

ИНСТИТУТ ЖИЛИЩНО-КОММУНАЛЬНОГО ХОЗЯЙСТВА
НАЦИОНАЛЬНОЙ АКАДЕМИИ НАУК БЕЛАРУСИ

НОВЫЕ МЕТОДЫ И ТЕХНОЛОГИИ В ВОДОСНАБЖЕНИИ И ВОДООТВЕДЕНИИ

СБОРНИК ТРУДОВ

Минск 2022

Новые методы и технологии в водоснабжении и водоотведении : сб. тр. / Институт жилищно-коммунального хозяйства НАН Беларуси ; под общ. ред. д-ра техн. наук, проф. В.О. Китикова. – Минск : БГГУ, 2022. – 293 с. – ISBN 978-985-530-971-1.

Сборник составлен по материалам докладов Международной научно-практической конференции «Новые методы и технологии в водоснабжении и водоотведении» 17–18 февраля 2022 г.

В представленных докладах отражены актуальные вопросы водоснабжения, водоотведения, экономики, государственного регулирования и управления в области водопроводно-канализационного хозяйства, повышения качества предоставляемых услуг, информационных технологий, подготовки кадров в области технологий водоподготовки, очистки сточных вод и организации водопользования.

Сборник предназначен для работников жилищно-коммунального хозяйства, научных сотрудников, специализирующихся в соответствующих областях знаний, преподавателей, аспирантов и студентов учреждений высшего образования.

ISBN 978-985-530-971-1

© Институт жилищно-коммунального хозяйства НАН Беларуси, 2022

© Оформление. УО «Белорусский государственный технологический университет», 2022

АДАПТИВНЫЕ РЕШЕНИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ ОЧИСТНЫМИ СООРУЖЕНИЯМИ

В.Н. Штепа¹, декан инженерного факультета, д.т.н., доцент,

Н.А. Заец², профессор, д.т.н., профессор,

Д.Г. Алексеевский³, профессор, д.т.н., доцент

¹Учреждение образование «Полесский государственный университет», Пинск, Беларусь,

²Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины, Киев, Украина,

³Запорожский национальный университет, Запорожье, Украина

На основе многовариантности комбинаций загрязнителей сточных вод обоснована целесообразность применения интеллектуального математического аппарата для обработки информации о функционировании очистных сооружений. Разработана схема интеллектуального управления очистными сооружениями с использованием нейронных сетей. Создана модель сооружений очистки на основе нечётких когнитивных карт с адаптацией значений концептов в режиме реального времени. Обоснована целесообразность применений полученных моделей на объектах водоотведения при внедрении систем экологического менеджмента.

