УДК 628.3:621.3 DOI 10.31548/energiya2019.06.214

ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДУ ДОМІНУЮЧОГО ДИНАМІЧНОГО ЗАБРУДНЮВАЧА ДЛЯ УПРАВЛІННЯ ЕКОЛОГІЧНОЮ БЕЗПЕКОЮ СИСТЕМ ОЧИЩЕННЯ ПРОМИСЛОВИХ СТОКІВ

В. М. Штепа, кандидат технічних наук

Поліський державний університет, Республіка Білорусь

Л. Д. Пляцук, доктор технічних наук, професор

Сумський державний університет

E-mail: shns1981@gmail.com

Анотація. *Для теоретичного обґрунтування побудови ефективного обладнання раціонально використовувати метод динамічного домінуючого забруднювача (ДДЗ) (забруднювач багатокомпонентних стічних вод, який в даний момент часу при фактичному складі стоків необхідно першочергово видалити): оцінка ефективності водоочищення за вторинним забруднювачем продемонструвала, що при використанні комбінованих електротехнологічних комплексів досягається його видалення при усуненні базового ДДЗ; проведення очищення не з її орієнтуванням на першочергове усунення ДДЗ, а на дію на інші забруднювачі, продемонстрували значне погіршення критерію енергоефективності роботи обладнання. Результатом застосування нечітких нейронних мереж (із подальшої реалізацією алгоритму Сугено) для отримання нових знань щодо технічного регулювання екологічною безпекою процесів електротехнологічного водоочищення на досліджуваних підприємствах (виробництво побутової хімії) стали: функції приналежності, які структурують значення забруднювачів при визначенні залежності ранжиру ДДЗ від їх значень – вибирались за критерієм «мінімальна похибка навчання»; бази знань щодо формування в режимі реального часу ранжиру ДДЗ. Розроблена методологія налаштування систем промислового водоочищення із використанням віртуальної міри енергоефективності водоочищення (ВМЕВ) дає можливість із використанням методу ДДЗ налаштовувати промислові системи, які використовують такі базові способи: біологічний (через розрахунок подачі компресором кисню та відомих параметрів його окислювальної дії на органічні забруднювачі); фізичний (оцінюючи фільтрацію через сорбційний фільтр); хімічний (шляхом встановлення ступеня окислення в окислювачах та ефективності коагуляції в ємності реакторові); фізико-хімічний (ключовий метод ВМЕВ) (оцінюючи роботу електролізера-pH-коректора та окислювачів). Застосування методу домінуючого динамічного забруднювача на основі лімітуючого показника забрудненості (ЛПЗ) дозволило обґрунтувати комплексну методику управління екологічною безпекою систем очищення стічних вод промислових об'єктів: зменшення кількості вимірюваних ЛПЗ (до 3 разів), створюючи передумови щодо покращення ефективності керування екологічною безпекою промислових об’єктів, оскільки покращується загальна*

надійність систем моніторингу здатних працювати у режимі реального часу шляхом оптимізації кількості їх вхідних каналів.

Ключові слова: ***екологічна безпека, енергоефективність, промислові стічні води, домінуючий динамічний забруднювач***

Актуальність. Ключовими параметрами якості промислових стічних вод, які контролюються хімічним аналізом є [1, 2]: азот амонійний, біологічне споживання кисню ($БСК_5$), водневий показник (pH), зважені речовини, залізо, нафтопродукти, нітрити, нітрати, хімічне споживання кисню (ХСК), фосфати, хлориди, синтетичні поверхнево-активні речовини (СПАР), сульфати. Хімічний аналіз інших показників проводиться за необхідностю з урахуванням специфіки підприємства – як правило, аналізи доповнюються кількома показниками. Саме їхні значення і визначають заходи щодо управління екологічною безпекою промислових об’єктів.

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). Методологія базується на оцінці екологічного статусу в рамках 5-класової системи та проектуванні на основі цього споруд видалення забруднювачів із стоків.

Відповідно, актуальною є задача адаптації існуючих методів видалення забруднювачів для покращення екологічної безпеки систем очищення промислових стічних вод.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Промислові стоки складають приблизно 8-10 % загального обсягу стічних вод, але ступінь їх забруднення набагато вища, ніж у комунально-побутових скидів (в останні роки обсяг промислових стоків зменшився на 30-40 %) [3]. 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 і 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 [4].

Мета дослідження – обґрунтування використання методу домінуючого динамічного забруднювача для управління екологічною безпекою систем очищення промислових стічних вод.

Матеріали і методи дослідження. Домінуючий динамічний забруднювач (ДДЗ) – забруднювач багатокомпонентних стічних вод, який в даний момент часу при фактичному складі стоків необхідно першочергово видалити [5].

