabilistic Model for Information Storage and Organization in the Brain. *Psychological Review*. 1958. Vol. 65, No. 6. P. 386–408.

11. Cybenko G. Approximation by Superpositions of a Sigmoidal Function. *Mathematics of Control, Signals, and Systems*. 1989. Vol. 2, № 4. P. 303–314.
12. Gaastra P. Photosynthesis of crop plants as influenced by light, carbon dioxide, temperature and stomatal diffusion resistance. Mededel. *Landbouwhogeschool, Wageningen*. 1959. Vol. 59. P. 61–68.
13. Huang N. E., Shen Z., Long S. R., Wu M. C., Shih H. H., Zheng Q., Yen-C. N., Tung C. C., Liu H. H. The empirical mode decomposition and the Hilbert spectrum for nonlinear and non-stationary time series analysis. *Proceedings of R. Soc. London*. 1998. Ser. A, 454. P. 903–995,
14. Huff A.S. Mapping strategic. *Mapping strategic thought*. 1990. № 3. P. 11–13
15. Hugo Challa. Integration of explanatory and empirical crop models for greenhouse management support. *Proceedings of Models. Plant Growth, Acta Hort*. 2007. 507. P. 107–115.
16. Funahashi K. On the Approximate Realization of Continuous Mappings by Neural Networks. *Neural Networks*. 1989. Vol. 2, № 3. P.183–191.
17. Hornick K., Stinchcombe M., White H. Multilayer Feedforward Networks are Universal Approximators. *Neural Networks*. 1989. Vol. 2, № 5. P.359–366.
18. Passino Kevin M., Yurkovich Stephen. Fuzzy Control. Ohio State University. 2001. 572 p.
19. Konar A., Mandal A.K. Uncertainly management in expert systems using fuzzy Petri nets. *IEEE Transactions on Knowledge*. 1996. Vol. 8, No. 1. P.96–104.
20. Kosko B. Fuzzy cognitive maps. *International Journal of Man-Machine Studies*. 1986. Vol. 1. P. 65–75.
21. 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.
22. Lysenko V., Reshetyuk V., Shtepa V., Dudnyk A. Greenhouse Environment Control System With Neural Network Predictions of External Disturbances. *Contemporary aspects of production engineering: 22–25 May 2013*. P. 40–52.
23. Maly J. *Chemie a technologie*. Brno: NOEL 2000, 1996. 200 p.
24. Miyakoshi M., Shimbo M. Lower solution of system of fuzzy equalations. *Fuzzy Sets Systems*. 1986. V.19. P.37–46.
25. Nakamura J., Jtoi S.-Use K.C. Water life ProC. Int Congr. Pesalin and water Re. *Chanalasappa met Nice*. 1980. № 1. P. 383–389
26. Narendra K.S., Parthasarathy K. Identification and control of dynamic systems using neural networks. *IEEE Control System*. 1995. Vol.15. P.37–51.
27. Nauck D., Nauck D., Klawonn F., Kruse R. John Wiley & Sons. *Foundations of Neuro-Fuzzy Systems*. 1997. 305 p.
28. Pappis C.P., Sugeno M. Fuzzy relations equalation and the inverse problem. *Fuzzy Sets Systems*. 1985. Vol.15. P.79–90.
29. Murray G. Philip W., Wright M. *Numerical linear algebra and optimization*. Addison Wesley. USA 1991. 426 p.
30. Pourbaix Silson H. *Atlas d'équilibres electrochemique*. Paris. Plenum Press. 1963. 236 p.
31. Poznyak A.S., Sanchez E.N. Dynamic neural networks for nonlinear control: *Identification state estimation and trajectory tracking*. *World Scientific. London*. 2001. № 7. P. 102–120.
32. Poznyak A.S. Simultaneous states and parametry estimation of an ozonation reactor based on dynamic neural networks. *Theory Appl Comput. Simulations*. 2004. Vol. 12. № 1-2. P.195–221.
33. Ross T.J. *Fuzzy logic with engineering applications*. McGraw-Hill, 1995. 600 p.

34. Fahlman S.E., LeBrier Ch. The Cascade-Correlation Learning Architecture. Research Report CMU-CS-90-100. *School of Computer Science, Carnegie Mellon University*. 2008. № 4. P 120–128.
35. Schieler, H., Hartmann, U. Mapping neural network derived from the parzen window estimator. *Neural Networks*. Vol. 5. P. 903–909.
36. Specht, D. A General Regression Neural Network. *IEEE Trans. on Neural Networks*. 2017. Vol. 2, № 6. P. 568–576.
37. Specht D. Probabilistic Neural Networks. *Neural Networks*. 2011. № 3. P.109–118.
38. Specht D. The General Regression Neural Network – Rediscovered. *Neural Networks*. Vol. 6. P.1033–1034.
39. Structure of Decision. The Cognitive Maps of Political Elites / Ed. by R. Axelrod. Princeton: Princeton University Press. 1976. 405 p.
40. Stuart F.E. Electronic coagulation, something about a new method of coagulation water. *Public works magazine*. 1989. № 251. P. 70–81.
41. Tavan P., Grubmuller H., Kuhnel H. Self-organization of associative memory and pattern classification: recurrent signal processing on topological feature maps. *Biological Cybernetics*. 1990. № 64. P. 95–105.
42. Huang N. E., Shen Z., Long S. R., Wu M. L. The empirical mode decomposition and the Hilbert spectrum for nonlinear and nonstationary time series analysis. *Proc. R. Soc. London*. 1998. Vol. 454. P. 903–995.
43. The Hilbert-Huang transform and its applications / editors Norden E. Huang, Samuel S.P. Shen. World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd. 5 Toh Tuck Link, Singapore. 1998. 436 p.
44. Shvorov S., Reshetyuk V., Bolbot I., Shtepa V., Chirchenko D. Theoretical issues construction and operation of agricultural mission robotic system. *Annals of Warsaw University of Life Sciences – SGGW Agriculture (Agricultural and Forest Engineering)*. 2012. № 60. P. 97–103.
45. Veeraraghavan R., Dambal R. Electrochemical process of treatment, of plating effluent. *Electrochem. SoC. India*. 1982. № 31. P. 27–32.

46. McCulloch W.S., Pitts W. A Logical Calculus of the Ideas Immanent in Nervous Activity. *Bulletin of Mathematical Biophysics*. 1943. Vol. 5. P. 115–133.
47. 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.
48. Абилов Ф. А. Интенсификация и автоматизация управления технологическими процессами очистки природных и сточных вод Автореф. дис. канд. техн. Наук. Баку: АзерСУГЕО, 1998. 39 с.
49. Абрамова Н. А., Коврига С. В. О некоторых аспектах формирования и согласования понятий и их влияния на качество интеллектуальной деятельности. *Тез. докл. 2-ой междунар. конф. по когнитивной науке*. СПГУ.- СПб.: 2006. Т. 2. С. 607–611.
50. Абрамова Н. А., Вассунов И. В. О влиянии формализации на адекватность когнитивной модели управленческой ситуации. *Тр. 5-й междунар. конф. “Когнитивный анализ и управление развитием ситуаций” (CASC’2005)*. ИПУ РАН. Москва, 2005. С. 47–51.
51. Гончаров Ф. І., Штепа В. М., Сироватка М. А., Кізюн Б. Ф. Автоматизований агрегат внесення меліорантів в умовах надзвичайних ситуацій. *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. П. Василенка*. 2010. Вип. 102. С.74-77.
52. Азрапкин А. П., Смирнов А. А. Повторное использование сточных вод и вод внутренних стоков для технических (не питьевых) целей. *Водоочистка. Водоподготовка. Водоснабжение*. 2011. № 5. С. 24–26.
53. Айрапетян Т. С. Водне господарство промислових підприємств: навч. посібник. Харк. нац. акад. міськ. госп-ва. Х. : ХНАМГ, 2010. 280 с. URL: <http://eprints.kname.edu.ua/17410/>

54. Алексеев В. С. Использование подземных вод для хозяйственно-питьевых целей. *Водоснабжение и санитарная техника*. 2009. № 1. С. 7–10.
55. Алиев Т. М., Тер-Хачатуров А. А., Шекиханов А. М. Итерационные методы повышения точности измерений. М. : Энергоатомиздат, 1986. 168 с.
56. Данилович Д. А., Козлов М. Н., Мойжес О. В. Анаэробное окисление аммония для удаления азота из высококонцентрированных сточных вод. *Водоснабжение и санитарная техника*. 2010. № 4. С. 49–54.
57. Артамонов В. В., Шиш Р. Г. Аерація періодично – занурених біофільтрів. *Проблеми водопостачання, водовідведення та гідравліки*. 2010. Вип. 13. С. 63–67.
58. Гунченко Ю. О., Лисенко В. П., Шворов С. А., Штепа В. М. Архітектура систем управління біотехнічними об'єктами. *Сучасна спеціальна техніка: науково-практичний журнал*. 2012. № 2 (29). С. 33–40.
59. Бабичева И. Ф., Шарко А. В. Использование нейросетевого классификатора в системах дефектоскопии механических характеристик металлов. *Автоматика. Автоматизация. Электротехнические комплексы и системы*. 2004. № 1. С. 69–77.
60. Багаев Ю. Г., Соколов В. Д., Галдилов В. С. Опыт нормирования сбросов городских сточных вод в водные объекты. *Водоснабжение и санитарная техника*. 2008. № 11. С. 51–55.
61. Шворов С. А., Болбот І. М., Штепа В. М., Заєць Н. А., Дудник А. О. Багатокретиріальний синтез маршрутів пересування мобільних роботів з розпізнаванням перешкод. *Енергетика і автоматика: електрон. наук. фах. вид.* 2012. № 1 (11). URL: http://www.nbu.gov.ua/e-journals/eia/2012_1/12ssadod.pdf. – Дата звернення: 26.03.2016.

62. Шестопалов В. М., Набока М. В., Омельчук С. А., Почекайлова Л. П. Безпечність питної води в Європейському і Українському водному законодавстві. *Довкілля та здоров'я*. 2008. № 4. С. 18–25.
63. Безценный А. А. Оптимизация экологической деятельности по защите водных ресурсов в процессе формирования систем водопотребления. *Коммунальное хозяйство городов : науч.-техн. сб. Серия «Технические науки и архитектура»*. 2010. Вып. 95. С. 82–84.
64. Бескровная М. В. Математическое моделирование процессов очистки от соединений азота в проточных биореакторах. *Коммунальное хозяйство городов : науч.-техн. сб. К. :Техніка*. 2010. Вып. 93. С. 372–376.
65. Бескровная М. В. Современные биотехнологии очистки воды от минеральных соединений азота. *Вода, экология, общество: материалы III Междунар. науч.-практ. конф.*, Харьков, 9–11 февраля 2010 г. Харьк. обл. гос. адм., Харьк. нац. акад. гор. хоз-ва, КП КХ „Харьковкоммуночиствод”, КП „ВТП Вода”, Белг. гос. техн. ун-т. Х. : ХНАГХ, 2010. С. 42–43.
66. Пупырев Е. И., Захватаева Н. В., Шеломков А. С., Кожушко А. Ю. Биогальванический метод удаления фосфатов из сточных вод. *Водоснабжение и санитарная техника*. 2009. № 8. С. 55–59.
67. Кевбрина М. В., Николаев Ю. А., Акментина А. В. Биологическая очистка городских сточных вод и возвратных потоков с применением гранулированных илов. *Водоснабжение и санитарная техника*. 2011. № 10. С. 60–66.
68. Биореактивы компании Raques – новое слово в очистке сточных вод. *Вода і водоочисні технології*. 2008. № 2. С. 58–59.
69. Бичківський Р. В. Метрологія, стандартизація, управління якістю і сертифікація: Підручник. Львів, «Львівська політехніка», 2002. 560 с.
70. Благодарная Г. И., Шевченко А. А., Лунин С. В. Очистка сточных вод масложировых производств. *XXXV научно-техническая конференция*

преподавателей, аспирантов и сотрудников Харьковской национальной академии городского хозяйства. Ч. 1. Строительство, архитектура, экология, общественные науки. Х.: ХНАГХ, 2010. С. 171–173.

71. Боголюбов Н. В. Автоматизация управления технологическими процессами обработки воды. К.: Наукова думка, 1987. 204 с.
72. Большаков Н. Ю. Модернизация сооружений очистки сточных вод и оптимизация процесса удаления биогенных элементов по НДТ-3. *Водоочистка. Водоподготовка. Водоснабжение*. 2011. № 7. С. 60–67.
73. Борисов В. В., Бычков И. А., Дементьев А. В. Компьютерная поддержка сложных организационнотехнических систем. М.: Горячая линия – Телеком, 2002. 154 с.
74. Буцева Л. Н., Гетманцев С. В., Рашковский Г. Б. Эффективность очистки производственных сточных вод с применением коагулянтов «АКВА – АУРАТ». *Водоснабжение и санитарная техника*. 2008. № 1. С. 33–39.
75. Васильев Б. В., Мишуков Б. Г., Соловьева Е. А. Реагентное удаление фосфора из городских сточных вод. *Водоснабжение и санитарная техника*. 2009. № 2. С. 58–61.
76. Василюк Т. П. Эффект очищення стічних вод біологічним методом з використанням рослин виду *Eichornia Crassipes Martius* з різного гідравлічного навантаження. *Біотехнологія*. 2009. № 1. С. 99–106.
77. Введено в дію Державні санітарні норми та правила „Гігієнічні вимоги до питної води, призначеної для споживання людиною” (ДСанПН 2.2.4-171-10). *Вода і водоочисні технології*. 2010. № 5–6. С. 12–13.
78. Вертай С. П., Штепа В. Н., Сасевич Е. И. Механизм формирования инновационного предпринимательства. *Экономика и управление : научный и производственно-практический журнал*. 2016. № 4 (48). С. 10–14. URL:

http://media.miu.by/files/store/items/eiup/48/eiu_4_2016_2.pdf, Дата звернення: 20.02.2017.

79. 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. Серія : Техніка та енергетика АПК : збірник наукових праць*. 2016. Вип. 240. С. 86–93.
80. Петришина В. А., Моклячук Л. І., Лисенко В. П., Штепа В. М. Використання апарату нечітких нейронних мереж для виявлення толерантних до пестицидного навантаження видів дикорослих рослин. *Аграрна наука та освіта: науковий журнал*. 2008. Т.9. № 1-2. С. 87–93.
81. Заєць Н. А., Шворов С. А., Штепа В. М., Осипа В. О. Використання генетичних алгоритмів для розрахунку оптимальних настройок функціонування робототехнічного комплексу. *Збірник наукових праць Військового інституту Київського національного університету ім. Т. Шевченка*. 2012. Вип. 38. С. 41–45.
82. Гончаров Ф. І., Штепа В. М., Кізюн Б. Ф., Сироватка М. А. Використання дискового створювача борозен ДОБ-3,5 (4,2) для підвищення врожайності сільськогосподарських культур. *Вісник Житомирського національного агроєкологічного університету: науково-теоретичний збірник*. 2011. Том 2. Вип. № 2 (29). С.199–203.
83. Винниченко М. Г., Решетюк В. М., Штепа В. М. Інформаційно-управляючі системи біотехнічними об'єктами з інтелектуальними підсистемами. *Наукові праці ДонНТУ. Серія: Обчислювальна техніка та автоматизація: всеукр. наук. Збірник*. 2013. № 3 (25). С. 190–197.
84. Водний кодекс України від 6 червня 1995 р. Збірник законодавчих актів України про охорону навколишнього природного середовища : у 5 томах. Том 1. Чернівці : Зелена Буковина, 1997. С. 283–304.

85. Кирієнко П. Г., Варламов Є. М., Берешко І. М., Колосков В. Ю. Водопостачання, водовідведення і якість води : навч. посібник до лаборатор. Практикуму. Нац. аерокосм. ун-т ім. М. Є. Жуковського „Харків. авіац. ін-т”. Х.: ХАІ, 2009. 71 с.
86. Войнич-Сяноженцкий Т. Г., Мясникова Е. В. Расчет модуля максимального стока дождевых паводков неизученных рек. *Водоснабжение и санитарная техника*. 2009. № 4. С. 51–53.
87. Волков В. Н., Горбунов С. А. Новые материалы и технологии очистки сточных вод в системах теплоснабжения. *Энергосбережение и водоподготовка*. 2011. № 2. С. 24–27.
88. Волошин М. Д., Иванченко А. В. Реагентне очищення стічних вод від фосфатів хлоридами алюмінію, заліза та кальцію. Вопросы химии и химической технологии. 2009. № 1. С. 127–128.
89. Галкин С. М., Каньовский А. А. Новые решения для сбора, очистки и сброса ливневых сточных вод. *Водоснабжение и санитарная техника*. 2010. № 4. С. 59–64.
90. Гершенкоп А. Ш., Евдокимова Г. А., Мозгова Н. П. Применение коагулянтов и местных нефтеокисляющих бактерий для очистки сточных вод от нефтепродуктов. *Водоочистка. Водоподготовка. Водоснабжение*. 2009. № 2. С. 36–39.
91. Гершенкоп А. Ш., Николаев А. И. Технология очистки сточных вод предприятий цветной металлургии. *Водоочистка. Водоподготовка. Водоснабжение*. 2009. № 3. С. 22–26.
92. Гетманский А. С. Новый модельный ряд станций серии «ЁРШ». *Водоочистка. Водоподготовка. Водоснабжение*. 2011. № 8. С. 74–78.
93. Капранов С. В., Чумак Ю. М., Косенко Л. И. и др. Гигиеническая оценка эффективности озонирования воды каптажей родников с использованием бытовых озонаторов. *Вода і водоочисні технології*. 2009. № 4–5. С. 47–50.

94. Голик О. П., Жесан Р. В., Штепа В. М. Обґрунтування вибору апарату нечіткої логіки з нейромережевою адаптацією для керування системою автономного енергопостачання на основі вітро-сонячних установок. *Збірник наукових праць Кіровоградського національного технічного університету : Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація*. 2011. Вип. 24. Ч. II. С. 206–213.
95. Голян В. А. Аналіз основних тенденцій використання водних ресурсів та шляхів їх економії. *Статистика України*. 2008. № 4. С.30–35.
96. Голян В. А. Формування екологізбалансованого водокористування. *Актуальні проблеми економіки*. 2008. № 9. С. 145–154.
97. Гончаров Ф. І., Штепа В. М. Обґрунтування методології використання автоматизованих технічних засобів для підвищення ефективності сучасного землеробства. *Енергетика і автоматика: електрон. наук. фах. вид.* 2012. № 2 (12). URL: http://www.nbuuv.gov.ua/e-Journals/eia/2012_2/12gfitemg.pdf. Дата звернення: 26.03.2016.
98. Гончаров Ф. И., Штепа В. Н., Очколяс Е. Н. Обоснование схемы переработки органических веществ. *Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного университета*. 2010. Вип. 48. С. 166–69. URL: http://elibrary.nubip.edu.ua/7377/1/%D0%A8%D1%82%D0%B5%D0%B F%D0%B0_5_2010.pdf. Дата звернення: 26.03.2016.
99. Гончаров Ф. І., Штепа В. М. Автоматичне регулювання тиску у трубопроводі (збурні впливи завислих частинок). *Вісник Київського Національного університету технологій та дизайну: науковий журнал*. 2009. № 2(46). С. 35–39.
100. Гончаров Ф. І., Штепа В. М. Вплив гідравлічної крупності завислих частинок на Coli-index води. *Наукові доповіді Національного університету біоресурсів і природокористування України:*

- електроний журнал*. 2009. №2(14). URL: <http://nd.nauu.edu.ua/2009-2/09gfinnm.pdf>. Дата звернення: 26.03.2016.
101. Гончаров Ф. І., Штепа В. М. Енерго- та ресурсозберігаюча схема системи водопостачання населених пунктів. *Наукові нотатки Луцького національного технічного університету: міжвузівський збірник*. 2009. № 21. С. 49–4.
102. Гончаров Ф. І., Штепа В. М. Мікропроцесорний пристрій удосконалення схеми внутрішньої мережі систем водопостачання. *Праці Луганського відділення Міжнародної академії інформатизації*. 2009. № 2 (19). Ч.1. С. 43–46.
103. Гончаров Ф. І., Штепа В. М. Небезпека сучасних індивідуальних засобів доочищення води. Створення прогностичної нейромережевої моделі. *Наукові доповіді Національного аграрного університету: електроний журнал*. 2008. № 4(12). URL: <http://nd.nubip.edu.ua/2009-1/09gfinnm.pdf>. Дата звернення: 26.03.2016.
104. Гончаров Ф. І., Штепа В. М. Небезпека сучасних індивідуальних засобів доочищення води. Статистичний нейромережевий експеримент. *Наукові доповіді Національного аграрного університету: електроний журнал*. 2009. № 1(13). URL: <http://nd.nubip.edu.ua/2009-1/09gfinnm.pdf>. Дата звернення: 26.03.2016.
105. Гончаров Ф. І., Штепа В. М. Автоматичне керування промивкою фільтра системи безпечного водопостачання. *Наукові нотатки : міжвуз. зб.* 2010. Вип. 27. С. 60–65. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nn_2010_27_13. Дата звернення: 26.03.2016.
106. Гончаров Ф. І., Штепа В. М. Аналітичне дослідження електролізних процесів системи безпечного водопостачання промислових об'єктів. *Вісник Національного авіаційного університету: науковий журнал*. 2010. № 1(42). С. 240–245.
107. 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. Вип. 145. С. 309–314.

108. Гончаров Ф. І., Штепа В. М. Водне господарство агропромислового комплексу України в умовах дії надзвичайних ситуацій. *Наукові доповіді Національного університету біоресурсів і природокористування України: електрон. наук. фах. вид.* 2010. № 1(17). URL: <http://www.nbu.gov.ua/e-journals/Nd/2010-2/10gfiaes.pdf>. Дата звернення: 26.03.2016.
109. 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. Вип. № 2(25). С.42–48.
110. Гончаров Ф. І., Штепа В. М. Дослідження виконавчого механізму автоматизованого агротехнічного комплексу превентивної протидії надзвичайним ситуаціям. *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. П. Василенка. Технічні науки: збірник наукових праць.* 2012. Вип. 130 : Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України. С. 50–53.
111. 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.
112. Гончаров Ф. І., Штепа В. М. Експериментально-теоретичні дослідження гідравлічних параметрів пристрою зливу води безпечної якості. *Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України: збірник наукових праць.* 2009. Вип. 139. С.80–84.
113. 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. 2010. № 22: Тематический выпуск: Химия, химическая технология и экология. С. 55–60.

114. Гончаров Ф. І., Штепа В. М. Ймовірнісні аспекти забезпечення якісної води в системах водокористування в умовах дії надзвичайних ситуацій. *Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного университета. 2011. Вип. 52. С. 138–142.*
115. Гончаров Ф. І., Штепа В. М. Методологія підвищення екологічної безпеки об'єктів агропромислової та харчової індустрій. *Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства України. 2012. Вип. 16 (30), Кн. 2. С. 97–104. URL: http://irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe?C21COM=F&I21DBN=UJRN&P21*
116. Гончаров Ф. І., Штепа В. М. Обґрунтування, розроблення та техніко-економічні характеристики універсального багатоканального біогенератора. *Вісник Сумського державного університету. Серія «Технічні науки»: науковий журнал. 2010. Том 1. № 3. С. 172–176.*
117. Гончаров Ф. І., Штепа В. М. Передумови застосування автоматизованих засобів зміни властивостей води для підвищення ефективності тваринництва (рослинництва). *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. П. Василенка: збірник наукових праць. 2009. Вип. 87. С.68–70.*
118. Гончаров Ф. І., Штепа В. М. Приготування розчинів і суспензій для знезараження територій, забруднених небезпечними речовинами внаслідок дії надзвичайних ситуацій. *Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: Техніка та енергетика АПК: зб. наук. пр. 2010. Вип. 148. С. 140–145.*
119. Гончаров Ф. І., Штепа В. М. Проблеми використання забруднених небезпечними речовинами вод для зрошування. *Наукові доповіді Національного університету біоресурсів і природокористування*

- України: електроний журнал.* 2010. № 1(17). URL: <http://www.nbu.gov.ua/e-journals/Nd/2010-1/10gfipds.pdf>. Дата звернення: 26.03.2016.
120. Гончаров Ф. І., Ряба О. І., Штепа В. М. Програмна реалізація автоматичного регулювання промивкою фільтра системи безпечного водопостачання. *Енергетика і автоматика: електрон. наук. фах. вид.* 2011. № 2(08). URL: http://https://rep.polessu.by/bitstream/123456789/18028/1/Lisenko_V.P._Imovirnisna_Baiesivs%27ka_neironna%20merezha%20klasifikatsii%20temperaturnikh%20obrazi.pdf. Дата звернення: 26.03.2016.
121. Гончаров Ф. І., Штепа В. М. Система контролю якості водопостачання. *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. П. Василенка: збірник наукових праць.* 2009. Вип. 88: Сучасні напрямки технології та механізації процесів переробних і харчових виробництв. С. 267–274.
122. 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. Серія: Техніка та енергетика АПК: зб. наук. пр.* 2011. Вип. 166, Ч. 4. С. 120–126. URL: <http://elibrary.nubip.edu.ua/13133/>. Дата звернення: 26.03.2016.
123. Гончаров Ф. І., Штепа В. М. Шляхи запобігання непродуктивному змиву гумусу, пестицидів та агрохімікатів з поверхні сільськогосподарських угідь. *Вісник Львівського національного аграрного університету: збірник науково-технічних праць.* 2010. № 14. С. 159–168. URL: <http://elibrary.nubip.edu.ua/7379/>
124. Гончарук В. В., Нижерадзе К. А., Дацкевич Е. В. Использование клеток человека НЕК 293 для оценки токсичности воды до и после

- очистки от ионов меди и цинка. *Химия и технология воды*. 2010. № 1. С. 87–96.
125. Гончарук В. В., Маляренко В. В., Яременко В. А. Использование ультразвука при очистке воды. *Химия и технология воды*. 2008. № 3. С. 253–277.
126. Гончарук В. В. Хімія води і проблеми питного водопостачання. *Світосгляд*. 2009. № 4. С. 18–27.
127. Гордин И. В. Собственные природоохранные усилия. ЛОУ: плюсы и минусы. *Водоочистка. Водоподготовка. Водоснабжение*. 2009. № 3. С. 60–63.
128. Гороновский И. Т. Физико-химическое обоснование автоматизации технологических процессов обработки воды. К.: Наукова думка, 1975. 215 с.
129. Гуденко О. Г., Бессонов А. А., Бобух В. А. Аппаратная реализация сети СМАС и её применение для задач сжатия изображений. *Автоматика. Автоматизация. Электротехнические комплексы и системы*. 2005. № 2. С. 47–53.
130. Гуцал И. А., Костенко Е. Г. Очистка сточных вод от нефтепродуктов с применением коагулянтов и нефтеокисляющих бактерий. *XXXV научно-техническая конференция преподавателей, аспирантов и сотрудников Харьковской национальной академии городского хозяйства : прогр. и тез. док. : в 3-х ч. Ч. 1. Строительство, архитектура, экология, общественные науки. Х. : ХНАГХ, 2010. С. 158–159.*
131. Дегтярева Л. И., Шевченко Т. А. Кинематика процессов аммонификации, нитрификации, денитрификации. *Коммунальное хозяйство городов : науч.-техн. сб. Серия „Технические науки и архитектура”*. 2010. Вып. 93. С. 156–161. URL: <http://eprints.kname.edu.ua/16962/>

132. Гончарук В. В., Божко И. В., Фальковский Н. И. и др. Диафрагменный разряд и его использование для очистки воды. *Химия и технология воды*. 2008. № 5. С. 463–477.
133. Диев В. С. Нечеткость в принятии решений. *Философия науки*. 1998. № 1(4). С. 45–52.
134. Ленков С. В., Шворов С. А., Болбот І. М., Штепа В. М., Чирченко Д. В. Дискретна векторна оптимізація траєкторій руху мобільних роботів. *Сучасна спеціальна техніка: науково-практичний журнал*. 2012. № 1(28). С. 13–20.
135. Долина Л., Міщенко А. Розробка технології очистки стічних вод для краплинного зрошування. *Водне господарство України*. 2010. № 2. С. 16–19.
136. ДСТУ ISO 7858-1:2006. Вимірювання витрати води в закритих трубопроводах. Лічильники холодної питної води комбіновані : в 2 ч. Ч. 1. Технічні вимоги (ISO 7858-1:1998, IDT). Чинний від 2007-10-01. К. : Держспоживстандарт України, 2008. 5 с.
137. ДСТУ ISO 7858-2:2006. Вимірювання витрати води в закритих трубопроводах. Лічильники холодної питної води комбіновані : в 2 ч. Ч. 1. Вимоги до встановлення (ISO 7858-2:2000, IDT). Чинний від 2007-10-01. К. : Держспоживстандарт України, 2008. 5 с.
138. Дудник, А. О., Штепа В. М. Вибір оптимального керування біотехнічними об'єктами (на прикладі тепличного комплексу). *Вісник Київського національного університету технологій та дизайну: науковий журнал*. 2013. № 3(71). С. 77–82.
139. Дудник А. О., Штепа В. Н., Лисенко В. П. Нейромережева система керування електрогідроциклоном. *Енергетика і автоматика : електронне наукове фахове видання*. 2016. № 2. С. 84-92. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/eia_2016_2_12, свободный. Дата звернення: 26.09.2016.

140. Душкин С. С., Коваленко А. В., Шевченко Т. А. Метод удаления фосфора из бытовых сточных вод с применением активированного раствора коагулянта. *XXXV научно-техническая конференция преподавателей, аспирантов и сотрудников Харьковской национальной академии городского хозяйства: прогр. и тез. док. : в 3-х ч. Ч. 1. Строительство, архитектура, экология, общественные науки. Х. : ХНАГХ, 2010. С.153–155.*
141. Дятлов А. В., Певнев С. Г., Матвеев А. В. Применение процеживателей при механической очистке сточных вод. *Водоснабжение и санитарная техника. 2008. № 2. С. 21–24.*
142. Дятлова Т. В., Певнев С. Г., Федоровская Т. Г. Очистка сточных вод молокозавода. *Водоснабжение и санитарная техника. 2008. № 2. С. 12–16.*
143. Гвоздяк П. І., Глоба Л. І., Демчина В. П. Експериментальний доказ існування ANAMMOX – процесу в аеротенках очисних споруд України. *Коммунальное хозяйство городов : науч.-техн. сб. Серия „Технические науки и архитектура”.* 2010. Вып. 93. С. 94–97. URL: <http://eprints.kname.edu.ua/16928/>
144. Гончаров Ф. І., Штепа В. М., Левчук А. П., Кот Р. Є., Гондарук С. В. Експериментальні дослідження електролізних процесів у водних розчинах із миючими засобами. *Енергетика і автоматика: електрон. наук. фах. вид.* 2013. № 4(11). С. 15–21. URL: <http://journals.nubip.edu.ua/index.php/Energiya/article/view/3660>
145. Елизаров А. С. Электрорадиоизмерения. Минск: Высшейш. шк., 1986. 320 с.
146. Енохович А. С. Справочник по физике и технике. М.: Просвещение, 1989. 224 с.
147. Есина Е. А., Лебедева Е. А. Глубокая очистка сточных вод от биогенных элементов с применением минеральных реагентов. *Вода і водоочисні технології.* 2010. № 3–4. С. 40–42.

148. Ефимов В. Т. Автоматизация процесса электрохимической очистки отработанных СОЖ. *Автоматизация и механизация пр-ва*. 1987. № 1. С. 11–15.
149. Заєць Н. А., Штепа В. М. Використання генетичного алгоритму для вирішення оптимізаційних задач в електротехніці. *Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія : Техніка та енергетика АПК: зб. наук. пр.* 2011. Вип. 166, Ч. 4. С. 157–164. URL: <http://elibrary.nubip.edu.ua/13173/>. Дата звернення: 26.03.2016.
150. Заєць Н. А., Штепа В. М. Використання когнітивного моделювання при управлінні біотехнологічними об'єктами харчових виробництв. *Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: Техніка та енергетика АПК: збірник наукових праць*. 2018. № 283. С. 29–38.
151. Заєць Н.А., Штепа В.М. Систематизація електротехнологічних комплексів водоочищення харчових виробництв. *Енергетика і автоматика: науковий журнал*. 2018. № 4. С. 49–62.
152. Захаров В. В. Использование систем магнитной обработки воды для предотвращения образования твердых отложений накипи. *Водоочистка. Водоподготовка. Водоснабжение*. 2011. № 4. С. 22–25.
153. Зенкин Н. А., Федин С. С., Мусбах Тамими Хайдар Математические методы определения оптимального уровня качества изделий на стадиях научно – исследовательских и опытно-конструкторских разработок. *Международный сборник научных трудов. Прогрессивные технологии и системы машиностроения*. 1999. Выпуск 7. С.68–75.
154. Зенкін А. С., Бичкова К. М., Гаванмех Ахмед М. А. Роль і місце метрологічного забезпечення експлуатації складних виробів і систем. *Вісник Державної академії легкої промисловості України*. 2000. № 2. С. 98–102.

155. Ибадуллаев Ф. Ю., Меликов И. Д. Электросепарация ПАВ из сточных вод. *Химия и технология воды*. 2008. № 1. С. 83–90.
156. Иванов Д. Обеззараживание сточных вод ультрафиолетом. *ЖКХ*. 2008. № 7. С. 34–37.
157. Феофанов В. А., Жданович Л. П., Луханин Б. С., Милахина М. А. Использование гальвано-коагуляционного аппарата для очистки сточных вод от меди и мышьяка. *Водоочистка. Водоподготовка. Водоснабжение*. 2009. № 4. С. 68–70.
158. Кузнецов А. А., Штепа В. Н., Кот А. Р., Морголь А. В. Использование муравьиного алгоритма для оптимизации функционирования нейросетевых решений (на примере интенсификации процессов водоочистки). *Сучасні методи, інформаційне, програмне та технічне забезпечення систем управління організаційно-технічними та технологічними комплексами : матеріали III Міжнародної науково-технічної Internet-конференції, 23 листопада 2016 р.* Національний університет харчових технологій України. Київ : НУХТ, 2016. С. 124–126. URL: http://nuft.edu.ua/page/51adaed39c2a2/files/3_Internet_konf.pdf, свободный. Дата звернення: 12.12.2016.
159. Каграманов Г. Г., Волчек К. А., Фарносова Е. Н. Инновационные технологии в водоподготовке и очистке сточных вод. *Водоочистка. Водоподготовка. Водоснабжение*. 2009. № 12. С. 36–47.
160. 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.
161. Каплун В. В., Штепа В. М. Метод побудови систем енергоефективного управління комбінованою електротехнологічною

- очисткою стічних вод різногалузевих промислових об'єктів. *Вісник Київського національного університету технологій та дизайну. Серія "Технічні науки" : рецензований науковий журнал*. 2017. № 2(108). С. 27–37.
162. Капранов С. В., Яловега Л. И., Косенко Л. И. Мониторинг качества воды водных объектов по показателям эпидемической безопасности как составная часть государственного социально-гигиенического мониторинга. *Вода і водоочисні технології*. 2010. № 5-6. С. 25–34.
163. Капранов С. В., Маркитан Ю. С., Емельянов В. А. Прогнозирование качества питьевой воды централизованного водоснабжения в процессе осуществления социально-гигиенического мониторинга (СГМ). *Вода і водоочисні технології*. 2008. № 5. С. 32–40.
164. Кочеткова Р. П., Кочетков А. Ю., Резников С. А. Каталитическая очистка сточных вод процессов нефтепереработки от сероводорода. *Водоочистка. Водоподготовка. Водоснабжение*. 2009. № 5. С. 12–22.
165. Соколов Д. М., Кашинцев И. В., Соколов М. С. Качество питьевой воды и инновационные методы контроля: проблемно-аналитический обзор. *Водоснабжение и санитарная техника*. 2010. № 8. С. 15–27.
166. Нечаев И. А., Гандурина Л. В., Садова С. Ф., Жигулина И. В. Коагуляционно-флокуляционная очистка сточных вод от водорастворимых красителей. *Водоснабжение и санитарная техника*. 2009. № 5. С. 65–68.
167. Ковальчук В. А., Ковальчук О. В., Самелюк В. І. Біотехнологія очистки стічних вод підприємств харчової промисловості. *Коммунальное хозяйство городов : науч.-техн. сб. Серия «Технические науки и архитектура»*. 2010. Вып. 93. С. 182–187. URL: <http://eprints.kname.edu.ua/16995/>
168. Кодекс України про надра від 27 липня 1994 р. // Збірник законодавчих актів України про охорону навколишнього природного середовища : у 5 т. Т. 1. Чернівці : Зелена Буковина, 1997. 34 с.

169. Колесников Д. Н., Мендельсон А. М. Нейронные сети в задачах функционального и тестового диагностирования управляемых динамических объектов. *Информационно-управляющие системы*. 2004. № 4. С. 32–39.
170. Корноушенко Е. К., Максимов В. И. Управление процессами в слабоформализованных средах при стабилизации графовых моделей среды. *Труды ИПУ РАН: Сб. науч. Тр.* 1999. Т.2. С. 82–94.
171. Костюченко С. В. Современное состояние и перспективы УФ технологии обработки воды и воздуха. *Светотехника*. 2009. № 6. С. 4–7.
172. Косяченко С. А., Кузнецов Н. А., Кульба В. В., Шелков А. Б. Модели, методы и автоматизация управления в условиях чрезвычайных ситуаций. *Автоматика и телемеханика*. 1998. № 6. С. 3–66.
173. Кофанов В. І., Огняник М. С. Нормативно-методичне забезпечення визначення якості води при оцінці впливу на навколишнє середовище. *Екологія довкілля та безпека життєдіяльності*. 2009. № 4. С. 15–23.
174. Коцар О. М., Миронюк Ю. О. Дослідження технології кондиціонування рідкого гною свинокомплексів з метою його утилізації. *Проблеми водопостачання, водовідведення та гідравліки : наук.-техн. зб.* 2011. Вип. 17. С. 66–72.
175. Кочетов Г. М., Гріненко Ю. В. Отримання фериту міді із рідких відходів очищення стічних вод гальванічних виробництв. *Вода, екологія, общество: материалы III Междунар. науч.-практ. конф., Харьков, 9–11 февраля 2010 г.* Харьк. обл. гос. адм., Харьк. нац. акад. гор. хоз-ва, КП КХ „Харьковкоммуночиствод”, КП „ВТП Вода”, Белг. техн. ун-т. Х. : ХНАГХ, 2010. С. 73–75. URL: <http://eprints.kname.edu.ua/14848/>
176. Кочетов Г. М. Розробка маловідходного очищення стічних вод, які містять сполуки міді. *Проблеми водопостачання, водовідведення та гідравліки : наук.-техн. зб.* 2010. Вип. 15. С. 106–112.

177. Кризський М. М., Тугай А. М. Шляхи удосконалення раціонального використання води у водопостачанні. *Проблеми водопостачання, водовідведення та гідравліки*. 2011. Вип. 16. С. 13–24.
178. Круглов В. В. Искусственные нейронные сети. Теория и практика. М.: Горячая линия – Телеком, 2002. 382 с.
179. 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. Серія: Техніка та енергетика АПК : збірник наукових праць*. 2016. Вип. 256. С. 47–54.
180. Кузнецов О. П., Кулинич А. А., Марковский А. В. Анализ влияния при управлении слабоструктурированными ситуациями на основе когнитивных карт. *Человеческий фактор в управлении*. 2006. № 11. С. 313–344.
181. Кулинич А. А., Титова Н. В. Интеграция нечетких моделей динамики и оценивания ситуаций. *Тр. 5-й междунар. конф. “Когнитивный анализ и управление развитием ситуаций” (CASC’2005) / ИПУ РАН*. М.: 2005. С. 107–126.
182. Ларичев О. И., Петровский А. Б. Системы поддержки принятия решений: современное состояние и перспективы развития. *Итоги науки и техники*. 1987. Т. 21. С. 131–164.
183. Леоненков А. В. Нечёткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH. СПб: БХВ-Петербург, 2003. 736 с.
184. Лисенко В. П., Решетюк В. М., Штепа В. М. Фільтрація інформаційних каналів систем управління біотехнічними об’єктами. *Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: Техніка та енергетика АПК: зб. наук. праць*. 2013. Вип. 184, Ч. 1. С. 83–88. URL: <http://irbis-nbuv.gov.ua/cgi->

bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe?C21COM=F&I21DBN=UJRN&P21. Дата звернення: 26.03.2016.

185. Лисенко В. П., Штепа В. М., Голуб Б. Л., Болбот І. М., Щербатюк В. Л. Система управління біотехнічними об'єктами із нейромережевими блоками. *Автоматика / Automatics – 2012: XIX Міжн. конф. з автоматичного управління, 26–28.09.2012 р. : тези доп.* К., 2012. С. 223–224.
186. 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.
187. Лисенко В. П., Штепа В. М., Дудник А. О. Ймовірнісна (Байєсівська) нейронна мережа класифікації температурних образів. *Вісник аграрної науки : науково-теоретичний журнал.* 2011. № 4. С. 53–56.
188. Лисенко В. П., Штепа В. М., Наконечна К. В. Нейромережева модель розвитку державного регулювання в АПК України. *Вісник аграрної науки : науково-теоретичний журнал.* 2009. № 11(679). С. 71–74.
189. Лисенко В. П., Штепа В. М., Дудник А. О. Перетворення Гільберта-Хуанга та фільтрація часового ряду сонячної радіації. *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. П. Василенка. Технічні науки: збірник наукових праць.* 2012. Вип. 130 : Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК. С. 55–58.
190. Лисенко В. П., Кузьменко Б. В. Спеціальні розділи вищої математики (Нечіткі множини). К.: НАУ, 2004. 83 с.
191. Лук'янчук С. В. Забруднення водного середовища: вплив на імунну систему організму. *Довкілля та здоров'я.* 2009. № 3. С. 31–34.
192. Люгер Дж. Ф. Искусственный интеллект: стратегии и методы решения сложных проблем / Пер. с англ. М.: Вильямс, 2005. 864 с.

193. Максимов В. И., Корноушенко Е. К. Аналитические основы применения когнитивного подхода при решении слабоструктурированных задач. *Труды ИПУ РАН: Сб. науч. Тр.* 1999. Т.2. С. 95–109.
194. Максимов В. И. Когнитивные технологии – от незнания к пониманию. *Тр. 1-ой междунар. конф. “Когнитивный анализ и управление развитием ситуаций” (CASC’2001)* / ИПУ РАН. М., 2001. Т.1. С. 4–41.
195. Мальцев В. А., Николаев Н. Н., Тюхнин В. В. Безреагентная электрохимическая антинакипная подготовка воды. *Вода і водоочисні технології.* 2008. № 2. С. 68–72.
196. Шворов С. А., Штепа В. М., Ярмолук В. М., Чирченко Д. В. Математична модель руху платформи робота-маніпулятора з багатокординатним електромеханічним приводом. *Наукові доповіді Національного університету біоресурсів і природокористування України: електрон. наук. фах. вид.* 2012. № 1(30). URL: http://nd.nubip.edu.ua/2012_1/12ssa.pdf.
197. Лисенко В. П., Шворов С. А., Штепа В. М., Дудник А. О. Математичне моделювання витрат природного газу на опалення теплиць та його результати. *Збірник наукових праць Військового інституту Київського національного університету ім. Т. Шевченка.* 2013. № 43. С. 62–67.
198. Мельник Л. А. Обоснование предложений по нормированию содержания марганца в воде, подвергаемой электродиализной обработке. *Химия и технология воды.* 2011. № 1. С. 95–104.
199. Штепа В. М., Заєць Н. А., Ленков О. В., Шворов С. А. Методичні засади застосування нейронних мереж для визначення важливості вхідних електронних документів. *Сучасна спеціальна техніка: науково-практичний журнал.* 2013. № 3(34). С. 58–64.
200. 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.
201. Шворов С. А., Штепа В. М., Болбот І. М., Заєць Н. А., Дудник А. О. Методичні засади розпізнавання образів із використанням багатозарового перцептрона. *Збірник наукових праць Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка*. 2012. Вип. 35. С. 66–72.
202. Метрология и электрорадиоизмерения в телекоммуникационных системах: Учебник для вузов / Под ред. В. И. Нефедова. М. : Высш. шк., 2001. 383 с.
203. Мешенгиссер Ю. М. Группа компаний «Экополимер». *Водоснабжение и санитарная техника*. 2010. № 11. С. 4–7.
204. Штепа В. Н., Прокопеня О. Н., Кот Р. Е., Пуха В. М. Микропроцессорная система дозирования реагентов на основе нечёткой логики. *Вестник Брестского государственного технического университета. Серия: Машиностроение: научно-теоретич. журнал*. 2015. № 4(94). С. 61–64.
205. Щетинин А. И., Есин М. А., Реготун А. А., Малбиев Б. Ю. Моделирование биохимических процессов очистки сточных вод как основа ретехнологизации сооружений: новые технологии и оборудование. *Водоснабжение и санитарная техника*. 2010. № 11. С. 60–69.
206. Мойжес О. В. Динамическая модель OxiD сооружений биологической очистки сточных вод. *Водоснабжение и санитарная техника*. 2009. № 10. С. 52–57.
207. Мустафаев В. А., Гусейнзаде Ш. С. Автоматизация моделирования с применением нечетких сетей Петри. *Автоматизация и современные технологии*. 2004. № 7. С. 6–9.
208. Назарян М. М., Ефимов В. Т. Электрокоагуляторы для очистки промышленных стоков. Харьков: Вища школа, 1983. 144 с.

209. Лисенко В. П., Заєць Н. А., Штепа В. М., Петришина В. А. Нейроінформаційна модель фізіологічних властивостей дикорослих рослин. *Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: Техніка та енергетика АПК : зб. наук. пр.* 2010. Вип. 153. С. 111–118.
210. Лисенко В. П., Заєць Н. А., Штепа В. М., Дудник А. О. Нейромережеве прогнозування часових рядів температури навколишнього природного середовища. *Біоресурси і природокористування: наук. журн.* 2011. Т. 3, № 3-4. С. 102–108.
211. Николаева Л. А., Недзвецкая Р. Я. Ресурсосберегающая технология биосорбционной очистки сточных вод промышленных предприятий. *Энергосбережение и водоподготовка.* 2011. № 2. С. 28–30.
212. Никулин С. Е., Прокопенко А. В. Исследование вопроса применения вихревых напорных аппаратов при очистке воды от малорастворимых солей. *Коммунальное хозяйство городов: науч.-техн. сб. Серия «Технические науки и архитектура».* 2010. Вып. 93. С. 295–300.
213. Нікулін С. Ю., Онищенко Н. Г. Промислові випробування комбінованого методу очистки стічних вод. *Комунальне господарство міст : наук.-техн. зб. Серія „Технічні науки та архітектура”.* 2011. Вип. 99. С. 272–279. URL: <http://eprints.kname.edu.ua/21762/>
214. Перельгин Ю. П., Зорькина О. В., Безбородова О. Е. Новый подход к очистке сточных вод и отработанных электролитов. *Водоочистка. Водоподготовка. Водоснабжение.* 2010. № 2. С. 54–57.
215. Озоновые технологии очистки сточных вод. URL <http://ozonika.ru/content/ozonovye-tehnologii-ochistki-stochnyh-vod>
216. Олейник А. Я., Тетеря А. И. Существующие модели и методы расчета процессов очистки на установках малой производительности. *Коммунальное хозяйство городов: науч.-техн. сб. Серия «Технические науки и архитектура».* 2010. Вып. 93. С. 300–304.