Введение

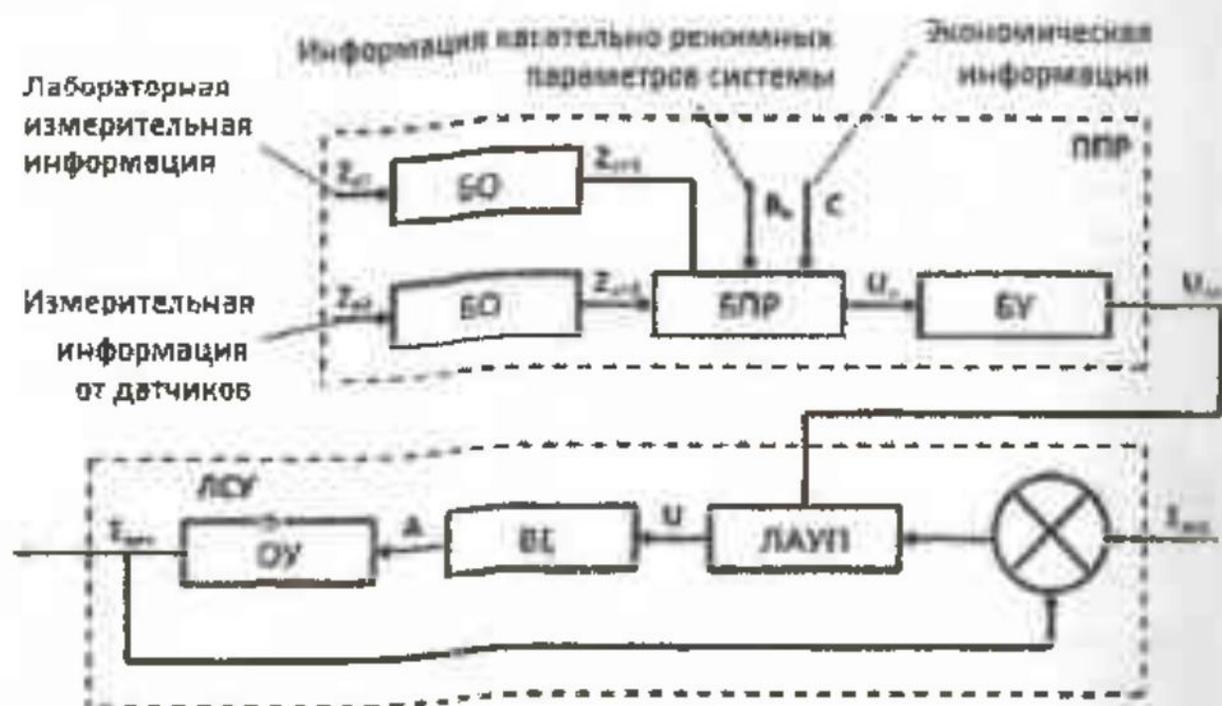
Многовариантность оценки показателей качества сточных вод, являясь следствием многоцелевого применения воды в производственно-бытовых процессах, также приводит к тому, что надёжный вывод о её составе на основе информации только о содержании в них отдельных компонентов получить практически невозможно. В то же время, недостатком существующих моделей технологических процессов сооружений очистки является их фрагментарный характер, несогласованность результатов и неспособность отражать наиболее общие, фундаментальные нелинейные закономерности [1, 2]. Такая ситуация усиливает необходимость разработки теоретических основ принципиально иных системных подходов к комплексной оценке параметров экологической безопасности очистки сточных вод, например, базируясь на показателях эффективности использования энергетических ресурсов.

Именно поэтому для решения задач экологически безопасного управления утилизацией загрязнителей в водно-хозяйственных комплексах целесообразно использовать средства интеллектуального моделирования,

что позволит улучшить наблюдаемость (прогнозируемость) процессов, создаст предпосылки соблюдения нормативов вредных воздействий на окружающую среду и ресурсосбережения.

1. Схема интеллектуального управления очистными сооружениями

На основании проведенных исследований разработана схема интеллектуального управления оборудованием очистных сооружений (рисунок 1), где, с использованием блока обработки (БО), информации из измерительного оборудования передается в блок поддержки принятия решений (БПР) сценариев экологически безопасного управления технологическими элементами, в базе данных которого хранятся возможные варианты действий управления (Вб) [3].



ППР – подсистема принятия решений; БУ – блок обработки информации; БПР – блок принятия решений; БУ – блок управления; ЛСУ – локальная система управления; ЛАУП – локальное автоматическое управляющее устройство; ВЕ – исполнительные элементы; ОУ – объект управления

Рисунок 1 – Структура интеллектуальной системы управления очистными сооружениями

2. Метод доминирующего динамического загрязнителя сточных вод

На этапе анализа качества очистки сточных вод возникла гипотеза о том, что для удаления одних загрязнителей необходимо сначала устранить другие загрязнители, которые критически уменьшают эффект удаления первых. Учитывая результаты исследований сделан

вывод, что для совершенствования использования нормативных документов и технологий рационально предложить использование метода доминирующего динамического загрязнителя (далее - ДДЗ) [3, 4].

ДДЗ – загрязнитель многокомпонентных сточных вод, который в данный момент времени при фактическом составе необходимо в первую очередь удалить, установив иерархию таких ДДЗ; определив технико-экономические режимы его устранения; оценив наличие следующего ДДЗ и нейтрализовав его, итерационно повторяя такие шаги до обеспечения нормативных требований к качеству водоотвода. При использовании комбинированных систем очистки мясоперерабатывающих предприятий (ДДЗ – жиры), экспериментально рассчитано, что в результате удаления такого ДДЗ, уменьшаются минимум на 50–95 % концентрации других загрязнителей (в зависимости от их начальных концентраций).