Правила і ефективні умови роботи систем водоочищення з урахуванням концепції методу домінуючого динамічного забруднювача:

– максимально зменшити умови створення, прояви, поширення та впливу головного небезпечного забруднювача за 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 в комплексі з першим домінуючим не видалений або не нейтралізований.

При цьому необхідно враховувати, що в процесі роботи системи водоочищення відбуваються кардинальні зміни складу робочого водного розчину (наприклад, в гальванічному цеху в першу половину дня здійснювалося цинкування, в другу – хромування, як результат – необхідні різні режимні параметри обладнання). На початковому етапі встановлення ДДЗ, із врахуванням досвіду попередніх досліджень [5], систематизуються параметри стоків 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) (рис.1).

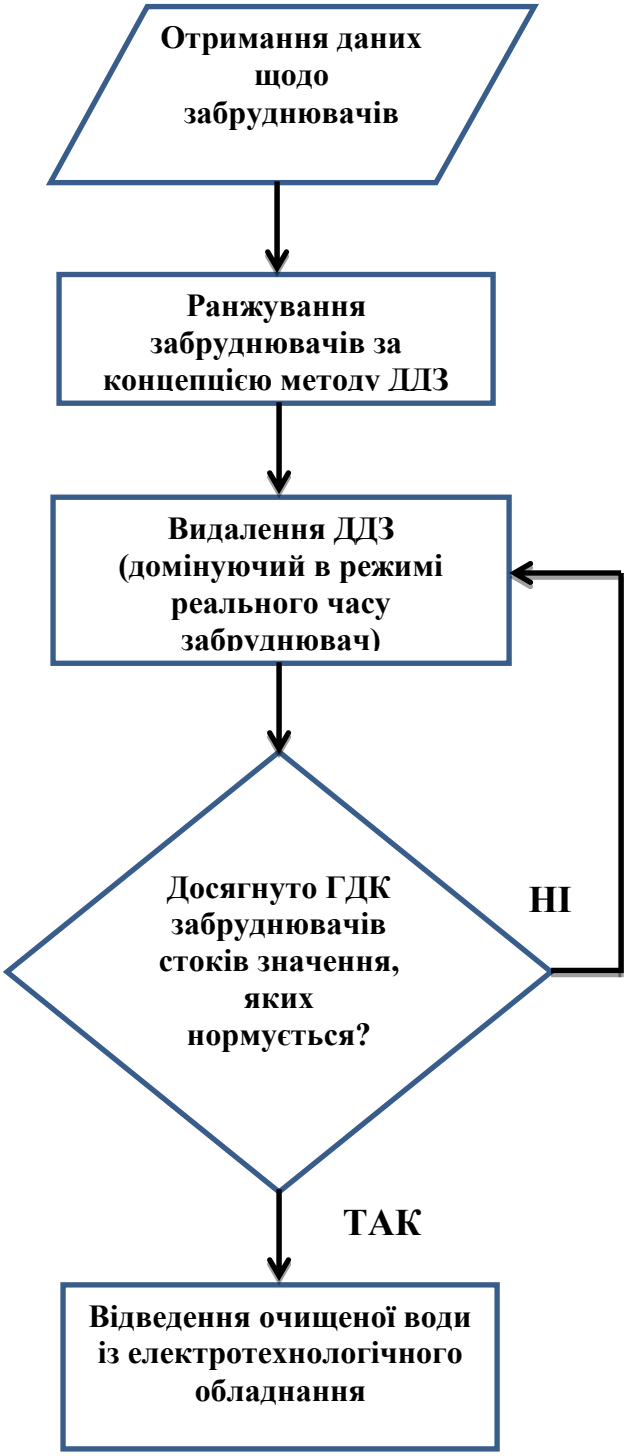


Рис. 1. Блок-схема реалізації методу домінуючого динамічного забруднювача очищення багатокомпонентних стоків

Ранжування забруднювачів відбувається так: забруднювач, який було видалено останнім, із використанням всього переліку обладнання та режимів згідно нормативних рекомендацій забезпечення ГДК і визначається як ДДЗ.

Для реалізації технічного регулювання екологічною безпекою процесів водоочищення шляхом реалізації агрегування на основі методу ДДЗ застосували підходи нечітких нейронних мереж (ННМ) із використанням алгоритму зворотного розповсюдження похибки. Навчання включає такі кроки [6]:

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:

$$x := x^k, \quad y := y^k, \tag{1}$$

і обчислюється величина виходу мережі:

$$O = \frac{1}{1+e^{-W^T o}}, \tag{2}$$

де W – вектор вагів вихідного нейрона, o^k – вектор виходів нейронів прихованого шару з елементами:

$$o_i = \frac{1}{1+e^{-w_i^T x}}, \tag{3}$$

де w_i позначає вектор вагів, пов'язаних з i-м прихованим нейроном, $i=1,2,...,L$.

