

УДК 504.064:681.518:628.3

DOI 10.52928/2070-1683-2023-33-1-94-103

ОБОСНОВАНИЕ И СХЕМЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РАНЖИРУЮЩИХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА И ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО АНАЛИЗА РЕЖИМОВ ВОДООТВЕДЕНИЯ

д-р техн. наук, доц. В.Н. ШТЕПА¹,
д-р физ.-мат. наук, доц. Н.Ю. ЗОЛОТЫХ²,
д-р техн. наук, проф. С.Ю. КИРЕЕВ³

¹Полесский государственный университет, Пинск,

²Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет имени Н.И. Лобачевского, ³Пензенский государственный университет)

¹shtepa.v@polessu.by, ²nikolai.zolotykh@itmm.unn.ru, ³dean_fptet@pnzgu.ru

Исходя из анализа экологических недостатков функционирования централизованных систем водоотведения обоснована технологическая целесообразность использования ранжирующих измерительных систем для импактного мониторинга с целью предотвращения негативного техногенного воздействия на геоэкосистемы. Разработаны и предложены структурные схемы практического внедрения таких решений. Созданы структурные модели использования интеллектуальных ранжирующих измерительных систем для прогнозирования экологического состояния систем водоотведения и водных объектов с уменьшением рисков возникновения чрезвычайных ситуаций.

Ключевые слова: водоотведение, водные объекты, экологическая эффективность, ранжирующие измерительные системы, интеллектуальный анализ данных, чрезвычайные ситуации.

Введение. По оценкам ООН, к 2050 году в городах будет проживать около 60% всего населения планеты. Соответственно, растет городское население, а территория и количество ресурсов в городе в основном остаются прежними. Такая ситуация актуальна и для Республики Беларусь. Современные белорусские города сталкиваются среди прочих и со следующими вызовами: инфраструктурный разрыв и высокий уровень износа основных городских сетей; увеличение экологического давления на города [1].

При этом в водной стратегии Республики Беларусь на период до 2030 года в условиях изменения климата под водной безопасностью понимается, в том числе¹: безопасное отведение сточных вод (СВ) при обеспечении финансовой доступности услуг водоотведения; безопасное отведение производственных сточных вод при обеспечении их нормативной очистки; защищенность жизни и имущества населения и отраслей экономики от негативного воздействия вод; обеспечение хорошего экологического состояния водных объектов.

В то же время существующие очистные сооружения (ОС) в городах и районных центрах страны построены преимущественно в 70-е годы прошлого века, имеют большой физический износ и не могут обеспечить выполнение современных требований к качеству очистки сточных вод, в первую очередь, по удалению биогенных элементов. В настоящее время необходимо проведение их комплексной реконструкции и модернизации. Ситуация усугубляется тем, что в планах на 2021–2025 годы было проведение реконструкции, модернизации и строительства 70 коммунальных очистных сооружений, 28 из них – на средства международных финансовых организаций, а такое финансирование на данный момент приостановлено и имеет неопределённые перспективы. Таким образом, необходимо значительно рациональней использовать доступный организационный и экономический ресурсы на основе усовершенствования теоретических подходов по управлению функционированием ОС, с противодействием возникновению чрезвычайных ситуаций (ЧС) на водных объектах, и созданию более адекватных технических заданий (ТЗ) проектирования самих очистных сооружений.

Соответственно, усовершенствование функционирования централизованных систем водоотведения (ЦСВ), включающих технологические комплексы очистки СВ, путём создания программно-аппаратных средств предупреждения возникновения чрезвычайных ситуаций на водных объектах на основе оперативного экологического мониторинга и математического прогнозирования влияния параметров сточных вод на работу очистных сооружений является актуальной научно-практической задачей.

Анализ существующих разработок в области экологического мониторинга, измерительных систем и обработки данных систем водоотведения. Классическая иерархическая система экологического мониторинга гарантирует автономию информационного обеспечения на каждом уровне организации (локальном, региональ-

¹ Станкевич А.П. Водная стратегия Республики Беларусь на период до 2030 года // Водные ресурсы и климат: материалы V Междунар. Вод. Форума, Минск, 5–6 окт. 2017 г. / Белорус. гос. технол. ун-т; редкол.: проф. д-р техн. наук. О.Б. Дормешкин и др. – Минск, 2017. – С. 26–27.