В качестве ДДЗ принимается показатель, у которого наибольшее количество итерационных попыток, с ранжированием других загрязнителей, основываясь на таком же методическом подходе. Учитывая то, что вместе с удалением ДДЗ удаляются сопутствующие загрязнители, разработана методика уменьшения количества измерительных каналов сооружений очистки, что позволило увеличить степень агрегирования элементов систем удаления загрязнителей из сточных вод (таблица 1).

Таблица 1 – Ранжир ДДЗ для промышленных предприятий (на основе созданных в рамках исследований водных технологических паспортов таких объектов)

Промышленное предприятие	Ранжир ДДЗ	Повышение степени агрегирования оборудования очистки за счет метода ДДЗ (по ключевым загрязнителям, которые контролируются на предприятиях)
Производство бытовой химии	1. СПАВ 2. Сухой остаток	около 50 %
Мясоперерабатывающее предприятие	1. Азот аммонийный 2. Взвешенные частицы 3. Хлориды	около 25 %
Деревоперерабатывающее предприятие	1. Формальдегид 2. Азот аммонийный	около 25 %
Предприятие малой металлургии	1. СПАВ 2. Свинец	около 25 %

Примечание: Повышение степени агрегирования оборудования очистки благодаря методу ДДЗ по другим загрязнителям из перечня Приказа № 316 от 01.12.2017 Министерства регионального развития, строительства и жилищно-коммунального хозяйства Украины [5] достигнет порядка 75–85 % – соответственно, на столько же потенциально уменьшится количество показателей качества сточных вод, которые нужно контролировать, в том числе в режиме реального времени.

Результатом применения метода доминирующего динамического загрязнителя и подходов нейронных сетей (относительная погрешность генерации функций принадлежности термов – менее 2 %) для получения новых эколого-технологических знаний относительно усовершенствования регулирования процессов очистки на исследуемых объектах стали функции принадлежности [4]. Полученные данные: структурируют значение загрязнителей при определении зависимости ранжирования ДЦЗ от их значений; синтезируют базы знаний формирования в режиме реального времени ранжирования ДЦЗ.

3. Когнитивная модель управления обработкой технико-экономической информацией очистки сточных вод

На основе результатов обработки технико-экономической информации комбинированной очистки сточных вод, целесообразно в матрицу взаимовлияния нечеткой когнитивной карты (далее – НКК) включить следующие элементы:

1. *Промежуточные концепты*: E1 – техническое и технологическое оснащение установок очистки; E2 – степень использования оборудования; E3 – управление производством.

2. *Входные действия (показатели качества воды выбраны на основе промышленных исследований)*: X1 – цены энергоносителей; X2 – расходы воды; X3 – pH исходной воды; X4 – концентрация взвешенных частиц во входной воде; X5 – концентрация нитратов во входной воде; X6 – концентрация фосфатов во входной воде; X7 – БПК₅ входной воды; X8 – концентрация синтетических поверхностно-активных веществ (далее – СПАВ) во входной воде; X9 – температура входной воды; X10 – pH выходной воды; X11 – концентрация взвешенных частиц в выходной воде; X12 – концентрация нитратов в выходной воде; X13 – концентрация фосфатов в выходной воде; X14 – БПК₅ выходной воды; X15 – концентрация СПАВ в выходной воде.

3. *Исходные действия* Y1 – финансовые расходы; Y2 – критерий эколого-энергетической эффективности.

Тогда информационно-функциональная модель будет представлена в виде соответствующего орграфа (нечеткой когнитивной карты), которая приведена на рисунке 2 и иллюстрирует множественные связи и характер взаимодействия факторов. Концепт (Y2) является интегральным показателем, который объединяет экологическую безопасность и затраты энергии на очистку.