4. Проводиться коректування терезів вихідного нейрона:

$$W := W + \eta\delta o, \tag{4}$$

$$\text{де: } \delta = (y-O)O(1-O). \tag{5}$$

5. Коректується вага нейронів прихованого шару:

$$w_i := w_i + \eta\delta W_i o_i (1-o_i), i = 1,2,\ldots,L. \tag{6}$$

6. Коректується (нарощується) значення функції похибки:

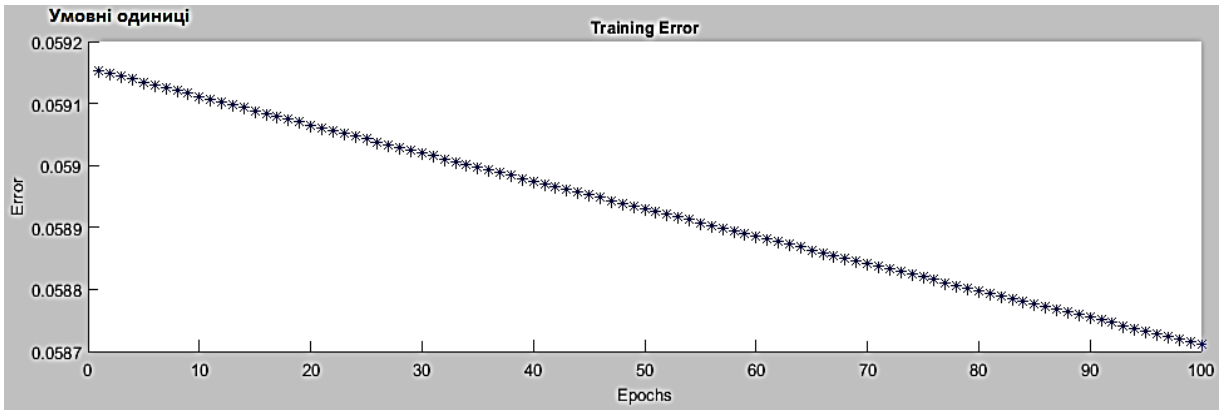
$$E := E + \frac{1}{2}(y-o)^2. \tag{7}$$

Якщо $k<N$, тоді $k:=k+1$ і перехід до кроку 3, у протилежному випадку перехід на крок 8.

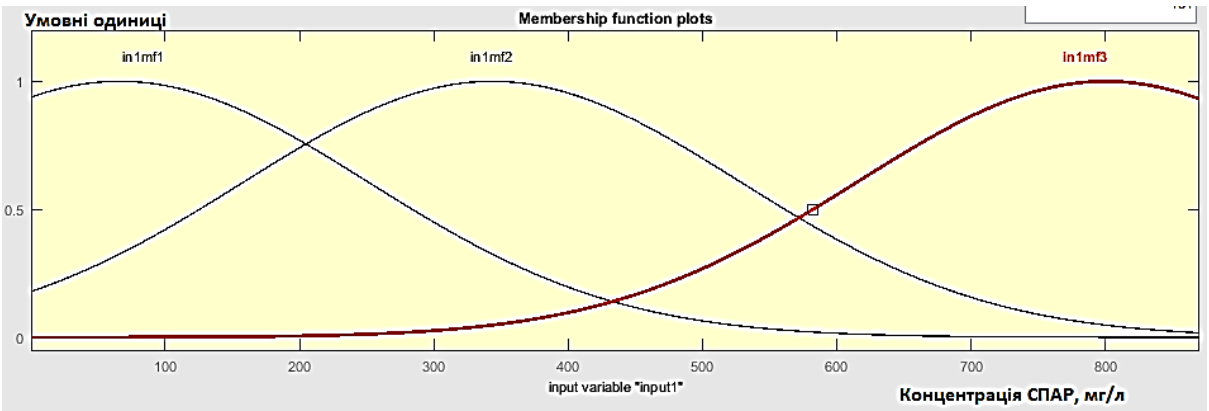
7. Завершення циклу навчання. Якщо $E<E_{max}$, то закінчення всієї процедури навчання. Якщо $E \geq E_{max}$, тоді починається новий цикл навчання з переходом до кроку 2.