217. Олійник О. Я., Маслун Г. С. До розрахунку кисневого режиму при очистці стічних вод. *Проблеми водопостачання, водовідведення та гідравліки: наук-техн. зб. 2010*. Вип. 14. С. 76–102.
218. Олійник О. Я., Маслун Г. С. Моделювання кисневого режиму в біореакторах при очистці стічних вод. *Доповіді Національної академії наук України. Серія „Математика, природознавство, технічні науки”*. 2010. № 10. С. 52–56.
219. Сидоренко В. В., Штепа В. М., Гончаров Ф. І., Ковальчук Д. П. Органо-мінеральне добриво-рекультивант пролонгованої ДПІ “ЕКО-АКТИВ”. *Агробіологія: збірник наукових праць*. 2010. Вип. 3(74). С. 61–65.
220. Осипенко В. В., Штепа В. Н. Алгоритмы синтеза экспертной матрицы информационно-аналитических исследований на основе фаззилогики. Системні технології: регіональний міжвузівський збірник наукових праць. 2010. № 6(71). С. 154–166.
221. Штепа В. Н. Особенности проектирования оборудования и систем управления очисткой производственных сточных вод предприятий лёгкой промышленности. *Вестник Брестского государственного технического университета : научно-теоретический журнал*. 2016. № 4. С. 34–37.
222. Колесников В. А., Вараксин С. О., Миронов В. И., Матвеева Е. В. Очистка промышленных сточных вод: новые решения. *ЖКХ*. 2009. № 5. С. 43–46.
223. Донченко М. И., Срибная О. Г., Гончаров Ф. И., Штепа В. Н. Очистка растворов от дисперсных примесей методом электрокоагуляции. 2. Осаждение глинистых примесей при переменных гидродинамических режимах, факторный эксперимент. *Вісник Національного технічного університету “ХПІ”*. 2009. № 22. С. 57–65

224. Щетинин А. И., Агафонкин В. В., Костин Ю. В. и др. Очистка сточных вод предприятий мясоперерабатывающей промышленности. *Водоснабжение и санитарная техника*. 2010. № 11. С. 43–48.
225. 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. 6 с.
226. Пат. 86252 UA, МПК G05B 13/00 (2012) Система управління біотехнічними об'єктами / В. П. Лисенко, Н. А. Заєць, В. М. Штепа, А. О. Дудник, заявник і власник Національний університет біоресурсів і природокористування України. № u201306656; заявл. 28.05.13; опубл. 25.12.13, Бюл. № 24. 6 с.
227. Пат. 95200 UA, МПК G 05 B 13/00 (2006.01) Система управління водоочисним та водопідготовчим обладнанням / В. М. Штепа; заявник і власник В.М. Штепа. № u20147741; заявл. 10.12.2014; опубл. 10.12.14, Бюл. № 23. 5 с.
228. Пат. 93234 UA, МПК E 03 B 7/00 (2014.01) Водопровідна насосна станція / В. О. Маркович, В. М. Штепа; заявники і власники В. О. Маркович, В. М. Штепа. № u20136654; заявл. 10.11.2013; опубл. 10.12.13, Бюл. № 23. 4 с.
229. Пат. 95201 UA, МПК E 03 B 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.
230. Пат. 98228 UA, МПК E 02 B 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.
231. Пат. 98867 UA, МПК A 01 C 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. 7 с.
232. 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.
233. 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.
234. Лисенко В. П., Решетюк В. М, Штепа В. М., Пуха В. М. Передумови розробки робототехнічної системи агропромислового призначення. *Вісник аграрної науки: науково-теоретичний журнал*. 2010. № 10(690). С. 46-48. URL: <http://elibrary.nubip.edu.ua/7373/>. Дата звернення: 26.03.2016.
235. Петрушенко М. Сьогодення потребує інтегрованого управління водними ресурсами. *Урядовий кур'єр*. 2008. 29 березня. С. 7.
236. Плотинский Ю. М. Модели социальных процессов. М.: Логос, 2001. 296 с.
237. Поворов А. А., Сенатов А. С. Современные методы водоочистки на предприятиях металлургического комплекса, создание бессточной системы водопользования. *Водоочистка. Водоподготовка. Водоснабжение*. 2011. № 4. С. 42–47.
238. Погребняк В. Г., Волошин В. С. Экологическая технология создания водозащитных экранов / пер. на англ. яз. И. Н. Ферябова. Донецк: Ноулидж, Донец. отд-ние, 2010. 480 с.
239. Позняк А., Позняк Т., Чайрез И. Динамические нейронные наблюдатели и их применение для идентификации процесса обработки жёсткой воды озоном. *Автоматика и телемеханика*. С.214–221.

240. Поляков В. Л. Теоретический анализ длительности фильтроцикла. *Химия и технология воды*. 2009. № 6. С. 605–618.
241. Пономарева Л. С. К вопросу о плате за загрязнение водных объектов. *Водоснабжение и санитарная техника*. 2010. № 9. С.20–30.
242. Пономарева Л. С. Экономический механизм охраны вод от загрязнения (часть 2). Коэффициенты корректировки. *Водоснабжение и санитарная техника*. 2010. № 6. С. 8–13.
243. Пономарева Л. С. Экономический механизм охраны вод от загрязнения (часть 3). За что наказывают рублем? *Водоснабжение и санитарная техника*. 2010. № 7. С. 3–12.
244. Прангишвили И. В. О методах эффективного управления сложными системами *Тр. 5-ой междунар. конф. “Когнитивный анализ и управление развитием ситуаций” (CASC’2005) / ИПУ РАН. М., 2005. С. 7–15.*
245. Прангишвили И. В. Системный подход и общесистемные закономерности. М.: СИНТЕГ, 2000. 528 с.
246. Примак О. І., Гончаров Ф. І., Штепа В. М. Історичні аспекти розвитку систем штучного інтелекту та перспективи їх застосування в агропромисловому комплексі України. *Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України: збірник наукових праць*. 2009. Вип. 139. С.168–174.
247. Про внесення змін до статті 23 Кодексу України про надра щодо видобування підземних вод : закон України від 22 грудня 2010 р. № 2849-VI. Урядовий кур’єр. 2011. 20 січня. С. 11.
248. Про Загальнодержавну програму „Питна вода України” на 2006-2020 роки : закон України від 3 березня 2005 року № 2455-IV. Офіційний вісник України.– 2005. № 13. С. 30–44 ; Відомості Верховної Ради України. 2005. № 15. С. 243.
249. Про затвердження Державних санітарних норм і правил „Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною” : наказ

- Міністерства охорони здоров'я України від 12 травня 2010 р. № 400. Офіційний вісник України. 2010. № 51. С. 99–130.
250. Про затвердження Порядку використання коштів, передбачених у державному бюджеті за програмою „Питна вода України” : постанова Кабінету Міністрів України від 23 лютого 2011 р. № 141. Урядовий кур'єр. 2011. 23 березня. С. 22 ; Офіційний вісник України. 2011. № 14. С. 43–45.
251. Про затвердження порядку проведення відбору проектів реалізації заходів Загальнодержавної програми „Питна вода України” на 2006–2020 роки : наказ Міністерства регіонального розвитку будівництва та житлово-комунального господарства України від 6 квітня 2011 р. № 27. Офіційний вісник України. 2011. № 38. С. 51–55.
252. Про рішення Ради національної безпеки і оборони України від 27 лютого 2009 року „Про стан безпеки водних ресурсів держави та забезпечення населення якісною водою в населених пунктах України”: указ Президента України від 6 квітня 2009 р. № 221. Урядовий кур'єр: Орієнтир. 2009. 15 квітня. С. 11–12.
253. Про схвалення Концепції Загальнодержавної цільової екологічної програми укріплення берегів поверхневих водних об'єктів та їх інженерного захисту на період до 2015 року : розпорядження Кабінету Міністрів України від 30 вересня 2009 року № 1410-р. Урядовий кур'єр : Орієнтир. № 52. 2009. № 229. 9 грудня.
254. Про схвалення Концепції Загальнодержавної цільової програми розвитку водного господарства на період до 2020 року : розпорядження Кабінету Міністрів України від 3 вересня 2009 р. № 1029-р. Офіційний вісник України. 2009. № 69. С. 35.
255. Лисенко В. П., Решетюк В. М., Штепа В. М., Дудник А. О., Лендел Т. І., Чернов І. І. Прогноз та оцінка доцільності застосування різних видів джерел енергії застосування різних видів енергії на тепличних

- комплексах. *Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України*. 2014. Вип. 194, Ч. 3. С. 178–185.
256. Лисенко В. П., Решетюк В. М., Штепа В. М., Руденський А. А., Пуха В. М., Лендел Т. І., Дудник А. О. Програмно-апаратне забезпечення підсистеми моніторингу зовнішніх температури і вологості при енергоефективному керуванні мікрокліматом у теплиці. *Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: Техніка та енергетика АПК: зб. наук. праць*. 2014. Вип. 194, Ч. 2. С. 107–114.
257. Бивалькевич А. И., Трофимович Е. М., Багаев Ю. Г., Новошинцев В. Н. Проектирование зон санитарной охраны источников водоснабжения и водопроводов. *Водоснабжение и санитарная техника*. 2009. № 3. С. 16–18.
258. Проскурнин О. А. Проблемы экологического прогнозирования при решении задачи нормирования сброса сточных вод в водные объекты. *Коммунальное хозяйство городов: науч.-техн. сб. Серия «Технические науки и архитектура»*. 2009. Вып. 86. С. 154–159. URL: <http://eprints.kname.edu.ua/11121/1983>. 367 с.
259. Прохоров Е. И., Нечаев И. А. Совершенствование водного хозяйства промышленных предприятий. *Водоснабжение и санитарная техника*. 2009. № 1. С. 11–16.
260. Пуговиця М. Як поліпшити здоров'я Дніпра? *Міське господарство України*. 2011. № 1. С. 37.
261. Пузанова Е. В., Флорес Ариес М. М., Рубанов Ю. К. Очистка сточных вод металлообрабатывающих предприятий, содержащих отработанные смазочно-охлаждающие жидкости. *Водоочистка. Водоподготовка. Водоснабжение*. 2011. № 7. С. 50–54.
262. Пындак В. И., Новиков А. Е., Штепа В. Н. Оптимизация систем очищения органосодержащих сточных вод и обработки иловых

- осадков. *Проблемы машиностроения и надежности машин: научный журнал*. 2017. № 5. С. 103–107.
263. Рассел С., Норвиг П. Искусственный интеллект: современный подход, 2-е изд.: Пер с англ. М.: Вильямс, 2006. 1408 с.
264. Резолюция конференции-семинара «Перспективы развития водной отрасли до 2020 года». *Водоснабжение и санитарная техника*. 2010. № 7. С. 63.
265. Рей У. Методы управления технологическими процессами. М.: Орион, 2008. 304 с.
266. Зенкін М. А., Бичкова К. М., Шипукова Н. Г., Гаванмех Ахмед М. А. Рівень якості продукції та методи його визначення. *Стандартизація, сертифікація, якість*. 1999. № 3. С. 56–58.
267. Рідкокаша А. А., Голдер К. К. Основы систем штучного інтелекту. Навчальний посібник. Черкаси: "ВІДЛУННЯ-ПЛЮС", 2002. 240 с.
268. Рожков В. С. Використання біологічно очищених стічних вод у системах оборотного водопостачання коксохімічних підприємств : автореферат дис. канд. техн. наук : 05.23.04 / Рожков В. С. ; Харк. держ. техн. ун-т буд-ва та архіт. Х., 2008. 18 с.
269. Лисенко В. П., Штепа В. М., Кобелєв С. М., Пуха В. М., Голуб Б. Л. Розробка та дослідження автоматичного частотного сканера визначення складу колоїдних суспензій та емульсій. *Аграрна наука та освіта: науковий журнал*. 2008. Т. 9. № 5-6. С. 142–145.
270. Рутковская Д., Пилиньский М., Рутковский Л. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы: Пер с польск. М.: Горячая линия - Телеком, 2004. 452 с.
271. Ряба О. І., Штепа В. М. Алгоритмічно-програмна реалізація нейромережевої інформаційно-управляючої системи електрокоагулятором. *Енергетика і автоматика : електрон. наук. фах. вид.* 2011. № 3(09). URL: https://rep.polessu.by/bitstream/123456789/18043/1/Riaba_O.I._Algoritmi

chno-programna_realizatsiia_neiromerezhevoi%20informatiino-
 upravliaiuchoi%20sistemi%20elektrokoagulatorom.pdf

272. Ряба О. І., Штепа В. М. Синтез програмного забезпечення промислового мікроконтролера дозування реагентів при водопідготовці стічних вод. *Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: Техніка та енергетика АПК: зб. наук. праць*. 2012. Вип. 174, Ч. 1. С. 86–92.
273. СанПиН 2.1.4.1074-01. Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества URL: <http://ozpp.ru/standard/pravila/sanpin214107401/>
274. Свергузова Ж. А., Ельников Д. А. Очистка растворов красителя «оранжевый R» отходом сахарной промышленности. Вода, экология, общество. *Материалы III междунар. науч.-практ. конф., Харьков, 9–11 февраля 2010 г.* / Харьк. обл. гос. адм., Харьк. нац. акад. гор. хоз-ва, КП КХ «Харьковкоммуночиствод»; КП «ВТП Вода», Белг. гос. техн. ун-т. Х. : ХНАГХ, 2010. С. 101–104.
275. Сомов М. А. Сельскохозяйственное водоснабжение. Водоснабжение : учебник: в 2-х т. Т. 2 : Улучшение качества воды. М. : Изд-во АСВ, 2010. С. 527–540.
276. Силов В. Б. Принятие стратегических решений в нечеткой обстановке. М.: ИНПРО–РЕС, 1995. 228 с.
277. Охріменко П. Г., Заєць Н. А., Шворов С. А., Штепа В. М. Системи інтелектуального управління опаленням об'єктів з обробкою даних від модулів датчиків реєстрації температури. *Системи обробки інформації: збірник наукових праць*. 2014. Вип. 6 (122). С. 63–67.
278. Смирнов Д. Н., Дмитриев А. С. Автоматизация процессов очистки сточных вод химической промышленности. Л.: Химия, 1981. 200 с.

279. Советов Е. Я. Моделирование систем. Учебн. для вузов. М: Высшая школа, 1985. 271 с.
280. Тартаковский Д. Ф., Ястребов А. С. Метрология, стандартизация и технические средства измерений: Уч. для вузов. М.: Высш. шк., 2001. 205 с.
281. Технічні засоби комп'ютерно-інтегрованої системи ефективного управління енергетичними ресурсами на птахофабриці / В. П. Лисенко, Б. Л. Головінський, В. М. Решетюк, В. М. Штепа, А. А. Руденський, Б. Л. Голуб, Д. С. Лавінський, В. М. Пуха, В. Л. Щербатюк. *Біоресурси і природокористування: наук. журн.* 2010. Т. 2, № 3-4. С. 111–118.
282. Трахтенгерц Э. А. Субъективность в компьютерной поддержке решений. М.: СИНТЕГ, 2001. 256 с.
283. Тугай Я. А., Садчиков О. О. Моделивання процесів знезалізнення на ДВО шарових фільтрах. *Коммунальное хозяйство городов: науч.-техн. сб. Серия «Технические науки и архитектура».* 2010. Вып. 93. С. 266–274. URL: <http://eprints.kname.edu.ua/17027/>
284. Багрий В. А., Чеботарева Р. Д., Баштан С. Ю. Умягчение кальциево-гидрокарбонатной воды в проточном электролизере с фильтрующим картриджом. *Химия и технология воды.* 2008. № 2. С. 184–191.
285. Федулов А. С. Нечеткие реляционные когнитивные карты. *Теория и системы управления.* 2005. № 1. С. 120–132.
286. Филипчук В. Л. Екологічно безпечні системи водного господарства виробництв з багатокомпонентними металомісткими стічними водами. *Коммунальное хозяйство городов: науч.-техн. сб. Серия «Технические науки и архитектура».* 2010. Вып. 93. С. 137–142. URL: <http://eprints.kname.edu.ua/16947/>
287. Филипчук В. Л., Курилюк А. М. Інтенсифікація роботи флотаторів для очищення стічних вод з використанням біодеструкторів. *XXXV научно-техническая конференция преподавателей, аспирантов и*

- сотрудников Харьковской национальной академии городского хозяйства: прогр. и тез. док.: в 3-х ч. Ч. 1. Строительство, архитектура, экология, общественные науки. Х. : ХНАГХ, 2010. С. 168–170.*
288. Шворов С. А., Болбот І. М., Штепа В. М. Обґрунтування раціонального варіанта побудови інтелектуальної роботизованої системи спеціального призначення. *Енергетика і автоматика: електрон. наук. фах. вид.* 2012. № 2(12). URL: http://www.nbu.gov.ua/e-Journals/eia/2012_2/12ssassi.pdf. Дата звернення: 26.03.2016.
289. Шворов С. А., Штепа В. М., Заєць Н. А. Нейромережеве розпізнавання оптичних образів у системах спеціального призначення. *Збірник наукових праць Військового інституту Київського національного університету ім. Т. Шевченка.* 2014. Вып. 45. С. 102–108
290. Шебеко К. К., Штепа В. Н., Вертай С. П. Концепция построения инновационного научно-промышленного кластера в Полесском регионе. *Экономика и банки: научно-практический журнал.* 2015. № 2. С. 8–14.
291. Шидловський А. К., Щерба А. А., Захарченко С. Н., Жуйко В. Я., Сосюрко Ю. Н. Метод комплексной обработки воды объёмным электроискровым диспергированием в ней коагулирующих металлов. *Технічна електродинаміка.* 2000. Ч. 2. С. 68–71.
292. Шинси Ф. Системы автоматического регулирования химико-технологическими процессами. М.: Химия, 1974. 336 с.
293. Штепа В. М. Обґрунтування алгоритму експериментально-аналітичних досліджень режимів електротехнічної очистки стічних вод агропромислових об'єктів з метою побудови енергоефективних систем управління. *Енергетика і автоматика: електрон. наук. фах.*

- вид. 2014. № 1 (11). С. 61–71. URL: http://nbuv.gov.ua/j-pdf/eia_2014_2_10.pdf. Дата звернення: 26.03.2016.
294. Штепа В. М. Обґрунтування архітектури системи управління комплексними методами очистки стічних вод промислових об'єктів. *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. П. Василенка. Технічні науки: збірник наукових праць*. 2014. Вип. 154: Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України. С. 48–50.
295. Штепа В. М. Оцінка енергетичних характеристик процесів очищення стічних вод агропромислових підприємств електротехнічними комплексами. *Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: Техніка та енергетика АПК: зб. наук. праць*. 2014. Вип. 194, Ч. 3. С. 259–265.
296. 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.
297. 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.
298. Штепа В. М., Вертай С. П., Заець 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.
299. Штепа В. М., Заець 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.
300. Штепа В. М., Пляцук Л. Д., Аблеєва І. Ю., Гурець Л. Л., Шерстюк М. М., Пономаренко Р. В. Еколого-енергетичного критерії при управлінні екологічною безпекою систем промислового водоочищення. *Технологічний аудит та резерви виробництва.* 2019. № 2(48). С. 12–18.
301. 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
302. 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.
303. Штепа В. М. Програмне забезпечення енергоефективної інтелектуальної системи керування електрокоагуляційною очисткою стічних вод птахівничого комплексу. *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. П. Василенка: збірник наукових праць.* 2008. Вип. 73: Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України. Т. 2. С. 87–89.
304. Штепа В. М., Заец Н. А., Желновач Г. М. Ймовірнісна нейромережева модель оцінки стану придорожного середовища.

- Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. П. Василенка. Серія : Технічні науки: зб. наук. праць.* 2011. Вип. 117: Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України. С.120–123.
305. Штепа В. М. Концепція вдосконалення нормативної бази проектування систем водоочищення шляхом урахування дії нештатних ситуацій. *Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: Техніка та енергетика АПК: збірник наукових праць.* 2017. № 268. С. 43–55.
306. Штепа В. М., Примак О. І., Желновач Г. М. Концепція побудови інформаційно-аналітичної системи оцінки стану навколишнього природного середовища. *Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: Техніка та енергетика АПК: зб. наук. праць.* 2013. Вип. 184, Ч. 2. С. 193–198.
307. Штепа В. М., Заєць Н. А., Гончаров Ф. І., Желновач Г. М. Нечітка система автоматичного регулювання внесенням реагентів при очистці стічних вод промислових об'єктів. *Комп'ютерно-інтегровані технології: освіта, наука, виробництво: наук. журн.* 2011. № 4. С. 287–291.
308. 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. Серія: Техніка та енергетика АПК: збірник наукових праць.* 2011. Вип. 161. С. 187–193.
309. Штепа В. М., Пляцук Л. Д. Використання методу домінуючого динамічного забруднювача для управління екологічною безпекою систем очищення промислових стоків. *Енергетика і автоматика: науковий журнал.* 2019. № 6. С. 214–228.

310. 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.
311. Штепа В. Н. Використання самоорганізаційних карт Кохонена для синтезу систем керування водоочисним обладнанням. *Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія : Техніка та енергетика АПК: зб. наукових праць*. 2015. Вип. 209, Ч. 1. С. 206–211.
312. Штепа В. Н. Нейросетевой блок поддержки адаптивного управления комбинированными системами водоочистки. *Вестник Гомельского государственного технического университета им. П. О. Сухого: научно-практ. журнал*. 2015. № 4. С. 37–43
313. 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.
314. Штепа В. Н., Соколова С. Н. Современные тенденции развития экологической безопасности общества: аксиологический аспект. *Вестник Полесского государственного университет. Серия общественных и гуманитарных наук: научно-практический журнал*. 2015. № 2. С. 77–84.
315. Штепа В. Н. Экспериментально-аналитические исследования комбинированных систем водоочистки. *Агропанорама: научно-технический журнал*. 2015. № 6(112). С. 31–37.
316. Штепа В. Н., Кот Р. Е. Экспериментальное обоснование конструкции установки для электрохимического изменения свойств водных растворов (на примере гальваностокков). *Енергетика і автоматика: електрон. наук. фах. вид.* 2015. № 3(15). URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/eia_2015_3_5. Дата звернення: 30.12.2015.

317. 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. Вып. № 4(9). С. 167–171.
318. Штепа В. Н., Янковский И. А. Этапы создания информационно-аналитических систем обеспечения регионального рационального водопользования. *Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного университета*: 2015. № 70. С. 119–121.
319. 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 ВИЭСХ: 2014. Ч. 5: Инфокоммуникационные технологии и нанотехнологии. С. 14–19.
320. 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 г.* Азов : ООО "АзовПечать", 2016. С. 38–41.
321. 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.

322. Штепа В. Н., Левчук А. П. Концепция управления оборудованием водоочистки с учетом доминирующего загрязнителя. *Агропанорама: научно-технический журнал*. 2018. № 5. С. 33–38.
323. Штепа, В. Н., Петришина В. А. Оценка эффективности работы интеллектуальных систем анализа экологического состояния грунтов. *Вісник Київського Національного університету технологій та дизайну: науковий журнал*. 2008. № 2(40). С. 31–34.
324. Якушев А. И., Воронцов Л. Н., Федотов Н. М. Взаимозаменяемость, стандартизация и технические измерения. М.: Машиностроение, 1986. 352 с.
325. Ясницкий Л. Н. Введение в искусственный интеллект. М.: Академия. 2005. 176 с.
326. Ясницкий Л. Н., Богданов К. В., Черепанов Ф. М. Технология нейросетевого моделирования и обзор работ пермской научной школы искусственного интеллекта. *Фундаментальные исследования: электрон. науч. фах. вид.* 2013. № 1 (ч. 3). URL: <https://www.fundamental-research.ru/ru/article/view?id=31020>. Дата звернення: 27.12.2017.

ДОДАТКИ

ДОДАТОК А

Етапи проектування концептуальної моделі системи збирання вимірювальної інформації промислового водоочищення

Конкретні варіанти використання відображаються в основному і альтернативному потоках подій. Потік подій поетапно описує, що має відбуватися під час виконання закладеного алгоритму. Первинний і альтернативний потоки подій містять: опис того, яким чином запускаються варіанти використання; різні шляхи виконання варіантів використання; відхилення від основного потоку подій; потоки помилок; опис яким чином завершується варіант використання.

У нашому випадку потік ключового прецеденту "Водоочищення" виглядає наступним чином:

Основний потік подій:

1. Варіант використання починається після того, як стічна вода потрапляє на очисні.

2. Перевіряється готовність системи управління до роботи. Якщо система не готова до роботи, то виконується альтернативний потік А1.

3. Вимірювально-аналітичний блок отримує і перетворює інформацію щодо якості води та інших параметрів, що впливають на ефективність процесу водоочищення. Якщо значення будь-якого з контрольованих параметрів перевищує встановлені пороги (ГДК), то виконується альтернативний потік А2.

4. Вимірювально-аналітичний блок передає на інтелектуальний блок енергоефективних прийомів управління метрологічну інформацію.

5. Інтелектуальний блок енергоефективних прийомів управління розраховує енергоефективні значення налаштувань параметрів технологічних засобів водоочищення.

6. Інтелектуальний блок енергоефективних прийомів управління передає значення параметрів технологічних засобів водоочищення на блок управління.

7. Блок управління перетворює інформацію від інтелектуального блоку енергоефективних прийомів управління в завдання для окремих засобів водоочищення.

8. Блок управління визначає функціональність технологічних засобів водоочищення. Якщо якийсь із блоків не підтверджує функціональності – виконується альтернативний потік А3.

9. Блок управління передає енергоефективні значення параметрів налаштувань на технологічних засобів водоочищення.

10. Технологічні засоби водоочищення забезпечують реалізацію значення прийнятих від блоку управління керуючих впливів. Якщо відбуваються помилки виконання поставлених задач, то виконується потік помилок Е1.

11. Вимірювальний блок оцінює ефект очищення і передає значення на блок управління.

12. Інформація про протікання процесу водоочищення розміщується в базі даних.

13. Варіант використання завершується тільки у випадку команди чергового оператора.

Альтернативний потік А1: неготовність системи управління:

1. Інформаційна система інформує чергового оператора про неготовність системи управління.

2. Водоочищення перекладається на ручний режим – управляє черговий оператор.

3. Черговий оператор забезпечує значення технологічних параметрів згідно технологічних норм розрахованих інженером-технологом.

Альтернативний потік А2: перевищення порогових значень контрольованих значень свідчить про надзвичайну ситуацію:

1. Інформація передається на блок управління.

2. Система водоочищення переходить на замкнутий цикл функціонування.

3. Відправляється повідомлення черговому оператору.

Альтернативний потік А2: неготовність технічних засобів водоочищення виконувати команди блоку управління:

1. Інформаційна система інформує чергового оператора щодо неготовності технологічних засобів водоочищення.

2. Водоочищення перекладається на ручний режим – управляє черговий оператор.

3. Черговий оператор забезпечує значення технологічних параметрів згідно технологічних норм розрахованих блоком управління.

Потік помилок Е1: Помилки виконання поставлених завдань технічними засобами водоочищення:

1. Інформаційна система повідомляє черговому оператору, які помилки були здійснені при реалізації керуючих впливів блоку управління.

2. Дані про помилки заносяться в базу даних.

Далі групуємо прецеденти на основі того, які актори в системі автоматизації водоочищення їх ініціюють і приймають в них участь. Для кожного з головних акторів визначаємо набір прецедентів.

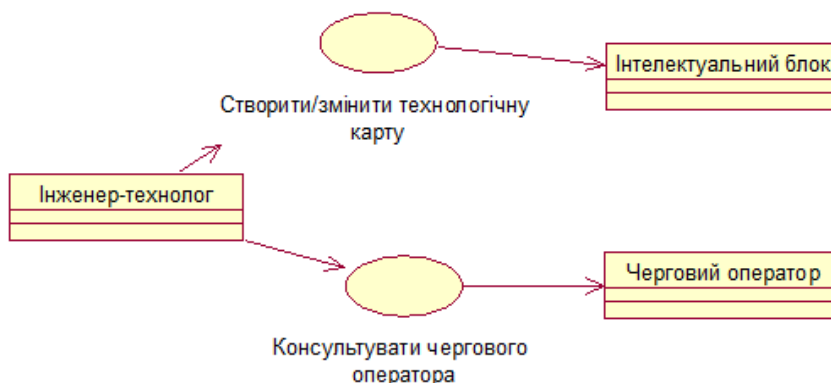
Прецеденти ініційовані інженером-технологом:

- *Проектувати/змінювати технологічну карту водоочищення.*

На підставі попередніх експериментів і нормативних документів розраховує кількісні показники технологічних процесів впливу на водні розчини.

- *Давати оперативні консультації черговому оператору.*

У випадки помилок роботи системи автоматизації консультувати чергового оператора:



Прецеденти ініційовані черговим оператором:

- *Стежити за сигналами тривоги і помилок.*

Постійно контролювати наявності тривожних повідомлень і наявності повідомлень щодо помилок.

- *Підняти тривогу.*

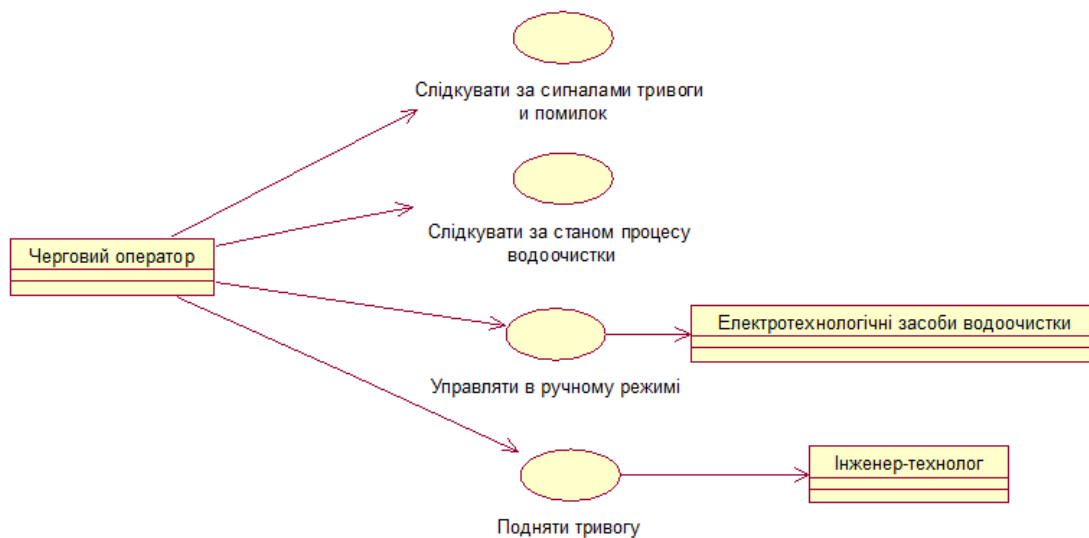
У випадки надзвичайних ситуацій.

- *Стежити за станом процесу водоочищення.*

Постійно контролювати процес водоочищення на предмет коректності функціонування апаратно-програмних засобів системи автоматизації.

- *Виконувати управління водоочисткою в ручному режимі.*

У випадку відмови функціонально-технологічних вузлів системи автоматизації управляти, згідно регламентних приписів, процесом водо очищення в ручному режимі:



Прецеденти ініційовані вимірювально-аналітичним комплексом (рис. А.3):

- *Вимірювати і перетворювати параметри процесів і зовнішніх впливів.*

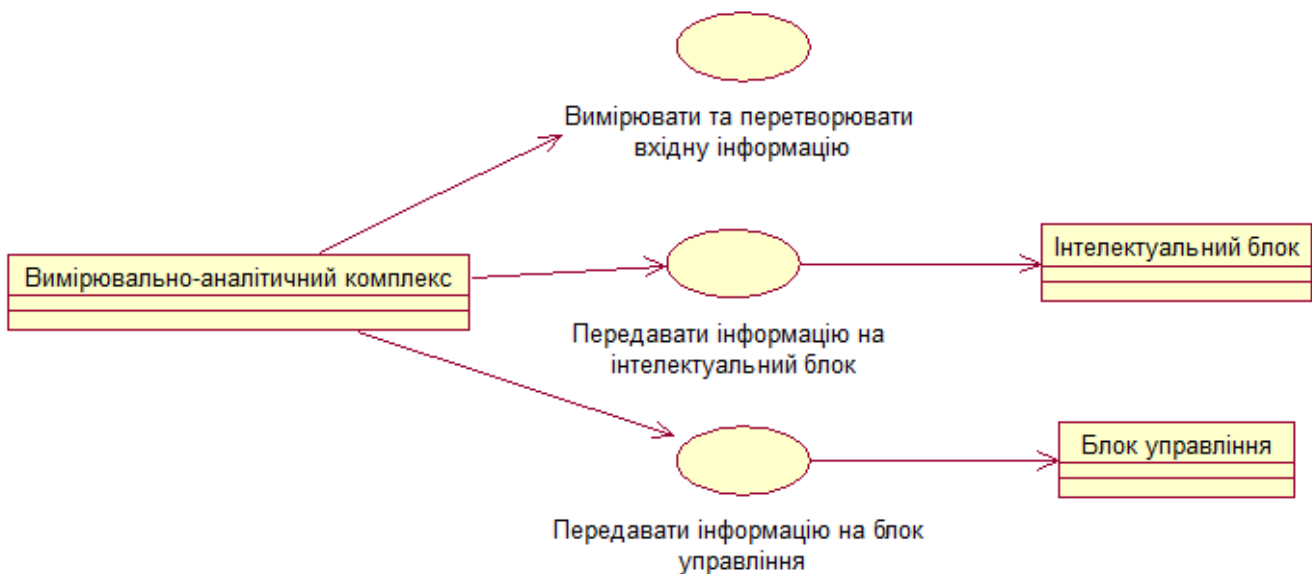
Систематично отримувати інформацію із вимірювальних приладів і зовнішніх джерел інформації (стан технологічних ліній, планові завдання на обсяги виробленої продукції, вартість ресурсів тощо).

- *Передавати отримані і перетворені метрологічні дані на інтелектуальний блок енергоефективних прийомів управління.*

Систематично передавати інформацію із вимірювальних приладів і зовнішніх джерел інформації на інтелектуальний блок енергоефективних прийомів управління.

– *Передавати інформацію, у випадку перевищення порогових значень контрольованих параметрів на блок управління.*

Для підвищення оперативності передачі інформації і уникнення виходу з робочого стану комбінованої системи водоочищення інформація надходить на блок управління минаючи інтелектуальний блок енергоефективних прийомів управління:



Прецеденти ініційовані блоком управління:

– *Розраховувати і передавати значення керуючих впливів для конкретних електротехнологічних засобів водоочищення.*

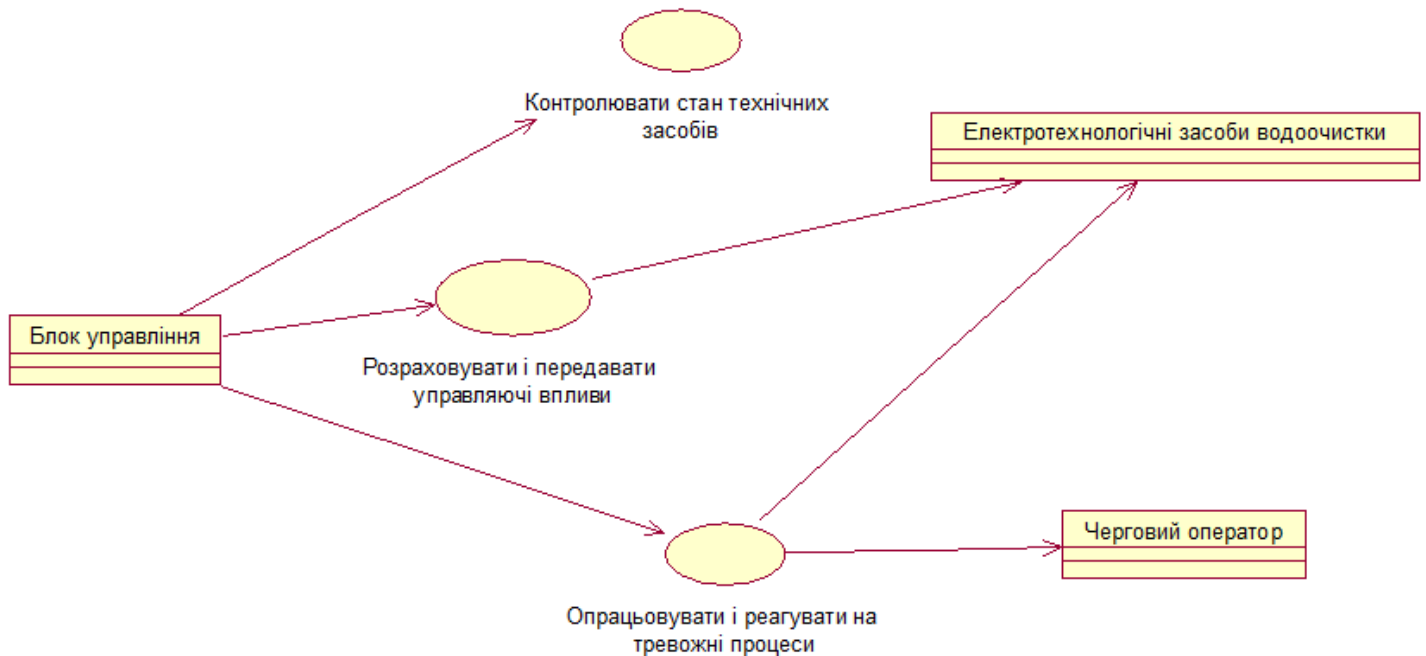
На основі отриманих з інтелектуального блоку ефективних еколого-енергетичних прийомів управління проводиться визначення конкретних значень керуючих впливів для фізичних, біологічних, фізико-хімічних способи впливу на водні розчини.

– *Контролювати стан електротехнологічних засобів водоочищення.*

Для забезпечення безперебійності і надійності водоочищення систематично контролювати стан електрообладнання.

– *Обробляти і реагувати на тривожні повідомлення.*

При отриманні інформації щодо виходу із робочого стану технологічних засобів водоочищення або даних про перевищення порогових значень контрольованих вхідних параметрів – генерація тривожних повідомлень і формування команд на запобігання аварійних процесів:



Прецеденти ініційовані інтелектуальним блоком енергоефективних прийомів управління:

– Отримувати, зберігати і аналізувати інформацію щодо процесів водоочищення, з можливістю доступу до даних інженера-технолога.

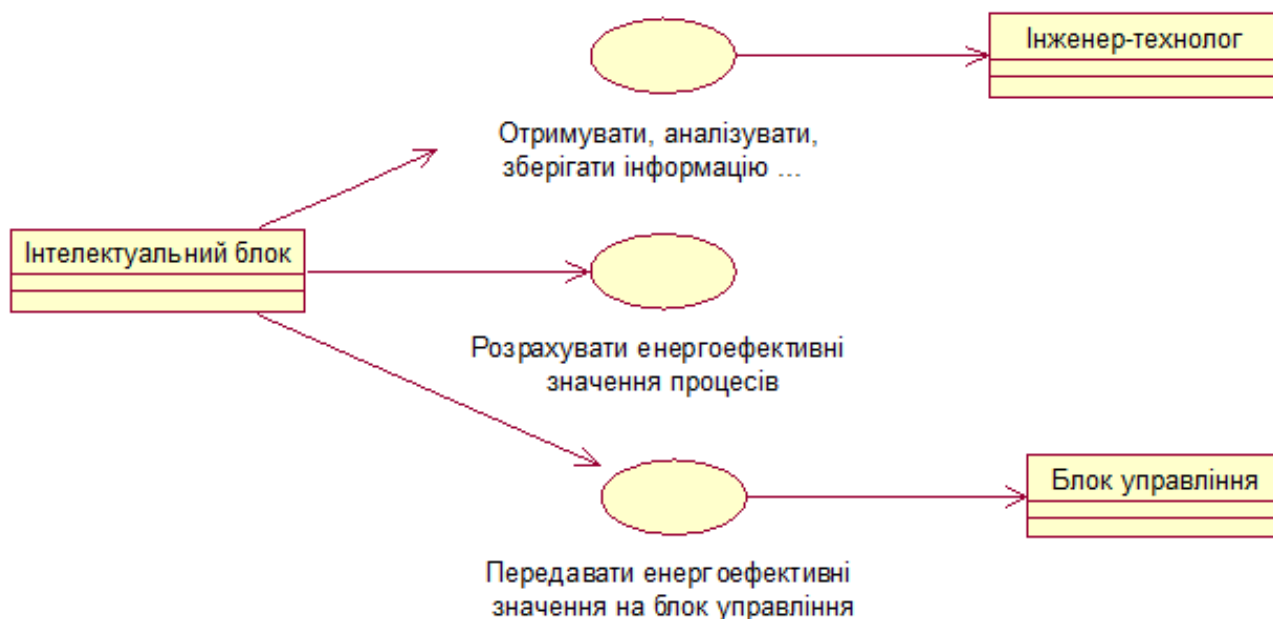
Систематично отримувати метрологічну інформацію з вимірювально-аналітичного комплексу; на основі блоку синтезується і функціонує база даних протікання процесів водоочищення.

– Розраховувати енергоефективні значення налаштувань параметрів технологічних засобів водоочищення, із можливістю працювати в умовах невизначеності викликаних нештатними ситуаціями.

З використанням інтелектуальних технологій, наприклад, нейронних мереж і когнітивних моделей, визначати в режимі реального часу енергоефективні значення налаштувань технологічних засобів водоочищення.

– Передати розраховані енергоефективні значення на блок управління.

Систематично передавати значення налаштувань на блок управління:



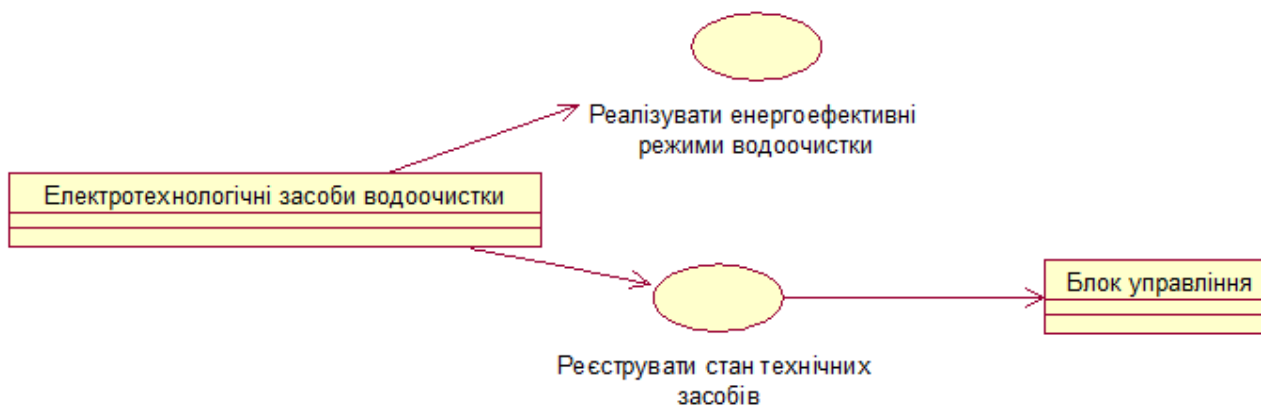
Прецеденти технологічних засобів водоочищення:

– Реалізувати енергоефективні режими водоочищення.

Забезпечення технологічно обґрунтованих режимів роботи водоочищення, які визначені інтелектуальним блоком енергоефективних прийомів управління.

– Реєструвати і передавати на блок управління інформацію про технічний стан технологічних засобів водоочищення.

З допомогою штатних вимірювальних приладів реєструвати стан номенклатури обладнання водоочищення:



Оскільки комбіновану систему водоочищення можна вважати, як таку, що складається з декількох способів водоочищення, клас "система водоочищення" моделюється як складова, що включає фізичну, біологічну та фізико-хімічну установки. У моделі це буде представлено за допомогою ієрархії узагальнення/спеціалізації. При цьому кожен клас "технічні засоби" агрегує в себе клас "контролер" і певну кількість (більше одного) "вимірювальний блок стану обладнання"

ДОДАТОК Б

**Розрахунок режимних параметрів очищення багатокомпонентних стоків
методом перехресних впливів різних способів водоочищення**

Для видалення завислих у воді частинок виберемо гідроциклони. Алгоритм розрахунок параметрів такого технологічного обладнання концептуально відповідає підходам щодо встановлення параметрів і інших способів видалення забруднювачів

За кривою кінетики відстоювання згідно заданого ефекту очищення визначається гідравлічна крупність U_0 , мм/с:

$$U_0 = h/t, \quad (\text{Б.1})$$

де h – кінетика відстоювання, мм; t – температура води, °С.

Потім визначається гранична гідравлічна крупність U_{2p} затриманих частинок, мм/с;

$$U_{2p} = h/t_{rc}, \quad (\text{Б.2})$$

за якою згідно формули Стокса розраховується граничний діаметр затриманих при заданому ефекті частинок:

$$\delta_{2p} = \sqrt{\frac{18\mu U_{2p}}{100(\rho_T - \rho_{жс})g}}. \quad (\text{Б.3})$$

де μ – гідравлічна крупність забруднювачів, мм/с; ρ_T , $\rho_{жс}$ – усереднені маси забруднювачів та складових води відповідно, г/см³; g – прискорення вільного падіння, м/с²

Після визначення граничної крупності частинок підбирається діаметр гідроциклону, в якому ці частинки можуть бути виділені, призначаються розміри його основних вузлів $d_{вп}$, $d_{вх}$, $d_{шл}$, $H_{ц} \propto H_k$ і визначається тиск $P_{вп}$, під яким вихідна вода буде подаватися на гідроциклони.

Потім виходячи з заданих розмірів гідроциклону розраховується гранична крупність розділення, мкм:

$$\delta_{2p} = 2,7 \cdot 10^3 \frac{D_{hc}^{0,543} d_{en}^{1,643} d_{bx}^{0,014} \mu^{0,5}}{d_{шл}^{0,572} H_{ц}^{0,507} H_K^{0,714} (\rho_T - \rho_{ж})^{0,5} P_{en}^{0,222}} \quad (\text{Б.4})$$

Для корегування концентрації азоту амонійного пропонується аеротенк нітрифікатор. У нього на початковому етапі встановлюється питома швидкість росту тарифікатора, μ_n , доба⁻¹:

$$\mu_n = K_{pH} K_T K_{OC} \mu_{\max} N / (K_{II} + N), \quad (\text{Б.5})$$

де K_{pH} – коефіцієнт, який враховує вплив рН;

K_T – коефіцієнт температуру рідини;

K_{oc} – коефіцієнт, який враховує вплив концентрації розчинного кисню, що визначається за формулою

$$K_{oc} = C_o / (K_o + C_o). \quad (\text{Б.6})$$

K_c – коефіцієнт, який оцінює вплив токсичних компонентів;

μ_{\max} – максимальна швидкість росту нітрофікуючих мікроорганізмів;

K_n – константа напівнасичення, мг $N - NH_4$ /л; N – концентрація амонійного азоту в очищеній рідині.

C_o – концентрація розчиненого кисню в муловій суміші, мг/л;

K_o – константа напівнасичення.

Коефіцієнт K_o визначається за формулою:

$$K_o = J / (J + C_i), \quad (\text{Б.7})$$

де C_i – концентрація інгібітора, мг/л;

J – константа напівнасичення, мг інгібітора/л.

Мінімальний вік нітрифікуючого мулу Θ встановлюється за формулою:

$$\Theta = 1 / \mu. \quad (\text{Б.8})$$

Питома швидкість окислення органічних ρ , мг/(г·ч):

$$\rho = K_E + 0,0417 K_P / \Theta. \quad (\text{Б.9})$$

де K_E – енергетичний фізіологічний коефіцієнт, мг·БСК_п/(г·год); K_P – фізіологічний коефіцієнт росту мікроорганізмів активного мулу, мг·БСК_{по}/г; Θ – вік мулу, доба.

Доза мулу і концентрація розчиненого кисню повинні визначатися по техніко-економічних розрахунків, показник ρ , становить:

$$\rho = \frac{\rho_{\max} L_{ex} C_0}{L_{ex} C_0 + K_i C_0 + K_0 L_{ex}} \cdot \frac{1}{1 + \varphi a_i}, \text{ мг БСК}_{\text{повн}}(\text{г}\cdot\text{год}). \quad (\text{Б.10})$$

де ρ_{\max} – максимальна вихідна БСК, мг/л; L_{ex} – вхідна БСК, мг/л; K_i – реакційна константа, мг/л; φ – концентраційна константа, мг/л; a_i – доза мулу, г/л.

Період аерації:

$$t_{atm} = (L_{en} - L_{ex}) / a_i (1 - s) \rho, \text{ год}; \quad (\text{Б.11})$$

де s – безрозмірний коефіцієнт параметричності; L_{en} – вихідна БСК, мг/л.

$$q_i = 24 t_{atm}. \quad (\text{Б.12})$$

Об'єм аеротенків:

$$W_{at} = q_i W_{atm} \quad (\text{Б.13})$$

Для видалення із стічних вод сполук фосфору застосовують реагентну обробку, в процесі якої зниження вмісту ортофосфатів відбувається у результаті хімічної взаємодії з утворенням нерозчинних сполук, що випадають, в осад, і в результаті сорбції, сполук фосфору пластівцями гідроксидів металів.