На основе синтезированной нейросети типа радиально-базисной функции, согласно архитектуры НКК, получили значения её коэффициентов. При расчете значений коэффициентов НКК таблица экспериментальных исследований расширяется экспертными оценкам, между тем каждый из экспертов давал три варианта значения весовых коэффициентов (расширение экспертной области). Для группировки экспертных оценок (кластеризации) и определение единых значений использованы самоорганизационные карты Кохонена. Задача работы в режиме реального времени решена путем применения байесовских сетей (вероятностные нейронные сети (PNN), которые оценивают вероятность принадлежности набора данных к установленным кластерам [4].

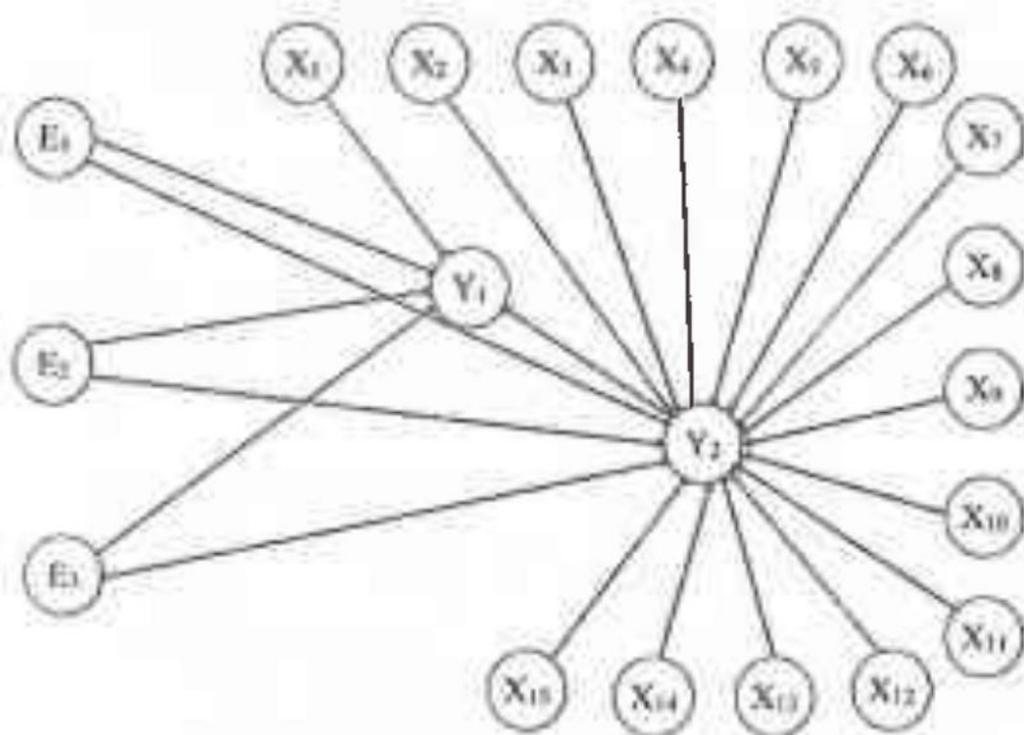


Рисунок 2 – Модель комбинированной очистки в виде нечеткой когнитивной карты обработки технико-экономической информации

Реализация имитационных моделирований в пакете MatLAB продемонстрировала, что максимальная относительная погрешность моделирования (рисунок 2) эколого-технологически приемлемая – 4,12 % (рисунок 3).

Согласно критерия Колмогорова (Колмогорова-Смирнова) установлено, что для всех выборок данных показателей состава сточных вод невозможно применить параметрические подходы: по параметру наличия воды «Концентрация нитратов» установлено, что значимость результатов менее 5 % (фактически 0,5 %). Также статистическая проверка данных водных паспортов исследуемых предприятий показала, что не все полученные выборки значений загрязнителя соответствуют

требованиям нормальности закона распределения случайных величин (порядка 20 % не соответствуют); на основе положений международного нормативного документа ISO 16269-4-2017 установлено отсутствие выбросов в полученной на предприятиях информации.

