

УДК 502:606

Єремєєв Ігор Семенович

Доктор технічних наук, професор, професор кафедри автоматизованого управління технологічними процесами

Академія муніципального управління, Київ

Дичко Аліна Олегівна

Кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри інженерної екології, orcid.org/0000-0003-4632-3203

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», Київ

ПРОБЛЕМИ СИСТЕМНОГО АНАЛІЗУ ПРОЦЕСІВ ОЧИЩЕННЯ СТІЧНИХ ВОД

***Анотація.** Системний аналіз процесів очищення стічних вод включає управління процесами на підставі складання евристик із визначенням страт, множини станів, обчислення можливих станів, ступенів можливості їх реалізації та імовірних наслідків цієї реалізації; визначення прирощення евклідової відстані між парами реальних станів, що спостерігаються і знаходяться поруч одне до одного на певному часовому інтервалі, а також імовірності та можливості такого переходу і рушійних сил, що його спричиняють. Рішення про необхідні регулюючі дії для підвищення ефективності очищення стоків приймається на підставі вибору методом Монте-Карло. Забезпечення якості очищення стічних вод шляхом управління системою очисних споруд передбачає спостереження станів та ступенів можливості цих станів; визначення станів, які є неможливими згідно з додатковою інформацією; передбачення станів, які не спостерігаються, але принципово можливі. Розроблений підхід до аналізу процесів очищення стічних вод базується на використанні нечітких даних і дозволяє розробити евристики для опрацювання керуючих впливів з метою покращання результатів діяльності очисних споруд. Визначення принципово можливих станів, які не можна зафіксувати онлайн, можуть вплинути у глобальному сенсі на систему та її показники, а також надають змогу оцінити їхню можливість і наступні наслідки. Розроблені евристики дозволяють підвищити якість процедур очищення стічних вод в умовах невизначеності та дії чинників, які слабо піддаються оцінюванню.*

***Ключові слова** стічні води; очищення; невизначеність; стан системи; страти; гіпотези; евристики*

Постановка проблеми

Забезпечення якості очищення стічних вод, у тому числі при біотрансформації органічних полутантів, наявних в стоках, зустрічається з рядом питань, серед яких одним з головних є відсутність можливості точного й оперативного вимірювання (оцінювання) якісних та кількісних показників, що характеризують стан системи очисних споруд.

Забезпечення достовірності даних оцінювання процесу очищення є нагальною проблемою, адже на підставі цих даних мають прийматися відповідальні рішення щодо прогнозування стану очисних споруд та екологічної безпеки довкілля. Сьогодні вже розроблені і широко використовуються різні методи підвищення достовірності даних, які базуються переважно на використанні структурної та процедурної надмірності. У той же час на стан природних та інженерних систем водовідведення впливає все більше і більше чинників, які є переважно дуже небезпечними для ефективного функціонування системи [1; 2]. Методи оцінки стану

процесу очищення стічних вод запроваджуються вибірково та безсистемно, що не дозволяє отримати достатньо високу гарантію відповідності отриманих даних вимогам наявних стандартів [3; 4]. Це, у свою чергу, призводить до неадекватної реакції на зміни показників у процесі функціонування системи, а також до недостовірного прогнозу їх подальшого розвитку.

Мета статті

Як слушно стверджується в [5], не можна розглядати інформацію, не розглядаючи які-небудь ситуації невизначеності. Система очищення стічних вод є класичним зразком системи, що працює в умовах невизначеності: її стани (показники ступеня забруднення стічних вод та очищення води від різних забруднюючих речовин) визначаються здебільшого не у реальному часі, як і зовнішні збурюючі чинники; існує щільний, але неоднозначний зв'язок між зовнішніми чинниками (температурою довкілля, атмосферним тиском, інтенсивністю опадів, часом, коли протікають

процеси очищення тощо, причому ще й із значним часовим лагом між різними подіями та зміною станів системи).