У якості реагентів можуть бути використані традиційні мінеральні коагулянти, що застосовуються в практиці водопідготовки: сірчаноокисле залізо Fe^{3+} , сірчаноокислий алюміній, залізний купорос. Можна також використовувати відходи виробництв, що містять солі Fe^{2+} , Fe^{3+} і Al^{3+} і не токсичні для біологічного процесу.

Доза реагенту при його введенні в стічні води на етапі біологічної очищення визначається за формулою:

$$C_{\text{реаг}} = K C_{P_{\text{заг}}}, \quad (\text{Б.14})$$

де K – коефіцієнт збільшення стехіометричного співвідношення, обчислений з урахуванням визначення за стандартними методиками вмісту загального фосфору (за PO) і металів реагенту (по оксиду металу Me_2O_3);

$C_{P_{заг}}$ – концентрація загального фосфору у воді, що надходить, мг/л.

Для видалення ж неорганічних забруднювачів (наприклад, шестивалентного хрому та цинку) застосовується метод електрокоагуляції. При цьому сила струму в електричному колі (при заданих витратах стоків q_w (м³/доба) та концентрації забруднювачів $C_{вн}$ (мг/л):

$$I_{cur} = 3,1 C_{en} \cdot q_w \text{ A.} \quad (\text{Б.15})$$

Загальна площа анодів:

$$f_{pl} = I_{cur}/i_{an}, \text{ м}^2. \quad (\text{Б.16})$$

Робоча поверхня одного електроду при відомих лінійних розмірах (b_{pl} , h_{pl}):

$$F_{pl} = 2b_{pl}h_{pl}, \text{ м}^2. \quad (\text{Б.17})$$

Загальна кількість електродних пластин:

$$N_{pl} = 2 \frac{f_{pl}}{f_{pl}'} + 1. \quad (\text{Б.18})$$

Робочий об'єм електрокоагулятора:

$$W_{ek} = f_{pl}b, \text{ м}^3, \quad (\text{Б.19})$$

Тоді час обробки стічних вод (час перебування стоків у міжелектродному просторі):

$$t = W_{ek}/q_w, \text{ с.} \quad (\text{Б.20})$$

Питомі витрати металічного заліза для видалення хрому та цинку:

$$Q_{Fl} = \frac{q_{Fl} C_{en} q_w \cdot 24}{1000 K_{eh}} \text{ кг/доба.} \quad (\text{Б.21})$$

де q_{Fl} – миттєві витрати заліза, кг/м³; K_{eh} – коефіцієнт нерівномірності.

ДОДАТОК В

**Діапазони агрегування різних способів водоочищення на основі методу
перехресних впливів**

У результаті ж реалізації методу перехресних впливів отримано наступні потенційні діапазони агрегування:

		Очисні споруди вказані у Розділі 10 ДБН В.2.5-75:2013	
		Споруди для видалення з стічних вод крупнодисперсних домішок (включаючи піскоуловлювачі)	Біологічні фільтри (включаючи аеротенки)
		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)	-	
	Біологічне споживання кисню (БСК) – не більше 350 мгО ₂ /л	5-8%	
	Хімічне споживання кисню (ХСК) – до 500 мгО ₂ /л	4-6%	
	Завислі речовини – до 300 мг/л	35-45%	
	Азот загальний – до 50 мг/л	2-4%	
	Фосфор загальний – до 5 мг/л	2-5%	
	Нафта та нафтопродукти – до 10 мг/л	25-30%	
	Жири рослинні та тваринні – до 50 мг/л	35-45%	
	Хлориди – до 350 мг/л	-	
	Сульфати – до 400 мг/л	-	
	Сульфіди – до 1,5 мг/л	3-4%	
	Синтетичні поверхнево-активні речовини (СПАР), аніонні – до 10 мг/л	1-2%	
	Феноли – до 0,25 мг/л	-	
	Залізо – до 3 мг/л	до 1,5%	

		Очисні споруди вказані у Розділі 10 ДБН В.2.5-75:2013	
		Споруди для видалення з стічних вод крупнодисперсних домішок (включаючи піскоуловлювачі)	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)	-	
	Біологічне споживання кисню (БСК) – не більше 350 мгО ₂ /л	5-7%	
	Хімічне споживання кисню (ХСК) – до 500 мгО ₂ /л	5-7%	
	Завислі речовини – до 300 мг/л	40-50%	
	Азот загальний – до 50 мг/л	3-5%	
	Фосфор загальний – до 5 мг/л	3-7%	
	Нафта та нафтопродукти – до 10 мг/л	25-30%	
	Жири рослинні та тваринні – до 50 мг/л	35-50%	
	Хлориди – до 350 мг/л	-	
	Сульфати – до 400 мг/л	-	
	Сульфіди – до 1,5 мг/л	9-11%	
	Синтетичні поверхнево-активні речовини (СПАР), аніонні – до 10 мг/л	4-5%	
	Феноли – до 0,25 мг/л	-	
	Залізо – до 3 мг/л	7-8%	

		Очисні споруди вказані у Розділі 10 ДБН В.2.5-75:2013	
		Споруди для видалення з стічних вод крупнодисперсних домішок (включаючи піскоуловлювачі)	Знезараження 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)	-	
	Біологічне споживання кисню (БСК) – не більше 350 мгО ₂ /л	3-6%	
	Хімічне споживання кисню (ХСК) – до 500 мгО ₂ /л	3-5%	
	Завислі речовини – до 300 мг/л	15-20%	
	Азот загальний – до 50 мг/л	2-4%	
	Фосфор загальний – до 5 мг/л	2-4%	
	Нафта та нафтопродукти – до 10 мг/л	5-8%	
	Жири рослинні та тваринні – до 50 мг/л	6-7%	
	Хлориди – до 350 мг/л	-	
	Сульфати – до 400 мг/л	-	
	Сульфіди – до 1,5 мг/л	11-12%	
	Синтетичні поверхнево-активні речовини (СПАР), аніонні – до 10 мг/л	4-5%	
	Феноли – до 0,25 мг/л	-	
	Залізо – до 3 мг/л	4-6%	

		Очисні споруди вказані у Розділі 10 ДБН В.2.5-75:2013	
		Споруди для освітлення стічних вод (преаератори, біокоагулятори, освітлювачі, проціджувачі, гідроциклони, жируловлювачі, флотатори, септики)	Біологічні фільтри (включаючи аеротенки)
		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)	-	
	Біологічне споживання кисню (БСК) – не більше 350 мгО ₂ /л	30-45%	
	Хімічне споживання кисню (ХСК) – до 500 мгО ₂ /л	20-25%	
	Завислі речовини – до 300 мг/л	35-50%	
	Азот загальний – до 50 мг/л	25-45%	
	Фосфор загальний – до 5 мг/л	35-50%	
	Нафта та нафтопродукти – до 10 мг/л	25-30%	
	Жири рослинні та тваринні – до 50 мг/л	35-45%	
	Хлориди – до 350 мг/л	-	
	Сульфати – до 400 мг/л	-	
	Сульфіди – до 1,5 мг/л	25-30%	
	Синтетичні поверхнево-активні речовини (СПАР), аніонні – до 10 мг/л	10-20%	
	Феноли – до 0,25 мг/л	5-7%	
	Залізо – до 3 мг/л	8-12%	

	Очисні споруди вказані у Розділі 10 ДБН В.2.5-75:2013	
	Споруди для освітлення стічних вод (преаератори, біокоагулятори, освітлювачі, проціджувачі, гідроциклони, жируловлювачі, флотатори, септики)	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%
	Нафта та нафтопродукти – до 10 мг/л	30-40%
	Жири рослинні та тваринні – до 50 мг/л	35-45%
	Хлориди – до 350 мг/л	-
	Сульфати – до 400 мг/л	-
	Сульфіди – до 1,5 мг/л	35-45%
	Синтетичні поверхнево-активні речовини (СПАР), аніонні – до 10 мг/л	35-45%
	Феноли – до 0,25 мг/л	15-20%
	Залізо – до 3 мг/л	25-35%

		Очисні споруди вказані у Розділі 10 ДБН В.2.5-75:2013	
		Споруди для видалення з стічних вод крупнодисперсних домішок (включаючи піскоуловлювачі)	Знезараження 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)	-	
	Біологічне споживання кисню (БСК) – не більше 350 мгО ₂ /л	5-7%	
	Хімічне споживання кисню (ХСК) – до 500 мгО ₂ /л	3-5%	
	Завислі речовини – до 300 мг/л	5-8%	
	Азот загальний – до 50 мг/л	2-4%	
	Фосфор загальний – до 5 мг/л	2-4%	
	Нафта та нафтопродукти – до 10 мг/л	5-10%	
	Жири рослинні та тваринні – до 50 мг/л	30-45%	
	Хлориди – до 350 мг/л	-	
	Сульфати – до 400 мг/л	-	
	Сульфіди – до 1,5 мг/л	3-4%	
	Синтетичні поверхнево-активні речовини (СПАР), аніонні – до 10 мг/л	2-3%	
	Феноли – до 0,25 мг/л	-	
	Залізо – до 3 мг/л	1-5%	

		Очисні споруди вказані у Розділі 10 ДБН В.2.5-75:2013	
		Біологічні фільтри (включаючи аеротенки)	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)	-	
	Біологічне споживання кисню (БСК) – не більше 350 мгО ₂ /л	50-55%	
	Хімічне споживання кисню (ХСК) – до 500 мгО ₂ /л	40-45%	
	Завислі речовини – до 300 мг/л	50-60%	
	Азот загальний – до 50 мг/л	40-50%	
	Фосфор загальний – до 5 мг/л	50-65%	
	Нафта та нафтопродукти – до 10 мг/л	30-40%	
	Жири рослинні та тваринні – до 50 мг/л	40-45%	
	Хлориди – до 350 мг/л	-	
	Сульфати – до 400 мг/л	-	
	Сульфіди – до 1,5 мг/л	45-50%	
	Синтетичні поверхнево-активні речовини (СПАР), аніонні – до 10 мг/л	40-45%	
	Феноли – до 0,25 мг/л	25-30%	
	Залізо – до 3 мг/л	30-35%	

		Очисні споруди вказані у Розділі 10 ДБН В.2.5-75:2013	
		Біологічні фільтри (включаючи аеротенки)	Знезараження 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)	-	
	Біологічне споживання кисню (БСК) – не більше 350 мгО ₂ /л	6-8%	
	Хімічне споживання кисню (ХСК) – до 500 мгО ₂ /л	3-5%	
	Завислі речовини – до 300 мг/л	5-8%	
	Азот загальний – до 50 мг/л	3-5%	
	Фосфор загальний – до 5 мг/л	3-5%	
	Нафта та нафтопродукти – до 10 мг/л	5-10%	
	Жири рослинні та тваринні – до 50 мг/л	35-45%	
	Хлориди – до 350 мг/л	-	
	Сульфати – до 400 мг/л	-	
	Сульфіди – до 1,5 мг/л	5-7%	
	Синтетичні поверхнево-активні речовини (СПАР), аніонні – до 10 мг/л	2-4%	
	Феноли – до 0,25 мг/л	3-5%	
	Залізо – до 3 мг/л	2-6%	

		Очисні споруди вказані у Розділі 10 ДБН В.2.5-75:2013	
		Фізико-хімічне очищення стічних вод	Знезараження 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)	-	
	Біологічне споживання кисню (БСК) – не більше 350 мгО ₂ /л	5-8%	
	Хімічне споживання кисню (ХСК) – до 500 мгО ₂ /л	3-5%	
	Завислі речовини – до 300 мг/л	7-9%	
	Азот загальний – до 50 мг/л	3-4%	
	Фосфор загальний – до 5 мг/л	4-6%	
	Нафта та нафтопродукти – до 10 мг/л	5-8%	
	Жири рослинні та тваринні – до 50 мг/л	15-20%	
	Хлориди – до 350 мг/л	-	
	Сульфати – до 400 мг/л	-	
	Сульфіди – до 1,5 мг/л	6-9%	
	Синтетичні поверхнево-активні речовини (СПАР), аніонні – до 10 мг/л	4-5%	
	Феноли – до 0,25 мг/л	6-7%	
	Залізо – до 3 мг/л	7-10%	

ДОДАТОК Г

Методичне забезпечення інтелектуального збирання, опрацювання та використання техніко-економічної інформації промислового водоочищення

Теорема. Мінімальний загальний час $T_n^{ac}(p, n, s, \varepsilon)$ передачі інформації $n \geq 2$ неоднорідними розподіленими конкуруючими джерелами, які використовують при передачі лінійно структуровані на $s \geq 2$ блоки потоків з часом передачі, які задаються матрицею $T^\varepsilon = [t_{ij}^\varepsilon]$, $i = \overline{1, n}$, $j = \overline{1, s}$ із $p \geq 2$ кінцевими споживачами і додатковими системними витратами $\varepsilon > 0$ в асинхронному режимі у випадку $s = kp + r$, $k \geq 1$, $1 \leq r < p$, визначається довжиною критичного шляху з початкової вершини t_{11}^ε в кінцеву вершину $t_{(k+1)n, (k+1)p}^\varepsilon$ мережевого вершинно-зваженого графа G_2^{ac} (рис. В.1).

Доведення. Всі множини з s блоків розіб'ємо на $k + 1$ групу по p блоків в кожній, за винятком $(k + 1)$ -ої групи, котрі мають містити r блоків. Тоді з урахуванням параметра ε вихідну матрицю термінів передачі блоків $T^\varepsilon = [t_{ij}^\varepsilon]$, $i = \overline{1, n}$, $j = \overline{1, kp + r}$, розбиваємо на $(k + 1)$ -у підматрицю T_l^ε , $l = \overline{1, k + 1}$, розмірністю $n \times p$ кожна, за винятком останньої T_{k+1}^ε , яка буде містити при s не кратному p тільки r стовпців, а решта $p - r$ стовпців будуть нульовими.

По кожній із підматриць T_l^ε , $l = \overline{1, k + 1}$, будуємо $(k + 1)$ -ту лінійну діаграму Ганта, які відображають в часі передачу чергових p блоків структурованих потоків інформації p кінцевим споживачам усіма n джерелами розподіленої генерації ($p = 3$, $n = 4$, $s = 8$). При цьому, якщо $r \neq 0$, то $(k + 1)$ – діаграма буде відтворювати передачу останніх r блоків p споживачам.

Очевидно, що якщо передачу чергової групи з p блоків починати тільки після всіх процесів, то в цьому випадку n буде визначатися як сума довжин критичних

шляхів в кожній з посліпль несуміщених діаграм Ганта, що задаються прямою сумою матриць T_l^ε , $l = \overline{1, k+1}$.

Однак, цей час можна істотно скоротити, якщо скористатися прийомом суміщення послідовних діаграм Ганта по осі часу справа наліво.

У результаті поєднання отримаємо результуючу діаграму Ганта, яка буде відображати передачу $n \geq 2$ неоднорідними розподіленими джерелами інформації $p \geq 2$ кінцевим споживачам, використовуючи структуровані на $s = kp + r$ блоків конкуруючі потоки (рис. Г.1 – Г.3).

Отримана структура результуючої суміщеної діаграми Ганта буде повністю визначатися матрицею T^* термінів передачі блоків структурованих конкуруючих потоків розподіленої генерації від альтернативних джерел і складатися з підматриць $T_1^\varepsilon, T_2^\varepsilon, \dots, T_{k+1}^\varepsilon$ розмірністю $n \times p$ кожна. При цьому підматриці T_l^ε , $l = \overline{1, k+1}$, у результуючій матриці T^* розташовуються таким чином, щоб не порушувався характер взаємодії як блоків структурованих конкуруючих потоків, що передаються одним і тим же джерелом, так і блоків, які приймаються одним і тим ж кінцевим споживачем.

Перший рядок матриці T^* будет складатися з підматриць T_l^ε , $l = \overline{1, k+1}$, що відображає характер передачі блоків конкуруючих потоків кожним із n джерел:

$$T^* = \begin{bmatrix} T_1^\varepsilon & T_2^\varepsilon & T_3^\varepsilon & \dots & T_k^\varepsilon & T_{k+1}^\varepsilon \\ T_2^\varepsilon & T_3^\varepsilon & T_4^\varepsilon & \dots & T_{k+1}^\varepsilon & 0 \\ T_3^\varepsilon & T_4^\varepsilon & T_5^\varepsilon & \dots & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ T_k^\varepsilon & T_{k+1}^\varepsilon & 0 & \dots & 0 & 0 \\ T_{k+1}^\varepsilon & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \end{bmatrix}, \quad (\text{Г.1})$$

де T_l^ε і T_{k+1}^ε матриці виду:

$$T_l^\varepsilon = \begin{bmatrix} t_{1,(l-1)p+1}^\varepsilon & t_{1,(l-1)p+2}^\varepsilon & \cdots & t_{1,lp}^\varepsilon \\ t_{2,(l-1)p+1}^\varepsilon & t_{2,(l-1)p+2}^\varepsilon & \cdots & t_{2,lp}^\varepsilon \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ t_{n,(l-1)p+1}^\varepsilon & t_{n,(l-1)p+2}^\varepsilon & \cdots & t_{n,lp}^\varepsilon \end{bmatrix}, \quad l = \overline{1, k},$$

$$T_{k+1}^\varepsilon = \begin{bmatrix} t_{1,kp+1}^\varepsilon & t_{1,kp+2}^\varepsilon & \cdots & t_{1,kp+r}^\varepsilon & 0 & \cdots & 0 \\ t_{2,kp+1}^\varepsilon & t_{2,kp+2}^\varepsilon & \cdots & t_{2,kp+r}^\varepsilon & 0 & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ t_{n,kp+1}^\varepsilon & t_{n,kp+2}^\varepsilon & \cdots & t_{n,kp+r}^\varepsilon & 0 & \cdots & 0 \end{bmatrix}.$$

Кожен крок суміщення діаграм визначається відповідними зміщенням підматриць T_l^ε , $l = \overline{2, k+1}$, таким чином, що рядок, який складається з цих підматриць, зміщується справа наліво на максимальну величину, зберігаючи лінійний порядок передачі блоків інформації одним і тим же джерелом. Із урахуванням того, що всі підматриці T_l^ε , $l = \overline{1, k+1}$ мають одну і ту ж розмірність $n \times p$, величина зсуву на кожному кроці дорівнює p . Замість зміщеної на кожному кроці найправішої матриці ставляться нулі. Виконавши таким чином k кроків зсувів, отримаємо структуру результуючої матриці T^* , відповідну остаточно суміщеній діаграмі Ганта. Причому в матриці T^* будуть враховані, як всі горизонтальні зв'язки між блоками, так і всі вертикальні, а також зв'язки між блоками з різних діаграм Ганта.

Відзначимо, що результуюча матриця T^* матиме розмірність $(k+1)n \times (k+1)p$. Матриця буде блоковою, симетричною, верхньо діагональною щодо другої діагоналі, типу Ганкелевої порядку $k+1$.

Далі побудуємо мережевий вершинно-зважений граф G_2^{ac} з вагами, що задаються матрицею T^* . Вершини цього графа будуть розташовані у вузлах прямокутної $(k+1)n \times (k+1)p$ -решітки (рис. Г.1).

Як і в випадку $s \leq p$, загальний час $T_n^{ac}(p, n, s = kp + r, \varepsilon)$ передачі неоднорідними розподіленими конкуруючими джерелами електроенергії

споживачам визначається довжиною критичного шляху з початкової вершини t_{11}^ε у кінцеву $t_{(k+1)n,(k+1)p}^\varepsilon$. Теорему доведено.

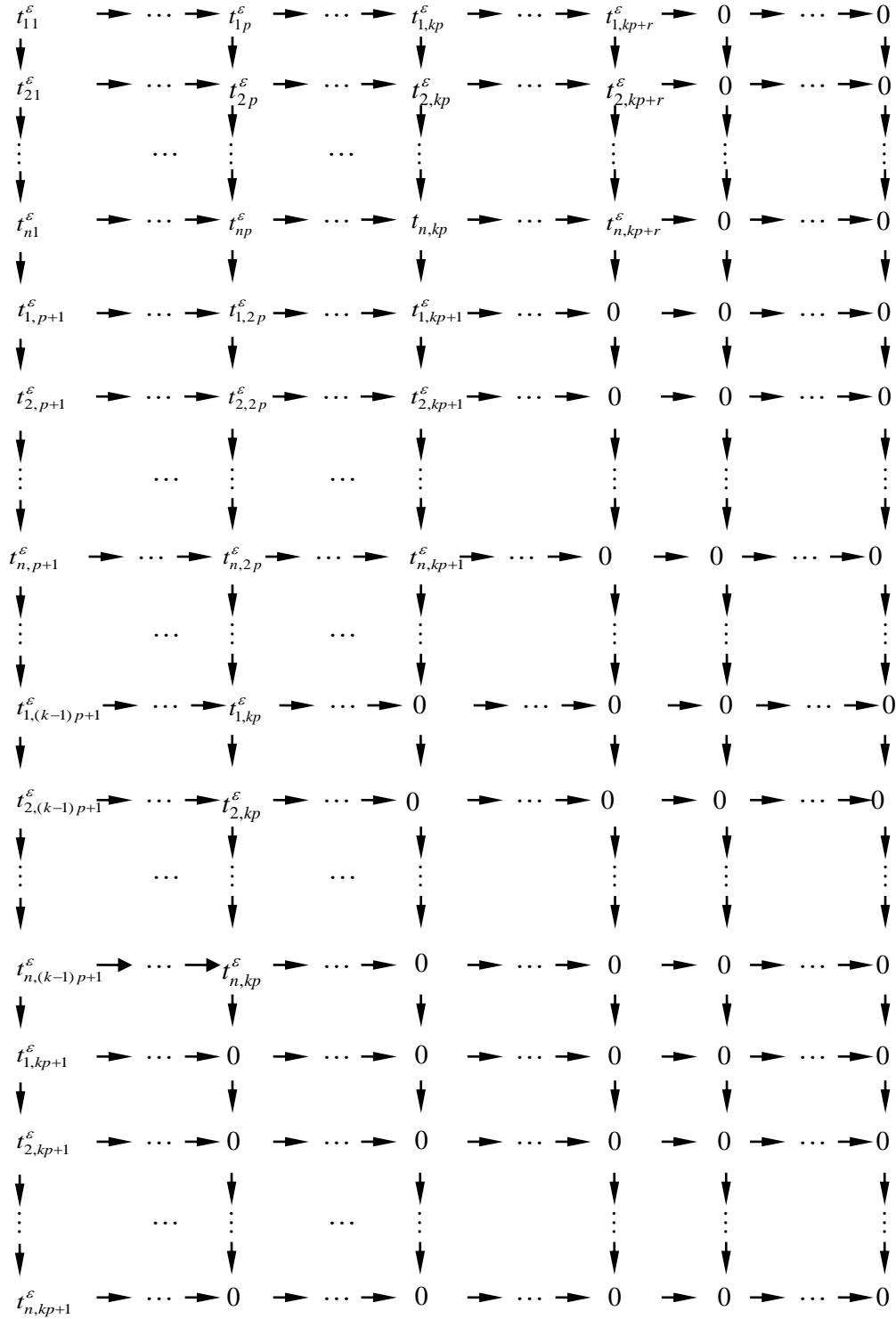


Рисунок Г.1 – Мережевий вершинно-зважений граф G_2^{ac}

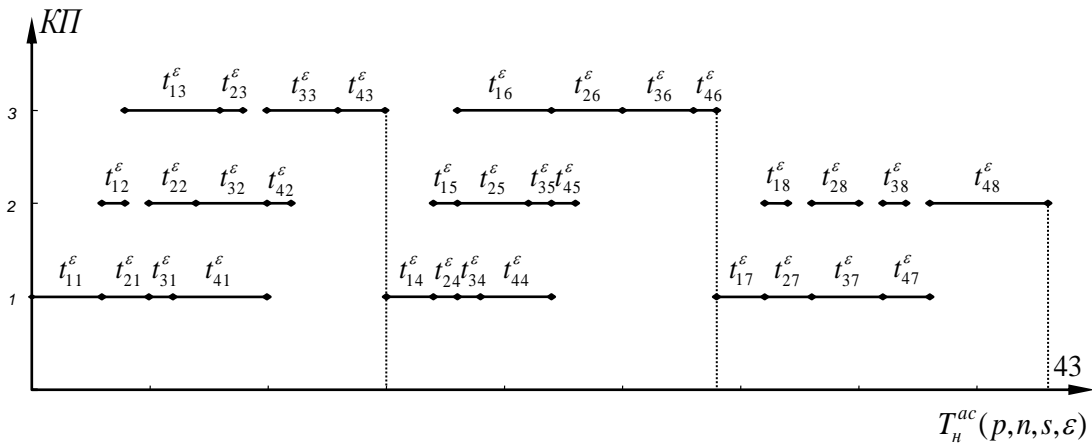


Рисунок Г.2 – Несуміщена діаграма Ганта

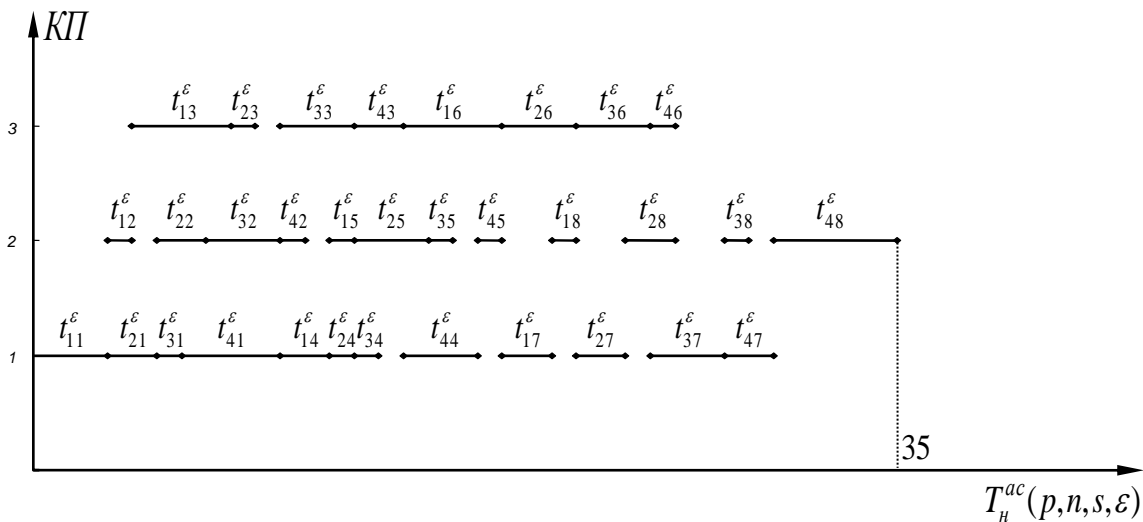


Рисунок Г.3 – Суміщена діаграма Ганта

Із врахуванням необхідності поєднання, для ефективного опрацювання техніко-економічної інформації і формування енергоефективних управляючих впливів в умовах невизначеності викликаних нештатними ситуаціями, одночасного врахування технічної та економічної інформації, у якості базиса для інформаційно-функціонального моделювання пропонується застосувати когнітивне моделювання.

Методологія когнітивного моделювання, призначена для аналізу і прийняття рішень в непередбачених ситуаціях, була запропонована Аксельродом. Вона заснована на моделюванні суб'єктивних уявлень експертів про ситуацію і включає:

- методологію структуризації ситуації;

– модель подання знань експерта, у вигляді знакового орграфа (когнітивної карти) (F, W) , де F – безліч факторів ситуації, W – безліч причинно-наслідкових відносин між факторами ситуації;

– методи аналізу ситуації.

Для використання когнітивних карт, в якості інструменту агрегування знань групи експертів потрібно встановити точні значення нечітких змінних зв'язків між факторами, що представляє труднощі при створенні когнітивної карти з великою кількістю вершин. Для автоматичної настройки значень змінних зв'язків використовуються алгоритми навчання когнітивної карти. Завдання навчання когнітивної карти полягає в мінімізації помилки результату прогнозування. Помилка прогнозування оцінюється як похибка між прогнозованими показниками карти і реальними значеннями факторів, відомих з історичних спостережень.

Прийmemo, що НКК – нечіткий орієнтований граф (орграф) першого і/або другого роду. Нечітким орієтованим графом першого роду називається і через $\tilde{G} = (X, \tilde{U})$ позначається пара множин, у якого – $X = \{x_i\}, i \in I = \{1, 2, \dots, n\}$ – чітка множина вершин (або концептів), а – $\tilde{U} = \{\langle \mu_u \langle x_i, x_k \rangle / \langle x_i, x_k \rangle \rangle\}$ – нечітка множина ребер (або дуг), де $\langle x_i, x_k \rangle \in X^2$, а $\mu_u \langle x_i, x_k \rangle$ – це ступінь приналежності орієтованого ребра $\langle x_i, x_k \rangle$ нечіткій множині орієтованих ребер \tilde{U} . Нечітким орієтованим графом другого роду називається граф $\tilde{G} = (\tilde{X}, \tilde{U})$, де \tilde{X} – множина вершин (або концептів) є нечіткою множиною на деякій універсальній множині A , тобто $\tilde{X} = \{\langle \mu_x(x) / x \rangle\}, x \in A, |\tilde{X}| = n$, \tilde{U} – нечітка множина орієтованих ребер (або дуг) визначається як $\tilde{U} = \{\langle \mu_u \langle x_i, x_k \rangle / \langle x_i, x_k \rangle \rangle\}, \langle x_i, x_k \rangle \in X^2$, де X – носій нечіткої множини \tilde{X} .

З вищевикладеного та предметних областей, які представляються нечіткими орієтованими графами 1-го і 2-го роду, ясно, що при визначенні шляхів і їх міцностей можливі самі різні комбінації нечітких операцій та їх інтерпретацій у різних нечітких базисах.

Як відомо, розширені бінарні арифметичні операції (додавання, множення та інші) для нечітких чисел визначаються через відповідні операції для чітких чисел з використанням принципу узагальнення. Нехай A і B – нечіткі числа, і “*” – нечітка операція, відповідна операції алгебри “*” над звичайними числами. Тоді, використовуючи тут і надалі позначення “ \vee ” замість \max і “ \wedge ” замість \min , можна записати:

$$C = A \tilde{*} B - \mu_C(z) = \bigvee_{Z=X*Y} (\mu_A(x) \wedge \mu_B(y)). \quad (\Gamma.2)$$

Звідси:

$$C = A \tilde{+} B - \mu_C(z) = \bigvee_{Z=X+Y} (\mu_A(x) \wedge \mu_B(y)). \quad (\Gamma.3)$$

$$C = A \tilde{-} B - \mu_C(z) = \bigvee_{Z=X-Y} (\mu_A(x) \wedge \mu_B(y)). \quad (\Gamma.4)$$

$$C = A \tilde{\cdot} B - \mu_C(z) = \bigvee_{Z=X \cdot Y} (\mu_A(x) \wedge \mu_B(y)). \quad (\Gamma.5)$$

$$C = A \tilde{\div} B - \mu_C(z) = \bigvee_{Z=X \div Y} (\mu_A(x) \wedge \mu_B(y)). \quad (\Gamma.6)$$

$$C = \tilde{\max}(A, B) - \mu_C(z) = \bigvee_{Z=\max(XY)} (\mu_A(x) \wedge \mu_B(y)). \quad (\Gamma.7)$$

$$C = \tilde{\min}(A, B) - \mu_C(z) = \bigvee_{Z=\min(XY)} (\mu_A(x) \wedge \mu_B(y)). \quad (\Gamma.8)$$

При подальших дослідженнях використаємо узагальнені нечіткі когнітивні карти кожен концерт якої характеризується терм-множиною лінгвістичної змінної:

$$T_i = (T_1^i, T_2^i, \dots, T_{m_j}^i), \quad (\Gamma.9)$$

де m_j – число типових станів концепта.

Для опису станів кожного терма T_k^i будується терм-множина із функцією належності $\mu_{T_k^i}(x)$. Зв'язки між типовими станами кожної пари концептів задаються нечіткими змінними.

Різновид такої НКК визначатиметься функціями належності і способом алгоритму нечіткого виведення. Механізм нечітких висновків в своїй основі має базу знань у вигляді сукупності нечітких предикативних правил вигляду:

Π_1 : якщо $x \in A_1$, тоді $y \in B_1$,

.....

Π_n : якщо $x \in A_n$, тоді $y \in B_n$,

де x – вхідна змінна (ім'я для відомих значень даних), y – змінна висновку (ім'я для значення даних, яке буде обчислене); A і B – функції належності, визначені відповідно на x і y .

Процес формування і використання когнітивних карт можна представити у вигляді послідовності таких кроків: визначення списків концептів (згідно зі списком концептів у разі опитування групи експертів); визначення відносин причинності (впливу) між кожною парою концептів (узгоджених відносин причинності); побудова когнітивної карти; динамічне моделювання; аналіз системних характеристик когнітивних карт; аналіз стійкості.

Загальна послідовність кроків для побудови сценаріїв на основі аналізу нечітких когнітивних карт представлена на рисунку Г.4.

Аналізуючи попередні викладки, у контексті комплексів технічного забезпечення методів ефективного опрацювання техніко-економічної інформації комбінованого очищення стічних вод різногалузевих промислових об'єктів, можна зробити висновки:

- когнітивне моделювання, а саме нечіткі когнітивні карти (НКК), доцільно застосувати при ефективному опрацюванні техніко-економічної інформації комбінованого водоочищення;

- ключове завдання при використанні когнітивного моделювання – формування адекватних значень концептів.

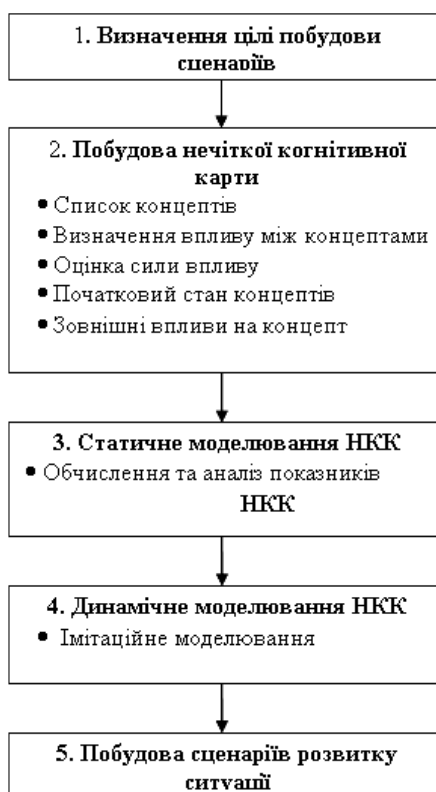


Рисунок Г.4 – Загальна процедура побудови сценаріїв на основі нечітких когнітивних карт

Із врахуванням специфіки отримання інформації блок адаптивної корекції вагових коефіцієнтів ділимо на два підблоки і розробляємо окремо відповідні інформаційно-аналітичне забезпечення опрацювання метрологічних даних (рис. Г.5).

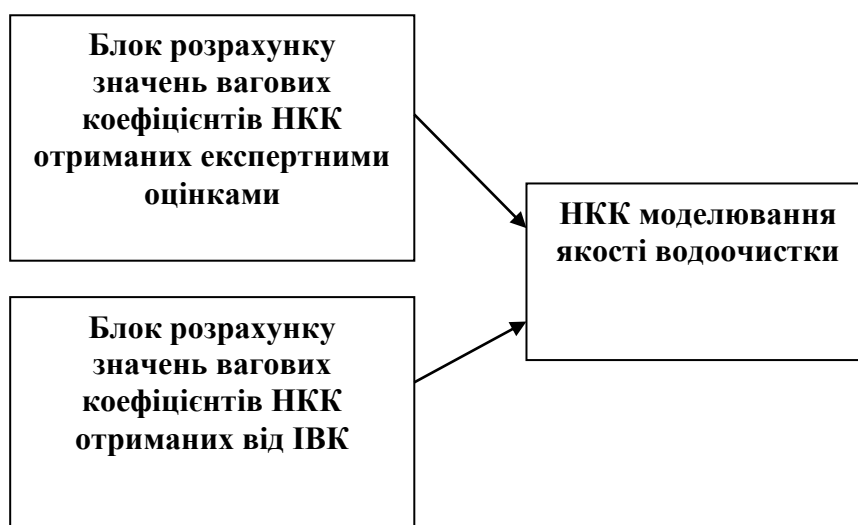


Рисунок Г.5 – Структурна схема використання блоків адаптивної корекції значень вагових коефіцієнтів

Для групування експертних оцінок (кластеризації) і визначення єдиних значень використовуємо самоорганізаційних карт Кохонена.

Модель Кохонена відноситься до класу алгоритмів векторного кодування. Вона забезпечує топологічне відображення, оптимально розміщує фіксоване число векторів у вхідному просторі вищої розмірності, забезпечуючи, таким чином, стиснення даних.

Алгоритм самоорганізації складається з наступних етапів:

1) ініціалізація синаптичних вагових коефіцієнтів у мережі (з використанням датчика випадкових чисел);

2) конкуренція (competition): для будь-якого вхідного образу і для всіх нейронів мережі обчислюється значення дискримінантної функції, що є основою конкуренції; нейрон з максимальним значенням дискримінантної функції стає переможцем;

3) кооперація: нейрон-переможець визначає просторове розташування сусідніх збуджених нейронів;

4) налаштування вагових коефіцієнтів (адаптація): значення дискримінантної функції збуджених нейронів збільшується для даного образу шляхом налаштування вагових коефіцієнтів. При адаптації відгук нейрона-переможця на близький вхідний образ збільшується.

Отже, нехай m – розмірність вхідного простору (даних), $x = [x_1, \dots, x_m]^T$ – вхідний образ. Вектор синаптичних вагових коефіцієнтів для j -го нейрона

$$\omega_j = [\omega_{j1}, \dots, \omega_{jm}]^T, \quad j = \overline{1, l}, \quad (\Gamma.10)$$

де l — число нейронів мережі.

Знайдемо нейрон-переможець

$$i(x) = \arg \max_{1, l} \omega_j^T x,$$

$$\max_j \omega_j^T x \Leftrightarrow \min_j \|x - w_j\|,$$

$$i(x) = \arg \min_j \|x - \omega_j\|, \quad j = \overline{1, l}. \quad (\text{Г.11})$$

Вираз (Г.10) описує процес конкуренції. Неперервний простір вхідних образів відображається на дискретний простір нейронів у процесі конкуренції між нейронами мережі.

Нейрон-переможець визначає центр групи (окіл) нейронів, що беруть участь у кооперації. Нейрон-переможець сильніше впливає на топологічно близьких сусідів, ніж на більш віддалені нейрони.

Нехай d_{ij} – латеральна відстань між нейроном-переможцем і збудженим нейроном. Топологічний окіл h_{ij} – це унімодальна функція латеральної відстані, що задовольняє двом вимогам:

– h_{ij} – симетрична щодо центра $d_{ij} = 0$;

– амплітуда h_{ij} монотонно зменшується зі збільшенням латеральної відстані і при $d_{ij} \rightarrow 0, d_{ij} \rightarrow 0$.

Цим умовам задовольняє функція Гаусса

$$h_{ij}(x) = \exp\left(-\frac{d_{ij}^2}{2\sigma^2}\right) \quad d_{ij}^2 = \|r_i - r_j\|^2, \quad (\text{Г.12})$$

де: r_j – позиція збудженого нейрона j, r_i – дискретна позиція нейрона-переможця.

Обидві координати визначаються в дискретному вихідному просторі. Ширина топологічного околу σ згодом зменшується. Якщо n — дискретний час, то експонентне спадання забезпечує залежність

$$\sigma(n) = \sigma_0 \cdot e^{-\frac{n}{\tau_1}}, \quad n = 0, 1, 2, \dots, \quad (\text{Г.13})$$

де: τ_1 — тимчасова константа, σ_0 — початкове значення.

Функція:

$$h_{j,i(x)}(n) = \exp\left(-\frac{d_{ij}^2}{2\sigma^2(n)}\right), \quad n = 0,1,2,\dots \quad (\Gamma.14)$$

Згодом окіл звужується, тому що його ширина зменшується. Нейрони околу будуть брати участь в адаптації вагових коефіцієнтів. Ціль кооперації – скорелювати зміну вагових коефіцієнтів нейронів одного околу.

Адаптація полягає в зміні вагового коефіцієнта w_j в залежності від вхідного вектора x . Вона базується на постулаті навчання Хебба: правильні зв'язки підсилюються, а хибні слабшають.

Однак у випадку самоорганізації це правило незастосовне, оскільки не відомий цільовий вихід. Якщо зв'язки будуть модифікуватися тільки убик посилення, то незабаром усі вони досягнуть насичення.

Модифікація правила Хебба полягає в використанні забування: $g(y_j)\omega_j$ (ω_j – синаптичні вагові коефіцієнти нейрона j , $g(y_j)$ – додатна скалярна функція від виходу y_j).

Єдина вимога до функції $g(y_j)$ – щоб залишковий член у її розкладі за формулою Тейлора був рівний нулю, тобто

$$g(y_j)|_{y_j=0} = 0. \quad (\Gamma.15)$$

Модифікація вагових коефіцієнтів обчислюється за формулою:

$$\Delta w_j = \eta y_j x - g(y_j) w_j, \quad (\Gamma.16)$$

де: η — коефіцієнт швидкості навчання.

Для виконання умови (В.14), виберемо лінійну функцію $g(y_j) = \eta y_j$.

Тоді (В.15) матиме вигляд:

$$\Delta w_j = \eta * y_j (x - w_j) = \eta * h_{ji(x)} (x - w_j). \quad (\Gamma.17)$$

Звідси при переході від моменту часу n до $n + 1$ одержимо

$$\omega_j(n+1) = \omega_j(n) + \eta(n) h_{j,i(x)}(n) (x - \omega_j(n)), \quad j = \overline{1, l}. \quad (\Gamma.18)$$

Таким чином, модифікуються вагові коефіцієнти всіх нейронів з околу нейрона-переможця i . Значення вагового вектора w_i нейрона-переможця i наближається до x . Вектори синаптичних вагових коефіцієнтів відслідковують розподіл вхідних векторів відповідно до вибору околу, забезпечуючи тим самим топологічне упорядкування карти ознак у вхідному просторі.

Після розрахунку за допомогою самоорганізаційної НМ Кохонена одиничних експертно встановлених значень вагових коефіцієнтів НКК, при різних комбінаціях вхідних параметрів, необхідно вирішити задачу роботи в режимі реального часу.

Для цього використаємо формула Байєса – одну з основних у елементарній теорії ймовірностей, яка дозволяє визначити ймовірність певної події (гіпотези) за наявності лише непрямих підтверджень (даних), які можуть містити неточності, що особливо важливо для вирішення нашої задачі.

Запис формули Байєса:

$$P(A|B) = \frac{P(A|B)P(A)}{P(B)}. \quad (\Gamma.19)$$

де: $P(A)$ – апіорна ймовірність гіпотези A ;

$P(A/B)$ – ймовірність гіпотези A при настанні події B (апостеріорна ймовірність); $P(B / A)$ – ймовірність настання події B при істинності гіпотези A ; $P(B)$ – ймовірність настання події B .

Важливим наслідком формули Байєса є формула повної ймовірності події, яка залежить від кількох несумісних гіпотез (і тільки від них):

$$P(B) = \sum_{i=1}^N P(A_i)P(B|A_i). \quad (\Gamma.20)$$

де: N – кількість гіпотез.

З врахуванням (Г.19) приходимо до висновку, що ймовірність настання події B , залежить від ряду гіпотез A_i , якщо відомі ступені достовірності цих гіпотез (наприклад, експериментальні дані щодо зовнішньої температури повітря).

До окремого випадку Байєсівських мереж відносяться ймовірнісні нейронні мережі (probabilistic neural networks – PNN). В основу класифікації в мережі PNN покладено ідею, що для кожного зразка можна прийняти рішення на основі вибору найбільш ймовірного класу з тих, яким міг би належати цей зразок. Таке рішення вимагає оцінки функції щільності ймовірностей для кожного. Ця оцінка встановлюється в результаті розгляду навчальних даних. Правилком є те, що образ з найщільнішим розподілом в області невідомого зразка буде чисельнішим у порівнянні з іншими елементами. Точно так само матиме перевагу і образ з високою апіорної ймовірністю або високою ціною помилки класифікації.

Для двох класів A і B , відповідно до цього правила, вибирається клас A , якщо:

$$h_A c_A f_A(x) = h_B c_B f_B(x). \quad (\text{Г.21})$$

де: h – апіорна ймовірність; c – ціна помилки класифікації; $f(x)$ – функцію щільності ймовірностей.

Вірна оцінка помилки класифікації вимагає точного знання предметної області, але в багатьох випадках вона та апіорна ймовірності вибираються однаковими для всіх класів.

Традиційно використовується більш проста форма функції Гауса, де включено квадрат евклідової відстані від невідомого образу до елемента шару зразкових образів:

$$g(x) = \sum_{i=1}^n \exp\left(\frac{-\|x - x_i\|^2}{\sigma^2}\right). \quad (\text{Г.22})$$

де: σ – параметр, який задає ширину функцій Гауса; x – невідомий вхідний зразок.

Процедура її використання є відносно простою: після того як мережа побудована, невідомий екземпляр можна подати на вхід мережі, і в результаті прямого проходу через мережу вихідний шар вкаже клас, до якого, швидше за все, належить зразок. У контексті нашої задачі, цікавить не стільки дискретна класифікація образів, скільки значення виходу шару додавання, який вираховує

щільності розподілу ймовірності для сукупності примірників відповідного образу. Тобто на виході цього шару зможемо відстежувати динаміку зміни (потенційної зміни) образів якості води.

Для формування значень вагових коефіцієнтів НКК використали нейромережу типу радіально-базисна функція (РБФ), оскільки при переході від вхідного шару до прихованого здійснюється нелінійне перетворення простору, тобто відображення $R^{N^{in}} \rightarrow R^{N^{hid}}$ [5, 36, 233, 243]:

$$y_i^{hid} = R_i(y^{in}) = \varphi(\|y^{in} - c^i\|), \quad c^i \in R^{N^{in}} \quad (\Gamma.23)$$

де φ — радіальні функції виду $\varphi(x)$.

У якості радіальної функції зазвичай вибирають функцію Гауса:

$$\varphi_i = \exp\left(-\frac{\|y^{in} - c^i\|^2}{2\sigma_i^2}\right) \Leftrightarrow \varphi_i = \exp\left(-\frac{1}{2\sigma_i^2} \sum_{j=1}^{N^{in}} (y_j^{in} - c_j^i)^2\right). \quad (\Gamma.24)$$

Нейрони вихідного шару здійснюють лінійне перетворення простору (є лінійною комбінацією виходів попереднього шару):

$$y_i^{out} = \sum_{j=1}^{N^{hid}} W_{ij} \cdot y_j^{hid} \quad (\Gamma.25)$$

або у векторній формі

$$y^{out} = W \cdot y^{hid}. \quad (\Gamma.26)$$

Математичною основою пропонованої системи управління на основі ефективного опрацювання інформації технологічного обладнання водоочищення являються нейронні мережі. Однак, особливістю таких рішень, навіть уже на стадії проектування, є обов'язкова наявність статистичної інформації: еталонних наборів даних, адекватних чисельних залежностей (рис. Г.6).