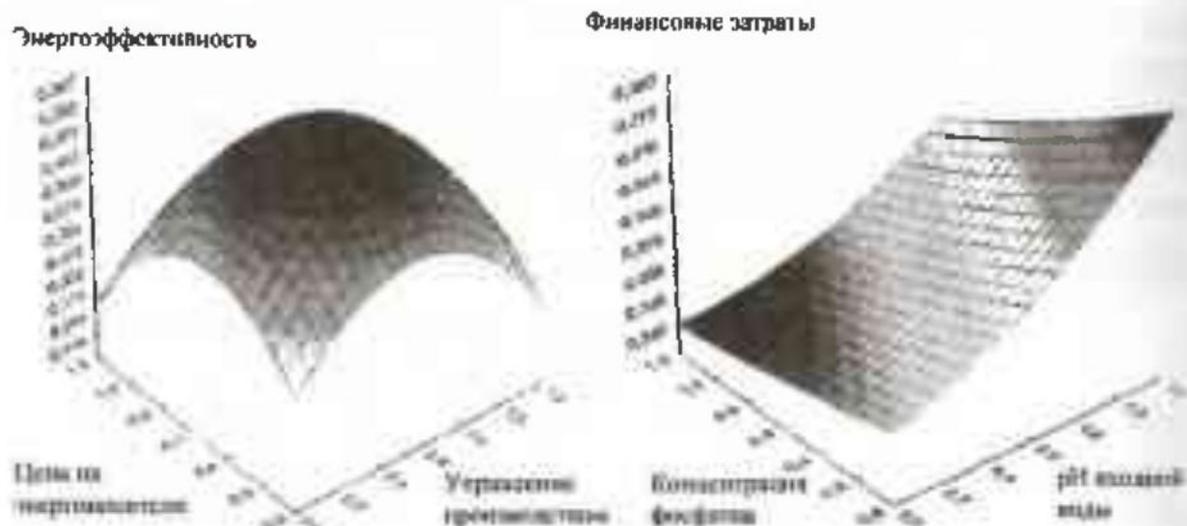


Рисунок 3 – Зависимости выходных концептов ННК («Энергоэффективность» и «Финансовые расходы») от промежуточных и входных концептов (результаты функционирования оптимизированной с использованием муравьиного алгоритма нейронной сети)

Применив непараметрические подходы и проанализировав результаты теста Манна-Уитни для всех пар выборок имитационного моделирования (статистика Джонкхиера (U), вероятность принятия гипотезы $H_0(p)$ и распределение выборок энергоэффективности различных реакций), пришли к выводу: гипотеза H_0 принимается (наименьшие значения $U = 46,5$, а $p = 0,790953$): все наборы данных однородны – результаты работы интеллектуальной информационно-функциональной модели приемлемы и, соответственно, модель можно использовать на объектах водотока, например, в качестве системы поддержки принятия решений.

Вместе с тем, производственными исследованиями подтверждено, что созданные методы совершенствования научно-технических основ управления экологической безопасностью технологий очистки поддерживают реализацию систем экологического менеджмента, в том числе и в режиме реального времени, а это и является целью разработки технологического регламента сооружений очистки. Такой подход обеспечивает эффективные механизмы выполнения требований международных систем менеджмента качества (ISO 9001 «Системы менеджмента качества», ISO 14001 «Системы экологического менеджмента», ISO 50001 «Системы энергетического менеджмента», ISO 31000 «Менеджмент рисков»).

Заключенне

Использование интеллектуальных систем управления очистными сооружениями на основе эффективной обработки эколого-энергетической информации с блоком адаптивного формирования стратегий управления даст возможность повысить энергоэффективность процессов в комбинированном оборудовании при выполнении требований национальных и международных норм экологической безопасности.

Недостаток НКК, ограничивающий их использование в системах реального времени, в том числе для установок изменения свойств водных растворов – стационарность показателей весовых коэффициентов и необходимость их экспертной коррекции при изменении структуры объекта моделирования, что имеет место на объектах водоотведения. Соответственно, разработка блока динамической коррекции весовых коэффициентов НКК с использованием нейронных сетей является актуальным научно-практическим решением с перспективой широкого внедрения на предприятиях водно-хозяйственного комплекса.