Метою дослідження є розробка методології визначення та прогнозування стану системи очищення стічних вод для ефективного управління процесом та підвищення екологічної безпеки довкілля.

Виклад основного матеріалу Методика дослідження

Системний аналіз процесів очищення стічних вод включає управління процесами на підставі складання евристик із визначенням страт, множини станів, обчислення можливих станів, ступенів можливості їх реалізації та імовірних наслідків цієї реалізації; визначення прирощення евклідової відстані між парами реальних станів, що спостерігаються і знаходяться поруч одне до одного на певному часовому інтервалі, а також імовірності та можливості такого переходу і рушійних сил, що його спричиняють [6-8]. Рішення про необхідні регулюючі дії для підвищення ефективності очищення стоків приймається на підставі вибору методом Монте-Карло.

Управління системою очисних споруд має передбачати: *спостереження* станів та ступенів можливості цих станів; *визначення* станів, які є неможливими згідно з додатковою інформацією (наприклад, показники стічних вод не можуть бути кращими або такими ж, як показники природних вод); *передбачення* станів, які не спостерігаються, але принципово можливі і яким надається ненульовий ступінь можливості $f_M(c)$, менший, ніж мінімальний ступінь можливості $f_M(a)$, який обчислюється для станів, що спостерігаються, наприклад

$$f_M(c) = 0.5 \min_{\alpha} f_M(\alpha),$$

або

$$D_p[f_M(c), f_M(\alpha)] = \left\{ \sum_{c \in C} [f_M(c) - f_M(\alpha)]^p \right\}^{1/p} \leq 0.5 \min_{\alpha} f_M(\alpha), \quad (1)$$

де p – параметр функції відстані D_p (для евклідової відстані $p=2$) [9].

Результати дослідження

Сам факт, що є можливість передбачення станів, які не спостерігаються, припускає наявність інформації ззовні системи, або інформаційний зв'язок між подією, явищем і станом системи. Такий зв'язок дійсно існує [10], але він не є однозначним і дозволяє лише на якісному рівні оцінювати можливі стани системи, причому зі значною (до декількох десятків відсотків) похибкою.

Якщо скласти таблицю, в яку входять *страхи* (межі, всередині яких можуть спостерігатися показники забруднення стічних вод, з відповідними показниками імовірності спостереження); *множина станів*, які мають можливість спостереження міри нуль (межі, за які ніколи не виходять змінні, які спостерігаються); *обчислені можливі стани* (але не такі, що дійсно можуть спостерігатися) і відповідні ступені можливості їхньої реалізації та імовірні наслідки цієї реалізації, то можна створити умови для управління процесами на підставі евристик.

Пропонується визначення прирощення евклідової відстані (1) між парами реальних станів, що спостерігаються і знаходяться поруч один до одного на цьому часовому інтервалі, а також імовірність та можливість такого переходу і рушійні (внутрішні та зовнішні) сили, що сприяють цьому.

Крім того, пропонується визначення принципово можливих станів, які не можна зафіксувати онлайн, але які можуть вплинути у глобальному сенсі на систему та її показники, а також оцінити їхню можливість і наступні наслідки. Тут на першому етапі необхідно робити визначення на підставі даних, що є у розпорядженні (даних спостереження поточного процесу на певному інтервалі спостережень). Далі, на різних рівнях уточнення визначаються найкращі гіпотези щодо оцінок можливості реалізації тих, чи інших станів узагальної системи, формуються думки про те, наскільки ці гіпотези впливають на реальні властивості змінних, що розглядаються (ці думки формуються на підставі відповідних експериментальних характеристик та конкретних функцій). Кінець-кінцем, узагальнене обмеження, яке задано, доповнюється (або замінюється) обмеженнями, що реконструйовані за допомогою найкращих гіпотез, причому з кожною пов'язується певний ступінь довіри. При використанні тільки тієї інформації, що міститься у даних, такий підхід дозволяє включити до оціненої невизначеності (узагальненого обмеження) певні характеристики, які не можна визначити за допомогою даних, що реально спостерігаються. Отже є можливість передбачати або відновити з певним ступенем достовірності ті, чи інші стани змінних, які не входять у момент передбачення або відновлення, у дані спостережень.