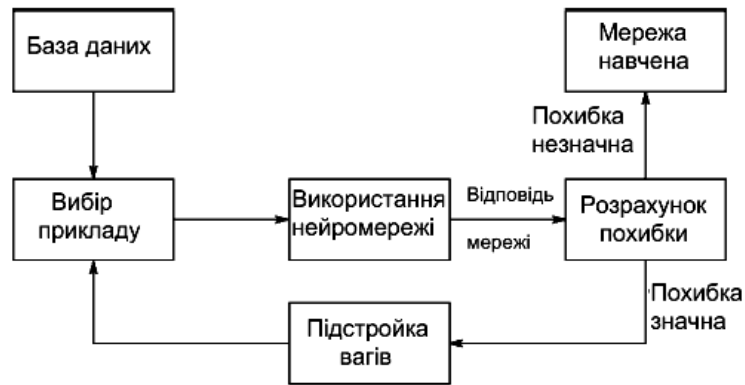


Рисунок Г.6 – Узагальнений алгоритм синтезу нейромережевих моделей

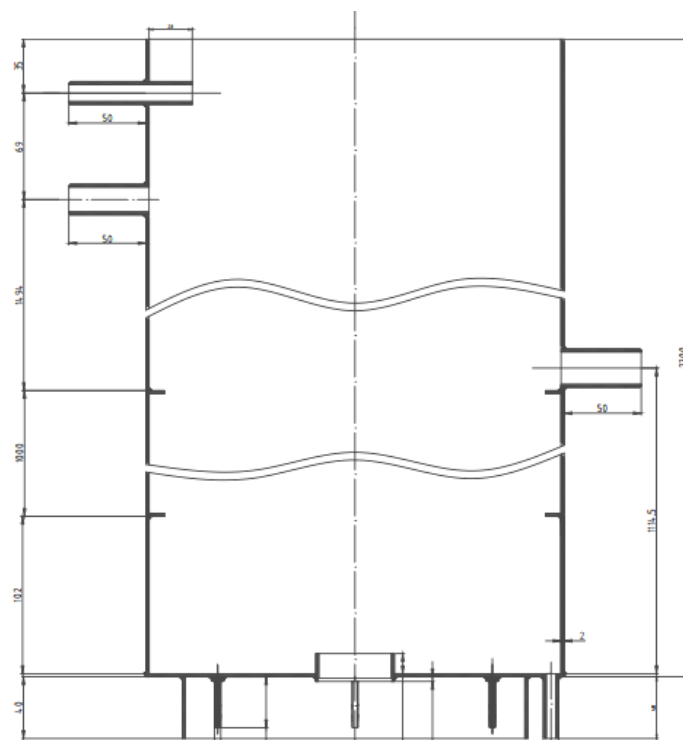
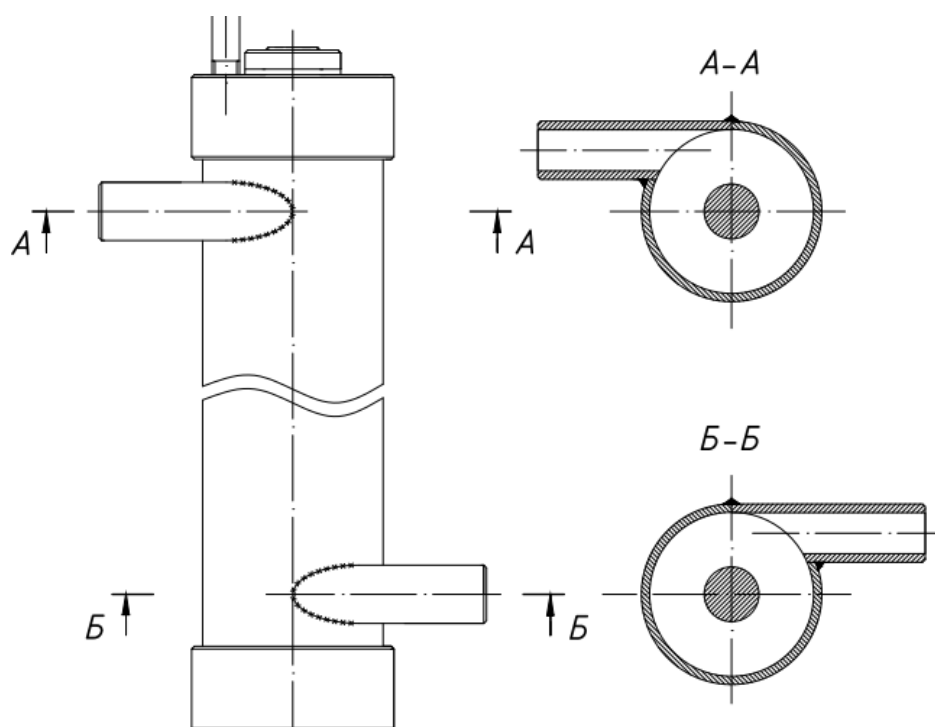
Для синтезу і дослідження управляючої нейронної мережі типу багатошаровий перцептрон, яка продемонструвала ефективність роботи в умовах розмитості і неповноти вхідної інформації, доцільно використати програмний пакет Statistica Neural Networks (критерій – мінімізація помилки НМ), який використовує лінійні підходи і метод імітації "відпалу" на основі розподілу ймовірностей Гіббса:

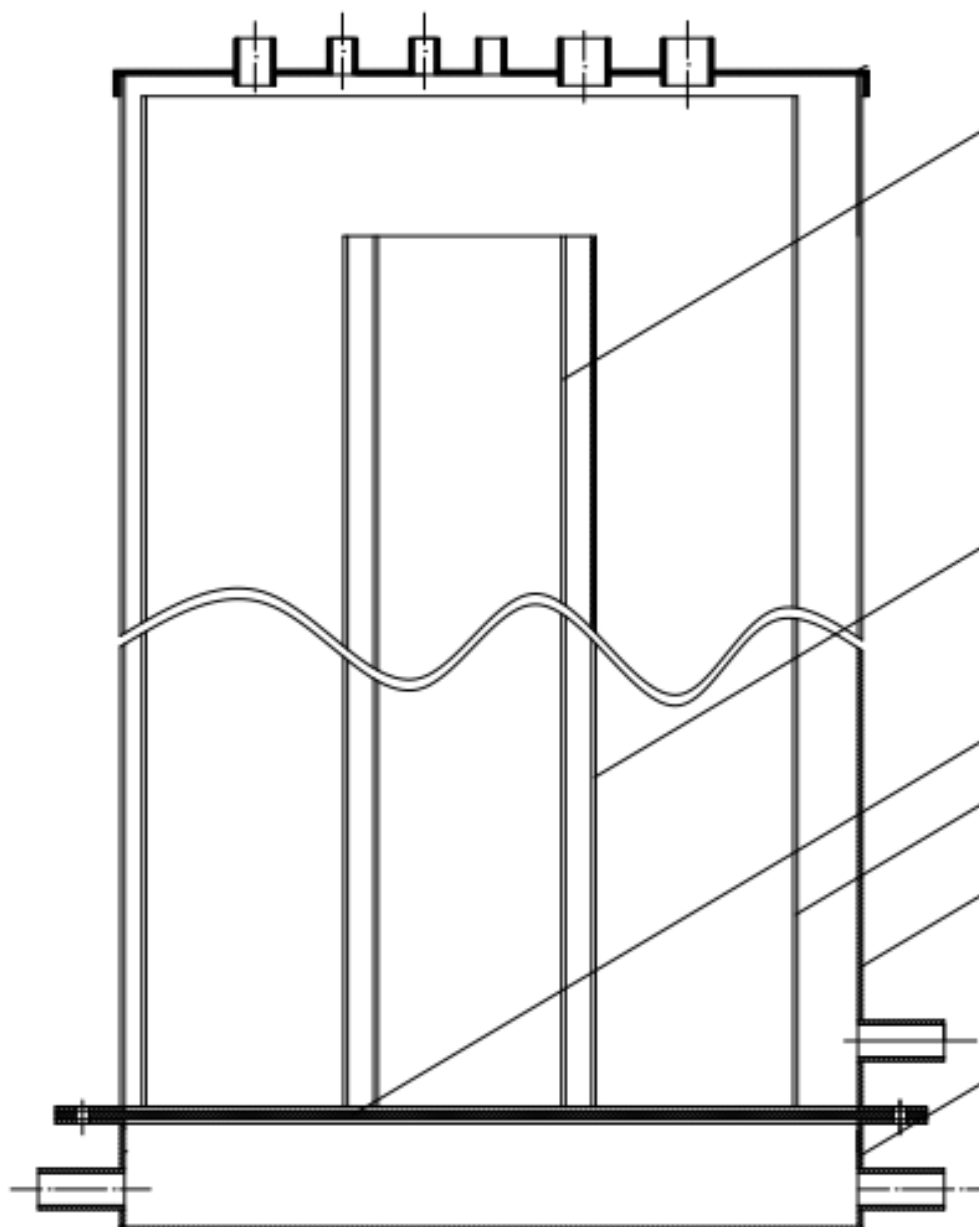
$$P(\bar{x}^* \rightarrow \bar{x}_{i+1} | \bar{x}_i) = \begin{cases} 1, & F(\bar{x}^*) - F(\bar{x}_i) < 0 \\ \exp\left(-\frac{F(\bar{x}^*) - F(\bar{x}_i)}{Q_i}\right), & F(\bar{x}^*) - F(\bar{x}_i) \geq 0 \end{cases} \quad (\text{Г.27})$$

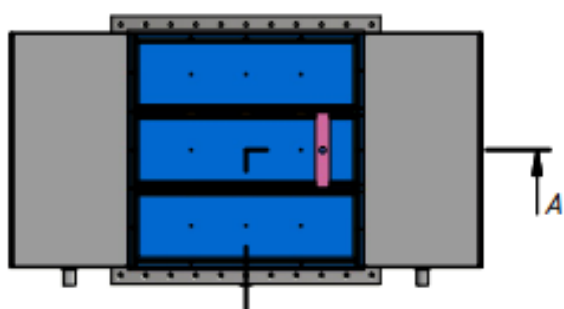
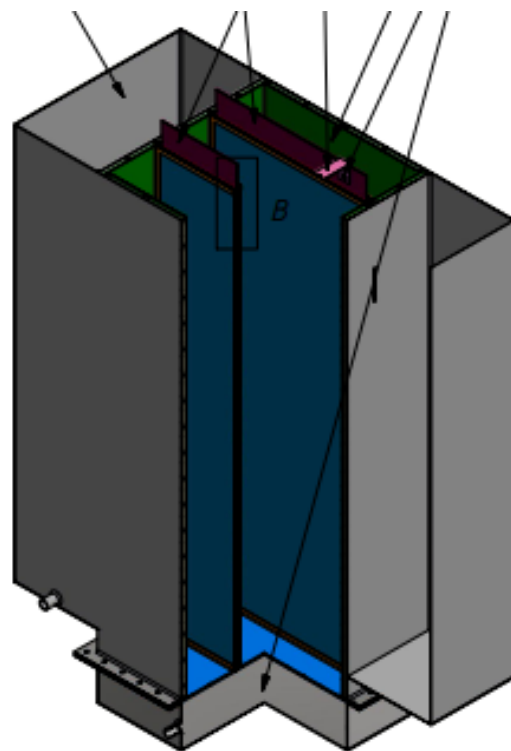
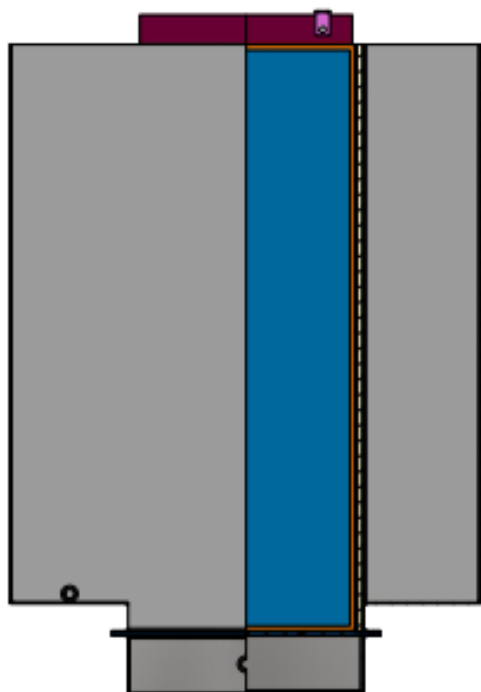
де $F(x)$ – функція активації НМ, $Q_i > 0$ – елементи довільно спадаючої до нуля послідовності.

ДОДАТОК Д

Ескізні креслення елементів матеріальної частини ВМЕВ

Фільтр*Електротехнологічний окислювач*

Електролізер-деаератор

pH-коректор

ДОДАТОК Е

Засоби вимірювальної техніки та автоматики ВМЕВ

Пристрій для вимірювання концентрації завислих частинок у воді

Пристроїв для вимірювання концентрацій завислих частинок промисловість випускає доволі велику кількість. Різняться між собою дані пристрої, передусім, принципом вимірювання та точністю вимірів.

Для використання в запропонованій системі було вибрано прилад-комплект ультразвукового типу Solartron Mobrey MSM 400:



Технічні характеристики комплекту приведено у таблиці Е.1.

Таблиця Е.1 – Технічні характеристики Solartron Mobrey MSM 400

Параметр	Значення
Джерело живлення	115/220 В 50/60 Гц
Струмний вихід	4-20 мА
Температурний діапазон	-3 – +55 °С
Максимальний тиск у трубопроводі	105 Бар
Максимальна довжина проводу від датчика до модуля збору інформації	7 метрів

Вибір датчика значення рН стічної води (рН-метра)

рН-метр призначений для автоматичного вимірювання активності іонів водню (рН) чи окисно-відновлювального потенціалу (ОВП) водних середовищ в комплекті із проточною чи заглибною арматурою (для комбінованого електроду).

Трансміттер забезпечує вимірювання електрорушійної сили (ЕРС), що її розвиває електродна система комбінованого електроду, і температури рідини, вирахування рН і його перетворення в уніфікований сигнал постійного струму (4...20 мА).

Для використання у приведеній у дипломному проекті системі знезаражування обираємо промисловий рН-метр-трансміттер рН-4101:



Технічні характеристики ПВП:

Параметр	Значення параметра
Діапазон вимірювання рН	(0...14) од. рН
Межі ЕРС на вході трансмітера	(-750...+750) мВ
Температура аналізованого середовища	(0...100) °С
Максимальна похибка	± 0,05 рН
Режими термокомпенсації	автоматичний і ручний
Вихідний сигнал, пропорційний рН	Аналоговий постійного струму (4...20) мА
Опір навантаження	100 Ом
Тип індикатора	рідкокристалічний дворядковий дисплей

Вибір ватметра

Для вимірювання потужності споживання до 6000 Вт застосовано ватметр АСМ-8003 (роздільність 1 Вт, точність 1%).

- вимірювання змінної напруги 0-600 В (0,1 В / 0,3%), змінного струму 0,01-10 А (0,01 А / 0,3%), коефіцієнта потужності 0,01-1 (0,01 / 1%);
- утримання показань, макс. і хв. значення;
- інтерфейс RS-232 / USB;
- живлення 9 В, маса 398 г., габаритні розміри 190x88x40 мм.

Вибір датчика миттєвих витрат і швидкості води в трубопроводі

Для вимірів миттєвих значень такої вхідної величини, як об'ємна витрата, для даної САК як ПВП витрат і швидкості води в трубопроводі було вибрано промисловий стаціонарний без врізки у трубопровід комплект вимірювання витрат та швидкості потоку рідини – «Днепр 7».

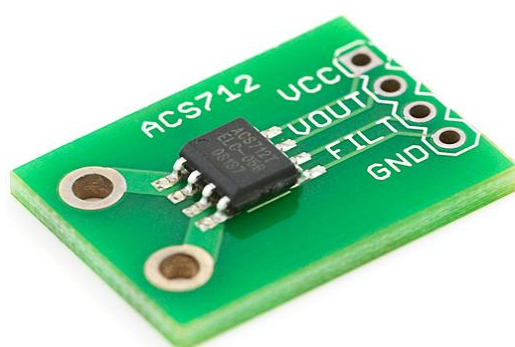
Пристрій може здійснювати вимірювання не пропускаючи через себе потік речовини, тобто базується на використанні ультразвукових доплерівських методів вимірювання. Складається із безпосередньо датчика та пристрою індикації/контролю:



Вибір датчика струму

У системі датчик струму необхідний для контролю струму у колі електролізера. Інформація, яку він отримує, є підставою для регулювання значення струму і, цим самим, забезпечення однієї із висунутих до САК вимог – енергоефективності.

Було вирішено обрати цифровий датчик струму ACS712-50А:



Вибір регулятора (контролера)

Для керування електролізною дезінфекцією розчинів використаємо 8-бітний мікроконтролер ATmega128 16AU.

Вибір зумовлений тим, що мікроконтролер відноситься до недорогих, високоефективних, надійних елементів керування. МК має розвинену RISC-архітектуру, енергонезалежну пам'ять програм і даних. За рахунок виконання більшості інструкцій за один машинний цикл, ATmega128 досягає продуктивності 1 млн операцій за секунду /МГц, що дозволяє оптимізувати співвідношення енергоспоживання і швидкодії.

Також до безумовно позитивних характеристик можна віднести наявність 32-х 8-розрядних регістрів загального призначення + регістрів керування вбудованою периферією, широкі можливості для підключення і керування периферією, підтримку USART, I2C, TWI, JTAG (IEEE 1149.1).

Все це дає змогу повністю реалізувати задачу управління, не використовуючи жодних інших допоміжних апаратних засобів.

Вибір головного керуючого пристрою

Для керування промивкою фільтра водопідготовки використовуємо контролер ICP DAS i-8417. Даний контролер серії i-8000 призначений для управління технологічними процесами, встановлення в технологічному обладнанні, зборі та обробці інформації, можуть використовуватися в якості комутаційних пристроїв.

Умови експлуатації:

- робоча температура $-25...+75$ °С;
- температура зберігання і транспортування $-30...+85$ °С;
- вологість (без конденсації) 5...95%;
- відсутність агресивних газів;
- рівень захисту від зовнішнього впливу IP20;
- примусове охолодження не потрібне.

Живлення контролера здійснюється від джерела постійного струму 10...30 В, стабілізації не потрібно. Споживана потужність дуже невелика, і складає приблизно 3 Вт на каркас і не більше 2 Вт на кожний модуль вводу-виходу.

Конструкція контролера побудована на модульному принципі. Основний являється каркас з блоком живлення і процесором (чи комутаційним блоком), в якому можна встановити до 4-5 чи 8-9 модулів вводу-виводу сигналів:



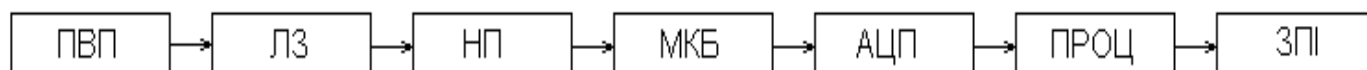
Контролер монтується на панель чи на DIN рейку 35 мм. Модулі вводу-виводу легко встановлюються у каркас і мають змінні клемні блоки з винтовим послідовним кабелем.

Основні каркаси оснащені чотирма послідовними комутаційними портами, три із них це RS-232/485, а четвертий порт може бути Ethernet 10 BaseT, CAN чи високошвидкісний RS-485. Каркаси розширення обладнані одним ізольованим портом RS-485.

Контролер серії і-8000 має вбудований засіб для організації елементарного інтерфейсу з оператором. Це 5-символьний 7-сегментний світлодіодне табло, 4 кнопки управління, 4 світлові індикатори, крім цього, на кожному модулі вводу-виводу розташовані світлова індикація стану сигналів. Якщо же необхідно повноцінний інтерфейс з оператором, то можна використати графічними і текстовими панелями, підключеними до послідовного порту чи організувати зв'язок по стандартних протоколах зі SCADA системи на операторському робочій станції.

Між джерелами живлення, вхідними-вихідними сигнальними колами і частиною комутаційних портів реалізована гальванічна розв'язка міцність 3000 В. При необхідності ізоляцію послідовних портів можна використовувати перетворювачі і повторювачі із серії і-7000.

Схема ІВК ВМЕВ представлена на рисунку Е.1.



ПВП – первинно вимірювальний пристрій; ЛЗ – лінія зв'язку; НП – нормуючий перетворювач; МКБ – модуль комутації безконтактний; АЦП – аналогово-цифровий перетворювач; ПРОЦ – процесор; ЗПІ – засіб представлення інформації

Рисунок Е.1 – Схема інформаційно-вимірювального каналу вимірювання

температури води

Основі джерела невизначеності вимірювання параметрів енергоефективності водоочищення:

№ п/п	Вимірювана величина	Джерела невизначеності	
		Інструментальна	Методична
1	Концентрація СПАР (СП), мг/л	Згідно характеристик атестованої лабораторії	Згідно характеристик атестованої лабораторії
2	БСК ₅ (БСК), мгО ₂ /л	Згідно характеристик атестованої лабораторії	Згідно характеристик атестованої лабораторії
3	Концентрація нітратів (КН), мг/л	Згідно характеристик атестованої лабораторії	Згідно характеристик атестованої лабораторії
4	Концентрація завислих частинок (КЗЧ), мг/л	Похибка інформаційно-вимірювального каналу КЗЧ	Невизначеність інформаційно-вимірювального каналу КЗЧ
5	рН-метр (рН)	Похибка інформаційно-вимірювального каналу рН	Невизначеність інформаційно-вимірювального каналу рН
6	Споживана потужність (W), кВт*год	Похибка інформаційно-вимірювального каналу W	Невизначеність інформаційно-вимірювального каналу W
7	Час функціонування ВМЕВ (Q), год	Похибка інформаційно-вимірювального каналу Q	Невизначеність інформаційно-вимірювального каналу Q
8	Енергоефективність (EF _y), %/кВт	-	Невизначеність, що входять у формулу розрахунку енергоефективності (СП, БПК, КН, КЗЧ, рН, W, EF _y , Q)

Формула розрахунку енергоефективності ВМЕВ при досліджуваній компоновці:

$$\begin{aligned}
 EF_y = & \left[\left(\left(\frac{СП_{вих} - СП_{зад}}{СП_{зад}} \cdot 100\% \right) + \left(\frac{БСК_{5вих} - БСК_{5зад}}{БСК_{5зад}} \cdot 100\% \right) + \left(\frac{КН_{вих} - КН_{зад}}{КН_{зад}} \cdot 100\% \right) + \right. \\
 & \left. + \left(\frac{КЗЧ_{вих} - КЗЧ_{зад}}{КЗЧ_{зад}} \cdot 100\% \right) + \left(\frac{рН_{вих} - рН_{зад}}{рН_{зад}} \cdot 100\% \right) \right] \cdot Q / W, \% / \text{кВт} \quad (E.1)
 \end{aligned}$$

Вплив додаткових впливових факторів не враховуємо, прийнявши, що матеріальна частина ВМЕВ стабілізували умови довілля при отриманні вимірювальної інформації. Відповідно, стандартні невизначеності типу В величин, що не входять в рівняння, відсутні.

Рівняння залежності невизначеності енергоефективності від невизначеностей вихідних величин матиме вигляд для ВМЕВ (індекс «вх» означає вимірювання параметрів води на вході ВМЕВ):

$$\begin{aligned}
 u_c(EF_y) = & \left[\left(\frac{\partial EF_y}{\partial СП_{вх}} \right)^2 \cdot u_B^2(СП_{вх}) + \left(\frac{\partial EF_y}{\partial БСК_{5вх}} \right)^2 \cdot u_B^2(БСК_{5вх}) + \left(\frac{\partial EF_y}{\partial КН_{вх}} \right)^2 \cdot u_B^2(КН_{вх}) + \right. \\
 & + \left(\frac{\partial EF_y}{\partial КЗЧ_{вх}} \right)^2 \cdot u_B^2(КЗЧ_{вх}) + \left(\frac{\partial EF_y}{\partial pH_{вх}} \right)^2 \cdot u_B^2(pH_{вх}) + \left(\frac{\partial EF_y}{\partial СП_{ex}} \right)^2 \cdot u_B^2(СП_{ex}) + \left(\frac{\partial EF_y}{\partial БСК_{5ex}} \right)^2 \cdot u_B^2(БСК_{5ex}) + \\
 & \left. + \left(\frac{\partial EF_y}{\partial КН_{ex}} \right)^2 \cdot u_B^2(КН_{ex}) + \left(\frac{\partial EF_y}{\partial КЗЧ_{ex}} \right)^2 \cdot u_B^2(КЗЧ_{ex}) + \left(\frac{\partial EF_y}{\partial pH_{ex}} \right)^2 \cdot u_B^2(pH_{ex}) \right] + \\
 & + \left[\left(\frac{\partial EF_y}{\partial W} \right)^2 \cdot u_B^2(W) + \left(\frac{\partial EF_y}{\partial Q} \right)^2 \cdot u_B^2(Q) \right]^{0,5}, \%/\text{кВт} \quad (E.2)
 \end{aligned}$$

Тоді, рівняння для оцінювання відносної сумарної невизначеності енергоефективності водоочищення, привівши параметри до безрозмірних величин відносної невизначеності, матиме вигляд:

$$\begin{aligned}
 \delta_c(EF_y) = & \left(\frac{\partial EF_y}{\partial СП_{вх}} \right)^2 \cdot \delta_B^2(СП_{вх}) + \left(\frac{\partial EF_y}{\partial БСК_{5вх}} \right)^2 \cdot \delta_B^2(БСК_{5вх}) + \left(\frac{\partial EF_y}{\partial КН_{вх}} \right)^2 \cdot \delta_B^2(КН_{вх}) + \\
 & + \left(\frac{\partial EF_y}{\partial КЗЧ_{вх}} \right)^2 \cdot \delta_B^2(КЗЧ_{вх}) + \left(\frac{\partial EF_y}{\partial pH_{вх}} \right)^2 \cdot \delta_B^2(pH_{вх}) + \\
 & + \left(\frac{\partial EF_y}{\partial СП_{ex}} \right)^2 \cdot \delta_B^2(СП_{ex}) + \left(\frac{\partial EF_y}{\partial БСК_{5ex}} \right)^2 \cdot \delta_B^2(БСК_{5ex}) + \left(\frac{\partial EF_y}{\partial КН_{ex}} \right)^2 \cdot \delta_B^2(КН_{ex}) + \\
 & + \left(\frac{\partial EF_y}{\partial КЗЧ_{ex}} \right)^2 \cdot \delta_B^2(КЗЧ_{ex}) + \left(\frac{\partial EF_y}{\partial pH_{ex}} \right)^2 \cdot \delta_B^2(pH_{ex}) + \\
 & + \left[\left(\frac{\partial EF_y}{\partial W} \right)^2 \cdot \delta_B^2(W) + \left(\frac{\partial EF_y}{\partial Q} \right)^2 \cdot \delta_B^2(Q) \right]^{0,5}, \quad (E.3)
 \end{aligned}$$

Звідси, сумарна невизначеність вимірювання енергоефективності водоочищення у ВМЕВ:

$$u_c(EF_Y) = EF_Y \cdot \delta_C(EF_Y) \quad , \text{ %/кВт} \quad (\text{E.4})$$

Коефіцієнт охоплення для рівномірного закону розподілу (встановлено опрацюванням результатів експериментів) і рівня довіри $P = 0,95$ становить $k = 1,65$.

Розширена невизначеність вимірювання енергоефективності водоочищення у ВМЕВ:

$$U(EF_Y) = k \cdot u_c(EF_Y) = 1,65 \cdot u_c(EF_Y) \quad . \text{ %/кВт} \quad (\text{E.5})$$

На основі експериментальних досліджень для різних комбінацій параметрів якості стічних вод до і після очищення, встановлено наступні технологічно прийнятні діапазони значень невизначеностей при вимірюванні енергоефективності:

- сумарна невизначеність енергоефективності водоочищення: (7,8 ... 9,6) %/кВт,

- розширена невизначеність: (12,87... 15,84) %/кВт (при $p = 0,95$).

ДОДАТОК И

**Код програми для управління ВМЕВ на мові програмування Асемблер
для AVR**

```
include "m128def.inc"
```

```

C034      RJMP L1
940C      JMP L2
940C      JMP L3
C0DA      RJMP L4
EFFF L1:  LDI ZH,$FF
BFFD      OUT SPL,ZH
E1F0      LDI ZH,$10
BFFE      OUT SPH,ZH
940E      CALL L5
940E      CALL L6
940E      CALL L7
940E      CALL L8
940E      CALL L9
940F      CALL L11

B705      IN R16,MCUCR
6200      ORI R16,$20
BF05      OUT MCUCR,R16
9478      BSET 7
D059      RCALL L10

95A8 L5:  WDR
9100      LDS R16,$0124
3100      CPI R16,$10
F0A9      BREQ L16
9100      LDS R16,$0127
3F0F      CPI R16,$FF
F509      BRNE L17
9100      LDS R16,$0125
3100      CPI R16,$10
F129      BREQ L18
9100      LDS R16,$0129
3100      CPI R16,$10
F149      BREQ L19
9100      LDS R16,$0126
3100      CPI R16,$10
F189      BREQ L20

```

```

9100 LDS R16,$0128
3100 CPI R16,$10
F139     BREQ L21
CFE6     RJMP L22

E000 L6:  LDI R16,$00
9300 STS $0124,R16

3000 L7:  CPI R16,$00
F011     BREQ L29
940E     CALL L30
EF0F L29: LDI R16,$FF
9300 STS $0127,R16
CFCE     RJMP L22

E000 L8:  LDI R16,$00
9300 STS $0125,R16
940E     CALL L31
940E     CALL L32
CFC6     RJMP L22

E000 L19: LDI R16,$00
9300 STS $0129,R16
940E     CALL L33
CFC0     RJMP L22

940E L10: CALL L35
E000     LDI R16,$00
9300 STS $0126,R16
CFB4     RJMP L22
E000     LDI R16,$00
9300 STS $0124,R16
9100 OUT PORTE,R4
BF63     OUT TCCR0,R22
BC65     OUT TCCR2,R6
2061 AND R6,R1
636F     ORI R22,$3F
61BF     ORI XH,$1F
6FBD     ORI XH,$FD
BBB3     OUT PINC,XH
BD65     OUT TCCR2,R22
2161 AND R22,R1
2020 AND R2,R0
4820 SBCI R18,$80
BE65     OUT MCUCR,R6

```

```

6170  ORI R23,$10
B8B3      OUT PORTE,R11
C4BB      RJMP L2
6FBD      ORI XH,$FD
2065  AND R6,R5
70B3      ANDI XH,$03
BC65      OUT TCCR2,R6
3100  CPI R16,$10
F009      BREQ L1

```

```

E01F  L11: LDI R17,$0F
E90F      LDI R16,$9F
9310  STS $0087,R17
9300  STS $0086,R16
E010      LDI R17,$00
E000      LDI R16,$00
9310  STS $0089,R17
9300  STS $0088,R16
E009      LDI R16,$09
9300  STS $008A,R16
E000      LDI R16,$00
9300  STS $008B,R16
9100  LDS R16,$007D
6100  ORI R16,$10
9300  STS $007D,R16
E0B3      LDI XH,$03
EEA8      LDI XL,$E8
93B0      STS $01DE,XH
93A0      STS $01DF,XL
E0B0      LDI XH,$00
E1A9      LDI XL,$19
93B0      STS $01E2,XH
93A0      STS $01E3,XL
E0B0      LDI XH,$00
E6A4      LDI XL,$64
93B0      STS $01EE,XH
93A0      STS $01EF,XL
E0B0      LDI XH,$00
E0A5      LDI XL,$05
93B0      STS $01F2,XH
93A0      STS $01F3,XL
E0B0      LDI XH,$00
EFAA      LDI XL,$FA
93B0      STS $01E0,XH
93A0      STS $01E1,XL

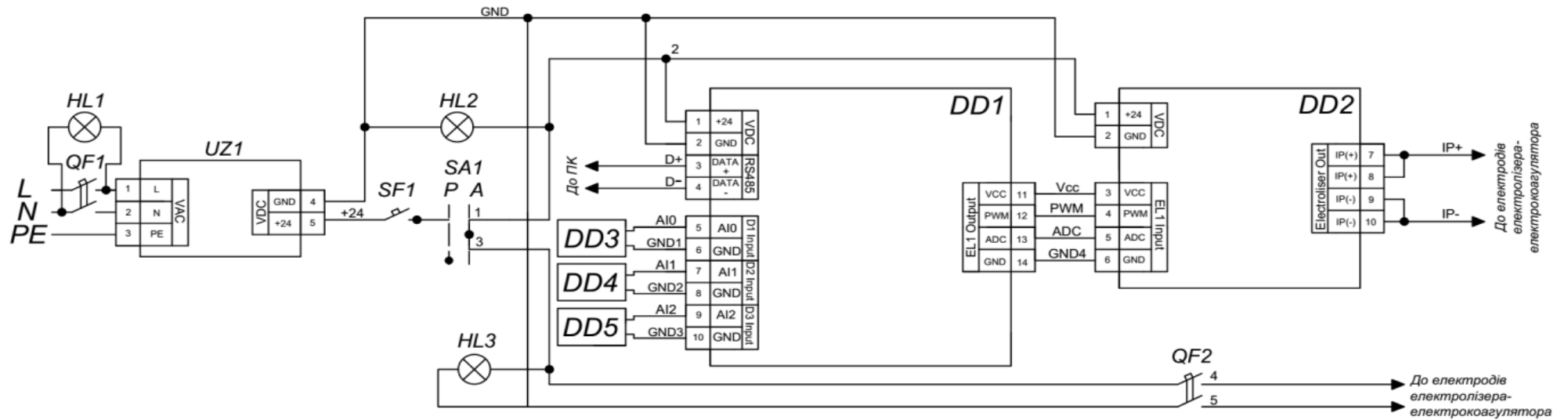
```

```
E0B3      LDI XH,$03
EEA8      LDI XL,$E8
93B0      STS $01EC,XH
93A0      STS $01ED,XL
E000      LDI R16,$00
9300      STS $0356,R16
9508      RET

93AF      L4:  PUSH XL
B7AF      IN XL,SREG
93AF      PUSH XL
93BF      PUSH XH
D015      RCALL L6
91BF      POP XH
91AF      POP XL
BFAF      OUT SREG,XL
91AF      POP XL
9518      RETI

0000      NOP
```

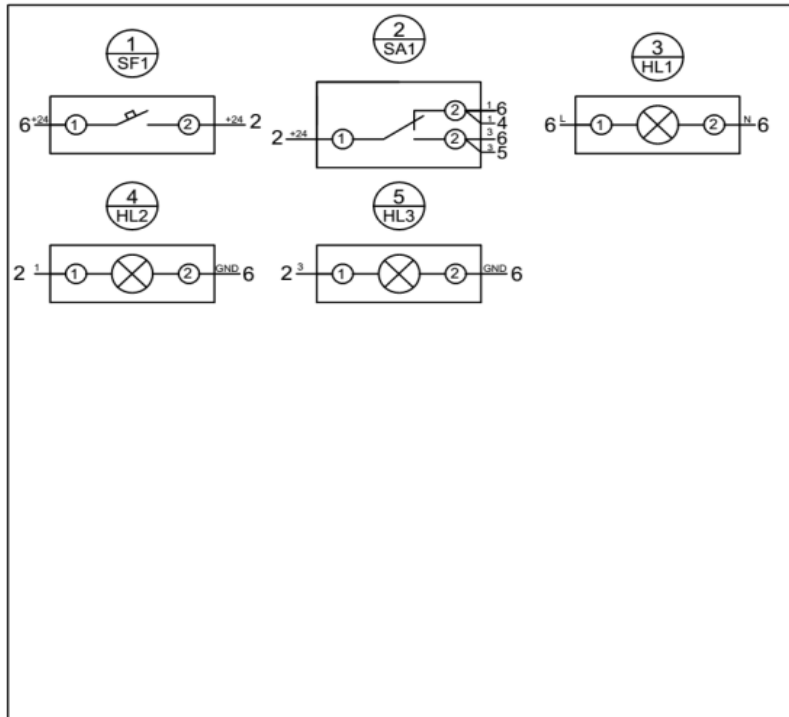
ДОДАТОК Ж Принципові електричні схеми ВМЕВ



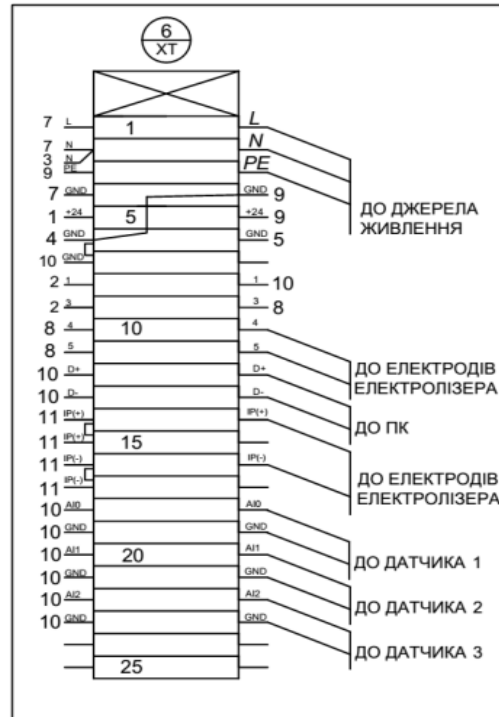
Позначення	Найменування	К-сть	Примітка					
QF1-QF2	ВА 47-29 2р	2						
HL1-HL3	МН 25-0-29	3						
SF	ВА 20-01 2р	1						
SA1	ПКП10	1						
UZ1	MeanWell S-1000-24	1						
DD1-DD2	Плата друкована	2						
DD3	pH 4101	1						
DD4	MSM 400	1						
DD5	Днепр 7	1						
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата	Система автоматичного керування електролізними процесами при очищенні стічних вод. Схема електрична принципова.	Літ.	Маса	Масштаб
Розробив		Кот Р.С.						
Перевірів		Лисенко В.П.						
						Лист	1	Листів
						Шмена В.М.		

ДОДАТОК К Принципові електричні схеми ВМЕВ

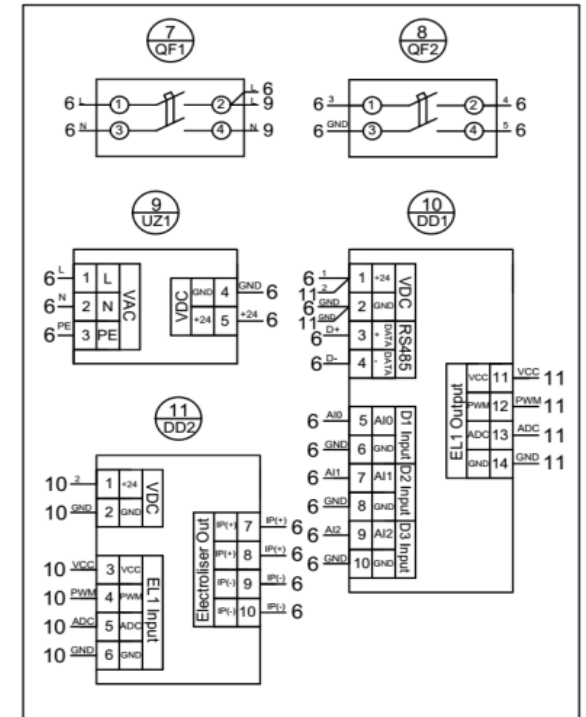
ПЕРЕДНЯ ПАНЕЛЬ



БІЧНА ПАНЕЛЬ



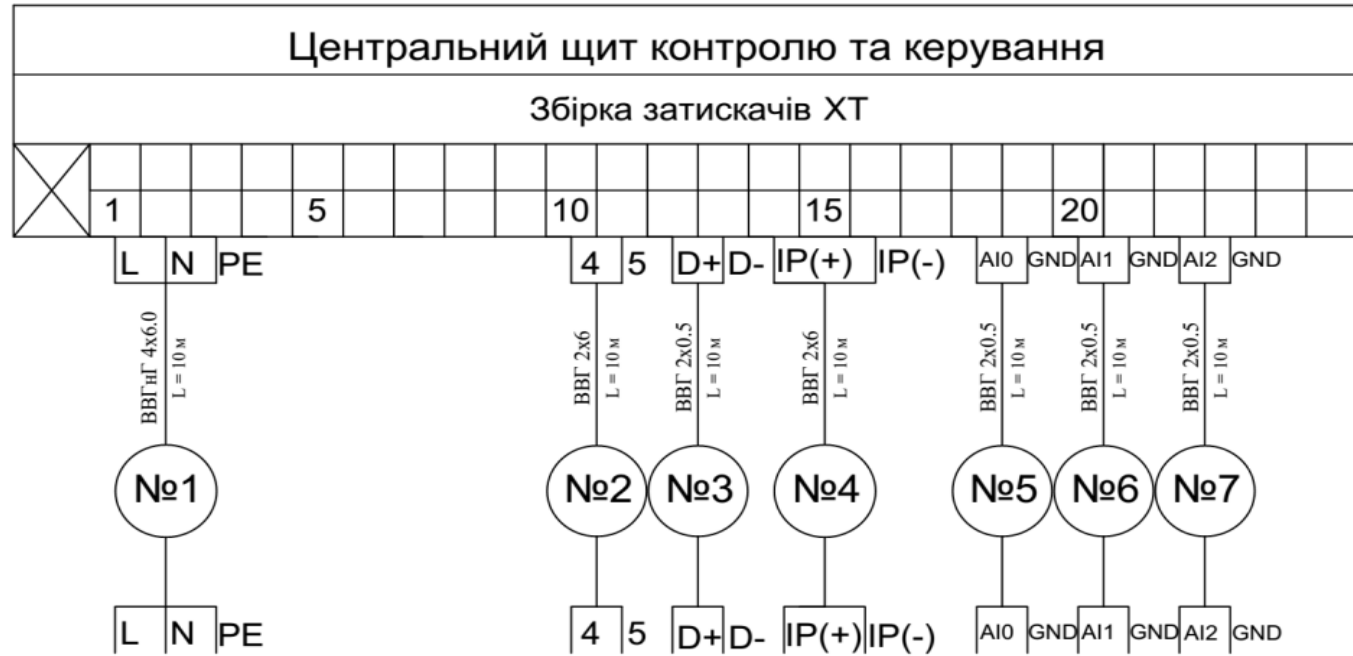
ЗАДНЯ ПАНЕЛЬ



Позначення	№	Назва елемента	Найменування	Примітка
SF	1	Автоматичний вимикач	ВА 20-01 2р	
HL1	2	Сигнальна лампа	МН 25-0.29	
HL2	3	Сигнальна лампа	МН 25-0.29	
HL3	4	Сигнальна лампа	МН 25-0.29	
SA1	5	Перемикач кулачковий	ПКП10	
XT	6	Збірка затискачів	ЗКВК3516 ТВ	
QF1	7	Автоматичний вимикач	ВА 47-29 2р	
QF2	8	Автоматичний вимикач	ВА 47-29 2р	
UZ1	9	Блок живлення	MeanWell S-1000-24	
DD1	10	Плата керування		
DD2	11	Плата керування		

Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата	Система автоматичного керування електролізними процесами при очищенні стічних вод. Схема електричних з'єднань.	Літ.	Маса	Масштаб
Розробив		Кот Р.С.						
Перевірив		Лисенко В.П.						
						Лист 2	Листів	
						Штена В.М.		

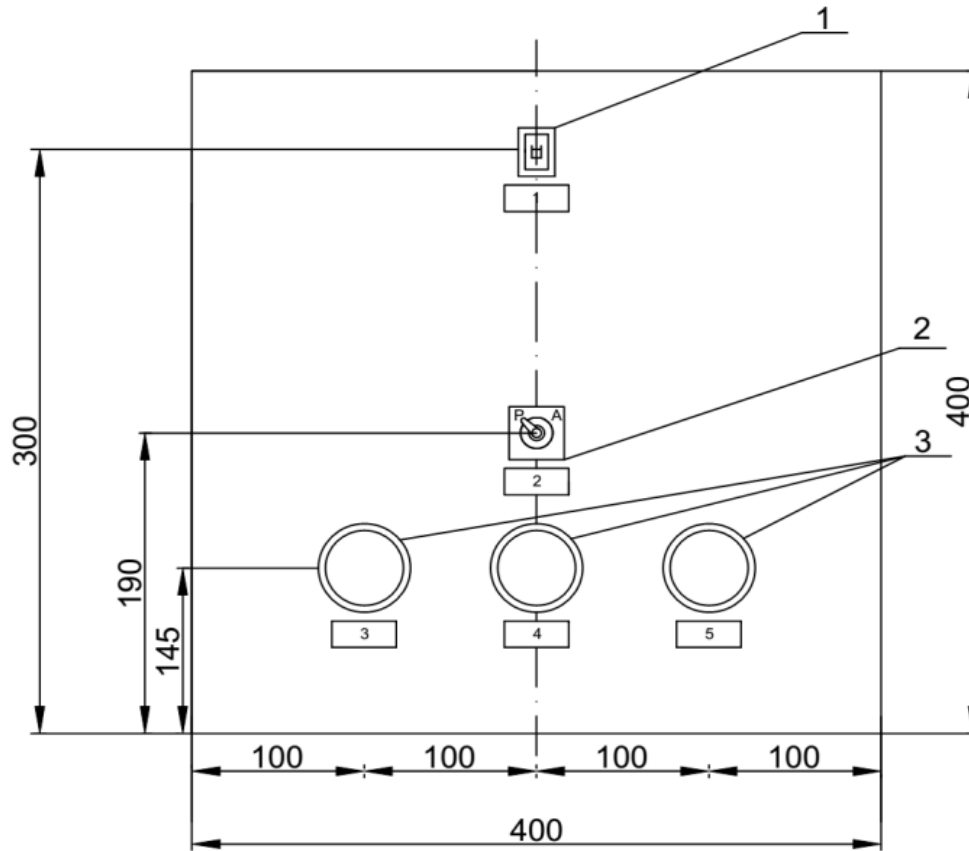
ДОДАТОК Л
Принципові електричні схеми ВМЕВ



Назва обладнання	Щит живлення	Електролізер	Порт RS-485 ПК	Електролізер	Датчик рН	Датчик концентрації	Датчик швидкості потоку
Тип	ЩПМ U42 R3 (400x400x142)				рН 4101	MSM-400	Днепр 7

Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата	Система автоматичного керування електролізними процесами при очищенні стічних вод. Схема електричних підключень.	Літ.	Маса	Масштаб
Розробив		Кот Р.С.						
Перевірів		Лисенко В.П.						
						Лист 3	Листів	
						Шмена В.М.		

ДОДАТОК М Принципові електричні схеми ВМЕВ



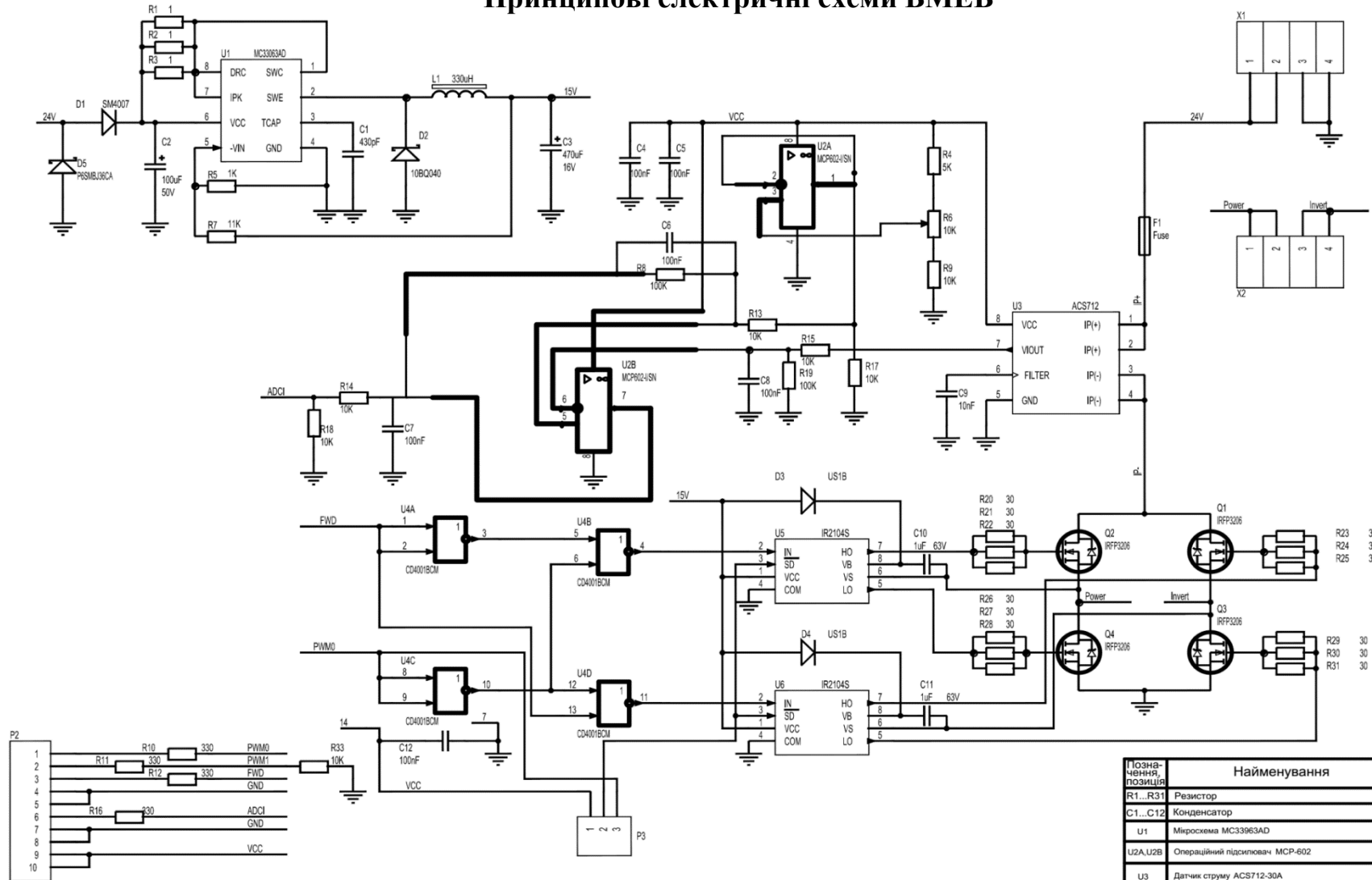
Надписи на табло і в рамках		
Номер надпису	Кількість	Надпис
1	1	Автоматичний вимикач
2	1	РЕЖИМ Ручний/Автоматичний
3	1	Мережа
4	1	Режим АВТО
5	1	Режим РУЧНИЙ

№	Назва	Найменування	К-сть	Примітка
1	Автоматичний вимикач	ВА20-01	1	
2	Перемикач кулачковий	ПКП10	1	
3	Сигнальна лампа	МН 25-0.29	3	
4	Надписи на табло і в рамках		5	

Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата	Система автоматичного керування електролізними процесами при очищенні стічних вод. Загальний вигляд щита.	Літ.	Маса	Масштаб	
						Лист	4	Листів	
						Шмена В.М.			