Результати досліджень та їх обговорення. Результатом застосування ННМ (із подальшої реалізацією алгоритму Сугено), при опрацювання стоків у віртуальній мірі енергоефективності водоочищення (ВМЕВ) [6], для отримання нових знань щодо технічного регулювання екологічною безпекою процесів електротехнологічного водоочищення стали:

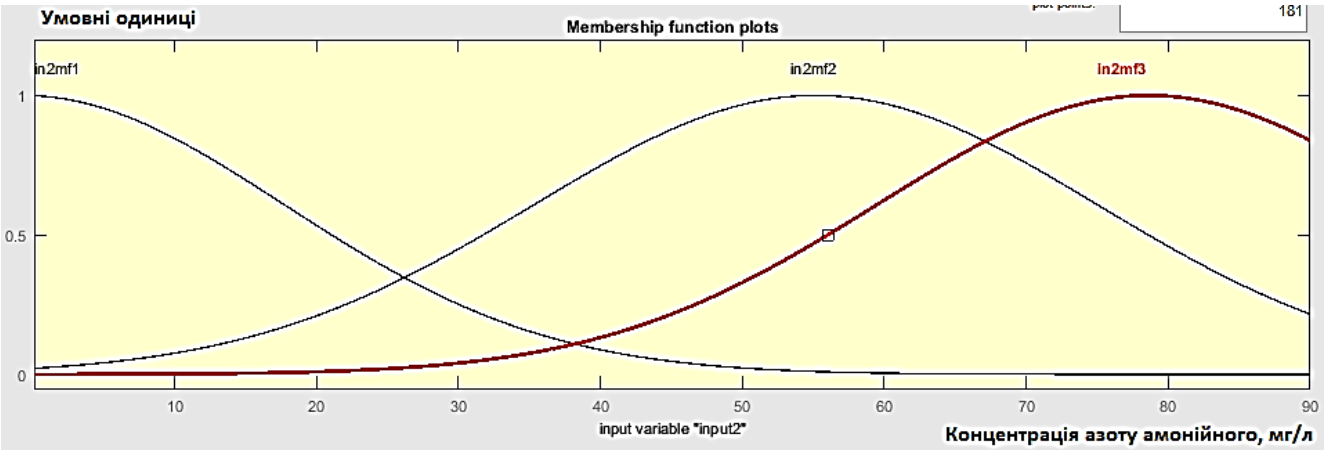
- функції приналежності, які структурують значення забруднювачів при визначенні залежності ранжиру ДДЗ від їх значень (рис. 2) – вибирались за критерієм «мінімальна похибка навчання»;
- бази знань щодо формування в режимі реального часу ранжиру ДДЗ.
-