Список литературы

1. Долина, Л.Ф. Проектирование станции очистки сточных вод населенного пункта / Л.Ф. Долина // Днепрпетровск: Стандарт, 2002. – С. 144.
2. Штепа, В.Н. Энергетические критерии производственного внедрения экологически безопасных технологий (канал управления – очистка сточных вод (водоподготовка) / В.Н. Штепа // Инновации в сельском хозяйстве: теоретический и научно-практический журнал. – 2014. – № 4 (9) – С. 167–171.
3. Штепа, В.Н. Экспериментально-аналитические исследования комбинированных систем водоочистки / В.Н. Штепа // Агропанорама: научно-технический журнал. – 2015. – № 6(112). – С. 31–37.
4. Штепа, В.М. Обґрунтування та розробка критерію енергоефективності функціонування електротехнологічних систем водопідготовки / В.М. Штепа, Ф.І. Гончаров, М.А. Сировагга // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: Техніка та енергетика АПК: збірник наукових праць. – Київ: НУБіПУ, 2011. – Вип. 161. – С. 187–193.
5. Приказ Министерства регионального развития, строительства и жилищно-коммунального хозяйства Украины от 01.12.2017 № 316 «Об утверждении Правил приема сточных вод в системы централизованного водоотведения и Порядка определения размера платы, взимаемой за сверхнормативные сбросы сточных вод в системы централизованного водоотведения» [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://online.budstandart.com/ru/catalog/doc-page.html?id_doc=76237/. Дата доступа: 03.01.2022.

<i>Китиков В.О., Башко Ю.А., Козорез А.С., Лихтар С.А.</i> Частотное регулирование параметров скважинных агрегатов с синхронным приводом	199
<i>Козорез А.С., Довнар С.С.</i> Применение высокоэффективных систем подачи воды в агрогородках Жлобинского района.....	208
<i>Козорез А.С., Конов А.В.</i> Опыт применения скважинных насосов с синхронным приводом на водозаборах КУП «Молдечноводоканал»	214
<i>Кругликова А.В.</i> Изменение температуры сточной жидкости в открытых очистных сооружениях канализации.....	221
<i>Литницкая Е.Н.</i> Автоматизация физико-химических анализов в экологическом мониторинге.....	226
<i>Мухуров Н.И., Гасенкова И.В., Жвавий С.П., Андрухович И.М.</i> Возможности использования одномерных фотонных кристаллов анодного оксида алюминия для оценки качества водной среды.....	230
<i>Назаренко А.Н., Назаренко И.А., Каюков Ю.Н., Кузьменко А.А.</i> Интегрированные методы пополнения водного баланса поверхностных водоемов технопарка в условиях глобального потепления.....	237
<i>Невзорова А.Б.</i> Управление контролем коррозии с помощью фосфатных анализаторов	244
<i>Савицкая Т.А., Кимленко И.М., Гришпан Д.Д., Новицкая М.Б.</i> Инновационные образовательные технологии в преподавании дисциплины «Водоподготовка в атомной энергетике»	249
<i>Терлецкая Н.Ф., Лицкевич А.Н., Антонюк А.С.</i> Состав осадков сточных вод очистных сооружений г. Лиды	250
<i>Харитончик С.В.</i> Взаимодействие БНТУ с предприятиями водопроводно-канализационного хозяйства в контексте совершенствования системы подготовки кадров для отрасли.....	267
<i>Хилько Д.Н.</i> Технология ремонта декантирующих центрифуг серии Andritz DL5.....	274
<i>Цыбин И.А.</i> Программно-аппаратный комплекс анализа баланса подачи и реализации воды с активным мониторингом скрытых утечек на наружных сетях водоснабжения AMIS-LEAK	277
<i>Штепа В.Н., Заец Н.А., Алексеевский Д.Г.</i> Адаптивные решения интеллектуального управления очистными сооружениями.....	281
Алфавитный указатель.....	288