ДОДАТОК Н

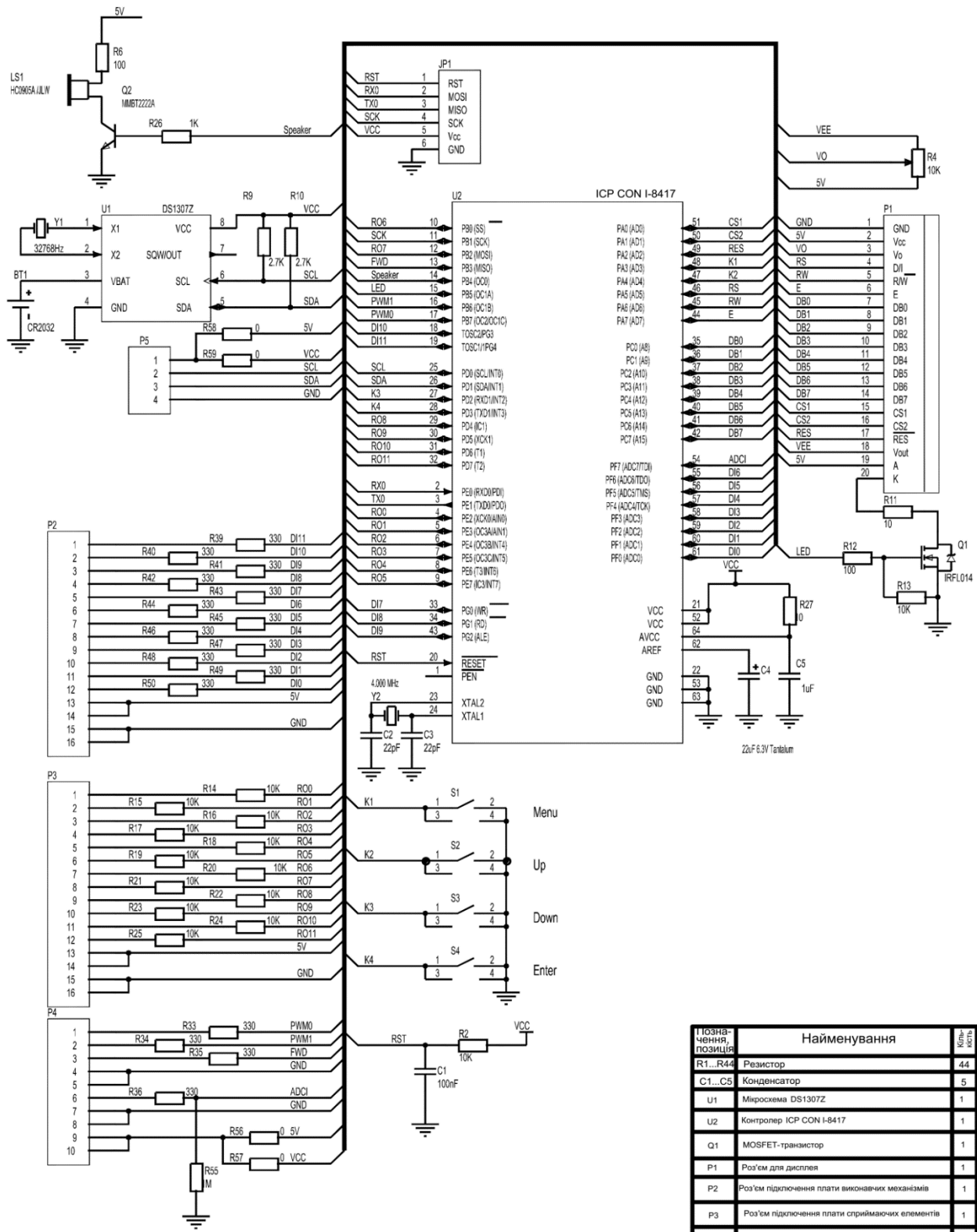
Принципові електричні схеми ВМЕВ



Позначення/позиція	Найменування	Кількість	Примітка																																	
R1...R31	Резистор	31																																		
C1...C12	Конденсатор	12																																		
U1	Мікросхема MC33963AD	1																																		
U2A,U2B	Операційний підсилювач MCP-602	2																																		
U3	Датчик струму ACS712-30A	1																																		
U4A...U4D	Елемент логіки	4																																		
U5...U6	Мікросхема IR2104S	2																																		
Q1...Q4	Польовий транзистор IRF3206	4																																		
P1...P3	Роз'єм для підключення інших плат чи периферії	3																																		
L1	Котушка індуктивності	1																																		
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>№</td> <td>Акс.</td> <td>№ групи</td> <td>Віднос.</td> <td>Дата</td> <td rowspan="4" style="vertical-align: top;">Система автоматичного керування електролізними процесами при очищенні стічних вод. Схема електрична принципова плати управління DD2.</td> <td>Літ.</td> <td>Маса</td> <td>Масштаб</td> </tr> <tr> <td>Розробив</td> <td colspan="4"></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Перевірив</td> <td colspan="4"></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="8" style="text-align: right;"><i>Шмена</i></td> </tr> </table>				№	Акс.	№ групи	Віднос.	Дата	Система автоматичного керування електролізними процесами при очищенні стічних вод. Схема електрична принципова плати управління DD2.	Літ.	Маса	Масштаб	Розробив								Перевірив								<i>Шмена</i>							
№	Акс.	№ групи	Віднос.	Дата	Система автоматичного керування електролізними процесами при очищенні стічних вод. Схема електрична принципова плати управління DD2.	Літ.	Маса	Масштаб																												
Розробив																																				
Перевірив																																				
<i>Шмена</i>																																				

ДОДАТОК П

Принципові електричні схеми ВМЕВ



Позначення, позиція	Найменування	Кількість	Примітка
R1...R44	Резистор	44	
C1...C5	Конденсатор	5	
U1	Мікросхема DS1307Z	1	
U2	Контролер ICP CON I-8417	1	
Q1	MOSFET-транзистор	1	
P1	Роз'єм для дисплея	1	
P2	Роз'єм підключення плати виконавчих механізмів	1	
P3	Роз'єм підключення плати сприймаючих елементів	1	
P4	Роз'єм підключення плати управління електролізером	1	
P5	Роз'єм підключення мікросхеми І 2С	1	
Q2	Транзистор	1	
LS1	Випромінювач звуку	1	
Y1,Y2	Кварцовий генератор	2	
BT1	Батерія живлення	1	
S1	Кнопка "MENU"	1	
S2	Кнопка "UP"	1	
S3	Кнопка "DOWN"	1	
S4	Кнопка "ENTER"	1	

Система автоматичного керування електролізним процесом при оптимізації стічних вод.
Схема електрична принципова плати управління DD1.

Штмена

ДОДАТОК Р

Результати експериментальних досліджень еколого-енергетичної ефективності із використанням ВМЕВ

№ п/п	Нітрати, мг/л		Фосфати, мг/л		рН		БСК5, мг/л		СПАР, мг/л		Завислі частинки, мг/л		Витрати, м.куб/доба	Сила струму, А	ЕFu, %/кВт
	Вхід	Вихід	Вхід	Вихід	Вхід	Вихід	Вхід	Вихід	Вхід	Вихід	Вхід	Вихід			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	252	16	1	0,3	5,8	6,9	4	2,5	1,2	0,6	1100	28	1,1	4,5	0,0017
2	300	23	0,5	0,1	9,7	7,1	2,6	1,3	2,8	0,7	55	14	2,7	6,6	-0,0061
3	275	35	1,5	0,2	9,3	7,2	2,3	1,4	2,9	0,4	75	13	2,6	6,3	-0,0063
4	180	37	0,3	0,1	9,1	7,4	3,5	0,3	0,6	0,5	110	20	1,3	4,8	-0,0080
5	221	35	0,6	0,2	8,9	7,3	3,6	0,3	2,8	0,6	95	15	2,2	6	-0,0058
6	12	5	2,8	1,2	5,9	6,8	6,5	3,3	0,3	0,1	1800	21	2,5	6,3	0,0084
7	286	36	0,5	0,2	8,8	7,1	1,8	0,5	2,5	0,6	75	13	1,2	3,3	-0,0111
8	155	31	1,6	0,4	6,9	6,8	5,1	3,1	0,6	0,1	900	12	1,8	4,8	-0,0058
9	165	34	1,5	0,2	7,2	7,2	5,3	2,9	0,7	0,3	1100	16	2	5,1	-0,0050
10	170	32	1,2	0,2	7,8	7	4,8	3	0,8	0,3	950	15	2,6	6,3	-0,0046
11	20	15	2,5	0,4	9,8	7,6	6,5	3	2,8	0,4	1850	19	1,8	5,7	-0,0009
12	270	29	0,2	0,1	5,9	6,8	2	1	0,4	0,1	1500	32	1	4,5	-0,0089
13	260	39	2,9	0,4	9	7,3	6	2	1	0,9	850	18	2,8	7,2	0,0041
14	198	10	0,41	0,2	9	7,2	6,3	2,2	1,2	0,4	1200	42	2,3	6,3	0,0012
15	262	34	0,57	0,1	6,4	7,4	6	3	2	0,3	824	14	1,9	6	-0,0063
16	237	20	1,38	0,2	8	6,9	6,8	3,8	1,6	0,5	1450	36	1,5	4,8	0,0049
17	228	40	0,7	0,2	7,7	7	4	2,8	2,1	0,3	1650	14	1,2	4,8	-0,0056
18	148	42	2,51	0,3	9,7	6,8	5,5	1,8	0,7	0,7	760	14	1,3	4,5	-0,0005
19	211	35	1,41	0,4	8,3	7,3	4,5	2,5	2,8	0,6	70	14	2,5	6,9	0,0008
20	267	25	1,59	0,1	5,9	7,4	4,3	4,1	2	0,4	1100	45	2,1	6	0,0057
21	63	35	2,04	0,6	8,5	6,8	6,3	3,6	1,9	0,3	450	15	1,8	5,1	0,0036
22	201	15	0,97	0,4	6,7	7,4	5	5,1	2,9	0,6	560	12	2,4	6,6	0,0020
23	87	26	2,68	0,3	7,7	7,9	5,8	4,7	1,6	0,7	1040	13	1,8	6	0,0029
24	123	42	0,83	0,1	9,2	8	4,6	4,9	1,4	0,5	1230	16	2,1	6,3	0,0009

Продовження ДОДАТКУ Р

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
25	47	30	2,22	0,7	5,8	7,2	5	4	1,8	0,3	435	14	1,4	4,8	0,0059
26	277	15	2,24	0,2	6,1	7,4	7	3,5	2,4	0,5	120	11	1,9	5,1	-0,0061
27	57	16	2,24	0,3	8,7	6,9	6,4	5,1	1,3	0,2	580	14	2,1	6,6	-0,0028
28	100	25	1,66	0,3	6,4	7,1	5,3	5,6	1,8	0,1	1430	17	2,4	7,2	-0,0008
29	136	37	1,53	0,2	6,8	7,3	5	4,6	1	0,5	785	15	1,9	6,3	0,0006
30	295	20	0,87	0,1	8,7	6,8	4,1	3,6	1,4	0,6	1950	21	2,8	7,8	-0,0016
31	223	26	2,33	0,3	6,7	7,5	6,2	3	1,8	0,7	350	15	2,2	6,3	0,0004
32	252	34	1,52	0,4	8,1	8,1	6,4	2,9	1,2	0,4	750	18	2,3	7,2	0,0011
33	82	37	1,27	0,3	9,4	8	5,5	2,8	2,1	0,5	1670	14	2,9	7,5	-0,0004
34	113	11	2,62	0,6	9,2	7,7	4,5	3,1	2	0,7	1320	15	1,6	6,3	0,0037
35	228	42	2,82	0,2	5,8	6,9	6,6	3	2,8	0,4	980	11	0,9	5,7	-0,0042
36	207	39	2,04	0,5	5,6	7,2	4,2	3,4	2,4	0,5	120	12	1,6	6,9	0,0036
37	90	28	2,41	0,2	9,9	6,9	5,8	2,9	2,8	0,6	1290	17	1,8	4,8	-0,0015
38	119	27	2,22	0,3	9,5	6,8	4,9	3,1	2,9	0,2	870	14	1,8	7,8	-0,0038
39	292	27	0,67	0,1	6,8	7,2	5	2,6	2,6	0,7	230	13	2,3	8,1	-0,0067
40	157	20	0,98	0,2	9,3	7,1	5,9	3,1	0,7	0,3	910	14	1,1	3,9	-0,0086
41	59	34	2,12	0,3	9	6,9	4,6	2	0,7	0,5	1200	21	1,7	4,5	-0,0006
42	229	17	2,69	0,4	6,2	6,8	4,1	2,5	1,4	0,6	1660	16	1,9	6,9	-0,0011
43	241	11	1,61	0,9	7,1	7,3	4	3,7	0,8	0,5	730	20	2,1	5,7	0,0080
44	289	11	1,17	0,2	9,9	7,9	4,9	3	2,4	0,6	880	14	2,5	6,9	-0,0032
45	81	12	2,85	0,3	5,5	6,8	5,3	2,8	2,5	0,3	1380	14	2,6	7,8	-0,0048
46	121	26	1,17	0,2	7,4	7	6	4	2,7	0,3	90	12	1,2	8,1	-0,0062
47	163	17	1,44	0,3	8,3	7,1	5,4	4,1	1,8	0,2	1200	13	1,5	4,8	-0,0057
48	74	16	2,62	0,2	8,9	7,3	4,7	2,9	0,8	0,4	950	18	0,7	5,1	-0,0064
49	58	17	0,86	0,2	7,4	6,8	5,2	3	2,8	0,5	1730	15	1,7	4,5	-0,0057

ДОДАТОК С

**Програмне забезпечення баз знань щодо формування в режимі реального
ранжиру ДЗ (у індексованій нотації середовища FIS-Editor MatLab)****Виробництво побутової хімії**

```
[System]
Name='Belita'
Type='sugeno'
Version=2.0
NumInputs=4
NumOutputs=1
NumRules=81
AndMethod='prod'
OrMethod='probor'
ImpMethod='prod'
AggMethod='sum'
DefuzzMethod='wtaver'

[Input1]
Name='input1'
Range=[0.2 870]
NumMFs=3
MF1='in1mf1': 'gaussmf', [185 66.1057304442037]
MF2='in1mf2': 'gaussmf', [185 343.466869990899]
MF3='in1mf3': 'gaussmf', [185 800.264191286855]

[Input2]
Name='input2'
Range=[0.1 90]
NumMFs=3
MF1='in2mf1': 'gaussmf', [18.47 -0.6925]
MF2='in2mf2': 'gaussmf', [19.9 55.1619718309859]
MF3='in2mf3': 'gaussmf', [19.2 78.626643292106]

[Input3]
Name='input3'
Range=[90 1500]
NumMFs=3
MF1='in3mf1': 'gaussmf', [299 400.128342361863]
MF2='in3mf2': 'gaussmf', [300 923.234486699046]
MF3='in3mf3': 'gaussmf', [300 1386.9214521722]

[Input4]
Name='input4'
Range=[140 2200]
NumMFs=3
MF1='in4mf1': 'gaussmf', [437 186.66837574755]
```



```
MF2='in4mf2': 'gausmf', [437 1112.3657282986]  
MF3='in4mf3': 'gausmf', [438 1750.41170097508]
```

```
[Output1]
```

```
Name='output'
```

```
Range=[1 2]
```

```
NumMFs=81
```

```
MF1='out1mf1': 'constant', [5.4107599729413]  
MF2='out1mf2': 'constant', [-4.88064781849764]  
MF3='out1mf3': 'constant', [10.4221676047034]  
MF4='out1mf4': 'constant', [10.4223877263931]  
MF5='out1mf5': 'constant', [-0.726623124475867]  
MF6='out1mf6': 'constant', [39.2467254160071]  
MF7='out1mf7': 'constant', [-0.571589896482366]  
MF8='out1mf8': 'constant', [28.0788981569627]  
MF9='out1mf9': 'constant', [0.310912844477759]  
MF10='out1mf10': 'constant', [-43.8323902607779]  
MF11='out1mf11': 'constant', [-4.3791686510832]  
MF12='out1mf12': 'constant', [-1.92438820275038]  
MF13='out1mf13': 'constant', [-22.8570528172616]  
MF14='out1mf14': 'constant', [-4.20627695216403]  
MF15='out1mf15': 'constant', [-20.6585214206014]  
MF16='out1mf16': 'constant', [0.191651115082703]  
MF17='out1mf17': 'constant', [6.98733186530316]  
MF18='out1mf18': 'constant', [-0.688441354264334]  
MF19='out1mf19': 'constant', [-0.0254709670239658]  
MF20='out1mf20': 'constant', [-0.0483613507664948]  
MF21='out1mf21': 'constant', [-0.00804275270945297]  
MF22='out1mf22': 'constant', [-0.0145494144705533]  
MF23='out1mf23': 'constant', [-0.247035400436658]  
MF24='out1mf24': 'constant', [-0.418009285199733]  
MF25='out1mf25': 'constant', [0.000105478680921899]  
MF26='out1mf26': 'constant', [-0.116065459647068]  
MF27='out1mf27': 'constant', [-0.0642001684046476]  
MF28='out1mf28': 'constant', [10.1615838236261]  
MF29='out1mf29': 'constant', [69.7324209904495]  
MF30='out1mf30': 'constant', [0.479132733236743]  
MF31='out1mf31': 'constant', [-2.10662468508483]  
MF32='out1mf32': 'constant', [-0.435344603546731]  
MF33='out1mf33': 'constant', [2.59148745676419]  
MF34='out1mf34': 'constant', [0.036113883385637]  
MF35='out1mf35': 'constant', [4.22034276830791]  
MF36='out1mf36': 'constant', [0.934503464544258]  
MF37='out1mf37': 'constant', [-2.74446531518539]  
MF38='out1mf38': 'constant', [-2.44491427324735]  
MF39='out1mf39': 'constant', [0.224747608588342]  
MF40='out1mf40': 'constant', [-3.43668203725279]  
MF41='out1mf41': 'constant', [5.3180218932517]  
MF42='out1mf42': 'constant', [4.45326653233075]  
MF43='out1mf43': 'constant', [0.0324837095793664]  
MF44='out1mf44': 'constant', [-3.92666819531084]  
MF45='out1mf45': 'constant', [1.44579631945692]  
MF46='out1mf46': 'constant', [-0.00239274071145631]
```

```

MF47='out1mf47': 'constant', [-0.0260828913254343]
MF48='out1mf48': 'constant', [-0.0466597109218773]
MF49='out1mf49': 'constant', [-0.0135958059549052]
MF50='out1mf50': 'constant', [-5.75171389707274]
MF51='out1mf51': 'constant', [-9.60719435371368]
MF52='out1mf52': 'constant', [-0.00540686630375497]
MF53='out1mf53': 'constant', [-0.657999224710406]
MF54='out1mf54': 'constant', [5.36210312004418]
MF55='out1mf55': 'constant', [0.00455297977300735]
MF56='out1mf56': 'constant', [0.0188155099221607]
MF57='out1mf57': 'constant', [0.00222265941580468]
MF58='out1mf58': 'constant', [-0.00567074815841869]
MF59='out1mf59': 'constant', [0.05601683687554]
MF60='out1mf60': 'constant', [0.0923169606782284]
MF61='out1mf61': 'constant', [6.96874989259252e-05]
MF62='out1mf62': 'constant', [0.00845950404834884]
MF63='out1mf63': 'constant', [0.012774324098027]
MF64='out1mf64': 'constant', [-0.00114274167792275]
MF65='out1mf65': 'constant', [-0.000942949553812932]
MF66='out1mf66': 'constant', [-0.00352369232225119]
MF67='out1mf67': 'constant', [-0.00488442862827973]
MF68='out1mf68': 'constant', [-1.53077258445404]
MF69='out1mf69': 'constant', [-2.76441993746873]
MF70='out1mf70': 'constant', [-0.00156004804115897]
MF71='out1mf71': 'constant', [-0.112708197560709]
MF72='out1mf72': 'constant', [2.02940143048877]
MF73='out1mf73': 'constant', [-6.96003105349029e-06]
MF74='out1mf74': 'constant', [-0.00299555172350464]
MF75='out1mf75': 'constant', [-0.00558403692976242]
MF76='out1mf76': 'constant', [-0.00103080531348736]
MF77='out1mf77': 'constant', [-0.419575848501054]
MF78='out1mf78': 'constant', [-0.536980413086648]
MF79='out1mf79': 'constant', [-5.42663267508571e-05]
MF80='out1mf80': 'constant', [0.241531158036165]
MF81='out1mf81': 'constant', [0.871768528320371]

```

[Rules]

```

1 1 1 1, 1 (1) : 1
1 1 1 2, 2 (1) : 1
1 1 1 3, 3 (1) : 1
1 1 2 1, 4 (1) : 1
1 1 2 2, 5 (1) : 1
1 1 2 3, 6 (1) : 1
1 1 3 1, 7 (1) : 1
1 1 3 2, 8 (1) : 1
1 1 3 3, 9 (1) : 1
1 2 1 1, 10 (1) : 1
1 2 1 2, 11 (1) : 1
1 2 1 3, 12 (1) : 1
1 2 2 1, 13 (1) : 1
1 2 2 2, 14 (1) : 1
1 2 2 3, 15 (1) : 1
1 2 3 1, 16 (1) : 1

```

1 2 3 2, 17 (1) : 1
1 2 3 3, 18 (1) : 1
1 3 1 1, 19 (1) : 1
1 3 1 2, 20 (1) : 1
1 3 1 3, 21 (1) : 1
1 3 2 1, 22 (1) : 1
1 3 2 2, 23 (1) : 1
1 3 2 3, 24 (1) : 1
1 3 3 1, 25 (1) : 1
1 3 3 2, 26 (1) : 1
1 3 3 3, 27 (1) : 1
2 1 1 1, 28 (1) : 1
2 1 1 2, 29 (1) : 1
2 1 1 3, 30 (1) : 1
2 1 2 1, 31 (1) : 1
2 1 2 2, 32 (1) : 1
2 1 2 3, 33 (1) : 1
2 1 3 1, 34 (1) : 1
2 1 3 2, 35 (1) : 1
2 1 3 3, 36 (1) : 1
2 2 1 1, 37 (1) : 1
2 2 1 2, 38 (1) : 1
2 2 1 3, 39 (1) : 1
2 2 2 1, 40 (1) : 1
2 2 2 2, 41 (1) : 1
2 2 2 3, 42 (1) : 1
2 2 3 1, 43 (1) : 1
2 2 3 2, 44 (1) : 1
2 2 3 3, 45 (1) : 1
2 3 1 1, 46 (1) : 1
2 3 1 2, 47 (1) : 1
2 3 1 3, 48 (1) : 1
2 3 2 1, 49 (1) : 1
2 3 2 2, 50 (1) : 1
2 3 2 3, 51 (1) : 1
2 3 3 1, 52 (1) : 1
2 3 3 2, 53 (1) : 1
2 3 3 3, 54 (1) : 1
3 1 1 1, 55 (1) : 1
3 1 1 2, 56 (1) : 1
3 1 1 3, 57 (1) : 1
3 1 2 1, 58 (1) : 1
3 1 2 2, 59 (1) : 1
3 1 2 3, 60 (1) : 1
3 1 3 1, 61 (1) : 1
3 1 3 2, 62 (1) : 1
3 1 3 3, 63 (1) : 1
3 2 1 1, 64 (1) : 1
3 2 1 2, 65 (1) : 1
3 2 1 3, 66 (1) : 1
3 2 2 1, 67 (1) : 1
3 2 2 2, 68 (1) : 1
3 2 2 3, 69 (1) : 1

```

3 2 3 1, 70 (1) : 1
3 2 3 2, 71 (1) : 1
3 2 3 3, 72 (1) : 1
3 3 1 1, 73 (1) : 1
3 3 1 2, 74 (1) : 1
3 3 1 3, 75 (1) : 1
3 3 2 1, 76 (1) : 1
3 3 2 2, 77 (1) : 1
3 3 2 3, 78 (1) : 1
3 3 3 1, 79 (1) : 1
3 3 3 2, 80 (1) : 1
3 3 3 3, 81 (1) : 1

```

Підприємство мясопереробки

```

[System]
Name='MyasPerererob'
Type='sugeno'
Version=2.0
NumInputs=4
NumOutputs=1
NumRules=81
AndMethod='prod'
OrMethod='probor'
ImpMethod='prod'
AggMethod='sum'
DefuzzMethod='wtaver'

[Input1]
Name='input1'
Range=[1 15]
NumMFs=3
MF1='in1mf1': 'trapmf', [-3.9 -1.1 3.24532809148281 6.15903017362422]
MF2='in1mf2': 'trapmf', [3.17651951373142 6.04671948415017
10.1689356025787 12.9311882799651]
MF3='in1mf3': 'trapmf', [10.2639943124274 12.9695510996295 17.1 19.9]

[Input2]
Name='input2'
Range=[20 60]
NumMFs=3
MF1='in2mf1': 'trapmf', [6 14 26 45]
MF2='in2mf2': 'trapmf', [26 34 45.97 58]
MF3='in2mf3': 'trapmf', [45.9745070380181 53.9743480897385 66 74]

[Input3]
Name='input3'
Range=[600 2500]
NumMFs=3
MF1='in3mf1': 'trapmf', [-65 315 885.00621085944 1265.00787153069]
MF2='in3mf2': 'trapmf', [885 1165 1735 2215]

```

```
MF3='in3mf3': 'trapmf', [1635 2215 2785 3165]

[Input4]
Name='input4'
Range=[30 4500]
NumMFs=3
MF1='in4mf1': 'trapmf', [-1535 -640.5 700.5 1394]
MF2='in4mf2': 'trapmf', [1101 1594 2936 3730]
MF3='in4mf3': 'trapmf', [2936 3430 5171 6065]

[Output1]
Name='output'
Range=[1 3]
NumMFs=81
MF1='out1mf1': 'constant', [2.99999714521321]
MF2='out1mf2': 'constant', [0]
MF3='out1mf3': 'constant', [0]
MF4='out1mf4': 'constant', [0.0629341291756573]
MF5='out1mf5': 'constant', [0]
MF6='out1mf6': 'constant', [0]
MF7='out1mf7': 'constant', [0]
MF8='out1mf8': 'constant', [0]
MF9='out1mf9': 'constant', [0]
MF10='out1mf10': 'constant', [2.06007817510123]
MF11='out1mf11': 'constant', [2.14275171633504]
MF12='out1mf12': 'constant', [0]
MF13='out1mf13': 'constant', [1.80865093825456]
MF14='out1mf14': 'constant', [2.7918747123457]
MF15='out1mf15': 'constant', [0]
MF16='out1mf16': 'constant', [0]
MF17='out1mf17': 'constant', [0]
MF18='out1mf18': 'constant', [0]
MF19='out1mf19': 'constant', [0]
MF20='out1mf20': 'constant', [0]
MF21='out1mf21': 'constant', [0]
MF22='out1mf22': 'constant', [0]
MF23='out1mf23': 'constant', [0]
MF24='out1mf24': 'constant', [0]
MF25='out1mf25': 'constant', [0]
MF26='out1mf26': 'constant', [0]
MF27='out1mf27': 'constant', [0]
MF28='out1mf28': 'constant', [0]
MF29='out1mf29': 'constant', [0]
MF30='out1mf30': 'constant', [0]
MF31='out1mf31': 'constant', [0]
MF32='out1mf32': 'constant', [0]
MF33='out1mf33': 'constant', [0]
MF34='out1mf34': 'constant', [0]
MF35='out1mf35': 'constant', [0]
MF36='out1mf36': 'constant', [0]
MF37='out1mf37': 'constant', [1.68113879414282]
MF38='out1mf38': 'constant', [3.42224594937687]
MF39='out1mf39': 'constant', [0]
```

```

MF40='out1mf40': 'constant', [1.00014895593863]
MF41='out1mf41': 'constant', [0.999994985610113]
MF42='out1mf42': 'constant', [0]
MF43='out1mf43': 'constant', [0]
MF44='out1mf44': 'constant', [0.329515857394867]
MF45='out1mf45': 'constant', [0]
MF46='out1mf46': 'constant', [0]
MF47='out1mf47': 'constant', [0]
MF48='out1mf48': 'constant', [0]
MF49='out1mf49': 'constant', [0]
MF50='out1mf50': 'constant', [1.6175587471326]
MF51='out1mf51': 'constant', [0]
MF52='out1mf52': 'constant', [0]
MF53='out1mf53': 'constant', [0.333769746473485]
MF54='out1mf54': 'constant', [0]
MF55='out1mf55': 'constant', [0]
MF56='out1mf56': 'constant', [0]
MF57='out1mf57': 'constant', [0]
MF58='out1mf58': 'constant', [0]
MF59='out1mf59': 'constant', [0]
MF60='out1mf60': 'constant', [0]
MF61='out1mf61': 'constant', [0]
MF62='out1mf62': 'constant', [0]
MF63='out1mf63': 'constant', [0]
MF64='out1mf64': 'constant', [0]
MF65='out1mf65': 'constant', [0]
MF66='out1mf66': 'constant', [0]
MF67='out1mf67': 'constant', [0]
MF68='out1mf68': 'constant', [0.621373482417869]
MF69='out1mf69': 'constant', [0]
MF70='out1mf70': 'constant', [0]
MF71='out1mf71': 'constant', [0.128215231792344]
MF72='out1mf72': 'constant', [0]
MF73='out1mf73': 'constant', [0]
MF74='out1mf74': 'constant', [0]
MF75='out1mf75': 'constant', [0]
MF76='out1mf76': 'constant', [0]
MF77='out1mf77': 'constant', [0.665718225826383]
MF78='out1mf78': 'constant', [0]
MF79='out1mf79': 'constant', [0]
MF80='out1mf80': 'constant', [1.01373659148855]
MF81='out1mf81': 'constant', [0.999998999992386]

```

[Rules]

```

1 1 1 1, 1 (1) : 1
1 1 1 2, 2 (1) : 1
1 1 1 3, 3 (1) : 1
1 1 2 1, 4 (1) : 1
1 1 2 2, 5 (1) : 1
1 1 2 3, 6 (1) : 1
1 1 3 1, 7 (1) : 1
1 1 3 2, 8 (1) : 1
1 1 3 3, 9 (1) : 1

```

1 2 1 1, 10 (1) : 1
1 2 1 2, 11 (1) : 1
1 2 1 3, 12 (1) : 1
1 2 2 1, 13 (1) : 1
1 2 2 2, 14 (1) : 1
1 2 2 3, 15 (1) : 1
1 2 3 1, 16 (1) : 1
1 2 3 2, 17 (1) : 1
1 2 3 3, 18 (1) : 1
1 3 1 1, 19 (1) : 1
1 3 1 2, 20 (1) : 1
1 3 1 3, 21 (1) : 1
1 3 2 1, 22 (1) : 1
1 3 2 2, 23 (1) : 1
1 3 2 3, 24 (1) : 1
1 3 3 1, 25 (1) : 1
1 3 3 2, 26 (1) : 1
1 3 3 3, 27 (1) : 1
2 1 1 1, 28 (1) : 1
2 1 1 2, 29 (1) : 1
2 1 1 3, 30 (1) : 1
2 1 2 1, 31 (1) : 1
2 1 2 2, 32 (1) : 1
2 1 2 3, 33 (1) : 1
2 1 3 1, 34 (1) : 1
2 1 3 2, 35 (1) : 1
2 1 3 3, 36 (1) : 1
2 2 1 1, 37 (1) : 1
2 2 1 2, 38 (1) : 1
2 2 1 3, 39 (1) : 1
2 2 2 1, 40 (1) : 1
2 2 2 2, 41 (1) : 1
2 2 2 3, 42 (1) : 1
2 2 3 1, 43 (1) : 1
2 2 3 2, 44 (1) : 1
2 2 3 3, 45 (1) : 1
2 3 1 1, 46 (1) : 1
2 3 1 2, 47 (1) : 1
2 3 1 3, 48 (1) : 1
2 3 2 1, 49 (1) : 1
2 3 2 2, 50 (1) : 1
2 3 2 3, 51 (1) : 1
2 3 3 1, 52 (1) : 1
2 3 3 2, 53 (1) : 1
2 3 3 3, 54 (1) : 1
3 1 1 1, 55 (1) : 1
3 1 1 2, 56 (1) : 1
3 1 1 3, 57 (1) : 1
3 1 2 1, 58 (1) : 1
3 1 2 2, 59 (1) : 1
3 1 2 3, 60 (1) : 1
3 1 3 1, 61 (1) : 1
3 1 3 2, 62 (1) : 1

```

3 1 3 3, 63 (1) : 1
3 2 1 1, 64 (1) : 1
3 2 1 2, 65 (1) : 1
3 2 1 3, 66 (1) : 1
3 2 2 1, 67 (1) : 1
3 2 2 2, 68 (1) : 1
3 2 2 3, 69 (1) : 1
3 2 3 1, 70 (1) : 1
3 2 3 2, 71 (1) : 1
3 2 3 3, 72 (1) : 1
3 3 1 1, 73 (1) : 1
3 3 1 2, 74 (1) : 1
3 3 1 3, 75 (1) : 1
3 3 2 1, 76 (1) : 1
3 3 2 2, 77 (1) : 1
3 3 2 3, 78 (1) : 1
3 3 3 1, 79 (1) : 1
3 3 3 2, 80 (1) : 1
3 3 3 3, 81 (1) : 1

```

Підприємство деревопереробки

```

[System]
Name='Derevopererob'
Type='sugeno'
Version=2.0
NumInputs=3
NumOutputs=1
NumRules=27
AndMethod='prod'
OrMethod='probor'
ImpMethod='prod'
AggMethod='sum'
DefuzzMethod='wtaver'

```

```

[Input1]
Name='input1'
Range=[0.5 20]
NumMFs=3
MF1='in1mf1': 'gaussmf', [8.067 0.4384]
MF2='in1mf2': 'gaussmf', [4.385 12.05]
MF3='in1mf3': 'gaussmf', [4.45573227387033 19.8191604600064]

```

```

[Input2]
Name='input2'
Range=[10 100]
NumMFs=3
MF1='in2mf1': 'gaussmf', [19.03 6.953]
MF2='in2mf2': 'gaussmf', [29.07 55]
MF3='in2mf3': 'gaussmf', [13.1 100]

```



```
[Input3]
Name='input3'
Range=[150 1500]
NumMFs=3
MF1='in3mf1': 'gaussmf', [186.6 150]
MF2='in3mf2': 'gaussmf', [286.642206239493 824.999094076622]
MF3='in3mf3': 'gaussmf', [286.6 1200]
```

```
[Output1]
Name='output'
Range=[1 2]
NumMFs=27
MF1='out1mf1': 'constant', [1.26472170095549]
MF2='out1mf2': 'constant', [-0.840942437080683]
MF3='out1mf3': 'constant', [0.00281233773400504]
MF4='out1mf4': 'constant', [1.96311350946806]
MF5='out1mf5': 'constant', [8.43870667072729]
MF6='out1mf6': 'constant', [0.0495164950644764]
MF7='out1mf7': 'constant', [0.172982664911731]
MF8='out1mf8': 'constant', [0.0706815558094431]
MF9='out1mf9': 'constant', [-0.0152567854531671]
MF10='out1mf10': 'constant', [-1.50749912711511]
MF11='out1mf11': 'constant', [-4.43922353886467]
MF12='out1mf12': 'constant', [0.250653384579545]
MF13='out1mf13': 'constant', [6.25910501578412]
MF14='out1mf14': 'constant', [1.49170252277905]
MF15='out1mf15': 'constant', [-1.00422823882183]
MF16='out1mf16': 'constant', [-0.264823070472748]
MF17='out1mf17': 'constant', [-1.52331232426723]
MF18='out1mf18': 'constant', [0.527324715692761]
MF19='out1mf19': 'constant', [-1.05772232782676]
MF20='out1mf20': 'constant', [-0.202362174620051]
MF21='out1mf21': 'constant', [0.0700199698486308]
MF22='out1mf22': 'constant', [-3.134570322125]
MF23='out1mf23': 'constant', [7.52278907325286]
MF24='out1mf24': 'constant', [-0.603130610250379]
MF25='out1mf25': 'constant', [-0.0152874050855811]
MF26='out1mf26': 'constant', [2.33564301003418]
MF27='out1mf27': 'constant', [1.04783166291035]
```

```
[Rules]
1 1 1, 1 (1) : 1
1 1 2, 2 (1) : 1
1 1 3, 3 (1) : 1
1 2 1, 4 (1) : 1
1 2 2, 5 (1) : 1
1 2 3, 6 (1) : 1
1 3 1, 7 (1) : 1
1 3 2, 8 (1) : 1
1 3 3, 9 (1) : 1
2 1 1, 10 (1) : 1
2 1 2, 11 (1) : 1
```

```

2 1 3, 12 (1) : 1
2 2 1, 13 (1) : 1
2 2 2, 14 (1) : 1
2 2 3, 15 (1) : 1
2 3 1, 16 (1) : 1
2 3 2, 17 (1) : 1
2 3 3, 18 (1) : 1
3 1 1, 19 (1) : 1
3 1 2, 20 (1) : 1
3 1 3, 21 (1) : 1
3 2 1, 22 (1) : 1
3 2 2, 23 (1) : 1
3 2 3, 24 (1) : 1
3 3 1, 25 (1) : 1
3 3 2, 26 (1) : 1
3 3 3, 27 (1) : 1

```

Підприємство малої металургії

```

[System]
Name='MalMet'
Type='sugeno'
Version=2.0
NumInputs=3
NumOutputs=1
NumRules=27
AndMethod='prod'
OrMethod='probor'
ImpMethod='prod'
AggMethod='sum'
DefuzzMethod='wtaver'

[Input1]
Name='input1'
Range=[2 10]
NumMFs=3
MF1='in1mf1':'gbellmf',[2 2 2]
MF2='in1mf2':'gbellmf',[2 2 6]
MF3='in1mf3':'gbellmf',[2 2 10]

[Input2]
Name='input2'
Range=[0.01 0.05]
NumMFs=3
MF1='in2mf1':'gbellmf',[0.01 2 0.01]
MF2='in2mf2':'gbellmf',[0.01 2 0.03]
MF3='in2mf3':'gbellmf',[0.01 2 0.05]

[Input3]
Name='input3'
Range=[50 400]

```

```

NumMFs=3
MF1='in3mf1': 'gbellmf', [87.5 2 50]
MF2='in3mf2': 'gbellmf', [87.5 2 225]
MF3='in3mf3': 'gbellmf', [87.5 2 400]

```

```
[Output1]
```

```
Name='output'
```

```
Range=[1 2]
```

```
NumMFs=27
```

```

MF1='out1mf1': 'constant', [2.09514414519287]
MF2='out1mf2': 'constant', [0.595441886256173]
MF3='out1mf3': 'constant', [0.0228567058229253]
MF4='out1mf4': 'constant', [2.64719559440474]
MF5='out1mf5': 'constant', [-0.0241299134585137]
MF6='out1mf6': 'constant', [0.00616633240639351]
MF7='out1mf7': 'constant', [1.08267273374993]
MF8='out1mf8': 'constant', [0.430442516135252]
MF9='out1mf9': 'constant', [0.0179208131142631]
MF10='out1mf10': 'constant', [1.82008349846848]
MF11='out1mf11': 'constant', [0.194640263724965]
MF12='out1mf12': 'constant', [0.0101060979323146]
MF13='out1mf13': 'constant', [0.584005301297967]
MF14='out1mf14': 'constant', [0.0757030733392925]
MF15='out1mf15': 'constant', [0.0083054938014067]
MF16='out1mf16': 'constant', [0.785880138636394]
MF17='out1mf17': 'constant', [1.34928570605692]
MF18='out1mf18': 'constant', [0.120339920703936]
MF19='out1mf19': 'constant', [0.0539693615734892]
MF20='out1mf20': 'constant', [0.00703212672110159]
MF21='out1mf21': 'constant', [0.0048862108188196]
MF22='out1mf22': 'constant', [0.0221733553757563]
MF23='out1mf23': 'constant', [0.0081461497414618]
MF24='out1mf24': 'constant', [0.0691870225205402]
MF25='out1mf25': 'constant', [0.0290395810112398]
MF26='out1mf26': 'constant', [0.142103273558301]
MF27='out1mf27': 'constant', [1.17541637912919]

```

```
[Rules]
```

```

1 1 1, 1 (1) : 1
1 1 2, 2 (1) : 1
1 1 3, 3 (1) : 1
1 2 1, 4 (1) : 1
1 2 2, 5 (1) : 1
1 2 3, 6 (1) : 1
1 3 1, 7 (1) : 1
1 3 2, 8 (1) : 1
1 3 3, 9 (1) : 1
2 1 1, 10 (1) : 1
2 1 2, 11 (1) : 1
2 1 3, 12 (1) : 1
2 2 1, 13 (1) : 1
2 2 2, 14 (1) : 1
2 2 3, 15 (1) : 1

```

2 3 1, 16 (1) : 1
2 3 2, 17 (1) : 1
2 3 3, 18 (1) : 1
3 1 1, 19 (1) : 1
3 1 2, 20 (1) : 1
3 1 3, 21 (1) : 1
3 2 1, 22 (1) : 1
3 2 2, 23 (1) : 1
3 2 3, 24 (1) : 1
3 3 1, 25 (1) : 1
3 3 2, 26 (1) : 1
3 3 3, 27 (1) : 1

ДОДАТОК Т

**Нормовані дані формування значень вагових коефіцієнтів НКК моделювання енергоефективності водоочищення
(інформація від ІВК)**

№ п/п	Нітрати, мг/л		Фосфати, мг/л		рН		БСК, мг/л		СПАР, мг/л		Завислі частинки, мг/л		Витрати, м.куб/доба	Витрати енергії, кВт*год	Температура, град. Цельсія	Фінансові витрати, у.о.	ЕFy, %/кВт
	Вхід	Вихід	Вхід	Вихід	Вхід	Вихід	Вхід	Вихід	Вхід	Вихід	Вхід	Вихід					
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>	<i>9</i>	<i>10</i>	<i>11</i>	<i>12</i>	<i>13</i>	<i>14</i>	<i>15</i>	<i>16</i>	<i>17</i>	<i>18</i>
1	0,667	-0,405	-0,407	-0,636	-0,864	-0,846	-0,154	-0,170	-0,308	0,250	0,103	0,000	-0,636	-0,500	-0,880	-0,500	0,311
2	1,000	-0,027	-0,778	-1,000	0,909	-0,538	-0,692	-0,623	0,923	0,500	-1,000	-0,824	0,818	0,375	0,920	0,375	-0,489
3	0,826	0,622	-0,037	-0,818	0,727	-0,385	-0,808	-0,585	1,000	-0,250	-0,979	-0,882	0,727	0,250	0,560	0,250	-0,512
4	0,167	0,730	-0,926	-1,000	0,636	-0,077	-0,346	-1,000	-0,769	0,000	-0,942	-0,471	-0,455	-0,375	0,040	-0,375	-0,687
5	0,451	0,622	-0,704	-0,818	0,545	-0,231	-0,308	-1,000	0,923	0,250	-0,958	-0,765	0,364	0,125	1,000	0,125	-0,452
6	-1,000	-1,000	0,926	1,000	-0,818	-1,000	0,808	0,132	-1,000	-1,000	0,842	-0,412	0,636	0,250	0,200	0,250	0,999
7	0,903	0,676	-0,778	-0,818	0,500	-0,538	-1,000	-0,925	0,692	0,250	-0,979	-0,882	-0,545	-1,000	-0,720	-1,000	-1,000
8	-0,007	0,405	0,037	-0,455	-0,364	-1,000	0,269	0,057	-0,769	-1,000	-0,108	-0,941	0,000	-0,375	-0,400	-0,375	-0,452
9	0,063	0,568	-0,037	-0,818	-0,227	-0,385	0,346	-0,019	-0,692	-0,500	0,103	-0,706	0,182	-0,250	0,880	-0,250	-0,379
10	0,097	0,459	-0,259	-0,818	0,045	-0,692	0,154	0,019	-0,615	-0,500	-0,055	-0,765	0,727	0,250	-0,040	0,250	-0,334
11	-0,944	-0,459	0,704	-0,455	0,955	0,231	0,808	0,019	0,923	-0,250	0,894	-0,529	0,000	0,000	-0,960	0,000	0,043
12	0,792	0,297	-1,000	-1,000	-0,818	-1,000	-0,923	-0,736	-0,923	-1,000	0,525	0,235	-0,727	-0,500	0,000	-0,500	-0,776
13	0,722	0,838	1,000	-0,455	0,591	-0,231	0,615	-0,358	-0,462	1,000	-0,161	-0,588	0,909	0,625	-0,520	0,625	0,558
14	0,292	-0,730	-0,844	-0,818	0,591	-0,385	0,731	-0,283	-0,308	-0,250	0,208	0,824	0,455	0,250	0,280	0,250	0,257
15	0,736	0,568	-0,726	-1,000	-0,591	-0,077	0,615	0,019	0,308	-0,500	-0,188	-0,824	0,091	0,125	-0,160	0,125	-0,509
16	0,563	-0,189	-0,126	-0,818	0,136	-0,846	0,923	0,321	0,000	0,000	0,472	0,471	-0,273	-0,375	0,000	-0,375	0,642
17	0,500	0,892	-0,630	-0,818	0,000	-0,692	-0,154	-0,057	0,385	-0,500	0,683	-0,824	-0,545	-0,375	0,560	-0,375	-0,439
18	-0,056	1,000	0,711	-0,636	0,909	-1,000	0,423	-0,434	-0,692	0,500	-0,256	-0,824	-0,455	-0,500	-0,280	-0,500	0,085
19	0,382	0,622	-0,104	-0,455	0,273	-0,231	0,038	-0,170	0,923	0,250	-0,984	-0,824	0,636	0,500	0,640	0,500	0,220
20	0,771	0,081	0,030	-1,000	-0,818	-0,077	-0,038	0,434	0,308	-0,250	0,103	1,000	0,273	0,125	-0,320	0,125	0,726
21	-0,646	0,622	0,363	-0,091	0,364	-1,000	0,731	0,245	0,231	-0,500	-0,583	-0,765	0,000	-0,250	-0,640	-0,250	0,508
22	0,313	-0,459	-0,430	-0,455	-0,455	-0,077	0,231	0,811	1,000	0,250	-0,467	-0,941	0,545	0,375	-0,200	0,375	0,338