Якщо представити міру збільшення довіри MB до гіпотези h на підставі спостереження виходу e у вигляді

$$MB[h, e] = \{P(h | e) - P(h)\} / (1 - P(h)),$$

де $P(h|e)$ – умовна імовірність h при відомому e , а $P(h)$ – експертна оцінка імовірності для заданого моменту часу, то міру збільшення невпевненості MD щодо гіпотези h можна представити у вигляді

$$MD[h, e] = \{P(h) - P(h | e)\} / P(h),$$

а чинник невпевненості CF прийме вигляд

$$CF[h, e] = MB[h, e] - MD\{h, e\}.$$

Отримані для кожного конкретного випадку значення MB, MD та CF також вводяться у таблицю, яку тепер можна використати для складання евристик управління системою в умовах невизначеності. Ці евристики [10] дозволяють підвищити якість процедур очищення стічних вод в умовах невизначеності та дії чинників, які слабо піддаються оцінюванню.

Зазначене вище можна проілюструвати на прикладі даних спостережень за якістю стічних вод, зроблених протягом 2005-2015 рр. на очисних спорудах м. Житомира та м. Києва (таблиця).

Визначені річні коливання поллютантів дозволяють спрогнозувати стан очисних споруд та передбачити можливі заходи із забезпечення якості очищення.

Рішення про необхідні регулюючі дії приймається на підставі вибору (методом Монте-Карло) тих, чи інших страт забруднювачів (меж існування, які у лінгвістичній формі можна представити відповідно як «великі значення» – Б, «середні» – С та «малі» – М і «природні значення» – П, коли ніякі дії для здійснення керування не вимагаються) з урахуванням імовірності їх реалізації. Отриманий таким чином спектр віртуальних забруднень дасть змогу підібрати адекватні регулюючі дії для мінімізації цих забруднень.

Таблиця – Рамки річних коливань забруднень на очисних спорудах

м. Житомир				
Показник	Максимальне значення	Мінімальне значення	Страти	Імовірність реалізації
БСК ₅ , мг О ₂ /л	370	175	Б (370-250)	0.71
			С (250-200)	0.20
			М (200-150)	0.09
Завислі частки, мг/л	300	80	Б (300-150)	0.08
			С (150-100)	0.75
			М (100-50)	0.17
Нітрати, мг/л	27.5	12	Б(30-20)	0.03
			С (20-15)	0.03
			М (15-10)	0.94
ХСК, мг О ₂ /л	100	70	С (100-50)	1.0
Нітрити, мг/л	1.0	0.1	Б (1.0-0.5)	0.3
			С (0.5-0.1)	0.7
Фосфати, мг/л	5	3	С (5-1)	1.0
Азот амонійний, мг/л	5	1	С (5-1)	1.0
рН	10,6	8,7	Б (11-10)	0.37
			С (10-9)	0.46
			М (9-8)	0.17
м. Київ				
Показник	Максимальне значення	Мінімальне значення	Страти	Імовірність реалізації
БСК ₅ , мг О ₂ /л	315	175	Б (315-270)	0.67
			С (270-220)	0.31
			М (220-175)	0.02
Завислі частки, мг/л	380	170	Б (380-310)	0.08
			С (310-240)	0.75
			М (240-170)	0.17
Фосфати, мг/л	20	3	Б (25-15)	0.07
			С (15-10)	0.07
			М (10-3)	0.86
Азот амонійний, мг/л	30	7	Б (30-20)	0.18
			С (20-15)	0,67
			М (15-7)	0.15

Так, якщо необхідне співвідношення біогенних елементів в аеротенку має становити $BCK_{повн} : N : P = 100 : 5 : 1$, евристики для здійснення підживлення активного мулу сполуками азоту і фосфору має такий вигляд:

ЯКЩО $\{(BCK_C) \text{ ТА } (BAC_C) \text{ ТА } (BFC_C)\}$,
АБО $\{(BCK_M) \text{ ТА } (BAC_C) \text{ ТА } (BFC_C)\}$,
ТО $\{ПAM_П\}$,
ЯКЩО $\{(BCK_Б) \text{ ТА } (BAC_C) \text{ ТА } (BFC_M)\}$,
ТО $\{ПAM_C\}$,
ЯКЩО $\{(BCK_Б) \text{ ТА } (BAC_M) \text{ ТА } (BFC_M)\}$,
ТО $\{ПAM_Б\}$,

де БСК – значення біологічного споживання кисню ($BCK_{повн}$) в стоках; ВАС – вміст азоту в стоках; ВФС – вміст фосфору в стоках; ПАМ – підживлення активного мулу, причому імовірність P_e ефективної дії евристик обчислюється згідно виразу

$$P_e = (1/K) \sum_{k=1}^K p_{jk},$$

де p_{jk} – імовірність реалізації j -ї страти ($j = \overline{1, J}$) k -го параметру (забруднювача); K – кількість параметрів (забруднювачів).

Евристики для застосування методів інтенсифікації процесу можна сформулювати наступним чином:

ЯКЩО $\{(ШПС_C) \text{ ТА } (BCK_C) \text{ ТА } (KAM_C) \text{ ТА } (IAM_C)\}$, АБО $\{(ШПС_M) \text{ ТА } (BCK_Б) \text{ ТА } (KAM_Б) \text{ ТА } (IAM_C)\}$, ТО $НП_П$,
ЯКЩО $\{(ШПС_C) \text{ ТА } (BCK_Б) \text{ ТА } (KAM_Б) \text{ ТА } (IAM_C)\}$, ТО $П_C$,
ЯКЩО $\{(ШПС_Б) \text{ ТА } (BCK_C) \text{ ТА } (KAM_C) \text{ ТА } (IAM_Б)\}$, ТО $НП_Б$,

де ШПС – швидкість потоку стічних вод; КАМ – концентрація активного мулу; ІАМ – індекс активного мулу (відображає його властивості); НП – необхідність інтенсифікації процесу очищення.

Доцільність попереднього коригування рівня pH (водневого показника) стічних вод можна сформулювати таким чином:

ЯКЩО $\{(РРН_C) \text{ ТА } (ШПС_C)\}$, ТО $\{НКР_П\}$,
ЯКЩО $\{(РРН_M) \text{ ТА } (ШПС_Б)\}$, ТО $\{НКР_Б\}$,
ЯКЩО $\{(РРН_Б) \text{ ТА } (ШПС_M)\}$, ТО $\{НКР_C\}$,

де РРН – рівень pH ; НКР – необхідність коригування рівня pH .

Визначення принципово можливих станів, які не можна зафіксувати онлайн, але які можуть вплинути у глобальному сенсі на систему та її показники, а також оцінити їхню можливість і наступні наслідки. Розроблені евристики дозволяють підвищити якість процедур очищення стічних вод в умовах невизначеності та дії чинників, які слабко піддаються оцінюванню.

Висновки та перспективи подальших досліджень

Розроблений підхід до аналізу процесів очищення стічних вод базується на використанні нечітких даних і дозволяє розробити евристики для опрацювання керуючих впливів з метою покращання результатів діяльності очисних споруд. Використання методології, що пропонується, дозволить більш ефективно керувати процесами очищення стічних вод в умовах, коли інформація про реальний стан та зовнішні і внутрішні збурення, а також їхні девіації є неповною або розмитою (нечіткою).

Подальші дослідження доцільно спрямувати на практичну реалізацію методології управління системами очищення стічних вод та прогнозування стану очисних споруд з метою забезпечення якості очищення.