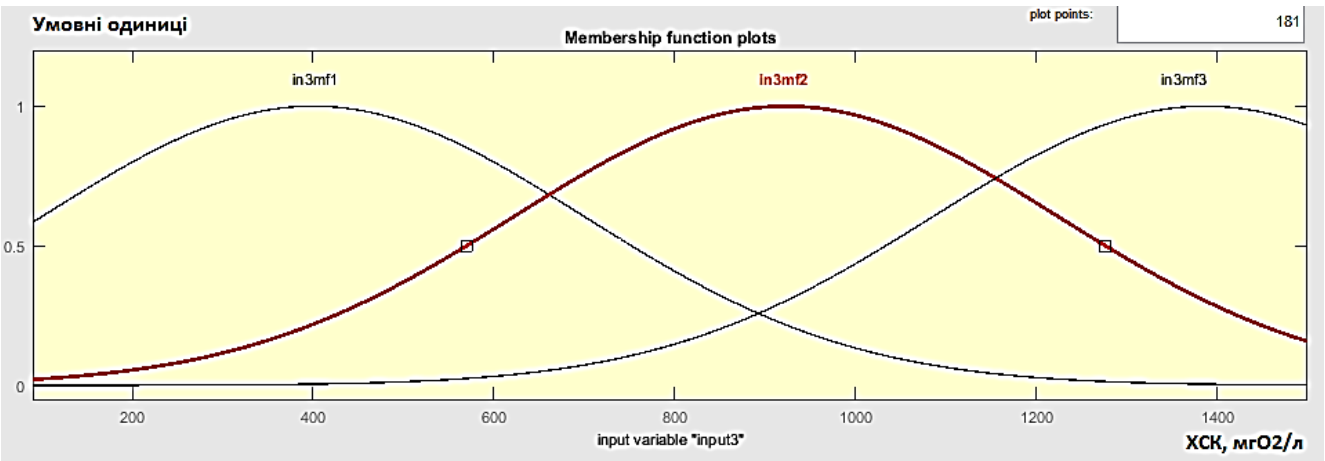
а



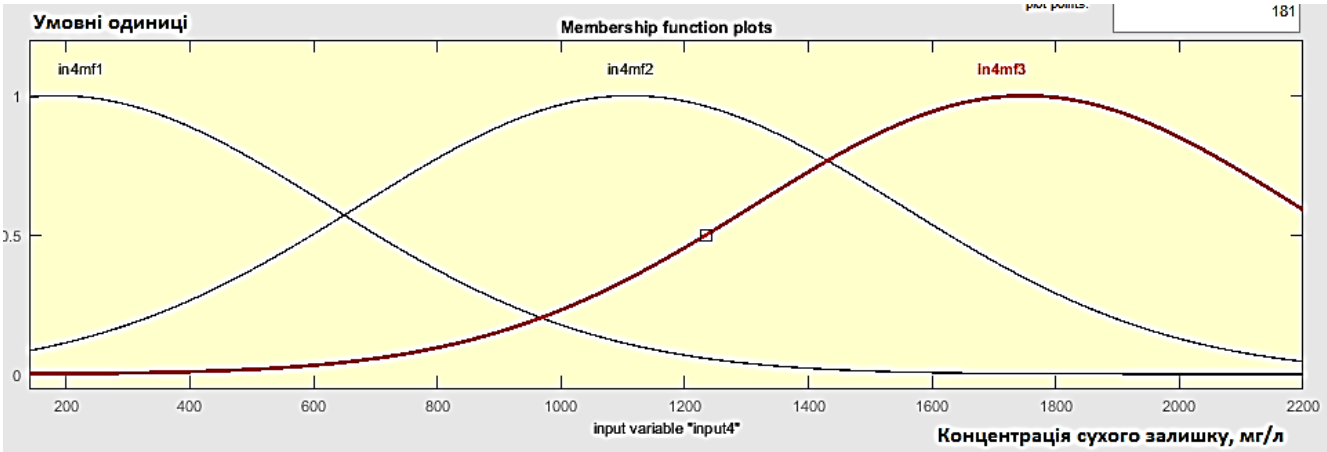
б



в



г



д

Рис. 2. Функції приналежності при визначенні ранжиру ДДЗ очищення стічних вод виробництва побутової хімії:

а – перевірка на адекватність, згідно середньоквадратичної похибки, процесу створення функцій приналежності та бази знань; *б* – *д* – функції приналежності параметрів забруднення стоків

Для підприємств побутової хімії встановлено дворівневий ранжир ДДЗ: перший ДДЗ – СПАВ; другий ДДЗ – азот амонійний.

Разом із тим експериментальні дослідження сумісного із ДДЗ видалення інших забруднювачів [7] створили передумови щодо спрощення вимірювання параметрів якості стоків, які і визначають екологічну безпеку промислових об'єктів (рис. 3): зменшується параметрична невизначеність, спрощується схема вимірювальних систем за рахунок того, що потрібно використовувати меншу кількість вимірювальних каналів, відповідно, підвищується швидкодія та надійність отримання результатів вимірювань.

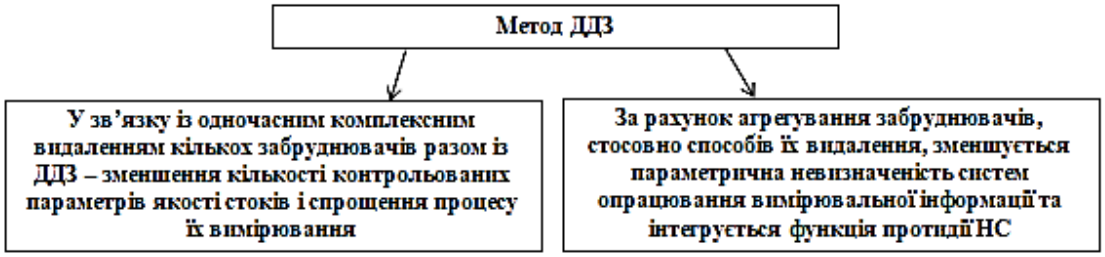


Рис. 3. Вплив методу ДДЗ на процес вимірювання показників якості стоків

Тоді методика формування переліку вимірювальних каналів водоочищення на основі інтегрованого видалення ДДЗ та супутніх забруднювачів (рис. 4).