Продовження ДОДАТКУ Т

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
23	-0,479	0,135	0,837	-0,636	0,000	0,692	0,538	0,660	0,000	0,500	0,040	-0,882	0,000	0,125	-0,240	0,125	0,432
24	-0,229	1,000	-0,533	-1,000	0,682	0,846	0,077	0,736	-0,154	0,000	0,240	-0,706	0,273	0,250	-0,720	0,250	0,230
25	-0,757	0,351	0,496	0,091	-0,864	-0,385	0,231	0,396	0,154	-0,500	-0,599	-0,824	-0,364	-0,375	0,600	-0,375	0,743
26	0,840	-0,459	0,511	-0,818	-0,727	-0,077	1,000	0,208	0,615	0,000	-0,931	-1,000	0,091	-0,250	-0,840	-0,250	-0,488
27	-0,688	-0,405	0,511	-0,636	0,455	-0,846	0,769	0,811	-0,231	-0,750	-0,446	-0,824	0,273	0,375	-0,560	0,375	-0,148
28	-0,389	0,081	0,081	-0,636	-0,591	-0,538	0,346	1,000	0,154	-1,000	0,451	-0,647	0,545	0,625	-0,640	0,625	0,055
29	-0,139	0,730	-0,015	-0,818	-0,409	-0,231	0,231	0,623	-0,462	0,000	-0,230	-0,765	0,091	0,250	-0,760	0,250	0,203
30	0,965	-0,189	-0,504	-1,000	0,455	-1,000	-0,115	0,245	-0,154	0,250	1,000	-0,412	0,909	0,875	0,960	0,875	-0,031
31	0,465	0,135	0,578	-0,636	-0,455	0,077	0,692	0,019	0,154	0,500	-0,689	-0,765	0,364	0,250	1,000	0,250	0,180
32	0,667	0,568	-0,022	-0,455	0,182	1,000	0,769	-0,019	-0,308	-0,250	-0,266	-0,588	0,455	0,625	0,480	0,625	0,253
33	-0,514	0,730	-0,207	-0,636	0,773	0,846	0,423	-0,057	0,385	0,000	0,704	-0,824	1,000	0,750	0,160	0,750	0,095
34	-0,299	-0,676	0,793	-0,091	0,682	0,385	0,038	0,057	0,308	0,500	0,335	-0,765	-0,182	0,250	0,840	0,250	0,515
35	0,500	1,000	0,941	-0,818	-0,864	-0,846	0,846	0,019	0,923	-0,250	-0,024	-1,000	-0,818	0,000	0,120	0,000	-0,292
36	0,354	0,838	0,363	-0,273	-0,955	-0,385	-0,077	0,170	0,615	0,000	-0,931	-0,941	-0,182	0,500	0,760	0,500	0,503
37	-0,458	0,243	0,637	-0,818	1,000	-0,846	0,538	-0,019	0,923	0,250	0,303	-0,647	0,000	-0,375	-0,280	-0,375	-0,012
38	-0,257	0,189	0,496	-0,636	0,818	-1,000	0,192	0,057	1,000	-0,750	-0,140	-0,824	0,000	0,875	-0,240	0,875	-0,249
39	0,944	0,189	-0,652	-1,000	-0,409	-0,385	0,231	-0,132	0,769	0,500	-0,815	-0,882	0,455	1,000	0,280	1,000	-0,544
40	0,007	-0,189	-0,422	-0,818	0,727	-0,538	0,577	0,057	-0,692	-0,500	-0,098	-0,824	-0,636	-0,750	-0,400	-0,750	-0,742
41	-0,674	0,568	0,422	-0,636	0,591	-0,846	0,077	-0,358	-0,692	0,000	0,208	-0,412	-0,091	-0,500	0,840	-0,500	0,080
42	0,507	-0,351	0,844	-0,455	-0,682	-1,000	-0,115	-0,170	-0,154	0,250	0,694	-0,706	0,091	0,500	-0,760	0,500	0,028
43	0,590	-0,676	0,044	0,455	-0,273	-0,231	-0,154	0,283	-0,615	0,000	-0,288	-0,471	0,273	0,000	-0,200	0,000	0,963
44	0,924	-0,676	-0,281	-0,818	1,000	0,692	0,192	0,019	0,615	0,250	-0,129	-0,824	0,636	0,500	-0,520	0,500	-0,191
45	-0,521	-0,622	0,963	-0,636	-1,000	-1,000	0,346	-0,057	0,692	-0,500	0,398	-0,824	0,727	0,875	0,080	0,875	-0,354
46	-0,243	0,135	-0,281	-0,818	-0,136	-0,692	0,615	0,396	0,846	-0,500	-0,963	-0,941	-0,545	1,000	0,600	1,000	-0,493
47	0,049	-0,351	-0,081	-0,636	0,273	-0,538	0,385	0,434	0,154	-0,750	0,208	-0,882	-0,273	-0,375	0,080	-0,375	-0,442
48	-0,569	-0,405	0,793	-0,818	0,545	-0,231	0,115	-0,019	-0,615	-0,250	-0,055	-0,588	-1,000	-0,250	0,360	-0,250	-0,518
49	-0,681	-0,351	-0,511	-0,818	-0,136	-1,000	0,308	0,019	0,923	0,000	0,768	-0,765	-0,091	-0,500	0,680	-0,500	-0,447

ДОДАТОК У

**Програмне забезпечення (ініціалізація) адаптивної корекції НКК
моделювання енергоефективності водоочищення на мові програмування "C
++" (інформація від вимірювальних комплексів)**

```

#include <stdio.h>
#include <math.h>
#include <string.h>
#include <stdlib.h>
#ifndef FALSE
#define FALSE 0
#define TRUE 1
#endif
#define MENUCODE -999
static double NNCode05Thresholds[] =
{
/* layer 1 */
1, 1, 1, 1,
1, 1,
/* layer 2 */
1.7362729650112549, 1.084596752510341
};
static double NNCode05Weights[] =
{
/* layer 1 */
0.15884476534296027, 0.27027027027027029, 0.78076923076923066, 0.59090909090909094,
0.085365853658536744, 0.11538461538461567, 0.78000000000000003, 0.78301886792452824,
0.28846153846153844, 0, 0.8660968660968662, 0.31999999999999995,
0.97222222222222221, 0.73076923076923073, 0.37755102040816291,
0.62257958647850342, 0.51105651105651106, 0.49265734265734262, 0.18181818181818191,
0.35476718403547669, 0.29370629370629397, 0.63818181818181818, 0.57118353344768424,
0.37412587412587411, 0.4242424242424242, 0.46407666407666409, 0.29818181818181816,
0.46969696969696967, 0.30769230769230765, 0.46938775510204062,
0.31407942238267145, 0.80180180180180172, 0.82564102564102548, 0.15151515151515157,
0.91056910569105687, 0.051282051282051579, 0.66000000000000003, 0.3647798742138364,
0.42307692307692307, 0.83333333333333337, 0.5631528964862299, 0.25333333333333333,
0.49999999999999994, 0.17948717948717952, 0.5374149659863946,
0.75451263537906132, 0.81081081081081074, 0.15384615384615385, 0.090909090909090939,
0.75609756097560976, 0.38461538461538469, 0.32000000000000006, 0,
0.96153846153846168, 0.83333333333333326, 1.1102230246251565e-016, 0.16000000000000003,
0.83333333333333337, 0.53846153846153844, 1,
0.19043321299638988, 0.49324324324324331, 0.78846153846153832, 0.27272727272727282,
0.81097560975609739, 0.17307692307692335, 0.80500000000000005, 0.64150943396226401,
0.74038461538461542, 0.29166666666666669, 0.48005698005698005, 0.17999999999999999,
0.65277777777777779, 0.61538461538461542, 0.18367346938775486,
0.74819494584837543, 0.41891891891891897, 0.65769230769230758, 0.25000000000000006,
0.65243902439024382, 0.76923076923076961, 0.70000000000000007, 0.50943396226415083,

```

0.59615384615384626, 0.83333333333333326, 0.41595441595441601, 0.18000000000000002,
0.8055555555555558, 0.71153846153846145, 0.71938775510204067,

/* layer 2 */

6.1635532010855156, -5.1920455253574094, -3.7719364821080505, 1.4775248615183749,
4.6685555816420736, 8.6726781767146388,
7.3964907405359792, -2.8865534598651252, 2.6402263097888445, -1.9280334864061364,
-1.7793362832156241, 4.2743611230434269

};

ДОДАТОК Ф

Експериментально-експертні дані блок адаптивного формування НКК

№ п/п	ЕFu, %/кВт	Фінансові витрати, у.о./доба	Дуги когнітивної карти моделювання водоочистки																	
			Експерт 1						Експерт 2						Експерт 3					
			Е1-У1	Е1-У2	Е2-У1	Е2-У2	Е3-У1	Е3-У2	Е1-У1	Е1-У2	Е2-У1	Е2-У2	Е4-У1	Е4-У2	Е1-У1	Е1-У2	Е2-У1	Е2-У2	Е4-У1	Е4-У2
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
1	0,0017	0,05	-0,73	0,77	-0,76	0,82	-0,84	-0,91	-0,75	0,77	-0,82	0,8	-0,86	-0,87	-0,78	0,79	-0,85	0,77	-0,92	-0,93
	0,0017	0,05	-0,74	0,78	-0,75	0,83	-0,83	-0,92	-0,76	0,76	-0,83	0,81	-0,87	-0,86	-0,79	0,8	-0,86	0,75	-0,91	-0,94
	0,0017	0,05	-0,75	0,79	-0,73	0,84	-0,82	-0,93	-0,77	0,78	-0,85	0,83	-0,85	-0,85	-0,8	0,81	-0,87	0,76	-0,93	-0,92
2	-0,0061	0,07	-0,76	0,83	-0,74	0,77	-0,84	-0,94	-0,79	0,84	-0,87	0,75	-0,84	-0,86	-0,83	0,68	-0,82	0,78	-0,91	-0,93
	-0,0061	0,07	-0,75	0,84	-0,75	0,79	-0,85	-0,95	-0,8	0,85	-0,88	0,76	-0,83	-0,87	-0,84	0,67	-0,83	0,79	-0,9	-0,94
	-0,0061	0,07	-0,75	0,85	-0,76	0,78	-0,83	-0,96	-0,81	0,86	-0,89	0,77	-0,85	-0,88	-0,85	0,66	-0,81	0,8	-0,92	-0,92
3	-0,0063	0,06	-0,79	0,79	-0,8	0,84	-0,82	-0,98	-0,79	0,85	-0,77	0,76	-0,84	-0,87	-0,8	0,65	-0,75	0,76	-0,93	-0,9
	-0,0063	0,06	-0,8	0,78	-0,81	0,85	-0,83	-0,97	-0,81	0,86	-0,78	0,74	-0,83	-0,86	-0,82	0,63	-0,74	0,78	-0,92	-0,89
	-0,0063	0,06	-0,81	0,78	-0,82	0,86	-0,84	-0,96	-0,8	0,87	-0,79	0,78	-0,82	-0,88	-0,83	0,64	-0,73	0,8	-0,94	-0,88
4	-0,0080	0,05	-0,78	0,83	-0,85	0,74	-0,83	-0,98	-0,69	0,81	-0,68	0,81	-0,88	-0,83	-0,74	0,63	-0,83	0,78	-0,92	-0,84
	-0,0080	0,05	-0,77	0,84	-0,86	0,73	-0,84	-0,96	-0,68	0,8	-0,67	0,82	-0,89	-0,84	-0,73	0,65	-0,84	0,79	-0,93	-0,85
	-0,0080	0,05	-0,76	0,85	-0,86	0,72	-0,85	-0,97	-0,67	0,79	-0,69	0,83	-0,87	-0,85	-0,72	0,66	-0,85	0,77	-0,94	-0,86
5	-0,0058	0,06	-0,65	0,78	-0,69	0,84	-0,84	-0,96	-0,79	0,83	-0,77	0,77	-0,86	-0,84	-0,68	0,63	-0,65	0,82	-0,93	-0,88
	-0,0058	0,06	-0,64	0,79	-0,7	0,85	-0,85	-0,95	-0,8	0,84	-0,79	0,76	-0,87	-0,83	-0,69	0,64	-0,66	0,83	-0,94	-0,89
	-0,0058	0,06	-0,66	0,8	-0,71	0,86	-0,83	-0,97	-0,81	0,85	-0,8	0,75	-0,85	-0,85	-0,7	0,65	-0,67	0,84	-0,92	-0,9
6	0,0084	0,06	-0,75	0,75	-0,65	0,79	-0,84	-0,96	-0,68	0,84	-0,78	0,69	-0,84	-0,86	-0,83	0,71	-0,76	0,8	-0,92	-0,91
	0,0084	0,06	-0,76	0,76	-0,66	0,8	-0,85	-0,95	-0,69	0,85	-0,79	0,68	-0,83	-0,87	-0,84	0,72	-0,77	0,81	-0,91	-0,92
	0,0084	0,06	-0,77	0,77	-0,67	0,81	-0,86	-0,94	-0,7	0,87	-0,77	0,67	-0,86	-0,88	-0,85	0,73	-0,78	0,82	-0,93	-0,93
7	-0,0111	0,03	-0,78	0,78	-0,69	0,83	-0,84	-0,96	-0,75	0,8	-0,65	0,72	-0,87	-0,85	-0,75	0,68	-0,69	0,78	-0,92	-0,9
	-0,0111	0,03	-0,79	0,79	-0,71	0,84	-0,83	-0,97	-0,74	0,78	-0,64	0,71	-0,88	-0,86	-0,74	0,67	-0,68	0,77	-0,93	-0,89
	-0,0111	0,03	-0,8	0,8	-0,72	0,86	-0,85	-0,98	-0,73	0,79	-0,63	0,73	-0,86	-0,87	-0,73	0,65	-0,67	0,76	-0,91	-0,88

Продовження ДОДАТКУ Ф

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
8	-0,0058	0,05	-0,77	0,65	-0,76	0,67	-0,78	-0,96	-0,65	0,62	-0,7	0,82	-0,83	-0,88	-0,64	0,71	-0,71	0,77	-0,95	-0,92
	-0,0058	0,05	-0,75	0,66	-0,75	0,66	-0,77	-0,95	-0,64	0,63	-0,73	0,81	-0,84	-0,86	-0,65	0,73	-0,72	0,78	-0,94	-0,93
	-0,0058	0,05	-0,73	0,67	-0,73	0,65	-0,76	-0,94	-0,63	0,64	-0,74	0,8	-0,85	-0,87	-0,63	0,72	-0,73	0,79	-0,96	-0,94
9	-0,0050	0,05	-0,75	0,68	-0,74	0,62	-0,8	-0,95	-0,73	0,68	-0,68	0,75	-0,86	-0,88	-0,7	0,78	-0,84	0,69	-0,86	-0,92
	-0,0050	0,05	-0,78	0,71	-0,75	0,63	-0,81	-0,96	-0,74	0,69	-0,67	0,74	-0,87	-0,87	-0,69	0,79	-0,83	0,7	-0,87	-0,93
	-0,0050	0,05	-0,77	0,72	-0,76	0,64	-0,82	-0,97	-0,75	0,7	-0,69	0,73	-0,85	-0,89	-0,68	0,8	-0,85	0,71	-0,85	-0,94
10	-0,0046	0,06	-0,69	0,78	-0,84	0,7	-0,83	-0,96	-0,7	0,78	-0,65	0,86	-0,84	-0,88	-0,84	0,7	-0,85	0,76	-0,88	-0,96
	-0,0046	0,06	-0,7	0,79	-0,85	0,71	-0,84	-0,97	-0,69	0,79	-0,64	0,84	-0,83	-0,87	-0,85	0,73	-0,84	0,77	-0,87	-0,97
	-0,0046	0,06	-0,71	0,8	-0,86	0,72	-0,85	-0,98	-0,68	0,8	-0,63	0,85	-0,85	-0,86	-0,86	0,74	-0,83	0,78	-0,89	-0,98
11	-0,0009	0,06	-0,84	0,72	-0,75	0,86	-0,88	-0,97	-0,71	0,85	-0,7	0,68	-0,84	-0,8	-0,8	0,76	-0,78	0,74	-0,9	-0,91
	-0,0009	0,06	-0,86	0,73	-0,76	0,87	-0,9	-0,96	-0,72	0,84	-0,71	0,69	-0,85	-0,79	-0,81	0,77	-0,77	0,73	-0,91	-0,92
	-0,0009	0,06	-0,85	0,74	-0,74	0,89	-0,89	-0,95	-0,73	0,86	-0,72	0,7	-0,83	-0,78	-0,82	0,75	-0,76	0,72	-0,89	-0,93
12	-0,0089	0,05	-0,8	0,75	-0,81	0,8	-0,88	-0,96	-0,68	0,75	-0,69	0,8	-0,85	-0,8	-0,76	0,82	-0,79	0,69	-0,9	-0,92
	-0,0089	0,05	-0,81	0,77	-0,82	0,81	-0,87	-0,95	-0,69	0,76	-0,7	0,81	-0,86	-0,79	-0,75	0,83	-0,8	0,67	-0,89	-0,93
	-0,0089	0,05	-0,82	0,76	-0,83	0,82	-0,86	-0,94	-0,7	0,77	-0,71	0,82	-0,87	-0,78	-0,77	0,84	-0,81	0,68	-0,88	-0,94
13	0,0041	0,07	-0,78	0,81	-0,77	0,75	-0,88	-0,91	-0,65	0,81	-0,84	0,74	-0,86	-0,8	-0,68	0,74	-0,71	0,84	-0,89	-0,88
	0,0041	0,07	-0,77	0,82	-0,76	0,76	-0,87	-0,9	-0,64	0,82	-0,85	0,75	-0,85	-0,81	-0,67	0,73	-0,7	0,85	-0,9	-0,89
	0,0041	0,07	-0,76	0,83	-0,75	0,77	-0,86	-0,92	-0,63	0,83	-0,86	0,76	-0,87	-0,79	-0,65	0,75	-0,69	0,86	-0,91	-0,9
14	0,0012	0,06	-0,65	0,75	-0,68	0,82	-0,88	-0,93	-0,71	0,74	-0,72	0,85	-0,85	-0,81	-0,74	0,85	-0,74	0,78	-0,89	-0,85
	0,0012	0,06	-0,64	0,74	-0,67	0,83	-0,9	-0,94	-0,73	0,75	-0,73	0,84	-0,83	-0,82	-0,75	0,86	-0,75	0,79	-0,88	-0,86
	0,0012	0,06	-0,63	0,73	-0,66	0,85	-0,89	-0,95	-0,72	0,76	-0,74	0,86	-0,84	-0,8	-0,73	0,87	-0,76	0,8	-0,87	-0,84
15	-0,0063	0,06	-0,78	0,68	-0,64	0,74	-0,9	-0,93	-0,71	0,84	-0,8	0,79	-0,86	-0,81	-0,63	0,83	-0,72	0,66	-0,9	-0,85
	-0,0063	0,06	-0,77	0,69	-0,63	0,75	-0,91	-0,94	-0,72	0,85	-0,81	0,78	-0,84	-0,83	-0,64	0,84	-0,71	0,65	-0,91	-0,86
	-0,0063	0,06	-0,76	0,7	-0,62	0,76	-0,89	-0,95	-0,73	0,86	-0,82	0,77	-0,85	-0,82	-0,65	0,85	-0,73	0,67	-0,91	-0,87
16	0,0049	0,05	-0,6	0,79	-0,75	0,79	-0,91	-0,96	-0,75	0,88	-0,75	0,71	-0,86	-0,83	-0,75	0,83	-0,75	0,74	-0,89	-0,85
	0,0049	0,05	-0,61	0,78	-0,73	0,8	-0,92	-0,97	-0,76	0,89	-0,76	0,7	-0,87	-0,84	-0,74	0,81	-0,76	0,75	-0,87	-0,86
	0,0049	0,05	-0,62	0,77	-0,74	0,81	-0,92	-0,95	-0,77	0,9	-0,75	0,72	-0,88	-0,82	-0,73	0,82	-0,75	0,76	-0,88	-0,84

Продовження ДОДАТКУ Ф

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
17	-0,0056	0,05	-0,72	0,69	-0,79	0,65	-0,95	-0,94	-0,8	0,75	-0,78	0,76	-0,85	-0,83	-0,68	0,8	-0,66	0,79	-0,86	-0,86
	-0,0056	0,05	-0,73	0,7	-0,8	0,66	-0,96	-0,95	-0,81	0,76	-0,79	0,77	-0,84	-0,84	-0,69	0,79	-0,67	0,8	-0,84	-0,87
	-0,0056	0,05	-0,74	0,68	-0,81	0,67	-0,97	-0,96	-0,82	0,77	-0,8	0,78	-0,86	-0,82	-0,7	0,78	-0,68	0,81	-0,85	-0,88
18	-0,0005	0,05	-0,76	0,72	-0,76	0,68	-0,94	-0,98	-0,84	0,82	-0,81	0,81	-0,85	-0,83	-0,75	0,8	-0,72	0,83	-0,84	-0,87
	-0,0005	0,05	-0,77	0,73	-0,77	0,69	-0,95	-0,97	-0,85	0,83	-0,82	0,82	-0,86	-0,84	-0,76	0,81	-0,73	0,84	-0,83	-0,88
	-0,0005	0,05	-0,78	0,74	-0,78	0,7	-0,96	-0,99	-0,86	0,84	-0,83	0,83	-0,87	-0,85	-0,77	0,82	-0,74	0,85	-0,85	-0,86
19	0,0008	0,07	-0,81	0,8	-0,82	0,75	-0,95	-0,97	-0,82	0,75	-0,74	0,78	-0,88	-0,86	-0,69	0,72	-0,78	0,68	-0,86	-0,88
	0,0008	0,07	-0,82	0,81	-0,83	0,76	-0,94	-0,96	-0,83	0,76	-0,75	0,79	-0,87	-0,85	-0,68	0,73	-0,79	0,69	-0,87	-0,89
	0,0008	0,07	-0,83	0,82	-0,83	0,77	-0,93	-0,95	-0,81	0,77	-0,76	0,8	-0,86	-0,87	-0,7	0,74	-0,8	0,7	-0,85	-0,87
20	0,0057	0,06	-0,65	0,78	-0,76	0,81	-0,91	-0,94	-0,74	0,8	-0,78	0,85	-0,85	-0,86	-0,71	0,85	-0,84	0,75	-0,85	-0,85
	0,0057	0,06	-0,63	0,77	-0,77	0,82	-0,9	-0,93	-0,73	0,79	-0,79	0,86	-0,86	-0,85	-0,72	0,86	-0,85	0,76	-0,86	-0,86
	0,0057	0,06	-0,64	0,79	-0,78	0,83	-0,89	-0,92	-0,75	0,78	-0,8	0,87	-0,84	-0,84	-0,73	0,87	-0,86	0,77	-0,84	-0,87
21	0,0036	0,05	-0,72	0,81	-0,81	0,74	-0,91	-0,95	-0,81	0,83	-0,78	0,83	-0,83	-0,86	-0,85	0,75	-0,75	0,81	-0,85	-0,85
	0,0036	0,05	-0,73	0,83	-0,82	0,75	-0,92	-0,96	-0,82	0,84	-0,79	0,84	-0,84	-0,88	-0,86	0,76	-0,76	0,82	-0,86	-0,86
	0,0036	0,05	-0,74	0,82	-0,83	0,76	-0,9	-0,94	-0,83	0,85	-0,8	0,85	-0,85	-0,87	-0,87	0,77	-0,77	0,83	-0,84	-0,87
22	0,0020	0,07	-0,69	0,77	-0,69	0,8	-0,92	-0,94	-0,84	0,75	-0,65	0,77	-0,86	-0,86	-0,81	0,8	-0,68	0,86	-0,84	-0,88
	0,0020	0,07	-0,68	0,76	-0,68	0,81	-0,93	-0,95	-0,85	0,76	-0,66	0,78	-0,87	-0,85	-0,82	0,82	-0,67	0,87	-0,83	-0,87
	0,0020	0,07	-0,67	0,75	-0,67	0,82	-0,94	-0,96	-0,86	0,77	-0,67	0,79	-0,85	-0,84	-0,83	0,81	-0,66	0,85	-0,82	-0,86
23	0,0029	0,06	-0,72	0,8	-0,72	0,79	-0,93	-0,89	-0,75	0,74	-0,72	0,81	-0,84	-0,83	-0,74	0,69	-0,75	0,74	-0,83	-0,87
	0,0029	0,06	-0,73	0,82	-0,73	0,8	-0,92	-0,88	-0,74	0,73	-0,73	0,82	-0,85	-0,84	-0,73	0,7	-0,76	0,75	-0,84	-0,88
	0,0029	0,06	-0,74	0,81	-0,74	0,81	-0,91	-0,87	-0,76	0,75	-0,74	0,83	-0,86	-0,85	-0,72	0,71	-0,77	0,76	-0,85	-0,86
24	0,0009	0,06	-0,75	0,79	-0,78	0,75	-0,92	-0,91	-0,83	0,67	-0,81	0,75	-0,88	-0,84	-0,76	0,78	-0,71	0,71	-0,89	-0,82
	0,0009	0,06	-0,74	0,78	-0,79	0,74	-0,93	-0,92	-0,84	0,68	-0,82	0,76	-0,89	-0,83	-0,77	0,79	-0,7	0,73	-0,88	-0,83
	0,0009	0,06	-0,73	0,77	-0,77	0,73	-0,91	-0,93	-0,85	0,69	-0,83	0,77	-0,87	-0,85	-0,78	0,8	-0,69	0,74	-0,87	-0,81
25	0,0059	0,05	-0,76	0,81	-0,82	0,69	-0,87	-0,94	-0,79	0,72	-0,8	0,83	-0,88	-0,86	-0,68	0,81	-0,72	0,76	-0,93	-0,94
	0,0059	0,05	-0,77	0,82	-0,83	0,68	-0,88	-0,93	-0,78	0,73	-0,79	0,84	-0,89	-0,87	-0,67	0,82	-0,73	0,77	-0,92	-0,95
	0,0059	0,05	-0,78	0,83	-0,84	0,67	-0,86	-0,95	-0,77	0,74	-0,81	0,85	-0,87	-0,88	-0,66	0,83	-0,74	0,78	-0,94	-0,93

Продовження ДОДАТКУ Ф

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
26	-0,0061	0,05	-0,77	0,79	-0,76	0,78	-0,89	-0,96	-0,8	0,8	-0,76	0,81	-0,84	-0,87	-0,76	0,84	-0,75	0,69	-0,93	-0,9
	-0,0061	0,05	-0,76	0,78	-0,75	0,77	-0,9	-0,97	-0,81	0,79	-0,74	0,83	-0,83	-0,86	-0,77	0,83	-0,76	0,7	-0,94	-0,91
	-0,0061	0,05	-0,75	0,77	-0,74	0,76	-0,91	-0,98	-0,82	0,78	-0,75	0,82	-0,82	-0,85	-0,78	0,85	-0,74	0,71	-0,96	-0,92
27	-0,0028	0,07	-0,76	0,81	-0,82	0,74	-0,86	-0,92	-0,8	0,81	-0,78	0,79	-0,83	-0,84	-0,75	0,81	-0,74	0,74	-0,92	-0,92
	-0,0028	0,07	-0,77	0,82	-0,83	0,73	-0,87	-0,93	-0,81	0,82	-0,77	0,8	-0,84	-0,86	-0,74	0,82	-0,72	0,72	-0,93	-0,93
	-0,0028	0,07	-0,78	0,83	-0,84	0,72	-0,88	-0,94	-0,82	0,83	-0,76	0,81	-0,85	-0,83	-0,73	0,83	-0,73	0,73	-0,94	-0,94
28	-0,0008	0,07	-0,82	0,81	-0,84	0,76	-0,9	-0,97	-0,82	0,8	-0,8	0,8	-0,84	-0,8	-0,76	0,82	-0,76	0,79	-0,92	-0,93
	-0,0008	0,07	-0,83	0,8	-0,86	0,77	-0,91	-0,96	-0,83	0,81	-0,79	0,82	-0,85	-0,79	-0,77	0,83	-0,77	0,81	-0,93	-0,94
	-0,0008	0,07	-0,84	0,82	-0,85	0,78	-0,92	-0,95	-0,84	0,82	-0,78	0,81	-0,86	-0,78	-0,78	0,81	-0,78	0,8	-0,91	-0,92
29	0,0006	0,06	-0,85	0,83	-0,81	0,77	-0,93	-0,92	-0,79	0,83	-0,75	0,83	-0,8	-0,8	-0,69	0,79	-0,76	0,83	-0,92	-0,93
	0,0006	0,06	-0,86	0,82	-0,79	0,76	-0,94	-0,93	-0,78	0,84	-0,76	0,84	-0,81	-0,82	-0,68	0,78	-0,75	0,84	-0,93	-0,94
	0,0006	0,06	-0,87	0,84	-0,8	0,78	-0,95	-0,94	-0,8	0,85	-0,74	0,85	-0,82	-0,81	-0,67	0,8	-0,77	0,85	-0,94	-0,95
30	-0,0016	0,08	-0,79	0,79	-0,83	0,77	-0,96	-0,93	-0,76	0,82	-0,77	0,82	-0,83	-0,82	-0,71	0,81	-0,73	0,82	-0,92	-0,93
	-0,0016	0,08	-0,8	0,81	-0,81	0,76	-0,97	-0,92	-0,77	0,83	-0,78	0,84	-0,84	-0,83	-0,69	0,79	-0,75	0,84	-0,91	-0,94
	-0,0016	0,08	-0,81	0,82	-0,82	0,75	-0,95	-0,94	-0,75	0,84	-0,79	0,83	-0,82	-0,84	-0,7	0,8	-0,74	0,83	-0,9	-0,95
31	0,0004	0,06	-0,78	0,81	-0,84	0,75	-0,92	-0,94	-0,78	0,79	-0,82	0,82	-0,87	-0,83	-0,73	0,82	-0,76	0,82	-0,91	-0,95
	0,0004	0,06	-0,8	0,83	-0,85	0,76	-0,91	-0,95	-0,76	0,81	-0,83	0,83	-0,88	-0,82	-0,72	0,8	-0,77	0,84	-0,9	-0,94
	0,0004	0,06	-0,79	0,82	-0,86	0,74	-0,9	-0,96	-0,77	0,8	-0,8	0,84	-0,89	-0,84	-0,71	0,81	-0,78	0,83	-0,89	-0,93
32	0,0011	0,07	-0,76	0,79	-0,83	0,71	-0,94	-0,94	-0,78	0,82	-0,76	0,82	-0,88	-0,83	-0,74	0,8	-0,79	0,86	-0,92	-0,94
	0,0011	0,07	-0,75	0,8	-0,84	0,69	-0,95	-0,93	-0,8	0,83	-0,77	0,83	-0,87	-0,82	-0,75	0,81	-0,77	0,87	-0,93	-0,93
	0,0011	0,07	-0,77	0,81	-0,85	0,7	-0,96	-0,95	-0,79	0,84	-0,78	0,84	-0,86	-0,81	-0,76	0,82	-0,78	0,88	-0,91	-0,95
33	-0,0004	0,08	-0,76	0,82	-0,8	0,72	-0,94	-0,96	-0,82	0,82	-0,76	0,86	-0,86	-0,81	-0,79	0,79	-0,8	0,83	-0,9	-0,96
	-0,0004	0,08	-0,77	0,83	-0,79	0,73	-0,93	-0,97	-0,83	0,84	-0,75	0,87	-0,87	-0,82	-0,8	0,78	-0,79	0,84	-0,89	-0,95
	-0,0004	0,08	-0,78	0,81	-0,78	0,74	-0,92	-0,98	-0,84	0,83	-0,74	0,85	-0,85	-0,83	-0,81	0,77	-0,78	0,85	-0,88	-0,97
34	0,0037	0,06	-0,79	0,79	-0,81	0,75	-0,93	-0,98	-0,86	0,75	-0,76	0,84	-0,84	-0,84	-0,79	0,78	-0,77	0,86	-0,93	-0,96
	0,0037	0,06	-0,78	0,8	-0,82	0,76	-0,94	-0,97	-0,87	0,76	-0,77	0,86	-0,83	-0,85	-0,8	0,79	-0,76	0,87	-0,94	-0,95
	0,0037	0,06	-0,8	0,81	-0,83	0,77	-0,95	-0,96	-0,88	0,77	-0,75	0,85	-0,85	-0,86	-0,81	0,8	-0,75	0,88	-0,92	-0,94

Продовження ДОДАТКУ Ф

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
35	-0,0042	0,06	-0,78	0,82	-0,78	0,76	-0,87	-0,94	-0,85	0,79	-0,76	0,84	-0,85	-0,82	-0,79	0,74	-0,79	0,86	-0,93	-0,96
	-0,0042	0,06	-0,77	0,83	-0,79	0,77	-0,88	-0,93	-0,86	0,78	-0,77	0,83	-0,86	-0,83	-0,8	0,75	-0,78	0,87	-0,94	-0,98
	-0,0042	0,06	-0,76	0,84	-0,8	0,78	-0,89	-0,89	-0,95	-0,84	0,8	-0,75	0,82	-0,87	-0,84	-0,78	0,76	-0,77	0,85	-0,95
36	0,0036	0,07	-0,79	0,81	-0,79	0,82	-0,94	-0,96	-0,81	0,81	-0,69	0,84	-0,9	-0,82	-0,76	0,8	-0,81	0,84	-0,93	-0,96
	0,0036	0,07	-0,77	0,82	-0,77	0,83	-0,93	-0,97	-0,83	0,79	-0,7	0,86	-0,91	-0,83	-0,77	0,81	-0,8	0,83	-0,94	-0,95
	0,0036	0,07	-0,78	0,83	-0,78	0,84	-0,95	-0,98	-0,82	0,8	-0,71	0,85	-0,92	-0,84	-0,75	0,82	-0,79	0,85	-0,95	-0,94
37	-0,0015	0,05	-0,75	0,82	-0,81	0,79	-0,96	-0,96	-0,83	0,78	-0,72	0,84	-0,89	-0,82	-0,78	0,78	-0,81	0,79	-0,93	-0,95
	-0,0015	0,05	-0,74	0,81	-0,82	0,8	-0,97	-0,95	-0,84	0,79	-0,73	0,83	-0,88	-0,83	-0,79	0,79	-0,82	0,78	-0,94	-0,96
	-0,0015	0,05	-0,76	0,83	-0,83	0,81	-0,98	-0,94	-0,85	0,8	-0,74	0,85	-0,87	-0,84	-0,8	0,8	-0,83	0,8	-0,92	-0,97
38	-0,0038	0,08	-0,8	0,79	-0,84	0,79	-0,96	-0,93	-0,83	0,75	-0,75	0,87	-0,84	-0,86	-0,77	0,74	-0,82	0,78	-0,83	-0,94
	-0,0038	0,08	-0,81	0,78	-0,85	0,78	-0,95	-0,92	-0,82	0,76	-0,76	0,89	-0,85	-0,87	-0,76	0,73	-0,81	0,79	-0,84	-0,95
	-0,0038	0,08	-0,82	0,77	-0,86	0,77	-0,94	-0,91	-0,81	0,77	-0,77	0,88	-0,87	-0,88	-0,75	0,72	-0,83	0,8	-0,85	-0,96
39	-0,0067	0,08	-0,69	0,79	-0,85	0,76	-0,94	-0,92	-0,8	0,79	-0,75	0,87	-0,85	-0,84	-0,73	0,69	-0,82	0,85	-0,89	-0,96
	-0,0067	0,08	-0,68	0,78	-0,84	0,75	-0,95	-0,93	-0,81	0,78	-0,74	0,88	-0,86	-0,86	-0,74	0,68	-0,81	0,86	-0,88	-0,95
	-0,0067	0,08	-0,67	0,8	-0,83	0,77	-0,96	-0,94	-0,82	0,77	-0,76	0,86	-0,84	-0,84	-0,75	0,67	-0,8	0,87	-0,87	-0,94
40	-0,0086	0,04	-0,69	0,78	-0,84	0,78	-0,94	-0,89	-0,83	0,76	-0,75	0,81	-0,86	-0,84	-0,74	0,7	-0,82	0,89	-0,88	-0,95
	-0,0086	0,04	-0,7	0,79	-0,85	0,79	-0,95	-0,88	-0,84	0,77	-0,74	0,82	-0,87	-0,86	-0,73	0,71	-0,83	0,87	-0,89	-0,96
	-0,0086	0,04	-0,71	0,8	-0,86	0,8	-0,96	-0,87	-0,85	0,78	-0,73	0,8	-0,88	-0,85	-0,72	0,72	-0,84	0,88	-0,9	-0,97
41	-0,0006	0,05	-0,73	0,82	-0,87	0,75	-0,97	-0,91	-0,86	0,76	-0,75	0,85	-0,81	-0,84	-0,73	0,76	-0,86	0,87	-0,95	-0,98
	-0,0006	0,05	-0,74	0,83	-0,88	0,76	-0,95	-0,92	-0,87	0,75	-0,76	0,86	-0,83	-0,85	-0,72	0,78	-0,85	0,86	-0,96	-0,97
	-0,0006	0,05	-0,75	0,84	-0,89	0,77	-0,96	-0,93	-0,88	0,74	-0,77	0,87	-0,82	-0,83	-0,74	0,77	-0,84	0,85	-0,97	-0,96
42	-0,0011	0,07	-0,74	0,86	-0,88	0,78	-0,94	-0,92	-0,86	0,76	-0,79	0,86	-0,83	-0,86	-0,76	0,79	-0,86	0,86	-0,93	-0,94
	-0,0011	0,07	-0,73	0,87	-0,87	0,79	-0,95	-0,93	-0,87	0,78	-0,8	0,88	-0,85	-0,87	-0,77	0,8	-0,87	0,87	-0,94	-0,93
	-0,0011	0,07	-0,75	0,88	-0,86	0,79	-0,96	-0,94	-0,88	0,77	-0,81	0,87	-0,84	-0,88	-0,78	0,81	-0,88	0,88	-0,92	-0,92
43	0,0080	0,06	-0,76	0,85	-0,87	0,81	-0,97	-0,93	-0,87	0,78	-0,83	0,86	-0,86	-0,86	-0,78	0,83	-0,89	0,83	-0,92	-0,9
	0,0080	0,06	-0,77	0,86	-0,86	0,82	-0,96	-0,92	-0,86	0,77	-0,82	0,87	-0,87	-0,84	-0,79	0,84	-0,9	0,84	-0,91	-0,89
	0,0080	0,06	-0,78	0,87	-0,88	0,83	-0,95	-0,94	-0,85	0,76	-0,84	0,88	-0,88	-0,85	-0,8	0,85	-0,88	0,85	-0,9	-0,88

Продовження ДОДАТКУ Ф

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
44	-0,0032	0,07	-0,77	0,86	-0,85	0,78	-0,89	-0,9	-0,86	0,77	-0,83	0,89	-0,85	-0,86	-0,75	0,85	-0,89	0,84	-0,92	-0,89
	-0,0032	0,07	-0,79	0,87	-0,86	0,79	-0,88	-0,89	-0,87	0,78	-0,85	0,91	-0,84	-0,87	-0,76	0,86	-0,88	0,83	-0,93	-0,88
	-0,0032	0,07	-0,8	0,88	-0,87	0,8	-0,87	-0,91	-0,88	0,79	-0,86	0,9	-0,86	-0,88	-0,77	0,87	-0,89	0,85	-0,94	-0,87
45	-0,0048	0,08	-0,76	0,86	-0,86	0,78	-0,88	-0,92	-0,83	0,8	-0,83	0,84	-0,85	-0,87	-0,79	0,88	-0,86	0,86	-0,91	-0,89
	-0,0048	0,08	-0,77	0,88	-0,85	0,79	-0,89	-0,93	-0,84	0,81	-0,84	0,86	-0,83	-0,86	-0,8	0,87	-0,85	0,87	-0,92	-0,9
	-0,0048	0,08	-0,78	0,87	-0,84	0,8	-0,9	-0,94	-0,85	0,82	-0,85	0,87	-0,84	-0,88	-0,78	0,88	-0,84	0,88	-0,93	-0,91
46	-0,0062	0,08	-0,8	0,78	-0,78	0,78	-0,91	-0,92	-0,84	0,81	-0,82	0,85	-0,85	-0,84	-0,77	0,85	-0,85	0,86	-0,91	-0,9
	-0,0062	0,08	-0,81	0,79	-0,79	0,77	-0,92	-0,93	-0,83	0,8	-0,83	0,86	-0,84	-0,88	-0,76	0,86	-0,86	0,85	-0,9	-0,91
	-0,0062	0,08	-0,82	0,8	-0,8	0,79	-0,93	-0,94	-0,82	0,82	-0,84	0,87	-0,86	-0,87	-0,75	0,87	-0,87	0,84	-0,89	-0,92
47	-0,0057	0,05	-0,82	0,78	-0,75	0,8	-0,9	-0,95	-0,83	0,85	-0,86	0,78	-0,82	-0,86	-0,78	0,88	-0,86	0,85	-0,87	-0,9
	-0,0057	0,05	-0,83	0,79	-0,76	0,81	-0,91	-0,96	-0,84	0,86	-0,87	0,79	-0,81	-0,85	-0,79	0,89	-0,85	0,86	-0,86	-0,91
	-0,0057	0,05	-0,84	0,8	-0,77	0,82	-0,92	-0,97	-0,85	0,87	-0,88	0,8	-0,8	-0,84	-0,8	0,87	-0,86	0,87	-0,85	-0,92
48	-0,0064	0,05	-0,82	0,82	-0,79	0,83	-0,93	-0,98	-0,84	0,87	-0,86	0,79	-0,83	-0,8	-0,8	0,86	-0,83	0,88	-0,86	-0,92
	-0,0064	0,05	-0,83	0,83	-0,78	0,84	-0,94	-0,97	-0,86	0,88	-0,85	0,78	-0,82	-0,79	-0,81	0,85	-0,82	0,86	-0,88	-0,93
	-0,0064	0,05	-0,84	0,84	-0,8	0,85	-0,95	-0,98	-0,85	0,89	-0,84	0,8	-0,84	-0,78	-0,82	0,84	-0,83	0,87	-0,89	-0,94
49	-0,0057	0,05	-0,85	0,86	-0,79	0,88	-0,96	-0,94	-0,83	0,87	-0,83	0,83	-0,83	-0,82	-0,79	0,85	-0,82	0,86	-0,92	-0,95
	-0,0057	0,05	-0,86	0,84	-0,8	0,87	-0,94	-0,96	-0,82	0,86	-0,82	0,84	-0,84	-0,83	-0,78	0,86	-0,81	0,85	-0,93	-0,96
	-0,0057	0,05	-0,87	0,85	-0,81	0,86	-0,95	-0,95	-0,81	0,85	-0,84	0,85	-0,82	-0,84	-0,8	0,87	-0,8	0,84	-0,94	-0,97

ДОДАТОК Х

Чисельні значення вагових коефіцієнтів на основі експертних оцінок (вихід мережі Кохонена)

№ п/п	EFy, %/кВт	Фінансові витрати, у.о./доба	Значення вагових коефіцієнтів НКК моделювання водоочищення					
			E1-Y1	E1-Y2	E2-Y1	E2-Y2	E4-Y1	E4-Y2
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	0,0017	0,05	-0,76	0,78	-0,81	0,80	-0,87	-0,90
2	-0,0061	0,07	-0,80	0,79	-0,82	0,78	-0,86	-0,92
3	-0,0063	0,06	-0,81	0,76	-0,78	0,80	-0,86	-0,91
4	-0,0080	0,05	-0,73	0,76	-0,79	0,78	-0,88	-0,89
5	-0,0058	0,06	-0,71	0,76	-0,72	0,81	-0,88	-0,90
6	0,0084	0,06	-0,76	0,78	-0,74	0,76	-0,87	-0,91
7	-0,0111	0,03	-0,76	0,75	-0,68	0,78	-0,88	-0,91
8	-0,0058	0,05	-0,68	0,67	-0,73	0,75	-0,85	-0,92
9	-0,0050	0,05	-0,73	0,73	-0,76	0,69	-0,84	-0,92
10	-0,0046	0,06	-0,75	0,77	-0,78	0,78	-0,85	-0,94
11	-0,0009	0,06	-0,79	0,78	-0,74	0,76	-0,88	-0,89
12	-0,0089	0,05	-0,75	0,78	-0,77	0,77	-0,87	-0,89
13	0,0041	0,07	-0,69	0,79	-0,77	0,79	-0,88	-0,87
14	0,0012	0,06	-0,70	0,78	-0,72	0,82	-0,87	-0,87
15	-0,0063	0,06	-0,71	0,79	-0,72	0,73	-0,89	-0,87
16	0,0049	0,05	-0,70	0,83	-0,75	0,75	-0,89	-0,88
17	-0,0056	0,05	-0,74	0,75	-0,75	0,74	-0,89	-0,88
18	-0,0005	0,05	-0,79	0,79	-0,77	0,78	-0,88	-0,90
19	0,0008	0,07	-0,78	0,77	-0,79	0,75	-0,89	-0,90
20	0,0057	0,06	-0,70	0,81	-0,80	0,81	-0,87	-0,88
21	0,0036	0,05	-0,80	0,81	-0,79	0,80	-0,87	-0,89
22	0,0020	0,07	-0,78	0,78	-0,67	0,82	-0,87	-0,89

Продовження ДОДАТКУ Х

<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>	<i>9</i>
23	0,0029	0,06	-0,74	0,75	-0,74	0,79	-0,87	-0,86
24	0,0009	0,06	-0,78	0,75	-0,77	0,74	-0,89	-0,86
25	0,0059	0,05	-0,74	0,79	-0,79	0,76	-0,89	-0,92
26	-0,0061	0,05	-0,78	0,80	-0,75	0,76	-0,89	-0,91
27	-0,0028	0,07	-0,77	0,82	-0,78	0,75	-0,88	-0,90
28	-0,0008	0,07	-0,81	0,81	-0,80	0,79	-0,89	-0,89
29	0,0006	0,06	-0,78	0,82	-0,77	0,82	-0,89	-0,89
30	-0,0016	0,08	-0,75	0,81	-0,78	0,81	-0,90	-0,90
31	0,0004	0,06	-0,76	0,81	-0,81	0,80	-0,90	-0,91
32	0,0011	0,07	-0,77	0,81	-0,80	0,80	-0,91	-0,90
33	-0,0004	0,08	-0,80	0,81	-0,78	0,81	-0,89	-0,92
34	0,0037	0,06	-0,82	0,78	-0,78	0,83	-0,90	-0,92
35	-0,0042	0,06	-0,80	0,79	-0,78	0,82	-0,89	-0,91
36	0,0036	0,07	-0,79	0,81	-0,76	0,84	-0,93	-0,92
37	-0,0015	0,05	-0,79	0,80	-0,79	0,81	-0,93	-0,91
38	-0,0038	0,08	-0,80	0,76	-0,81	0,82	-0,88	-0,91
39	-0,0067	0,08	-0,74	0,75	-0,80	0,83	-0,89	-0,91
40	-0,0086	0,04	-0,76	0,76	-0,81	0,83	-0,90	-0,90
41	-0,0006	0,05	-0,78	0,78	-0,83	0,83	-0,91	-0,91
42	-0,0011	0,07	-0,79	0,81	-0,85	0,84	-0,91	-0,91
43	0,0080	0,06	-0,81	0,82	-0,86	0,84	-0,91	-0,89
44	-0,0032	0,07	-0,81	0,84	-0,86	0,84	-0,89	-0,88
45	-0,0048	0,08	-0,80	0,85	-0,85	0,84	-0,88	-0,90
46	-0,0062	0,08	-0,80	0,82	-0,83	0,83	-0,89	-0,90
47	-0,0057	0,05	-0,82	0,84	-0,83	0,82	-0,86	-0,91
48	-0,0064	0,05	-0,83	0,85	-0,82	0,83	-0,88	-0,90
49	-0,0057	0,05	-0,82	0,86	-0,81	0,85	-0,90	-0,91