Список літератури

1. Дичко, А.О. Управління складними системами поводження з рідкими побутовими відходами [Текст] / А.О.Дичко, І.С.Єремєєв, М.Є.Гузівський: зб. наук. пр. // Управління розвитком складних систем. – К.: КНУБА, 2014. – №18. – С. 168-172.
2. Дичко, А.О. Організація моніторингу довкілля з використанням методів теорії фракталів [Текст] / А.О.Дичко, І.С.Єремєєв: зб. наук. пр. // Управління розвитком складних систем. – К.: КНУБА, 2014. – №19. – С. 150-156.
3. Старостина, А.Ю. Анализ современных подходов к управлению коммунальными предприятиями водоснабжения и водоотведения [Текст] / А.Ю. Старостина: зб. наук. пр. // Управління розвитком складних систем. – К.: КНУБА, 2012. – №11. – С. 131-133.
4. Якунина, І.В. Методы и приборы контроля окружающей среды. Экологический мониторинг [Текст] / И.В. Якунина, Н.С. Попов. – Тамбов: ТГТУ, 2009. – 188 с.
5. Дидук Н.Н. Меры внутренней и внешней информации (на примере вероятностных ситуаций неопределенности) [Текст] / Н.Н. Дидук // Системні дослідження та інформаційні технології. – 2012. – №4. – С. 94-110.
6. Заде, Л.А. Основы нового подхода к анализу сложных систем и процессов принятия решений [Текст] / Л.А. Заде // Математика сегодня. – М.: Мир, 1975. – С. 5-49.
7. Кофман, А. Введение в теорию нечетких множеств [Текст] / А. Кофман. – М.: Радио и связь, 1982. – 432 с.
8. Штовба С.Д. Введение в теорию нечетких множеств и нечеткую логику [Электронный ресурс]. – <http://matlab.exponenta.ru/fuzzylogic/book1/1.php>.

9. Клар Дж. Системология. Автоматизация решения системных задач [Текст] / Дж. Клар. Пер.с англ. – М.: Радио и связь, 1990. – 534 с.

10. Єремєєв І.С. Управління якістю біохімічного очищення стічних вод [Текст] / Єремєєв І.С., Дичко А.О. // Системні дослідження та інформаційні технології. – 2012. – №4. – С. 45-48.

Стаття надійшла до редколегії 20.07.2016

Рецензент: д-р техн. наук, проф. В.Д. Воробйов, НТУУ «КПІ», Київ.

Єремєєв Ігорь Семенович

Доктор технических наук, профессор, профессор автоматизированного управления технологическими процессами Академия муниципального управления, Киев

Дичко Алина Олеговна

Кандидат технических наук, доцент, orcid.org/0000-0003-4632-3203

Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт», Киев

ПРОБЛЕМЫ СИСТЕМНОГО АНАЛИЗА ПРОЦЕССОВ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД

Аннотация. Системный анализ процессов очистки сточных вод включает управление процессами на основании составления эвристик с определением страт, множества состояний, вычисления возможных состояний, степеней возможности их реализации и возможных последствий этой реализации; определение приращения евклидовой метрики между парами реальных состояний, которые наблюдаются и находятся рядом друг с другом на определенном временном интервале, а также вероятности и возможности такого перехода и движущих сил, которые его вызывают. Решение о необходимых регулирующих действиях для повышения эффективности очистки стоков принимается на основании выбора методом Монте-Карло. Обеспечение качества очистки сточных вод путем управления системой очистных сооружений предусматривает наблюдение состояний и степеней возможности этих состояний; определения состояний, которые невозможны в соответствии с дополнительной информацией; предвидения состояний, которые не наблюдаются, но принципиально возможны. Разработанный подход к анализу процессов очистки сточных вод базируется на использовании нечетких данных и позволяет разработать эвристики для обработки управляющих воздействий с целью улучшения результатов деятельности очистных сооружений. Определение принципиально возможных состояний, которые нельзя зафиксировать онлайн, могут повлиять в глобальном смысле на систему и ее показатели, а также позволяют оценить их возможности и следующие последствия. Разработанные эвристики позволяют повысить качество процедур очистки сточных вод в условиях неопределенности и действия факторов, которые слабо поддаются оценке.