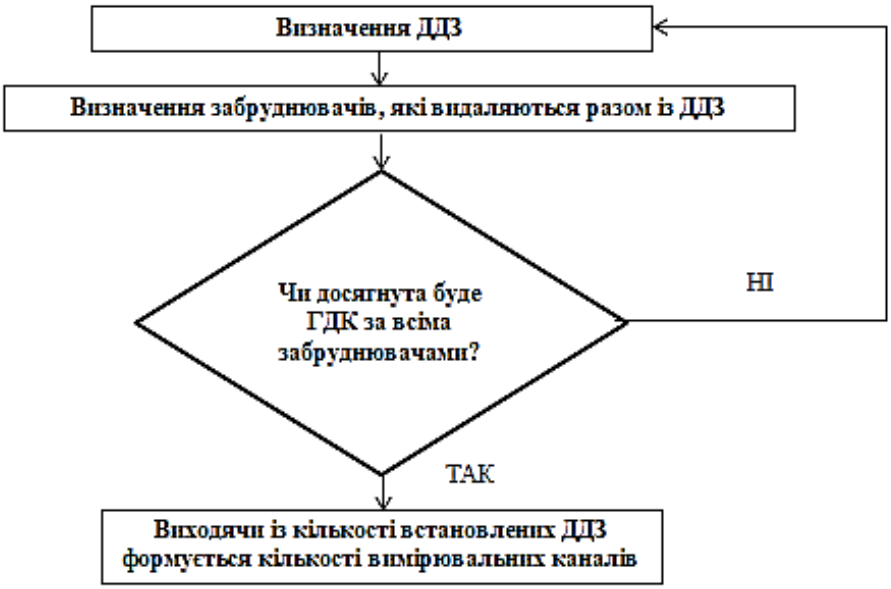


Рис. 4. Визначення на основі ДДЗ кількості вимірювальних каналів промислового водоочищення

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 [7]. Застосування ВМЕВ та методу ДДЗ дозволяє налаштовувати системи водоочищення, які використовують такі базові способи: біологічний (через розрахунок подачі компресором кисню та відомих параметрів його окислювальної дії на органічні забруднювачі); фізичний (оцінюючи фільтрацію через сорбційний фільтр); хімічний (шляхом встановлення ступеня окислення в окислювачах та ефективності коагуляції в ємності реакторові); фізико-хімічний (ключовий метод ВМЕВ) (оцінюючи роботу електролізера-pH-коректора та окислювачів).

У той же до одних із найбільш розповсюджених в Україні методик оцінки якості поверхневих вод, у тому числі сформованих скиданням промислових стічних вод, відноситься методика визначення балів кратності перевищення забруднень. Показник використовується для інтегральної оцінки якості води за сукупністю знаходження у ній забруднюючих речовин і частоти їх виявлення. Для кожного інгредієнта на основі фактичних концентрацій розраховують бали кратності перевищення ГДК K_i і повторюваності випадків перевищення H_i, а також загальний оціночний бал – *Bi*:

$$K_i = \frac{C_i}{ГДК_i}, \tag{8}$$

$$H_i = \frac{R_{ГДКi}}{R_i}, \tag{9}$$

$$B_i = K_i \cdot H_i. \tag{10}$$

де *Ci* – концентрація у воді *i*-го інгредієнта; *ГДКi* – гранично допустима концентрація *i*-го інгредієнта; $R_{ГДКi}$ – число випадків перевищення ГДК по *i*-му інгредієнту; $R_{ГДКi}$ – загальна кількість вимірювань *i*-го інгредієнта.

Інгредієнти, для яких величина загального оціночного 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 оціночних балів всіх інгредієнтів.

Відповідно, зменшення кількості вимірюваних параметрів якості стоків із застосуванням методу ДДЗ зменшує кількість вимірюваних ЛПЗ (відбувається їх агрегування), створюючи передумови щодо покращення управління екологічною безпекою систем очищення промислових стічних вод, оскільки покращується загальна надійність таких систем моніторингу.

Висновки і перспективи. Для теоретичного обґрунтування проектування ефективного обладнання водоочищення раціонально використовувати метод динамічного домінуючого забруднювача (забруднювач багатокомпонентних стічних вод, який в даний момент часу при фактичному складі стоків необхідно першочергово видалити). Результатом застосування нечітких нейронних мереж (із подальшої реалізацією алгоритму Сугено) для отримання нових знань щодо технічного регулювання екологічною безпекою процесів електротехнологічного водоочищення на виробництві побутової хімії стали: функції приналежності, які структурують значення забруднювачів при визначенні залежності ранжиру ДДЗ від їх значень – вибирались за критерієм «мінімальна похибка навчання»; бази знань щодо формування в режимі реального часу ранжиру ДДЗ; встановлена ієрархія ДДЗ: перший ДДЗ – СПАВ; другий ДДЗ – азот амонійний**.** Застосування методу ДДЗ у системах очищення промислових стічних вод забезпечує агрегування та, відповідно, зменшення кількості потенційних вимірюваних ЛПЗ (до 3 разів), створюючи передумови щодо покращення ефективності управління екологічною безпекою промислових об’єктів, оскільки покращується загальна надійність систем моніторингу здатних працювати у режимі реального часу шляхом оптимізації кількості їх вхідних каналів.

Список літератури

1. Мазоренко Д. І., Цапко В. Г., Гончаров Ф. І. Інженерна екологія сільськогосподарського виробництва. – К.: Знання, 2006. – 376 с.