ДОДАТОК Ц

**Програмне забезпечення (ініціалізація) адаптивної корекції НКК
моделювання еколого-енергетичної ефективності водоочищення на мові
програмування
"C ++" (самоорганізаційна карта Кохенена)**

```

/* standard includes. math.h needed for exp() function. */
#include <stdio.h>
#include <math.h>
#include <string.h>
#include <stdlib.h>
#ifdef FALSE
#define FALSE 0
#define TRUE 1
#endif

#define MENUCODE -999
static double SNNCode04Thresholds[] =
{
/* layer 1 */
1, 1, 1, 1,
1, 1, 1, 1,
1
};
static double SNNCode04Weights[] =
{
/* layer 1 */
0.23082673431791267, 0.23083633462549263, 0.2308347920765787,
0.5007678599698222, 0.50077469159095855, 0.50077379690204427,
0.99999999999999933, 0.99999999999999223, 0.99999999999999223,
-7.1054273575602517e-015, -7.1054273575602532e-015, -7.1054273575602485e-015,
0.50078082770467147, 0.50077245648464175, 0.50077402235339741,
0.76886983543173437, 0.76884485696108396, 0.7688531931551692,
0.23083817217882965, 0.230838410250229, 0.23083627009220314,
0.23083286814841039, 0.23084110686584766, 0.23082768363099879,
0.4996543181788442, 0.49968119893504415, 0.49968426198973975
};
static int SNNCode04ClassLabels[]={
0, 0, 1, 1,
0, 0, 0, 1,
1
};
static double SNNCode04Acts[24];
/* ----- */
НлвПер7 (0)
НлвПер11 (1)
НлвПер15 (2)
Выход:
Выход
1=Known
2=Unused

```

ДОДАТОК Ш

Програмне забезпечення (ініціалізація) адаптивної корекції НКК на мові програмування "C ++" (PNN-мережа)

```

#include <stdio.h>
#include <math.h>
#include <string.h>
#include <stdlib.h>

#ifndef FALSE
#define FALSE 0
#define TRUE 1
#endif

#define MENUCODE
static double NNCode01Thresholds[] =
{
/* layer 1 */
12.499999999999998, 12.499999999999998, 12.499999999999998,
12.499999999999998, 12.499999999999998, 12.499999999999998,
12.499999999999998, 12.499999999999998, 12.499999999999998,
12.499999999999998, 12.499999999999998, 12.499999999999998,
12.499999999999998, 12.499999999999998, 12.499999999999998,
12.499999999999998, 12.499999999999998, 12.499999999999998,
12.499999999999998,
/* layer 2 */
0, 0, 0,
0, 0, 0,
0, 0, 0,
0, 0, 0,
0, 0, 0,
0, 0, 0,
0
};
static double NNCode01Weights[] =
{
/* layer 1 */
0.96153846153846145, 0.75000000000000011, 0, 0.088235294117647023,
0.90000000000000013, 0.6875, 0.25550918037180992, 0.6875,
0.99999999999999978, 0.375, 0.011461318051575929, 0.058823529411764663,
0.85000000000000009, 0.625, 0.24393559380444568, 0.625,
-1.3877787807814457e-017, 0, 0.99999999999999989, 0.29411764705882354,
0.80000000000000004, 0.625, 1, 0.625,
0.84615384615384603, 0.625, 0.011461318051575929, 0.058823529411764663,
0.14999999999999997, 0, 0, 0,
0.15384615384615385, 0.25, 0.59885386819484232, 0.14705882352941174,
0.55000000000000004, 0.375, 0.31072148949181633, 0.37499999999999978,
0.19230769230769235, 0.25, 0.51289398280802279, 0.11764705882352938,
0.85000000000000009, 0.625, 0.33288021800590972, 0.625,
0.26923076923076922, 1, 0.45558739255014324, 0.20588235294117646,
0.95000000000000018, 0.8125, 0.77920918611552537, 0.81249999999999978,

```

0.5, 0.5, 0.79942693409742105, 0.73529411764705888,
0.2999999999999999, 0.3125, 0.82104018686220825, 0.3125,
0.15384615384615385, 0.75000000000000011, 0.40401146131805155, 0.088235294117647023,
0.20000000000000001, 0.25, 0.54238798159458301, 0.24999999999999989,
0.96153846153846145, 0.625, 0.0085959885386819451, 0.088235294117647023,
0.80000000000000004, 0.75, 0.60989017849636196, 0.74999999999999978,
0.65384615384615374, 0.375, 0.59885386819484232, 1,
0.60000000000000009, 0.5625, 0.86320288717428362, 0.56249999999999978,
0.99999999999999978, 0.625, 0.28939828080229224, 0.029411764705882304,
0.75, 0.6875, 0.66936302196013864, 0.6875,
0.57692307692307687, 0.25, 0.21776504297994267, 0.088235294117647023,
0.25000000000000006, 0.3125, 0.8717165093526833, 0.3125,
0.57692307692307687, 0, 0.78796561604584514, 0.1764705882352941,
0.75, 0.8125, 0.52748607149011129, 0.81249999999999978,
0.34615384615384609, 0.375, 0.39828080229226359, 0.20588235294117646,
0.69999999999999996, 0.8125, 0.62644310849878437, 0.81249999999999978,
0.69230769230769229, 0.5, 0.92550143266475637, 0.088235294117647023,
1, 0.875, 0.5477934559935671, 0.87499999999999978,
0.65384615384615374, 0.75000000000000011, 0.72492836676217753, 0.11764705882352938,
0.35000000000000003, 0.625, 0.75752586267414634, 0.625,
0.96153846153846145, 0.375, 0.53008595988538676, 0,
0, 0.5, 0.35377054763807342, 0.49999999999999978,
0.80769230769230749, 0.5, 0.037249283667621778, 0.029411764705882304,
0.35000000000000003, 0.75, 0.75147541689801078, 0.74999999999999978,
0.96153846153846145, 0.625, 0.70773638968481367, 0.1764705882352941,
0.45000000000000001, 0.3125, 0.49401843585374444, 0.3125,
0.88461538461538458, 0.75000000000000011, 0.10028653295128939, 0.058823529411764663,
0.69999999999999996, 1, 0.22786497261425948, 1,
0.15384615384615385, 0.5, 0.65616045845272197, 0.29411764705882354,
0.39999999999999997, 0.25, 0.53996085949290495, 0.24999999999999989,
0.42307692307692307, 0.625, 0.91977077363896842, 0.14705882352941174,
0.5, 0.75, 0.51430537823373701, 0.74999999999999978,
0.80769230769230749, 0.625, 0.47277936962750716, 0.088235294117647023,
0.80000000000000004, 0.75, 0.40448790358805492, 0.74999999999999978,
0.57692307692307687, 0.125, 0.65616045845272197, 0.058823529411764663,
0.2999999999999999, 0.3125, 0.27889567498229018, 0.3125,

ДОДАТОК Щ

Матриця вагових коефіцієнтів ННК моделювання еколого-енергетичної ефективності водоочищення

	E1	E2	E3	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10	X11	X12	X13	X14	X15	Y1	Y2	
E1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-0,77	0,79	
E2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-0,78	0,80	
E3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-0,89	-0,90	
X1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-0,95	0,00	
X2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-0,05	0,00	
X3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,11
X4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-0,43
X5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-0,18
X6	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-0,27
X7	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-0,39
X8	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-0,12
X9	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,68
X10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02
X11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-0,12
X12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-0,08
X13	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-0,12
X14	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-0,23
X15	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-0,12
Y1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Y2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-0,14	0,00	

ДОДАТОК Ю

Набір навчальних даних для синтезу результуючої НМ адаптивного корегування концептів НКК моделювання еколого-енергетичної ефективності водоочищення (результати сценарно-когнітивного моделювання)

E1	E2	E3	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10	X11	X12	X13	X14	X15	Y1	Y2
1	0,05	0,05	1	0,05	1	0,05	1	0,05	1	0,05	1	0,05	1	0,05	1	0,05	1	0,293	0,324
0,95	0,1	0,1	0,95	0,1	0,95	0,1	0,95	0,1	0,95	0,1	0,95	0,1	0,95	0,1	0,95	0,1	0,95	0,272	0,326
0,9	0,15	0,15	0,9	0,15	0,9	0,15	0,9	0,15	0,9	0,15	0,9	0,15	0,9	0,15	0,9	0,15	0,9	0,298	0,356
0,85	0,2	0,2	0,85	0,2	0,85	0,2	0,85	0,2	0,85	0,2	0,85	0,2	0,85	0,2	0,85	0,2	0,85	0,324	0,332
0,8	0,15	0,25	0,8	0,25	0,8	0,25	0,8	0,25	0,8	0,25	0,8	0,25	0,8	0,25	0,8	0,25	0,8	0,291	0,384
0,75	0,3	0,3	0,75	0,3	0,75	0,3	0,75	0,3	0,75	0,3	0,75	0,3	0,75	0,3	0,75	0,3	0,75	0,345	0,396
0,7	0,35	0,35	0,7	0,35	0,7	0,35	0,7	0,35	0,7	0,35	0,7	0,35	0,7	0,35	0,7	0,35	0,7	0,451	0,401
0,65	0,4	0,4	0,65	0,4	0,65	0,4	0,65	0,4	0,65	0,4	0,65	0,4	0,65	0,4	0,65	0,4	0,65	0,398	0,412
0,6	0,45	0,45	0,6	0,45	0,6	0,45	0,6	0,45	0,6	0,45	0,6	0,45	0,6	0,45	0,6	0,45	0,6	0,356	0,536
0,55	0,5	0,5	0,55	0,5	0,55	0,5	0,55	0,5	0,55	0,5	0,55	0,5	0,55	0,5	0,55	0,5	0,55	0,456	0,556
0,5	0,55	0,55	0,5	0,55	0,5	0,55	0,5	0,55	0,5	0,55	0,5	0,55	0,5	0,55	0,5	0,55	0,5	0,524	0,569
0,45	0,6	0,6	0,45	0,6	0,45	0,6	0,45	0,6	0,45	0,6	0,45	0,6	0,45	0,6	0,45	0,6	0,45	0,532	0,651
0,4	0,65	0,65	0,4	0,65	0,4	0,65	0,4	0,65	0,4	0,65	0,4	0,65	0,4	0,65	0,4	0,65	0,4	0,456	0,523
0,35	0,7	0,7	0,35	0,7	0,35	0,7	0,35	0,7	0,35	0,7	0,35	0,7	0,35	0,7	0,35	0,7	0,35	0,501	0,587
0,3	0,75	0,75	0,3	0,75	0,3	0,75	0,3	0,75	0,3	0,75	0,3	0,75	0,3	0,75	0,3	0,75	0,3	0,493	0,503
0,25	0,8	0,8	0,25	0,8	0,25	0,8	0,25	0,8	0,25	0,8	0,25	0,8	0,25	0,8	0,25	0,8	0,25	0,454	0,453
0,2	0,85	0,85	0,2	0,85	0,2	0,85	0,2	0,85	0,2	0,85	0,2	0,85	0,2	0,85	0,2	0,85	0,2	0,403	0,442
0,15	0,9	0,9	0,15	0,9	0,15	0,9	0,15	0,9	0,15	0,9	0,15	0,9	0,15	0,9	0,15	0,9	0,15	0,364	0,403
0,1	0,95	0,95	0,1	0,95	0,1	0,95	0,1	0,95	0,1	0,95	0,1	0,95	0,1	0,95	0,1	0,95	0,1	0,363	0,352
0,05	1	1	0,05	1	0,05	1	0,05	1	0,05	1	0,05	1	0,05	1	0,05	1	0,05	0,352	0,349
0	1	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	0,287	0,394
1	0	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0,302	0,356

ДОДАТОК Я

Лістинг програмного забезпечення (ініціалізація) НМ, яка реалізує результати сценарно-когнітивного моделювання еколого-енергетичної ефективності

```
#include <stdio.h>
#include <math.h>
#include <string.h>
#include <stdlib.h>

#ifndef FALSE
#define FALSE 0
#define TRUE 1
#endif

#define MENUCODE -999

static double NNCode15Thresholds[] =
{

/* layer 1 */
-0.84636021654188132, 0.075499546781460744, -0.55786103616079941, -0.59804852090542837,
0.82827900325953874, 0.6704221225393302, -0.60558507965772723, 0.55049315398210152,
0.18134909768990121, -0.085853105821307729, -0.90514390276921397, 1.0715287051814522,
0.65611991351750676, -0.94907538684429216,

/* layer 2 */
0.83623146841615925, 0.23477123330217914

};

static double NNCode15Weights[] =
{

/* layer 1 */
0.64930877704079348, -0.31734447412386063, 0.58363896085627553, -0.82571972549043338,
0.75598111662522594, -1.237228488600796, 0.84800409277560584, 0.22576475648827271,
0.69662215464194022, -0.8859939702640055, -0.40335049226475678, -0.16179421999857774,
0.32279082335832948, -0.12846434161144263, 0.94608024826199821, 0.50834378253418333,
-0.61512911867156694, 0.26373390305870703, 0.86192127744242597,
1.0289944495978931, 0.87055399646055798, 0.7934310921935569, 0.63210844793957444,
-0.50158937943668114, -0.62899009424306007, 0.69566824734448918, -0.31626286504491946,
-0.49576180592211033, 0.43977855168362723, 0.41485650576209082, -0.36066687698720956,
-0.6290571671172609, -0.22593066557526692, 1.0421278543597188, 0.79532600546671717,
-0.49721781221526695, 0.18800538708357856, -0.065838256583508628,
-0.058082980005838537, -0.38763649465205807, -0.84902567577861898, -0.24563667438598069,
-0.0032393289425311353, 1.1431674168580364, -0.74449497677076393, -0.38295149478690799,
-0.12143879667310332, -0.12029532652316176, 0.17891096544945995, 0.77050098886357099,
```

0.090607314112057927, 0.0080453182675819107, -0.54851413066320831, 0.38767498023622116,
-0.18148087292338033, -0.20722712170372884, -0.54644411686168737,
0.87856168802815982, 0.14340663719921071, -0.19348885696438947, -0.51729959170810758,
-0.056831484373781146, -0.43515729583441837, -0.29248006643101399, 0.37638919671681942,
-0.74748811171100427, -0.76252227163856634, 1.017628249928779, 0.073514701143747571,
0.063042878863527829, -0.52910594643443309, -0.25484761221746427, -0.50003298847010857,
0.12068152071539913, -0.25953529032780714, -0.47331510942392613,
-0.55025273151842635, -0.12047926817269211, 0.87637091504491182, -1.0099026363358714,
1.1408846174147442, 0.52921037568832752, 0.51304176153565495, -0.78100491243924686,
-0.68711135423875536, -0.9667019955666234, -0.26227127360942648, -0.041118728002125925,
-0.51085397524900644, -0.28145812678705412, -0.33049050424957049, 0.098193687484434689,
1.1242645993346152, -0.97721244102723626, -0.27139696478065656,
0.37372464353256934, -0.98838076087915894, 0.67313272800765411, -0.90374724252699079,
-0.4256542808336588, -0.52343839991281715, 0.77807664453038938, 0.3885226467559838,
-0.46212393515218225, 0.61094635698338529, -0.99320978260115267, 0.68157087131442728,
0.26656684097518818, -0.43004519311503164, -0.81536303221487427, -0.51501214629524017,
-0.44364997109802035, 0.75026168824814987, 0.14379401402945724,
-0.71039912232860314, 0.5781077109546473, -0.10008766690817716, 0.36180364724564501,
0.29638023257166379, 0.77222511324722831, -0.055688442895801764, 0.93090690988213709,
-0.54899250035337077, 0.048412685936311005, 0.77007544691707208, 0.34637208570624756,
0.038678553447854376, 0.58901155554690343, 0.1130767276904274, 0.31260422007768096,
-0.63916238605044751, 0.098321129848394931, 0.20178014775388031,
-0.24154658331677503, 0.90901869428386706, -0.41646251372366255, -0.32859260507277338,
-0.52406118387793066, -0.16054737692689669, 0.24201081200528363, -0.55909878011252134,
-0.32531776910984928, -0.10096438531454319, -0.81988924368132721, -0.0020532038646251809,
0.34461048656328158, 0.95101586299623075, 0.65981419367240979, -0.91827276715427619,
0.65975145614049757, -0.028071881701871769, -0.17170688965649905,
1.0755080063064124, -0.88940668453504212, 0.15322625433031878, -0.45315508191544884,
-0.2713839365438368, 0.332067235943109, -0.23171668329922726, -0.27012598836184792,
-0.28730798932539525, -0.63123454989401617, -0.61623763207298621, -0.74524159248281674,
0.11587793293731585, 0.80337811063580711, 0.5015921161069159, -0.57233921492210127,
0.17698174739071595, -0.96337729259185578, 0.49583220711806314,
-0.094532320399290326, 1.047839296203765, -0.098068141363440692, -0.084702750159408091,
0.15413845540025442, 0.18708549738952759, -0.76926727881691803, 0.12937190144623428,
-0.28095742824876013, 1.0400083501376607, -0.38548614899547079, 0.90232073700781235,
0.014691899874427521, 0.60627809608293282, -0.068107560852062224, 0.23196174092727759,
-0.20727805015810721, -0.35799926807348537, -0.98342875994739509,
-0.19030867936145696, 0.79915693982920177, 0.79759371318371985, 0.23495855910879487,
0.42882051535949184, 0.12756338500364217, -0.81024243573125299, 0.38343818334881685,
0.67050767147845702, 0.53763172095241596, -0.16481762224809537, 0.5296516903649271,
-0.023856378898885665, -0.35806951000466869, -0.56408928722910756, -0.51032974897647632,
0.76189952425903373, -0.50960216420845372, 0.38408396990445443,
-0.37362937530982421, 0.082228392294857081, 0.55365218608330169, -0.9379806220724578,
-0.76110073727960381, 0.075220435197360144, 0.6594319701909821, -0.10721248412428243,
0.90510559640437804, 0.10053138913645163, -0.87552507615742903, 0.056366054928839775,
-0.75236703656622517, -0.35107784593813685, 0.28641200451990845, -0.51967047107756759,
-0.88323275789873845, 0.56624351347239044, 0.23425838850165873,
-0.63204671519008981, 1.0471646709123588, -0.52387284460012917, 0.92692305858256252,
-0.49278441792173827, -0.46935310097112432, 0.87526871524519423, 0.27552315714446379,
-0.40877633521152801, 0.11625291052017685, -0.6332031385289798, -0.056327575014022184,
0.10345621435865072, 0.93677028674862373, -0.11666016987062583, 0.16495367013430759,
-0.6010229793141959, 0.79051639861706913, -0.85299986199273792,

```
-0.20467632634652339, 0.80857836541422856, 0.17349931361732929, -0.018066326679785635,
0.21109442962525071, 0.061767797004656101, 0.41359509944931122, 0.28152651093254655,
0.75712786609529148, -0.94152317393381391, -0.39907842051226872, 0.38598469509713618,
-0.37114975969040209, 0.13186336174514446, 0.017208289783257946, -1.0115771925271455,
0.15156479484254412, 0.7614283225423466, 0.88834044780965649,
```

```
/* layer 2 */
```

```
1.6128390441197549, 0.21816096768523774, -0.40704971643166138, 0.074718675473895449,
-0.85313503241396427, 0.33957406499327064, 0.5901980039671666, 0.71914604462716658,
-0.040176590657359693, 0.8564533530024907, -0.81533455792258891, 0.68546381105743803,
0.52778845879167857, 0.80048570718840106,
1.5381228086790262, -0.98715233441553651, -0.49442647839316423, -0.77817660202038874,
-0.47282931339225032, 1.2151114027801868, -0.16902958655048075, 0.55068109350489292,
-0.92199083082477273, 2.0446369979713013, 0.076336121375856408, 0.76636153581339128,
-0.90623447279845781, 0.17308980395766518
```

```
};
```

```
static double NNCode15Acts[70];
```

```
void NNCode15Run( double inputs[], double outputs[], int outputType )
```

```
{
```

```
int i, j, k, u;
```

```
double *w = NNCode15Weights, *t = NNCode15Thresholds;
```

```
/* Process inputs - apply pre-processing to each input in turn,
```

```
* storing results in the neuron activations array.
```

```
*/
```

```
/* Input 0: standard numeric pre-processing: linear shift and scale. */
```

```
if ( inputs[0] == -9999 )
```

```
    NNCode15Acts[0] = 0.57894736842105265;
```

```
else
```

```
    NNCode15Acts[0] = inputs[0] * 1.0526315789473684 + 0;
```

```
/* Input 1: standard numeric pre-processing: linear shift and scale. */
```

```
if ( inputs[1] == -9999 )
```

```
    NNCode15Acts[1] = 0.43981481481481483;
```

```
else
```

```
    NNCode15Acts[1] = inputs[1] * 1.1111111111111112 + -0.11111111111111112;
```

```
/* Input 2: standard numeric pre-processing: linear shift and scale. */
```

```
if ( inputs[2] == -9999 )
```

```
    NNCode15Acts[2] = 0.57894736842105265;
```

```
else
```

```
    NNCode15Acts[2] = inputs[2] * 1.0526315789473684 + 0;
```

```
/* Input 3: standard numeric pre-processing: linear shift and scale. */
```

```
if ( inputs[3] == -9999 )
```

```
    NNCode15Acts[3] = 0.43981481481481483;
```

```
else
```



```

NNCode15Acts[3] = inputs[3] * 1.111111111111112 + -0.111111111111112;

/* Input 4: standard numeric pre-processing: linear shift and scale. */
if ( inputs[4] == -9999 )
  NNCode15Acts[4] = 0.57894736842105265;
else
  NNCode15Acts[4] = inputs[4] * 1.0526315789473684 + 0;

/* Input 5: standard numeric pre-processing: linear shift and scale. */
if ( inputs[5] == -9999 )
  NNCode15Acts[5] = 0.43981481481481483;
else
  NNCode15Acts[5] = inputs[5] * 1.111111111111112 + -0.111111111111112;

/* Input 6: standard numeric pre-processing: linear shift and scale. */
if ( inputs[6] == -9999 )
  NNCode15Acts[6] = 0.57894736842105265;
else
  NNCode15Acts[6] = inputs[6] * 1.0526315789473684 + 0;

/* Input 7: standard numeric pre-processing: linear shift and scale. */
if ( inputs[7] == -9999 )
  NNCode15Acts[7] = 0.43981481481481483;
else
  NNCode15Acts[7] = inputs[7] * 1.111111111111112 + -0.111111111111112;

/* Input 8: standard numeric pre-processing: linear shift and scale. */
if ( inputs[8] == -9999 )
  NNCode15Acts[8] = 0.57894736842105265;
else
  NNCode15Acts[8] = inputs[8] * 1.0526315789473684 + 0;

/* Input 9: standard numeric pre-processing: linear shift and scale. */
if ( inputs[9] == -9999 )
  NNCode15Acts[9] = 0.43981481481481483;
else
  NNCode15Acts[9] = inputs[9] * 1.111111111111112 + -0.111111111111112;

/* Input 10: standard numeric pre-processing: linear shift and scale. */
if ( inputs[10] == -9999 )
  NNCode15Acts[10] = 0.57894736842105265;
else
  NNCode15Acts[10] = inputs[10] * 1.0526315789473684 + 0;

/* Input 11: standard numeric pre-processing: linear shift and scale. */
if ( inputs[11] == -9999 )
  NNCode15Acts[11] = 0.43981481481481483;
else
  NNCode15Acts[11] = inputs[11] * 1.111111111111112 + -0.111111111111112;

/* Input 12: standard numeric pre-processing: linear shift and scale. */
if ( inputs[12] == -9999 )

```

```

NNCode15Acts[12] = 0.57894736842105265;
else
  NNCode15Acts[12] = inputs[12] * 1.0526315789473684 + 0;

/* Input 13: standard numeric pre-processing: linear shift and scale. */
if ( inputs[13] == -9999 )
  NNCode15Acts[13] = 0.43981481481481483;
else
  NNCode15Acts[13] = inputs[13] * 1.1111111111111112 + -0.11111111111111112;

/* Input 14: standard numeric pre-processing: linear shift and scale. */
if ( inputs[14] == -9999 )
  NNCode15Acts[14] = 0.57894736842105265;
else
  NNCode15Acts[14] = inputs[14] * 1.0526315789473684 + 0;

/* Input 15: standard numeric pre-processing: linear shift and scale. */
if ( inputs[15] == -9999 )
  NNCode15Acts[15] = 0.43981481481481483;
else
  NNCode15Acts[15] = inputs[15] * 1.1111111111111112 + -0.11111111111111112;

/* Input 16: standard numeric pre-processing: linear shift and scale. */
if ( inputs[16] == -9999 )
  NNCode15Acts[16] = 0.57894736842105265;
else
  NNCode15Acts[16] = inputs[16] * 1.0526315789473684 + 0;

/* Input 17: standard numeric pre-processing: linear shift and scale. */
if ( inputs[17] == -9999 )
  NNCode15Acts[17] = 0.43981481481481483;
else
  NNCode15Acts[17] = inputs[17] * 1.1111111111111112 + -0.11111111111111112;
/*
* Process layer 1.
*/
/* For each unit in turn */
for ( u=0; u < 14; ++u )
{
  /*
  * First, calculate post-synaptic potentials, storing
  * these in the NNCode15Acts array.
  */
  /* Initialise hidden unit activation to zero */
  NNCode15Acts[18+u] = 0.0;
  /* Accumulate weighted sum from inputs */
  for ( i=0; i < 18; ++i )
    NNCode15Acts[18+u] += *w++ * NNCode15Acts[0+i];

  /* Subtract threshold */
  NNCode15Acts[18+u] -= *t++;
}

```

```

/* Now apply the hyperbolic activation function, ( e^x - e^-x ) / ( e^x + e^-x ).
 * Deal with overflow and underflow
 */
if ( NNCode15Acts[18+u] > 100.0 )
    NNCode15Acts[18+u] = 1.0;
else if ( NNCode15Acts[19+u] < -100.0 )
    NNCode15Acts[18+u] = -1.0;
else
{
    double e1 = exp( NNCode15Acts[19+u] ), e2 = exp( -NNCode15Acts[19+u] );
    NNCode15Acts[18+u] = ( e1 - e2 ) / ( e1 + e2 );
}
}
/*
 * Process layer 2.
 */
/* For each unit in turn */
for ( u=0; u < 2; ++u )
{
    /*
     * First, calculate post-synaptic potentials, storing
     * these in the NNCode15Acts array.
     */

    /* Initialise hidden unit activation to zero */
    NNCode15Acts[33+u] = 0.0;
    /* Accumulate weighted sum from inputs */
    for ( i=0; i < 14; ++i )
        NNCode15Acts[33+u] += *w++ * NNCode15Acts[19+i];
    /* Subtract threshold */
    NNCode15Acts[33+u] -= *t++;
    /* Now apply the logistic activation function, 1 / ( 1 + e^-x ).
     * Deal with overflow and underflow
     */
    if ( NNCode15Acts[33+u] > 100.0 )
        NNCode15Acts[33+u] = 1.0;
    else if ( NNCode15Acts[33+u] < -100.0 )
        NNCode15Acts[33+u] = 0.0;
    else
        NNCode15Acts[33+u] = 1.0 / ( 1.0 + exp( - NNCode15Acts[33+u] ) );
}
/* Type of output required - selected by outputType parameter */
switch ( outputType )
{
    /* The usual type is to generate the output variables */
    case 0:

```

ДОДАТОК АА

Лістинг програмної реалізації (ініціалізація) нейромережевої моделі еколого-енергетичної ефективності процесів водоочищення

```
#include <stdio.h>
#include <math.h>
#include <string.h>
#include <stdlib.h>
#ifndef FALSE
#define FALSE 0
#define TRUE 1
#endif
#define MENUCODE -999
static double SNNCode05Thresholds[] =
{
/* layer 1 */
-1.2693783194395665, -1.5154814798228147, -0.47043974265075988, -1.1881804244837626,
-1.3579200196747565, -0.22231079672698187, -1.1204010791802694, 1.7465246898648403,
-1.6602169679003944, -0.73756276589888414, 1.5308127109776937, 1.2837035204786869,
0.74228905928211231,
/* layer 2 */
0.34557633005855504, -0.28851789491612123, 0.54970387134588095, -1.1228305783233887,
-0.63821003415626454, -0.11364894882120331, -0.88904265013698558, -0.8369682601879479,
0.056487342113891698, -0.32494876512980836, -0.54856071914684068, -0.67369317680688079,
0.40321825993389737, -0.0020759031173190495
};
static double SNNCode05Weights[] =
{
/* layer 1 */
0.7225114265053233,
0.42057923761312005,
0.26766022931060618,
0.4333206118714627,
-0.81090761982744208,
2.9606439765564434,
1.3950636268888277,
-0.32365533118559181,
-1.0819798672073653,
1.8609919080726602,
-0.96478175431955071,
-1.3249443565386583,
-2.2041114884828215,
/* layer 2 */
-0.15292735267021026, 0.36394130339078673, -0.1291544523581164, 0.29281440617058746,
-0.006738513974785307, -0.95162197631338552, 0.37839079126573077, -0.47622346115932718,
0.18670574147494193, 0.46421149623349317, 0.52007794725657297, -0.42057950744844713,
-0.071710748625150103,
0.31299420772221936, 0.39057756104721159, -0.59426040216414688, -0.20180537984847791,
```

-0.31877189562076946, 0.27296830248845538, 0.2556067715768689, -0.46869381348562589,
0.16983434717789, -0.32126894730047795, -0.02306631618777041, 0.32778796502313284,
0.10586778423302427,
-0.48895169574438302, -0.13543813846934866, 0.42024509306772895, 0.12416835066342705,
0.39281349066723747, 1.0398590728065895, -0.65414834922354703, 0.7422748025643533,
0.1099637296608189, 0.70163064038974499, -0.13017978829768836, -0.6623925055983132,
0.028886440335628701,
0.30865356648991532, -0.069563704365289275, 0.3091835657328334, 0.99129572479980865,
-0.61548875256815783, -0.6456067816838772, 0.95674911400579121, 0.67379072084198244,
-1.1952045717289574, -0.6901818638837055, 0.46030876470223009, -0.85210529074427754,
0.25032572414782289,
-0.27876112697227856, -0.84124893676171364, -0.36404432342216481, -0.091395034701833897,
0.39547338508661001, 0.42030195234407264, 0.61577358251536685, 0.90636392536800003,
0.93079321056374176, 0.1334242262614653, 0.5541506655013404, -0.50608021825118277,
-0.049757015155102086,
0.42490573200204185, 0.11238618618080179, 0.74306302927218781, -0.5237229201264364,
0.2412491749312197, 0.55947074383957451, -0.46915551405325434, -0.092387824725366094,
0.052628161697352044, 0.14245353083915963, 0.75083659927161628, -0.63129545802562304,
0.68890947889943133,
0.051470517888376137, 0.20913101540257822, -0.36358388176561168, 0.5885304691984683,
0.11436719668066844, 1.1394820694102015, -0.2891652837374819, 0.8118660672419129,
-0.14558817338912691, -0.22538210912234577, 0.15672456311497099, 0.56024160184209515,
-0.16353120896434764,
0.35998798006184413, -0.66571739728899171, -0.86061848778382466, -0.7967459778994479,
-0.040995976564028272, -0.051995499616563037, -0.15244239994348516, 0.567611577305558,
-0.43384832513300209, 0.29814400140550917, -0.67014396942093801, -0.34370208819115683,
-1.0913661651178164,
-0.70539990854165957, 0.35323947740787082, -0.88808631426892259, -0.1701339415283189,
0.34192953834446022, 0.65019836104915629, 0.48305944311439153, -0.35324974002276888,
0.77850470250366, 0.80095892428428073, 0.82764790820978384, 0.25310317867109583,
0.39610699926061305,
-0.56758944919192944, -0.82320820024017882, 0.2604395286284647, 0.68870041018634554,
0.47154487330403511, 0.57570039129788786, -0.075869339352703347, -0.46336050824850333,
-0.26455098078703232, -0.13984823166895924, 0.29091352850711166, 0.66158739455753501,
-0.73343593562789899,
-0.095540233693338653, -0.14160086574825786, -0.89448421275245293, -0.99160537478141475,
0.070485273620480932, 0.44121920124169922, 0.40352291672296203, -0.23692994055743985,
0.15209864133716594, 0.072459045555532606, 0.20042458654404186, 0.0038472630876515354,
-0.50302591604503821,
-0.025783453948555534, 0.15944342964224914, 0.73576671535758609, -0.14803775644070166,
0.03346516696692025, -0.031129912065282459, 0.43820258740937251, -0.39733755340178001,
-0.7659775120885427, -0.23722957428373784, -0.060058881806204563, 0.14240747911783658,
0.82773337989961793,
-0.23663271457389157, -0.27931663654718591, 0.042072564905394322, -0.033088392392355809,
-0.85741486656779087, 0.82638634583245851, 0.52179648616031393, -0.058334854284353303,
0.96176101722394003, -0.52681023648748593, -0.049845567150498211, -0.66546349050051878,
0.15511062540720882,
-0.077151508936704208, -0.51737400781425302, -0.53920458439344787, -1.0993630376783876,
0.18809783621375087, 0.50289854886387886, 0.48463971082294172, -0.27309890219065197,
0.21281266423071779, 0.40491827582900947, -0.11737119689371239, -0.0696656225254772,
-0.35767915562982044
};

```

};

static double SNNCode05Acts[56];
void SNNCode05Run( double inputs[], double outputs[], int outputType )
{
  int i, j, k, u;
  double *w = SNNCode05Weights, *t = SNNCode05Thresholds;
  /* Process inputs - apply pre-processing to each input in turn,
   * storing results in the neuron activations array.
   */
  /* Input 0: standard numeric pre-processing: linear shift and scale. */
  if ( inputs[0] == -9999 )
    SNNCode05Acts[0] = 0.47966927328460374;
  else
    SNNCode05Acts[0] = inputs[0] * 51.302866113993609 + 0.56931707223679429;
  /*
   * Process layer 1.
   */
  /* For each unit in turn */
  for ( u=0; u < 13; ++u )
  {
    /*
     * First, calculate post-synaptic potentials, storing
     * these in the SNNCode05Acts array.
     */
    /* Initialise hidden unit activation to zero */
    SNNCode05Acts[1+u] = 0.0;
    /* Accumulate weighted sum from inputs */
    for ( i=0; i < 1; ++i )
      SNNCode05Acts[1+u] += *w++ * SNNCode05Acts[0+i];
    /* Subtract threshold */
    SNNCode05Acts[1+u] -= *t++;

    /* Now apply the hyperbolic activation function,  $(e^x - e^{-x}) / (e^x + e^{-x})$ .
     * Deal with overflow and underflow
     */
    if ( SNNCode05Acts[1+u] > 100.0 )
      SNNCode05Acts[1+u] = 1.0;
    else if ( SNNCode05Acts[1+u] < -100.0 )
      SNNCode05Acts[1+u] = -1.0;
    else
    {
      double e1 = exp( SNNCode05Acts[1+u] ), e2 = exp( -SNNCode05Acts[1+u] );
      SNNCode05Acts[1+u] = ( e1 - e2 ) / ( e1 + e2 );
    }
  }

  /*
   * Process layer 2.
   */
  /* For each unit in turn */
  for ( u=0; u < 14; ++u )

```

```

{
/*
 * First, calculate post-synaptic potentials, storing
 * these in the SNNCode05Acts array.
 */

/* Initialise hidden unit activation to zero */
SNNCode05Acts[14+u] = 0.0;

/* Accumulate weighted sum from inputs */
for ( i=0; i < 13; ++i )
  SNNCode05Acts[14+u] += *w++ * SNNCode05Acts[1+i];

/* Subtract threshold */
SNNCode05Acts[14+u] -= *t++;
}

/* Type of output required - selected by outputType parameter */
switch ( outputType )
{
/* The usual type is to generate the output variables */
case 0:

/* Post-process output 0, numeric linear scaling */
outputs[0] = ( SNNCode05Acts[14] - -0.04166666666666664 ) / 0.003472222222222222;

/* Post-process output 1, numeric linear scaling */
outputs[1] = ( SNNCode05Acts[15] - -0.13513513513513514 ) / 0.027027027027027029;

/* Post-process output 2, numeric linear scaling */
outputs[2] = ( SNNCode05Acts[16] - -0.074074074074074084 ) / 0.37037037037037041;

/* Post-process output 3, numeric linear scaling */
outputs[3] = ( SNNCode05Acts[17] - -0.090909090909090925 ) / 0.90909090909090917;

/* Post-process output 4, numeric linear scaling */
outputs[4] = ( SNNCode05Acts[18] - -1.3023255813953489 ) / 0.23255813953488372;

/* Post-process output 5, numeric linear scaling */
outputs[5] = ( SNNCode05Acts[19] - -5.2307692307692317 ) / 0.76923076923076938;

/* Post-process output 6, numeric linear scaling */
outputs[6] = ( SNNCode05Acts[20] - -0.34615384615384615 ) / 0.19230769230769229;

/* Post-process output 7, numeric linear scaling */
outputs[7] = ( SNNCode05Acts[21] - -0.056603773584905648 ) / 0.18867924528301885;

/* Post-process output 8, numeric linear scaling */
outputs[8] = ( SNNCode05Acts[22] - -0.11538461538461538 ) / 0.38461538461538458;

/* Post-process output 9, numeric linear scaling */

```

```

outputs[9] = ( SNNCode05Acts[23] - -0.125 ) / 1.25;

/* Post-process output 10, numeric linear scaling */
outputs[10] = ( SNNCode05Acts[24] - -0.029023746701846966 ) / 0.00052770448548812663;

/* Post-process output 11, numeric linear scaling */
outputs[11] = ( SNNCode05Acts[25] - -0.3235294117647059 ) / 0.029411764705882353;

/* Post-process output 12, numeric linear scaling */
outputs[12] = ( SNNCode05Acts[26] - -0.3333333333333337 ) / 0.47619047619047616;

/* Post-process output 13, numeric linear scaling */
outputs[13] = ( SNNCode05Acts[27] - -0.6875 ) / 0.625;
break;

/* type 1 is activation of output neurons */
case 1:
for ( i=0; i < 14; ++i )
    outputs[i] = SNNCode05Acts[14+i];
break;

/* type 2 is codebook vector of winning node (lowest actn) 1st hidden layer */
case 2:
{
    int winner=0;
    for ( i=1; i < 13; ++i )
        if ( SNNCode05Acts[1+i] < SNNCode05Acts[1+winner] )
            winner=i;

    for ( i=0; i < 1; ++i )
        outputs[i] = SNNCode05Weights[1*winner+i];
}
break;

/* type 3 indicates winning node (lowest actn) in 1st hidden layer */
case 3:
{
    int winner=0;
    for ( i=1; i < 13; ++i )
        if ( SNNCode05Acts[1+i] < SNNCode05Acts[1+winner] )
            winner=i;

    outputs[0] = winner;
}
break;
}
}

/* ----- */
void SNNCode05RunPadded( double inputs[], double outputs[], int outputType )
{
    double in[1];

```



```

/* Copy inputs */
in[0]=inputs[14];
/* Run the network */
SNNCode05Run( in, outputs, outputType );
}
/*
Test harness. Compile including this main() procedure, as
a windows console program or a DOS program, to interactively
test that the software functions as expected.
*/
int main(void)
{
int i, outputType=0, noOutputs=14;
double inputs[1], outputs[14];

printf( "\n\nSNNCode test harness program. Enter inputs below\n" );
printf( "Nominal variables should be numbered starting at 1 (0 for missing)\n" );
printf( "(e.g. if an input is Gender={male,female}, enter 1 for male, 2 for female)\n" );

/* Infinite (user-breakable) loop for repeated tests */
start_of_loop:
while ( 1 )
{
/* Get the input pattern */
for ( i=0; i < 1; ++i )
{
printf( "Enter value for input %d: ", i+1 );
scanf( "%lg", & inputs[i] );

/* Check for sub-menu */
if ( inputs[i] == MENUCODE )
{
printf( "Control menu. Select output style, or exit:\n" );
printf( "0. Normal output style (output variable)\n" );
printf( "1. Output layer activations\n" );
printf( "2. Codebook vector (usual only for Kohonen networks\n" );
printf( "3. Winning hidden neuron (ditto only Kohonen)\n" );
printf( "4. Exit program\n" );
printf( "> " );
scanf( "%d", & outputType );
if ( outputType < 0 || outputType > 3 )
{
printf( "\nBye.\n" );
return 0;
}
}
}
}
}

```

ДОДАТОК АБ
Еколого-енергоєфективні навчальні для нейромережів набори даних

Нітрати, мг/л		Фосфати, мг/л		рН		БСК, мг/л		СПАР, мг/л		Завислі частинки, мг/л		Витрати води, м.куб/доба	Сила струму, А
Вхідне значення	Значення, яке буде забезпечено на виході	Вхідне значення	Значення, яке буде забезпечено на виході	Вхідне значення	Значення, яке буде забезпечено на виході	Вхідне значення	Значення, яке буде забезпечено на виході	Вхідне значення	Значення, яке буде забезпечено на виході	Вхідне значення	Значення, яке буде забезпечено на виході		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
252	16	1	0,3	5,8	6,9	4	2,5	1,2	0,6	1100	28	1,1	7,8
300	23	0,5	0,1	9,7	7,1	2,6	1,3	2,8	0,7	55	14	2,7	8,3
275	35	1,5	0,2	9,3	7,2	2,3	1,4	2,9	0,4	75	13	2,6	8,2
180	37	0,3	0,1	9,1	7,4	3,5	0,3	0,6	0,5	110	20	1,3	7,8
221	35	0,6	0,2	8,9	7,3	3,6	0,3	2,8	0,6	95	15	2,2	8
12	5	2,8	1,2	5,9	6,8	6,5	3,3	0,3	0,1	1800	21	2,5	8,1
286	36	0,5	0,2	8,8	7,1	1,8	0,5	2,5	0,6	75	13	1,2	6,9
155	31	1,6	0,4	6,9	6,8	5,1	3,1	0,6	0,1	900	12	1,8	7,9
165	34	1,5	0,2	7,2	7,2	5,3	2,9	0,7	0,3	1100	16	2	7,9
170	32	1,2	0,2	7,8	7	4,8	3	0,8	0,3	950	15	2,6	8,3
20	15	2,5	0,4	9,8	7,6	6,5	3	2,8	0,4	1850	19	1,8	7,9
270	29	0,2	0,1	5,9	6,8	2	1	0,4	0,1	1500	32	1	7,8
260	39	2,9	0,4	9	7,3	6	2	1	0,9	850	18	2,8	8,4
198	10	0,41	0,2	9	7,2	6,3	2,2	1,2	0,4	1200	42	2,3	8,2
262	34	0,57	0,1	6,4	7,4	6	3	2	0,3	824	14	1,9	8
237	20	1,38	0,2	8	6,9	6,8	3,8	1,6	0,5	1450	36	1,5	7,8
228	40	0,7	0,2	7,7	7	4	2,8	2,1	0,3	1650	14	1,2	7,8
148	42	2,51	0,3	9,7	6,8	5,5	1,8	0,7	0,7	760	14	1,3	7,8
211	35	1,41	0,4	8,3	7,3	4,5	2,5	2,8	0,6	70	14	2,5	8,3
267	25	1,59	0,1	5,9	7,4	4,3	4,1	2	0,4	1100	45	2,1	8
63	35	2,04	0,6	8,5	6,8	6,3	3,6	1,9	0,3	450	15	1,8	7,9
201	15	0,97	0,4	6,7	7,4	5	5,1	2,9	0,6	560	12	2,4	8,3
87	26	2,68	0,3	7,7	7,9	5,8	4,7	1,6	0,7	1040	13	1,8	8
123	42	0,83	0,1	9,2	8	4,6	4,9	1,4	0,5	1230	16	2,1	8,2

Продовження ДОДАТКУ АБ

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
47	30	2,22	0,7	5,8	7,2	5	4	1,8	0,3	435	14	1,4	7,8
277	15	2,24	0,2	6,1	7,4	7	3,5	2,4	0,5	120	11	1,9	7,9
57	16	2,24	0,3	8,7	6,9	6,4	5,1	1,3	0,2	580	14	2,1	8,3
100	25	1,66	0,3	6,4	7,1	5,3	5,6	1,8	0,1	1430	17	2,4	8,5
136	37	1,53	0,2	6,8	7,3	5	4,6	1	0,5	785	15	1,9	8,2
295	20	0,87	0,1	8,7	6,8	4,1	3,6	1,4	0,6	1950	21	2,8	8,7
223	26	2,33	0,3	6,7	7,5	6,2	3	1,8	0,7	350	15	2,2	8,2
252	34	1,52	0,4	8,1	8,1	6,4	2,9	1,2	0,4	750	18	2,3	8,5
82	37	1,27	0,3	9,4	8	5,5	2,8	2,1	0,5	1670	14	2,9	8,6
113	11	2,62	0,6	9,2	7,7	4,5	3,1	2	0,7	1320	15	1,6	8,2
228	42	2,82	0,2	5,8	6,9	6,6	3	2,8	0,4	980	11	0,9	7,9
207	39	2,04	0,5	5,6	7,2	4,2	3,4	2,4	0,5	120	12	1,6	8,4
90	28	2,41	0,2	9,9	6,9	5,8	2,9	2,8	0,6	1290	17	1,8	7,8
119	27	2,22	0,3	9,5	6,8	4,9	3,1	2,9	0,2	870	14	1,8	8,8
292	27	0,67	0,1	6,8	7,2	5	2,6	2,6	0,7	230	13	2,3	8,9
157	20	0,98	0,2	9,3	7,1	5,9	3,1	0,7	0,3	910	14	1,1	7
59	34	2,12	0,3	9	6,9	4,6	2	0,7	0,5	1200	21	1,7	7,7
229	17	2,69	0,4	6,2	6,8	4,1	2,5	1,4	0,6	1660	16	1,9	8,4
241	11	1,61	0,9	7,1	7,3	4	3,7	0,8	0,5	730	20	2,1	7,9
289	11	1,17	0,2	9,9	7,9	4,9	3	2,4	0,6	880	14	2,5	8,4
81	12	2,85	0,3	5,5	6,8	5,3	2,8	2,5	0,3	1380	14	2,6	8,8
121	26	1,17	0,2	7,4	7	6	4	2,7	0,3	90	12	1,2	9
163	17	1,44	0,3	8,3	7,1	5,4	4,1	1,8	0,2	1200	13	1,5	7,8
74	16	2,62	0,2	8,9	7,3	4,7	2,9	0,8	0,4	950	18	0,7	7,9
58	17	0,86	0,2	7,4	6,8	5,2	3	2,8	0,5	1730	15	1,7	7,7

ДОДАТОК АВ

Програмна реалізація функцій приналежності еколого-енергетичної ефективних параметрів очищення стічних вод промислових підприємства (керуючий вплив – сила струму) (у індексованій нотації середовища FIS-Editor MatLab)

```

[Input1] Name='input1'
Range=[12 300]
NumMFs=3
MF1='in1mf1': 'trimf', [-132 56 156]
MF2='in1mf2': 'trimf', [12 156 300]
MF3='in1mf3': 'trimf', [156 250 300]
[Input2]Name='input2'
Range=[0.2 2.9]
NumMFs=3
MF1='in2mf1': 'trimf', [-1.15 0.8 1.55]
MF2='in2mf2': 'trimf', [0.2 2 2.9]
MF3='in2mf3': 'trimf', [1.55 2.9 4.25]
[Input3]Name='input3'
Range=[5.5 9.9]
NumMFs=3
MF1='in3mf1': 'trimf', [3.3 6.5 7.7]
MF2='in3mf2': 'trimf', [5.5 8.7 9.9]
MF3='in3mf3': 'trimf', [7.7 9.9 12.1]
[Input4]Name='input4'
Range=[1.8 7]
NumMFs=3
MF1='in4mf1': 'trimf', [0 1 4.4]
MF2='in4mf2': 'trimf', [1.8 3.4 7]
MF3='in4mf3': 'trimf', [4.4 6 9.6]
[Input5]Name='input5'
Range=[0.3 2.9]
NumMFs=3
MF1='in5mf1': 'trimf', [-1 0.9 1.6]
MF2='in5mf2': 'trimf', [0.5 1.9 2.9]
MF3='in5mf3': 'trimf', [1.6 2.9 4.2]
[Input6]Name='input6'
Range=[55 1950]
NumMFs=3
MF1='in6mf1': 'trimf', [-200.5 57 903]
MF2='in6mf2': 'trimf', [55 803 1950]
MF3='in6mf3': 'trimf', [803 1750 2698]
[Input7]
Name='input7'
Range=[0.7 2.9]
NumMFs=3
MF1='in7mf1': 'trimf', [-0.4 0.7 1.2]
MF2='in7mf2': 'trimf', [1.2 1.8715059588299 2.8]
MF3='in7mf3': 'trimf', [1.8 2.9 4]