Ключевые слова: сточные воды; очистка; неопределенность; состояние системы; страты; гипотезы; эвристики

Yeremeyev Igor

DSc. (Eng.)

Academy of municipal administration, Kyiv

Dychko Alina

Ph.D., Assoc. Prof., orcid.org/0000-0003-4632-3203

National Technical University of Ukraine “Kyiv Polytechnic Institute”, Kyiv

PROBLEMS OF SYSTEM ANALYSIS OF WASTEWATER TREATMENT PROCESSES

Abstract. System analysis of processes of wastewater treatment includes processes control based on heuristics with definition of the set of states, calculation of possible states, the degree of possibility of their implementation and the possible consequences of their implementation; determining increment of Euclidean distance between pairs of real states that are observed and are near to each other at a certain time interval, and the probability and possibility of such a move and the driving forces that cause that. Decision about the necessary regulatory steps to improve efficiency of wastewater treatment should be based on the choice by Monte Carlo method. Insurance of quality of wastewater treatment by management of system of treatment plants involves observation conditions and degrees of possibility of these states; determination of conditions that are impossible according to additional information; prediction states that are not observed, but fundamentally possible. The developed approach to the analysis of wastewater treatment processes is based on the use of fuzzy data and allows to develop heuristics to process control actions to improve the performance of treatment facilities. Definition of fundamentally possible states that can not be fixed online may affect at the global sense on the system and its indicators, and also assess their feasibility and subsequent consequences. The developed heuristic procedures allow improving the quality of wastewater treatment under conditions of uncertainty and of the factors that are poorly amenable to evaluation.

Keywords: wastewater; treatment; uncertainty; system state; hypothesis; heuristics

References

1. Dychko A.O., Ereemeev I.S., Gusovskiy M.Y. (2014). *Managing complex systems of liquid waste management. Management of Development of Complex Systems*. Kyiv, Ukraine: KNUCA, 18, 168-172.
 2. Dychko A.O., Ereemeev I.S. (2014). *The organization of environmental monitoring using methods of the theory of fractals. Management of Development of Complex Systems*. Kyiv, Ukraine: KNUCA, 19, 150-156.
 3. Starostina, A.Y. (2012). *Analysis modern approach to management of public water utilities. Management of Development of Complex Systems*. Kyiv, Ukraine: KNUCA, 11, 131-133.
 4. Yakunina, I.V. (2009). *Methods and devices of environmental control. Environmental monitoring. Tambov, Russia: TSTU*, 188.
 5. Diduk, N.N. (2012). *The measures of internal and external information (on example of probabilistic situations of uncertainty). System research and information technologies*, 4, 94-110.
 6. Zadeh, L. (1975). *Foundations of a new campaign to the analysis of complex systems and decision processes. Math today*, 5-49.
 7. Kofman, A. (1982). *Introduction to the theory of fuzzy sets. Radio and communication*, 432.
 8. Shtovba, S.D. *Introduction to the theory of fuzzy sets and fuzzy logic [The electronic resource]*. – <http://matlab.exponenta.ru/fuzzylogic/book1/1.php>
 9. Klir, J. (1990). *Systematology. Automatization of complex tasks decision. Moscow: Radio i sviaz*.
 10. Yeremeyev, I.S. & Dychko, A.O. (2012). *Control of wastewater biochemical treatment quality. System research and information technologies*, 4, 45-48.
-

Посилання на публікацію

- APA Yeremeyev I., Dychko A. (2016). *Problems of system analysis of wastewater treatment processes. Management of Development of Complex Systems*, 27, 170-175.
- ГОСТ Єремєєв, І.С. *Проблеми системного аналізу процесів очищення стічних вод [Текст] / І.С. Єремєєв, А.О. Дичко // Управління розвитком складних систем. – 2016. – № 27. – С. 170-175.*