2. Яцик А. Б., Бишовець Л. В., Томільцева А. З., Чернявська А. Б., Запольський І. Д. Екологічні проблеми верхів‘я Канівського водосховища // Водне господарство». – К.: Наукова думка, 2008. – № 4. – С 31 – 36.

3. Яцик А.В., Томільцева А.І., Дупляк В.Д. Концепція впорядкування використання та охорони водних ресурсів у заплаві р. Дніпро від гирла р. Десна до гирла р. Стугна. – К.: Університет «Україна», 2011. – 27 с.

4. Вертай С. П. Обоснование структуры и заданий системы поддержки принятия решений обобщённой оценки перспективности инновационных технологий / С. П. Вертай, В. Н. Штепа // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія : Техніка та енергетика АПК. – Вип. 240. – С. 86-93

5. Штепа В. Н. Концепция управления оборудованием водоочистки с учетом доминирующего загрязнителя / В. Н. Штепа, А. П. Левчук // Агропанорама: научно-технический журнал. – 2018. – № 5. – С. 33-38.

6. Штепа В. М. Обгрунтування та розробка критерію енергоефективності функціонування електротехнологічних систем водопідготовки / В. М. Штепа, Ф. І. Гончаров, М. А. Сироватка // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: Техніка та енергетика АПК. – 2011. – Вип. 161. – С. 187–193.

7. Штепа В. М. Обгрунтування робочої міри ефективності електротехнологічної водоочистки / В. М. Штепа // Енергетика і автоматика. - 2018. - № 4. - С. 99-111. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://journals.nubip.edu.ua/index.php/Energiya/article/view/11558, – Дата звернення: 16.10.2019.

References

1. Mazorenko, D. I., Tsapko, V. G., Goncharov, F. I. (2006). Inzhenerna ekolohiia silskohospodarskoho vyrobnytstva. [Engineering ecology of agricultural production]. Kyiv: Znannia, 376.

2. Yatsyk, A. B., Byshovets, L. V., Tomiltseva, A. Z., Chernyavskaya, A. B., Zapolsky, I. D. (2008). Ekolohichni problemy verkhiv‘ia Kanivskoho vodoskhovyshcha [Ecological problems of the upper reaches of the Kaniv reservoir]. Vodne hospodarstvo. Kyiv: Naukova Dumka, 4. 31 - 36.

3. Yatsik, A. V., Tomiltseva, A. I., Duplyak, V. D. (2011). Kontseptsiia vporiadkuvannia vykorystannia ta okhorony vodnykh resursiv u zaplavi r. Dnipro vid hyrla r. Desna do hyrla r. Stuhna [The concept of streamlining the use and protection of water resources in the Dnieper floodplain from the Desna River mouth to the Stugna River mouth]. Kyiv: University of Ukraine, 27.

4. Vertai, S. P., Stepa, V. M. (2016). Obosnovaniye struktury i zadaniy sistemy podderzhki prinyatiya resheniy obobshchënnoy otsenki perspektivnosti innovatsionnykh tekhnologiy [Justification of the structure and tasks of the decision support system for generalized assessment of the prospects of innovative technologies]. Naukovyi visnyk Natsionalnoho universytetu bioresursiv i pryrodokorystuvannia Ukrainy. Seriia : Tekhnika ta enerhetyka APK, 240, 86-93.

5. Shtepa, V. M., Levchuk, A. P. (2018). Kontseptsiya upravleniya oborudovaniyem vodoochistki s uchetom dominiruyushchego zagryaznitelya [Concept control of the water treatment equipment with consideration the dominant pollutant]. Agropanorama: nauchno-tekhnicheskiy zhurnal, 5, 33-38.

6. Shtepa, V. M., Goncharov, F. I., Syrovatka, M. A. (2011). Obhruntuvannia ta rozrobka kryteriiu enerhoefektyvnosti funktsionuvannia elektrotekhnolohichnykh system vodopidhotovky [Justification and development of the criterion of energy efficiency of the functioning of electrotechnological systems of water treatment]. Naukovyi visnyk Natsionalnoho universytetu bioresursiv i pryrodokorystuvannia Ukrainy. Seriia: Tekhnika ta enerhetyka APK, 161, 187–193.