```

Додаток АГ

Лістинг програмної реалізації (ініціалізація) еколого-енергетичної ефективної нейромережевої бази знань промислового водоочищення

```

#include <stdio.h>
#include <math.h>
#include <string.h>
#include <stdlib.h>

#ifdef FALSE
#define FALSE 0
#define TRUE 1
#endif

#define MENUCODE -999

static double NNCode06Thresholds[] =
{

/* layer 1 */
0.0069940754099373677, -0.082849946397932889, 0.14527871556945449, 0.42513398499094746,
0.9576519853722566, -0.94640908121714651, 0.83677518890913305, 0.68480678518672045,

/* layer 2 */
-0.049974310449572033

};

static double NNCode06Weights[] =
{
/* layer 1 */
-1.4404527594156424, 0.89253485825620238, 0.9456746483798697, 0.90363258743633201,
0.88149240343655788, -1.4180182735737619, 1.2133480738590678, -0.9536725025020768,
-2.3353345946583208, 0.14886738484478029, -0.45948636385812497, 0.39073340414897745,
0.10822967336204527,
-0.8166430307312017, 0.7229023306171305, 1.027984753221566, -0.32287852486783669,
0.11176484357301078, -0.34288654125209844, 1.2927465488496281, 0.4105930685641685,
-0.0065727638287093422, 0.13200895859013242, -0.58872833873859587, 1.6565880767047525,
0.26594261120031382,
1.0388024403837552, 0.76864223630438377, 0.6403510044695665, -0.051169710234385365,
-0.75829045036092546, 0.85523083157652757, 0.39230914909595332, -0.16271488139588219,
0.34566090391753795, -1.1354582454641777, 0.20286911471727093, -1.1947800897111258,
-1.0007878401275598,
0.53169096829056894, -1.279620552471354, -0.34017421504203382, -1.9705029076691032,
1.3708882639557145, 0.30515655360754174, -0.84385595987175455, -1.0240589615634392,
-1.1771252900743443, -0.29941739314497973, 0.16198928632231882, 0.45260400758362435,
0.081720980964572892,
-0.69701602669921581, 0.36659357423616806, 0.41518937028236569, 0.57379201614738362,

```

```

-2.043276312697035, -0.13780717896181344, 2.0950451819425391, -0.077128653520245657,
-1.1334900556910488, 0.46768465071791904, 1.4295462127928416, -0.079764231358509408,
1.2496615483819176,
-0.35438820379669905, 1.0697233829231554, -0.46890321688595443, 0.79714240619705978,
-0.099941027992898807, 0.90502750816156385, 0.62168435261791932, -0.65049412787159944,
0.11132996955570268, 0.32890695288244159, 0.56506721473539412, -0.25112447474646132,
-0.60835886492228319,
-1.298393188499017, 0.65885897437527496, -0.66797103698546545, -1.5568870346673251,
-1.0342567053153013, -0.027947611321365036, -1.2725852944659459, -1.6424923530814191,
0.40332393496628771, 0.69387417165002307, 0.55109203263347639, -1.5705759446176133,
1.0262707176945489,
-2.1022664349905242, -0.42479095817119084, 0.86907004058914206, -0.53860765967940261,
2.0560918631741441, -1.5659717038033132, -1.89248573524636, -0.54547587950171572,
-0.58700474936271752, -0.93405416957888665, -0.24666054693179548, 1.7831428048188205,
-0.52390910941366431,

```

```

/* layer 2 */

```

```

-0.054105641494569888, 1.2212345095592767, 0.095104551154091291, -0.12419296305263525,
-0.19023809348457849, -1.8092015423293872, 0.48979080977848705, -1.4767468175024752

```

```

};

```

```

static double NNCode06Acts[44];

```

```

void NNCode06Run( double inputs[], double outputs[], int outputType )

```

```

{

```

```

    int i, j, k, u;

```

```

    double *w = NNCode06Weights, *t = NNCode06Thresholds;

```

```

    /* Input 0: standard numeric pre-processing: linear shift and scale. */

```

```

    if ( inputs[0] == -9999 )

```

```

        NNCode06Acts[0] = 0.50222222222222224;

```

```

    else

```

```

        NNCode06Acts[0] = inputs[0] * 0.003472222222222222 + -0.041666666666666664;

```

```

    /* Input 1: standard numeric pre-processing: linear shift and scale. */

```

```

    if ( inputs[1] == -9999 )

```

```

        NNCode06Acts[1] = 0.58054054054054061;

```

```

    else

```

```

        NNCode06Acts[1] = inputs[1] * 0.027027027027027029 + -0.13513513513513514;

```

```

    /* Input 2: standard numeric pre-processing: linear shift and scale. */

```

```

    if ( inputs[2] == -9999 )

```

```

        NNCode06Acts[2] = 0.53373584905660387;

```

```

    else

```

```

        NNCode06Acts[2] = inputs[2] * 0.37735849056603776 + -0.075471698113207558;

```

```

    /* Input 3: standard numeric pre-processing: linear shift and scale. */

```

```

    if ( inputs[3] == -9999 )

```

```

        NNCode06Acts[3] = 0.23272727272727267;

```

```

    else

```

```

        NNCode06Acts[3] = inputs[3] * 0.90909090909090917 + -0.0909090909090925;

```

```

    /* Input 4: standard numeric pre-processing: linear shift and scale. */

```

```

if ( inputs[4] == -9999 )
  NNCode06Acts[4] = 0.54232558139534848;
else
  NNCode06Acts[4] = inputs[4] * 0.23255813953488369 + -1.2790697674418603;

/* Input 5: standard numeric pre-processing: linear shift and scale. */
if ( inputs[5] == -9999 )
  NNCode06Acts[5] = 0.24666666666666881;
else
  NNCode06Acts[5] = inputs[5] * 0.8333333333333326 + -5.6666666666666661;

/* Input 6: standard numeric pre-processing: linear shift and scale. */
if ( inputs[6] == -9999 )
  NNCode06Acts[6] = 0.5957446808510638;
else
  NNCode06Acts[6] = inputs[6] * 0.21276595744680851 + -0.38297872340425532;

/* Input 7: standard numeric pre-processing: linear shift and scale. */
if ( inputs[7] == -9999 )
  NNCode06Acts[7] = 0.54434782608695653;
else
  NNCode06Acts[7] = inputs[7] * 0.21739130434782605 + -0.06521739130434781;

/* Input 8: standard numeric pre-processing: linear shift and scale. */
if ( inputs[8] == -9999 )
  NNCode06Acts[8] = 0.52923076923076906;
else
  NNCode06Acts[8] = inputs[8] * 0.38461538461538458 + -0.11538461538461538;

/* Input 9: standard numeric pre-processing: linear shift and scale. */
if ( inputs[9] == -9999 )
  NNCode06Acts[9] = 0.52666666666666673;
else
  NNCode06Acts[9] = inputs[9] * 1.6666666666666665 + -0.16666666666666666;

/* Input 10: standard numeric pre-processing: linear shift and scale. */
if ( inputs[10] == -9999 )
  NNCode06Acts[10] = 0.47197889182058045;
else
  NNCode06Acts[10] = inputs[10] * 0.00052770448548812663 + -0.029023746701846966;

/* Input 11: standard numeric pre-processing: linear shift and scale. */
if ( inputs[11] == -9999 )
  NNCode06Acts[11] = 0.21199999999999997;
else
  NNCode06Acts[11] = inputs[11] * 0.050000000000000003 + -0.59999999999999998;

/* Input 12: standard numeric pre-processing: linear shift and scale. */
if ( inputs[12] == -9999 )
  NNCode06Acts[12] = 0.52761904761904777;
else
  NNCode06Acts[12] = inputs[12] * 0.47619047619047616 + -0.33333333333333337;

```

```

/*
 * Process layer 1.
 */

/* For each unit in turn */
for ( u=0; u < 8; ++u )
{
  /*
   * First, calculate post-synaptic potentials, storing
   * these in the NNCode06Acts array.
   */

  /* Initialise hidden unit activation to zero */
  NNCode06Acts[13+u] = 0.0;
  /* Accumulate weighted sum from inputs */
  for ( i=0; i < 13; ++i )
    NNCode06Acts[13+u] += *w++ * NNCode06Acts[0+i];
  /* Subtract threshold */
  NNCode06Acts[13+u] -= *t++;
  /* Now apply the hyperbolic activation function, ( e^x - e^-x ) / ( e^x + e^-x ).
   * Deal with overflow and underflow
   */
  if ( NNCode06Acts[13+u] > 100.0 )
    NNCode06Acts[13+u] = 1.0;
  else if ( NNCode06Acts[13+u] < -100.0 )
    NNCode06Acts[13+u] = -1.0;
  else
  {
    double e1 = exp( NNCode06Acts[13+u] ), e2 = exp( -NNCode06Acts[13+u] );
    NNCode06Acts[13+u] = ( e1 - e2 ) / ( e1 + e2 );
  }
}
/*
 * Process layer 2.
 */

/* For each unit in turn */
for ( u=0; u < 1; ++u )
{
  /*
   * First, calculate post-synaptic potentials, storing
   * these in the NNCode06Acts array.
   */

  /* Initialise hidden unit activation to zero */
  NNCode06Acts[21+u] = 0.0;

  /* Accumulate weighted sum from inputs */
  for ( i=0; i < 8; ++i )
    NNCode06Acts[21+u] += *w++ * NNCode06Acts[13+i];

  /* Subtract threshold */
  NNCode06Acts[21+u] -= *t++;
}

```



```

}
/* Type of output required - selected by outputType parameter */
switch ( outputType )
{
/* The usual type is to generate the output variables */
case 0:
/* Post-process output 0, numeric linear scaling */
outputs[0] = ( NNCode06Acts[21] - -3.2857142857142865 ) / 0.47619047619047628;
break;
/* type 1 is activation of output neurons */
case 1:
for ( i=0; i < 1; ++i )
outputs[i] = NNCode06Acts[21+i];
break;
/* type 2 is codebook vector of winning node (lowest actn) 1st hidden layer */
case 2:
{
int winner=0;
for ( i=1; i < 8; ++i )
if ( NNCode06Acts[13+i] < NNCode06Acts[13+winner] )
winner=i;

for ( i=0; i < 13; ++i )
outputs[i] = NNCode06Weights[13*winner+i];
}
break;

/* type 3 indicates winning node (lowest actn) in 1st hidden layer */
case 3:
{
int winner=0;
for ( i=1; i < 8; ++i )
if ( NNCode06Acts[13+i] < NNCode06Acts[13+winner] )
winner=i;

outputs[0] = winner;
}
break;
}
}

```

ДОДАТОК АД

Ресурсозберігальні технології раціонального водокористування

На основі експериментальних досліджень та опрацювання інформаційно-функціональних моделей (Розділ 5) удосконалено схему водопровідних станцій (Патент 95201 UA, МПК E 03 B 7/00 (2014.01) «Водопровідна насосна станція»), включаючи напірних каналізаційних споруд.

Розроблена водопровідна насосна станція, наприклад, може містити (рис. АД1): приміщення 1, всередині якого встановлені підвищувальні насосні агрегати (насоси) 2 і 3, один із яких може бути резервним 3; кожний насосний агрегат 2 і 3 має водопровідні всмоктувальні трубопроводи 4 з засувкою 5 для можливого відключення насоса 2 або 3 від трубопроводу 6, а напірні трубопроводи 7 насосів 2 і 3 виконані з засувкою 8 для пуску насоса 2 або 3 та для регулювання кількості води на подачу, заслінку 9, трубопровід 10, згідно пропонованої корисної моделі насосна станція на лінії всмоктувального трубопроводу 4 обладнується автоматизованим блоком 11 керуваної зміни складу та властивостей транспортованої води.

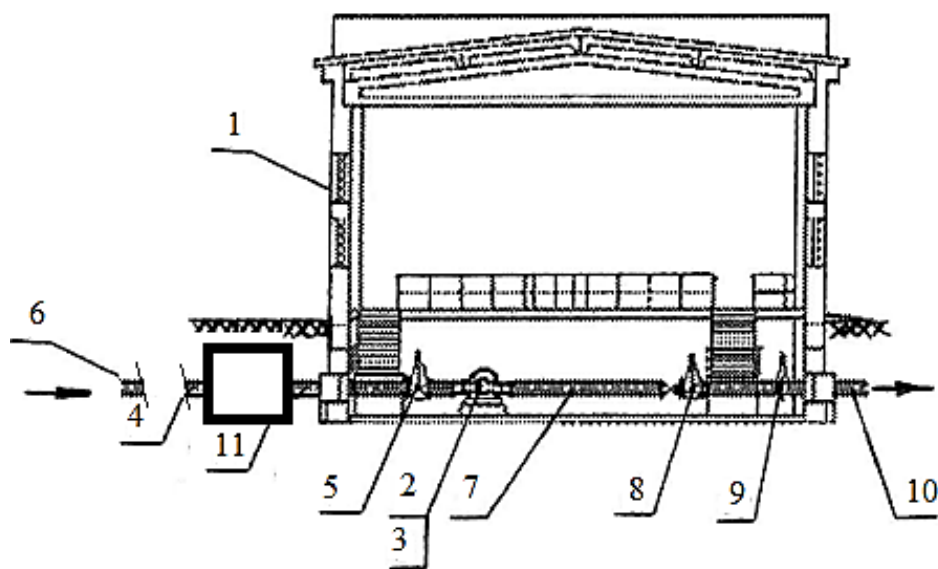


Рисунок АД1 – Загальний вид удосконаленої насосної станції

Наступним технологічним рішенням, режими роботи котрого базуються на ефективному опрацювання вимірювальної інформації із використанням розроблених являється бродильна камера для біогазових установок.

Винахід (Патент 98867 UA, МПК А 01 С 3/00 (2012.01) «Бродильна камера для біогазових установок») відноситься до бродильних камер для біогазових установок і може бути використаний при переробці (утилізації) забрудненого небезпечними речовинами органічної маси з осаду замулених водосховищ, радіоактивної рослинності в Чорнобильській зоні відчуження, стоків тваринницьких ферм, побутових стоків, органічних відходів полігонів побутового сміття тощо. Найефективніше застосовувати винахід як елемент комунально-виробничих каналізаційних мереж великих об'єктів: населені пункти, агропромислові підприємства тощо.

Бродильна камера для біогазової установки складається з (рис. АД2): коробка з підігрівом гарячою водою 1 органічної маси; сапунів 2 гідравлічно з'єднаних з джерелом органічної маси; переливних приямків 3 для виходу збродженої органічної маси з коробка з підігрівом гарячою водою 1 у вигляді резервуара з горизонтальним дном; вакуум-башти 4 у якій вакуум-насос 5 створює вакуум; трубопроводу 6, який з'єднує сапуни 2 з вакуум-баштою 4; пристрою для перемішування органічної маси, виконаного у вигляді труби 7 з боковими отворами 8, яка закріплена вздовж стінки коробка 1 у його нижній частині; труб зриву вакууму 9, що обладнані клапанами, які з'єднують вакуум-башту 4 з коробом 1; автоматизованої насосної станції 10 (реалізовані методи ефективного опрацювання вимірювальної інформації), яка з'єднана одним кінцем трубопровода 11 з переливними приямками 3 для виходу збродженої органічної маси, а другим кінцем з пристроєм прийому органічних відходів 12 з'єданого трубопроводом 13 з сапунами 2.

Функціональні особливості бродильної камери біогазової установки, у тому числі як складової багатокамерних біогазових установок, забезпечують екологічно чисті, нескладні у обслуговуванні, безпечні для людини і довкілля ефективні умови утворення паливного газу і органічного добрива – що досягається шляхом

реалізації режимів встановлених у результаті попередніх досліджень на основі використання інформаційно-функціональних моделей (Розділ 6). При цьому створюються передумови продуктивної роботи технологічного обладнання у режимі автоматизованої переробки органічної маси відходів виробничого та комунального секторів (без додаткових джерел водопостачання) за рахунок застосування замкнутого циклу багаторазового використання води і отримання додаткових ліквідних продуктів: органо-мінерального добрива і паливного газу.

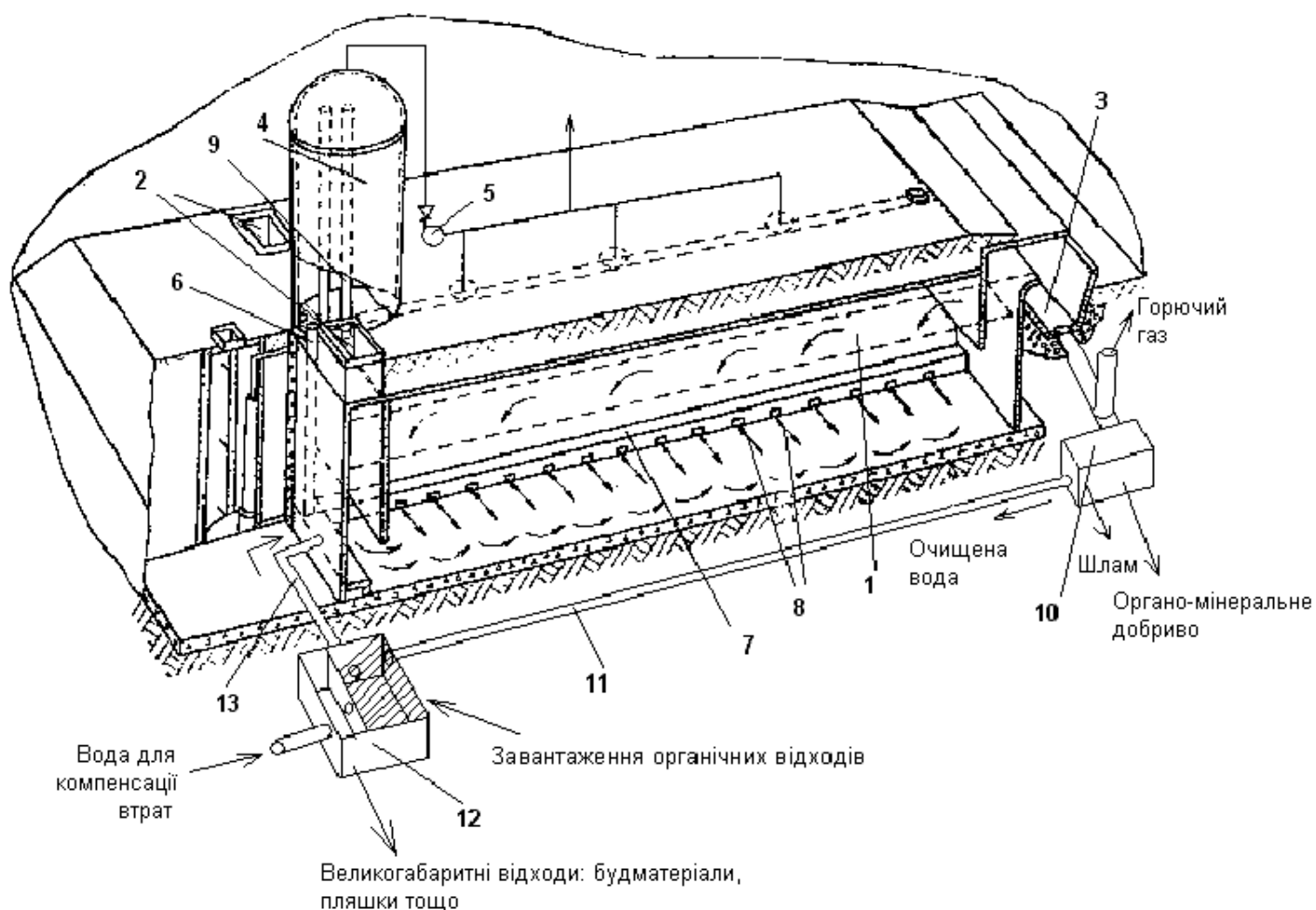


Рисунок АД2 – Зовнішній вигляд бродильної камери біогазової установки

Додаток АЕ

Виробничі впровадження, використання та апробації науково-технічних засад удосконалення управління екологічною безпекою технологій водоочищення

Погоджено	Затверджую
<p>Проректор з наукової та інноваційної діяльності</p> <p style="text-align: right;"><i>[Signature]</i></p> <p style="text-align: center;">А. Й. Мазуркевич</p> <p style="text-align: right;">_____ 2010 р.</p>	<p>Директор ДП «Навчально-дослідний племінний птахівничий завод імені Фрунзе»</p> <p style="text-align: center;"><i>[Signature]</i></p> <p style="text-align: center;">Б. О. Якимчик</p> <p style="text-align: right;">_____ 2010 р.</p>
	

АКТ № 3

від «26» 10 2010 р.

виробничого випробування комп'ютерно-інтегрованої системи ефективного управління енергетичними ресурсами на птахофабриках, розробленої виконавцями науково-дослідної роботи за договором №110/265-пр науково-дослідного інституту електроенергетичних систем Національного університету біоресурсів і природокористування України

АР Крим, с. Фрунзе

Ми, що нижче підписалися, представники ДП «Навчально-дослідний племінний птахівничий завод імені Фрунзе»: *в особі директора Якимчика Б.О., начальника департаменту аналізу, прогнозування та інформаційного забезпечення Максимової А.М., головного енергетика Бреченка В.В.* з одного боку, та представники Національного університету біоресурсів і природокористування України: проф. Лисенка В. П., доц. Решетюка В. М., з другого боку, склали цей акт про те, що у період з 30 листопада 2008 р. до 19 липня 2010 р. були проведені виробничі випробування комп'ютерно-інтегрованої системи ефективного управління енергетичними ресурсами на птахофабриках, розробленої в рамках науково-дослідної роботи за договором №110/265-пр «Розробка комп'ютерно-інтегрованої системи ефективного управління енергетичними ресурсами на птахофабриках» виконавцями науково-дослідної роботи – фахівцями кафедр автоматики та робототехнічних систем ім. акад. І. І. Мартиненка та інформаційних технологій та програмування (розробники: проф. Лисенко В. П.; доценти Решетюк В. М., Головінський Б. Л.; старші викладачі Голуб Б. Л., Руденський А. А., Штепа В. М.; асистент Щербатюк В. Л.; Пуха В. М.).

Комп'ютерно-інтегрована адаптивна енергоощадна система управління процесом утримання курей-несучок представляє собою двоконтурну систему автоматизованого управління, що складається з локального та адаптивного рівнів. Дослідний зразок такої системи був встановлений у пташнику № 4 ДП «Навчально-дослідний племінний птахівничий завод імені Фрунзе», який

обладнано двоюрисними клітковими батареями для утримання курей-несучок у кількості 11500 голів. Монтаж і налагодження роботи системи завершено 30 листопада 2008 р. Цього ж дня відбувся її запуск.

Упродовж періоду з 30.11.2008 р. до 19.07.2010 р. встановлена система у повному обсязі забезпечила виконання наступних функцій щодо утримання племінної птиці:

– управління параметрами мікроклімату (температурою повітря, вологістю, повітрообміном) у пташнику у такий спосіб, щоб забезпечити отримання максимального прибутку від утримання курей і водночас належної якості яєць;

– економне витрачання енергоресурсів (електричної енергії, питної води та корму) на утримання;

– автоматичний контроль, обробку, зберігання, відображення та архівування параметрів утримання птиці, витрат ресурсів (внутрішньої та зовнішньої температури, вологості повітря, показників лічильника електроенергії, витратоміра води та споживання корму) та стану обладнання системи (справності електроприводів вентиляторів, серводвигуна регулювання положенням заслінок вентиляційних отворів, промислового комп'ютера, системного контролера та його модулів);

– аварійна і попереджувальна сигналізація у разі виходу за допустимі межі параметрів технологічного процесу.

Крім того, було передбачено резервне та ручне управління процесом утримання птиці.

Випробування показало, що використання комп'ютерно-інтегрованої адаптивної енергоощадної системи управління процесом утримання курей-несучок дозволило зменшити витрати енергоресурсів на утримання птиці на 26,5% внаслідок обґрунтованої відмови від опалення пташника, переобладнання приміщення пташника, застосування особливих алгоритмів управління, спрямованих на отримання максимально можливого прибутку при належній якості продукції, забезпечило зменшення витрат кормів на 2,8%.

**Від Національного університету
біоресурсів і природокористування
України**

В. П. Лисенко
В. П. Лисенко
В. М. Решетюк
В. М. Решетюк

« 18 » 10 2010 р.

**Від ДП «Навчально-дослідний
племінний птахівничий завод імені
Фрунзе»**

В. В. Горюженко
В. В. Горюженко
ДЕРЖАВНЕ ПІДПРИЄМСТВО
НАВЧАЛЬНО-ДОСЛІДНИЙ
ПЛЕМІННИЙ ПТАХІВНИЧИЙ
ЗАВОД ІМЕНІ ФРУНЗЕ
НАЦІОНАЛЬНОГО АГРАРНОГО
УНІВЕРСИТЕТУ
№ 00852631
« 26 » 10 2010 р.

*Лар. Департаменту АТТЗ
Максакова Л. М.*

Погоджено

Затверджую

Проректор з наукової та інноваційної діяльності

Директор ДП «Навчально-дослідний племінний птахівничий завод імені Фрунзе»



А. Й. Мазуркевич

2010 р.



Б. О. Якимчик

2010 р.

А К Т

**про впровадження результатів науково-дослідних,
дослідно-конструкторських та технологічних робіт**

Даним актом стверджується, що результати роботи «Розробка комп'ютерно-інтегрованої системи ефективного управління енергетичними ресурсами на птахофабриках» за договором №110/265-пр, номер державної реєстрації – № 0108U001969, виконаної Національним університетом біоресурсів і природокористування України, кафедрою автоматики та робототехнічних систем ім. акад. І. І. Мартиненка факультету енергетики і автоматики у період 02.01.2008-31.12.2010 рр. вартістю 217800 (двісті сімнадцять тисяч вісімсот) грн., впроваджені у ДП «Навчально-дослідний племінний птахівничий завод імені Фрунзе» (АР Крим, Сакський р-н, с. Фрунзе, вул. Гагаріна, 2).

1. Вид впроваджуваних робіт – комп'ютерно-інтегрована система ефективного управління енергетичними ресурсами на птахофабриках.

2. Масштаби впровадження – промисловий пташник.

3. Новизна результатів науково-дослідних робіт – розроблено нову математичну модель природних збурень на об'єкт управління – промисловий пташник, математичну модель біотехнічної системи, розроблено алгоритм розпізнавання образів майбутніх природних температурних збурень, алгоритм прийняття рішень щодо управління технологічним процесом в умовах невизначеності, в основу якого покладено критерій максимізації прибутку від виробництва продукції, зменшення енергетичних витрат на виробництво та дотримання якості продукції відповідно до існуючих стандартів. Одержано патент України на корисну модель №44637 «Система керування процесом утримання біологічних об'єктів сільськогосподарського призначення» від 12.10.2009 р.

4. Дослідно-промислова перевірка – акт виробничого випробування № 3 від «26» 10 2010 р. на ДП «Навчально-дослідний племінний птахівничий завод імені Фрунзе» (АР Крим, Сакський р-н, с. Фрунзе, вул. Гагаріна, 2).

5. Річний економічний ефект у грошовому виразі (із зазначенням цін якого року) – 105338 грн. у цінах 2010 р.

6. Соціальний і науково-технічний ефект - використання комп'ютерно-інтегрованої адаптивної енергоощадної системи управління процесом утримання курей-несучок дозволяє зменшити витрати енергоресурсів та кормів на утримання птиці, максимізувати прибуток від виробництва. Є економічно обгрунтованим прикладом реконструкції, переоснащення і модернізації застарілих існуючих птахівничих підприємств. Застосування даної системи суттєво удосконалює структуру управління виробництвом шляхом використання сучасних засобів інформаційних технологій та програмного забезпечення.

Від Національного університету
біоресурсів і природокористування
України

Начальник науково-дослідної частини

 А. М. Білоус

Керівник розробки

 В. П. Лисенко

« 18 » 10 2010 р.

Від ДП «Навчально-дослідний
племінний птахівничий завод імені
Фрунзе»

Начальник планового відділу

 А. М. Максакова

« 26 » 10 2010 р.

Головний бухгалтер

 В. М. Шилко

« 26 » 10 2010 р.

УТВЕРЖДАЮ
 Директор
 ОАО «Пинский мясокомбинат»
 _____ Э.Ф. Шибун
 М.П.
 «31» декабря 2015 года

АКТ
о практическом использовании результатов исследования
в сфере очистки сточных вод

Комиссия в составе главного инженера, главного энергетика, начальника отдела охраны труда и окружающей среды, лаборанта предприятия настоящим подтверждают, что НИЛ «Экоинженерия и информационные технологии» кафедры ВМ и ИТ «Полесского государственного университета»

осуществлено апробацию на очистных сооружениях предприятия ОАО «Пинский мясокомбинат» технологий безопасного водопользования собственной разработки.

В ходе апробации авторских технологий исследования проводились на специально разработанных действующих аналогах технологического оборудования системы водоочистки: электрофлотатор, электрокоагулятор, фильтр с плавающей засыпкой, ионообменные фильтры и микропроцессорная система управления.

После прохождения сточной воды через предложенное оборудование концентрации ключевых загрязнителей уменьшились, соответственно: взвешенных веществ – 99%, азота аммонийного – на 85%, фосфора – на 100%, хлоридов – на 53%, сухого остатка – на 94%.

В результате выполнения научно-технических работ разработаны принципиальная и функциональная схемы безопасной водоочистки сточных вод ОАО «Пинский мясокомбинат». С учётом стоимости современного зарубежного оборудования очистки сточных вод, экономия денежных средств может составить более 50% от стоимости зарубежных аналогов при доведении качества сточной воды предприятия до нормативных предельно-допустимых концентраций.

Данные научные результаты получены Штепой Владимиром Николаевичем, Кот Романом Евгеньевичем, Моргаль Александром Владимировичем.

при выполнении договора о сотрудничестве между ОАО «Пинский мясокомбинат» и УО «Полесский государственный университет».

для обеспечения экологической безопасности окружающей природной среды и импортозамещения в сегменте систем водоочистки.

на основании чего: сточные воды доводятся до нормативных требований по предельно-допустимым концентрациям загрязнителей при обязательном выполнении требований энерго- и ресурсоэффективности.

Базовый экономический эффект от предложенных разработок заключается в создании очистных по инновационному проекту НИЛ «Экоинженерия и информационные технологии» собственными ресурсами предприятия (материальными и кадровыми) при шеф-монтажном сопровождении разработчиков, а не путём покупки и установки готовой системы.

Члены комиссии:

Главный инженер

Главный энергетик

Начальник отдела охраны труда
и окружающей среды

Лаборант

Н.Н. Бохонок

С.Н. Перец

В.Е. Малашевский

И.А. Петрович



 УТВЕРЖДАЮ
 Директор
 ОАО «Пинский мясокомбинат»
 _____ Э.Ф. Шибун
 м.п.

«09» декабря 2016 года

АКТ

о производственном внедрении технологии очистки сточных вод

Комиссия в составе главного инженера, главного энергетика, начальника отдела охраны труда и окружающей среды (все ОАО «Пинский мясокомбинат») и руководителя, научного сотрудника (все НИЛ «Экоинженерия и информационные технологии») настоящим подтверждают, что

НИЛ «Экоинженерия и информационные технологии» кафедры ВМ и ИТ «Полесского государственного университета»

осуществлено внедрение на очистных сооружениях предприятия ОАО «Пинский мясокомбинат» технологий безопасного водопользования собственной разработки производительностью 70-100 м³/сутки (при потребности очистки 1200 м³/сутки).

В ходе внедрения исследования проводились на опытном образце оборудования системы водоочистки (Приложение 1).

После прохождения сточной воды через установленное на предприятии оборудование были получены следующие результаты водоочистки:

Показатель качества сточной воды	Нормативное значение, мг/л	До очистки, мг/л	После очистки, мг/л	Эффект очистки, %
Фосфор	5	19,2	0,1	99
Азот аммонийный	35	36,6	19,2	48
Хлориды	700	471	203	57
Взвешенные вещества	500	1147	25,6	98
Сухой остаток	1000	2900	583	80

Данные научные результаты получены Штепой Владимиром Николаевичем, Кот Романом Евгеньевичем, Моргалем Александром Владимировичем.

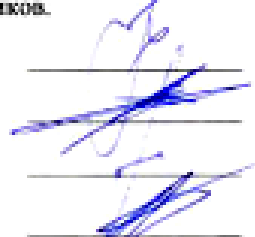
при выполнении договора о сотрудничестве между ОАО «Пинский мясокомбинат» и УО «Полесский государственный университет».

для обеспечения экологической безопасности окружающей природной среды и импортозамещения в сегменте систем водоочистки,

на основании чего: сточные воды доводятся до нормативных требований по предельно-допустимым концентрациям загрязнителей при обязательном выполнении требований энерго- и ресурсоэффективности.

Базовый экономический эффект от внедрения предложенных разработок заключается в создании очистных по инновационному проекту НИЛ «Экоинженерия и информационные технологии» собственными ресурсами предприятия (материальными и кадровыми) при шеф-монтажном сопровождении разработчиков.

Члены комиссии:



Н.Н. Божонюк

С.Н. Перец

В.Е. Малашевский

В.Н. Шрена

**Коммунальное производственное унитарное предприятие
«Пинскводоканал»**

Испытательная лаборатория цеха канализации аккредитована Государственным предприятием «БГЦА» на соответствие требованиям СТБ ИСО/МЭК 17025-2007 в сфере проведения испытаний, аттестат аккредитации ВУ/112 2.1098, действует до 30.09.2021
Адрес: 225710, г. Пинск, ул. Базовая, 1 (очистные сооружения)
Тел. (8-0165) 37-90-38

УТВЕРЖДАЮ
Директор государственного предприятия
«Пинскводоканал»

И.В. Симончик
23.02.2017



ПРОТОКОЛ ИСПЫТАНИЙ № 5/д от 23 февраля 2017 г.

Наименование и адрес организации: ООО «Системная инженерия»
225701 г.Пинск, ул. Брестская, 72

Наименование объекта испытаний: сточные воды

Цель отбора образцов: оценка качества сточных вод

Место отбора образцов: г. Белоозерск, ул. Маневичская, 6

п.1 слив после душевых кабин; п. 2 после системы безопасного водопользования

Акт отбора образцов № 1 (5/д) от 17 февраля 2017 г.

Представитель организации, отобравший и доставивший образцы: Бурик П. И., директор

ООО «Системная инженерия»

ТНПА на отбор образцов: ГОСТ 31861 – 2012

ТНПА на объект испытаний: -

Дата получения объекта испытаний: 17.02.17

Сроки проведения испытаний: 17.02.17 - 22.02.17

Условия окружающей среды при проведении испытаний:

Температура (18,2–20,5) °С, относительная влажность (44,0–45,4) %.

Применяемые ИО и СИ:

№ п/п	Наименование и тип испытательного оборудования и средств измерений	Заводской номер	Аттестованы (поверены) до:
1	Весы лабораторные ВЛ – 210	А 404	06.05.17
2	Электродуховка низкотемпературная SNOL 58/350	07550	22.07.17
3	pH – метр pH – 150	0831	28.11.17
4	Спектрофотометр ПЭ-5400ВИ	54ВИ549	19.10.17
5	Анализатор жидкости «Флюорат 02-3М»	4495	27.05.17
6	Термостат ТСО – 1/80 СПУ	1171	22.07.17
7	Прибор для измерения влажности и температуры testo 625	02304778/202	29.04.17

ПРОТОКОЛ ИСПЫТАНИЙ № 5/0 от 23 февраля 2017 г.

Результаты испытаний:

Наименование показателя	Фактическое значение		Ед. изм.	Наименование ТНПА, устанавливающих метод испытаний
	т. 1	т. 2		
Водородный показатель (рН)	7,6	7,7	ед. рН	СТБ ISO 10523-2009
Взвешенные вещества	21,3	менее 3,00	мг/дм ³	МВИ. МН 4362-2012
Биохимическое потребление кислорода (БПК ₅)	58	10	мгО ₂ /дм ³	СТБ 17.13.05-22-2011/ISO 5815-1:2003 СТБ 17.13.05-30-2014 / ISO 5813:1983
СПАВ (анионоактивные)	55,8	2,6	мг/дм ³	МВИ массовой концентрации анионоактивных ПАВ в природных, питьевых и сточных водах на анализаторе жидкости «Флюорат - 02» ПНД Ф 14.1:2:4.158-2000, М., 2004 г.
Нефтепродукты	0,52	0,06	мг/дм ³	МВИ массовой концентрации нефтепродуктов в пробах природной, питьевой и сточной воды на анализаторе жидкости «Флюорат - 02» ПНД Ф 14.1:2:4.128-98 (М 01-05-2012), М., 2012г.
Азот аммонийный	3,59	1,69	мг/дм ³	СТБ 17.13.05-09-2009

Испытания выполнили:

Л. Н. Красковская *И. В. Гавриленко*
И. В. Гавриленко *И. В. Гавриленко*

Начальник испытательной лаборатории цеха канализации:

Е. Л. Данильчик *Е. Л. Данильчик*

Протокол испытаний оформлен на 1 листе 2 страницах в 2 экземплярах:

1-й - для ИЛ цеха канализации, 2-й – ООО «Системная инженерия».

Протокол испытаний может быть воспроизведен только в полном объеме и с письменного разрешения ИЛ.



АКТ
о результатах научно-исследовательских работ согласно договору о
сотрудничестве между ОАО «Пинский мясокомбинат» и УО «Полесский
государственный университет»

в сфере очистки промышленных сточных вод ОАО «Пинский мясокомбинат»
 (сфера, в которой нашли практическое применение результаты исследования*)
 Комиссия в составе г.л. инженера Бохонок Н.Н., г.л. энергетика Перца С.Н., нач. ООТ и ОС Малашевского В.Е. (все – ОАО «Пинский мясокомбинат»)
 настоящим подтверждает,
 Что НИИ «Экоинженерия и информационные технологии» ПолесГУ
 (название структурного подразделения организации)

проведено испытание технологий безопасного водопользования собственной разработки
на опытном образце оборудования системы водоочистки производительностью 70-100
м³/сутки

(указываются конкретные научные результаты, которые нашли применение)
 реализованных Штепой В.Н., Кот Р.Е., Моргалем А.В.
 (фамилия, имя, отчество автора (авторов) исследования)

в рамках «Договора №1 о сотрудничестве между УО «Полесский государственный
университет» и ОАО «Пинский мясокомбинат» от 03 апреля 2015 г.

для обеспечения экологической безопасности окружающей природной среды и
импортозамещения в сегменте систем очистки сточных вод (на базе ОАО «Пинский
мясокомбинат»

(указываются решаемые практические задачи)
 на основании чего опытно осуществлено доведение параметрического состава сточных вод
предприятия до нормативных требований согласно предельно-допустимых концентраций
загрязнителей при обеспечении энерго- и ресурсоэффективности (подтверждено Актом о
производственном внедрении от 09 декабря 2016 года); разработано научно-
технологические рекомендации касательно модернизации очистных сооружений ОАО
«Пинский мясокомбинат»

Члены комиссии:

(подпись)
 (подпись)
 (подпись)

Бохонок Н.Н.

Перец С.Н.

Малашевский В.Е.

«30» декабря 2016г.

ЗАТВЕРДЖУЮ
 Директор
 ТзОВ «ТОП-Метал»

О.І. Колосовський

«12» листопада 2018 року

АКТ

про підтвердження технологічної ефективності використання електротехнологій в сфері очистки промислових стічних вод

Комісія в складі начальника виробництва, *головного технолога, лаборанта* (всі – ТзОВ «ТОП-Метал»), а також наукового співробітника, аспіранта (всі – Київський національний університет технологій та дизайну) даним актом підтверджують, що розроблений фахівцями Київського національного університету технологій та дизайну, к.т.н. Штепою В.М. і аспірантом Кот Р.С. електротехнологічний модуль – електрохімічний коректор водневого показника (рН) рідких фаз з модифікованим джерелом живлення постійним струмом – забезпечує в процесі своєї роботи безреагентне коригування до регламентованих гранично допустимих значень сильноокислих та сильнолужних стоків гальванічного виробництва, що утворюються безпосередньо в результаті перебігу технологічного процесу гальванопокриття на підприємстві ТзОВ «ТОП-Метал».

Апробаційне випробування технологічного модуля показало, що експлуатаційні затрати є економічно вигіднішими, ніж використання реагентних сполук для коригування значень водневого показника тієї ж об'ємної кількості стоків підприємства до допустимих значень перед скидом останніх в каналізаційний колектор стічних вод.

Дані наукові результати, отримані Кот Романом Євгеновичем і Штепою Володимиром Миколайовичем, свідчать про те, що:

- подібний електротехнологічний модуль забезпечує доведення значень водневого показника (рН) сильноокислих (рН =2,0...5,0) і сильнолужних (рН=10...12) стоків до нормативних вимог гранично допустимих значень, виконуючи при цьому поставлені вимоги до енерго- та ресурсоефективності;
- електротехнологічний модуль може бути використаний як компонент технологічної лінії очистки стічних вод, при цьому маючи перевагу перед хімічними реагентними реакторами як такий, що гарантовано забезпечує необхідний вплив на оброблювану рідку фазу незалежно від параметричного складу останньої та не використовує в процесі експлуатації ніяких реагентів, а отже – сукупно не вимагає затрат логістичних і складських, знижує вимоги до кваліфікації обслуговуючого персоналу, гарантує стабільні значення корекції показника рН (в необхідних заданих межах).

Члени комісії:

Заст.директора
 начальник виробництва
 технолог
 к.т.н., наук.співробітник
 аспірант, наук. співробіт.

Бінь А.М.
 Фенік М.Р.
 Вергун В.М.
 Штепа В.М.
 Кот. Р.С.




Проректор КНУТД
 В.В. Чабан

Затверджую
 Директор КП «Білгород-Дністровський водоканал»
 О.Р. Селамгаєєв

«___» _____ 2018р.

«___» _____ 2018р.

М.П.

А К Т

про впровадження результатів науково-дослідних, технологічних робіт

Даним актом стверджується, що результати дисертаційної роботи Штепи Володимира Миколайовича «МЕТРОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИХ ЕЛЕКТРОТЕХНОЛОГІЙ ПРОМислової ВОДОочиСТКИ»

виконаної у Київському національному університеті технологій та дизайну

впроваджені КП «Білгород-Дністровський водоканал»
 назва підприємства, де здійснювалось впровадження

1. Вид впроваджуваних робіт:

Нормативні документи стосовно проектування та експлуатації систем водоочистки та водо підготовки (інструкції та положення згідно вимог стандартів серій ISO 9000, ISO 14000, ISO 50000)

технології, сорти, породи, лінії, гібриди, препарати, машини тощо

2. Масштаби впровадження:

Регіональний рівень

площа, поголів'я, кількість вузлів, комплектів машин тощо

3. Новизна результатів науково-дослідних робіт:

Науково обгрунтовано нову концепцію розробки нормативних документів щодо підвищення ефективності функціонування метрологічного забезпечення промислових енергоефективних електротехнологічних систем очистки стічних вод за умов невизначеності із врахуванням дії нештатних ситуацій на основі фізичного та інформаційно-функціонального моделювань та інтелектуальних технологій управління. (новизна захищена патентами України: 44631UA, МПК G05B13/00-2009; 85587UA, МПК G05B13/00-2013; 86252UA, МПК A01G9/24-2014; 98867 UA, МПК A 01 C 3/00 (2012.01); 95200 UA, МПК G 05 B 13/00 (2006.01); 95201 UA, МПК E 03 B 7/00 (2014.01); 108196 UA, МПК B 01 D 29/11, B 01 D 21/00, C 02 F 1/52 (2006.01)).

4. Дослідно-промислова перевірка: Акт № 1 від 01.08.2018 р.


номер, дата актів випробування, назва підприємства

5. Соціально-екологічний і науково-технічний ефект:


Метод розробки технологічних регламентів комбінованих систем очистки стічних вод різногалузевих промислових об'єктів із врахуванням дії нештатних ситуацій техногенного та природного походження створив передумови дотримання різногалузевими підприємствами вимог системи менеджменту якості у сегменті раціонального природокористування.

Від Київського національного
університету технологій та дизайну

Від КП «Білгород-
Дністровський водоканал»

Професор

(підпис) В.В. Каплун
" " (ПІБ)
2018 р.

Науковий співробітник


(підпис) В.М. Штепа
" " (ПІБ)
2018 р.



(підпис) (ПІБ)
2018 р.


(підпис) (ПІБ)
2018 р.

ЗАТВЕРДЖУЮ

Директор КП «Білгород-Дністровський
водоканал»

О.Г. Ісламгалеев



06.2018 2018 р.

АКТ №1

про виробниче випробування наукової розробки

Ми, нижче підписані, представники підприємства КП «Білгород-Дністровський водоканал»:

Директор КП «Білгород-Дністровський водоканал»

О.Г. Ісламгалеев, гол. інженер ОВ Здобування

(назва та адреса, головні фахівці спеціалісти)

з одного боку і представники Київського національного університета технологій та дизайну України, д.т.н., професор Каплун Віктор Вікторович, к.т.н. Штепа Володимир Миколайович

(наукові співробітники)

з другого боку склади даний акт про те, що у період з 01.06.2018 р. по 30.06.2018 р. були проведені випробування методів підвищення ефективності отримання та опрацювання техніко-економічної інформації метрологічним забезпеченням енергоефективних комбінованих електротехнологічних систем очистки стічних вод різногалузевих промислових об'єктів за умов невизначеності з урахуванням дії нештатних ситуацій на основі використання інформаційно-функціонального моделювання та інтелектуальних технологій управління вимірюваннями

(розробники: професор Каплун В.В., доцент Штепа В.М.)

(назва і короткий зміст)

Термін виконання: 01.06.2018 – 30.06.2018 р.

Обсяг: нормативні документи стосовно проектування та експлуатації систем водоочистки (інструкції та положення згідно вимог стандартів серії ISO 9000, ISO 14000, ISO 50000).

Результати обліку, які характеризують ефективність використання наукової розробки порівняно з існуючими: забезпечення екологічної безпеки регіону шляхом ефективного отримання та опрацювання техніко-економічної інформації щодо водоочистки.

**БЛАГОДІЙНА ОРГАНІЗАЦІЯ
«МІЖНАРОДНИЙ БЛАГОДІЙНИЙ ФОНД
«ФОНД ВОДНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ»**

85400, Україна, м. Селдове, вул. Гоголя, 6.2
тел. (+380)991203512
ТВБВ № 10004092 Ф.-ДОУ АТ «Ощадбанк»
р/р 26005301357145
код банку 335106, код ЄДРПОУ 40136233
E-MAIL: BOFYD2018@gmail.com



21.03.2019р. Вих. № 25

ДОВІДКА

про доцільність використання результатів дисертаційного дослідження «Науково-технічні засади удосконалення нормативної бази електротехнологічної промислової водоочистки»

Дисертаційна робота на здобуття ступеня доктора технічних наук по спеціальності 05.01.02 – стандартизація, сертифікація та метрологічне забезпечення Штепи В.М. «Науково-технічні засади удосконалення нормативної бази електротехнологічної промислової водоочистки» (науковий консультант доктор технічних наук Каплун В.В.) направлена на вирішення актуальної проблеми створення комплексних методів покращення використання нормативних документів електротехнологій видалення забруднювачів із зменшенням ризиків виникнення надзвичайних ситуацій та урахуванням вимог охорони довкілля, що сприятиме підвищенню ресурсоощадності.

Дослідження та наукові результати дисертації відповідають пріоритетним напрямкам розвитку науки і техніки України на період до 2020 року, а саме напряму «4. Рациональне природокористування» (тематичний напрям «4.4. Технології раціонального водокористування, підвищення ефективності очищення стічних вод та запобігання забрудненню водних об'єктів»).

Авторство наукових результатів захищене патентами України (44631UA, МПК G05B13/00-2009; 85587UA, МПК G05B13/00-2013; 86252UA, МПК A01G9/24-2014; 98867 UA, МПК A 01 C 3/00 (2012.01); 95200 UA, МПК G 05 B 13/00 (2006.01); 95201 UA, МПК E 03 B 7/00 (2014.01); 108196 UA, МПК B 01 D 29/11, B 01 D 21/00, C 02 F 1/52 (2006.01); 120530 UA, МПК C02F 9/06 (2006.01), F04D 15/00, F04D 13/06 (2006.01).

Результати дисертаційної роботи «Науково-технічні засади удосконалення нормативної бази електротехнологічної промислової водоочистки» доцільно використовувати при уточненні матеріалів нормативних документів, розроблені науково-технічної бази та поліпшенні техніко-економічних показників систем очистки стічних вод.

Голова Фонду

Маслак В.М.

Список публікацій по темі 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 агроєкологічного 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. И., **Штепа В. Н.**, 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., Nachkovska 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., Аблеєва 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 E 02 B 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 E 03 B 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.