7. Shtepa, V. M. (2018). Obhruntuvannia robochoi miry efektyvnosti elektrotekhnolohichnoi vodoochystky [Justification of the working measure of the efficiency of electrotechnological water purification]. Enerhetyka i avtomatyka, 4, 99-111. Available at: http://journals.nubip.edu.ua/index.php/Energiya/article/view/11558.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА ДОМИНИРУЮЩЕГО ДИНАМИЧЕСКОГО ЗАГРЯЗНИТЕЛЯ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ СИСТЕМ ОЧИСТКИ ПРОМЫШЛЕННЫХ СТОКОВ

В. Н. Штепа, Л. Д. Пляцук

Аннотация. *Для теоретического обоснования построения эффективного оборудования рационально использовать метод динамического доминирующего загрязнителя (ДДЗ) (загрязнитель многокомпонентных сточных вод, который в данный момент времени при фактическом составе стоков необходимо в первую очередь удалить): оценка эффективности водоочистки за вторичным загрязнителем продемонстрировала, что при использовании комбинированных электротехнологических комплексов достигается его удаление, при устранении базового ДДЗ; проведения очистки не по ее ориентации на первоочередное устранение ДДЗ, а на действие на другие загрязнители продемонстрировали значительное ухудшение критерия энергоэффективности работы оборудования. Результатом применения нечетких нейронных сетей (с дальнейшей реализацией алгоритма Сугено) для получения новых знаний в сфере технического регулирования экологической безопасности процессов электротехнологической водоочистки на исследуемых предприятиях (производство бытовой химии) стали: функции принадлежности, которые структурируют значение загрязнителей при определении зависимости ранжира ДДЗ от их значений – выбирались по критерию «минимальная погрешность обучения»; базы знаний по формированию в режиме реального времени ранжира ДДЗ. Разработана методология настройки систем промышленной водоочистки с использованием виртуальной меры энергоэффективности водоочистки (ВМЭВ) дает возможность, с использованием метода ДДЗ настраивать промышленные системы, которые используют следующие базовые способы: биологический (через расчет подачи компрессором кислорода и известных параметров его окисляющего воздействия на органические загрязнители), физический (оценивая фильтрацию через сорбционный фильтр), химический (путем установления степени окисления в окислителях и эффективности коагуляции в емкости реактора), физико-химический (ключевой метод ВМЭВ) (оценивая работу электролизера pH-корректора и окислителей). Применение метода доминирующего динамического загрязнителя на основе лимитирующего показателя загрязненности (ЛПЗ) позволило обосновать*

комплексную методику управления экологической безопасностью систем очистки сточных вод промышленных объектов: уменьшение количества измеряемых ЛПЗ (до 3 раз) создаёт предпосылки для повышения эффективности управления экологической безопасностью промышленных объектов, поскольку улучшается общая надежность систем мониторинга, способных работать в режиме реального времени путем оптимизации количества их входных каналов.

Ключевые слова: ***экологическая безопасность, энергоэффективность, промышленные сточные воды, доминирующий динамический загрязнитель***

APPLICATION OF THE DOMINANT DYNAMIC POLLUTANT METHOD FOR MANAGING ECOLOGICAL SAFETY OF THE INDUSTRIAL WASTE CLEANING SYSTEMS

V. Shtepa, L. Plyatsuk

Abstract. *For the theoretical justification for constructing efficient equipment, it is rational to use the method dynamic dominant pollutant (DDP) (multicomponent wastewater pollutant, which at given time with the actual composition wastewater must first be removed): assessment of the water treatment efficiency after the secondary pollutant has demonstrated that when using combined electrotechnological complexes, its removal is achieved, with the elimination of the basic remote sensing; cleaning, not by its focus on the primary elimination remote sensing, but on the effect on other pollutants, showed significant deterioration in the criterion energy efficiency of the equipment. The result of using fuzzy neural networks (with further implementation of the Sugeno algorithm) to gain new knowledge in the field technical regulation environmental safety of the processes electrotechnological water treatment at the enterprises under study (production household chemicals) was: membership functions that structure the value pollutants when determining the dependence of the range remote sensing data on their values – were selected according to the criterion "minimum learning error"; knowledge base on the formation in real time of the DDZ ranking. The methodology has been developed for setting up industrial water treatment systems using virtual water treatment energy efficiency measure (VWTEM), which makes it possible, using the DDP method, to set up industrial systems that use the following basic methods: biological (by calculating the compressor's oxygen supply and known parameters of its oxidizing effects on organic pollutants), physical (evaluating filtration through sorption filter), chemical (by establishing the degree oxidation in oxidizing agents and the effect the effects coagulation in the reactor vessel), physicochemical (key method VWTEM) (evaluating the operation of the electrolyzer pH corrector and oxidizing agents). The application of the dominant dynamic pollutant method based on the limiting pollution index (LPI) allowed us to substantiate a comprehensive environmental management method for industrial wastewater treatment systems: reducing the number measured LPI (up to 3 times) creates the prerequisites for improving the environmental management industrial facilities, since the overall reliability monitoring systems capable working in real time by optimizing the number of the nature their input channels.*

Key words: ***environmental safety, energy efficiency, industrial wastewater, the dominant dynamic pollutant***