ном, глобальном). Она позволяет укрупнять, интегрировать, генерализовать информацию низших уровней при переходе на высшие согласно следующей структуре («сверху-вниз») [2]:

- фоновый мониторинг (ФМ);
- региональный мониторинг (РМ);
- импактный мониторинг (ИМ).

Теоретический базис ИМ как раз и целесообразно использовать при создании распределённых систем оперативного сбора информации о параметрах (состав, расход, температура) сточных вод, поступающих, транспортирующихся и очищающихся в ЦСВ, поскольку элементы схемы импактного мониторинга должны находиться в местах локализации ключевых загрязнителей (например, в контрольных колодцах промышленных предприятий). Отдельно обязательным условием является географическая привязка узлов контроля состояния СВ с внедрением геоинформационных комплексов.

Исходя из такого подхода целесообразно использовать методический аппарат ранжирующих измерительных систем (РИС) – класса измерительных систем (ИС), для которых результат измерения величины попадает в одну из категорий и число таких категорий конечно [3]. Такой алгоритм работы отличает их от ИС, которые выдают результаты в виде количественных переменных. Можно выделить два основных типа ранжирующих измерительных систем²: системы, в которых измерения проводит человек (контролер) при помощи своих органов чувств; и автоматические системы, в которых задачу ранжирования осуществляет электронный прибор (программируемый контроллер, датчики, фотоэлементы, электронные калибры и другие измерительные средства) – они могут работать без участия человека-контролера. Автоматические РИС часто бывают встроены в технологический процесс, хотя их методика принятия решений использует числовые значения результатов измерений, тем не менее, выводы представлены в порядковой шкале – именно поэтому они попадают под определение ранжирующих решений.

Однако в задачах экологического анализа ЦСВ целесообразно внедрять комбинированные ранжирующие измерительные системы, поскольку количество комплексов получения информации о показателях качества СВ, способных работать в оперативном режиме (или приближённо к нему), крайне незначительно (нехватка инструментариев порядка 70% от потребностей) – частично информацию, с учётом временного отставания, обобщённо консолидно вводить в базу данных (БД) РИС на основе знаний экспертов и данных исследований аккредитованных лабораторий.

При этом на этапе анализа полученной и агрегированной в БД информации для поддержки принятия решения можно использовать, например, подходы статистического контроля процессов (SPC) [4]. Такая методология применяет статистические методы мониторинга и управления технологиями, что помогает обеспечивать их заданное качество. SPC включает в себя три принципа [4]: всякая работа – последовательность взаимосвязанных процессов; они все подвержены вариабельности; понимание и снижение вариабельности – ключ к получению заданного результата (экологической эффективности – выполнения требований по предельно-допустимым концентрациям (ПДК) загрязнителей на выходе ОС).

Вместе с тем теорию статистического контроля процесса можно комбинировать с применением для анализа данных ЦСВ различных математических аппаратов искусственного интеллекта [5], что значительно увеличит качество полученного прогноза опасности возникновения ЧС на водных объектах в зависимости от режимов водоотведения, включая параметры СВ и режимы работы ОС.

Также анализ работы самих очистных сооружений как элемента системы водоотведения показывает, что существующие современные технологические решения удаления поллютантов из водных растворов [6–9] крайне нуждаются в модулях управления, способных работать в условиях размытости входной информации (её недостаточности) в оперативном режиме. При этом создаются достаточно эффективные модели таких процессов³ [10], однако их, без адекватно функционирующих измерительных систем, нет возможности широко применять на реальных объектах, в том числе с использованием статистического контроля процессов.

Таких образом, для устранения указанного противоречия, целью настоящей работы является обоснование использования ранжирующих измерительных систем и усовершенствование подходов к построению их структурных схем (для внедрения в водопроводно-канализационные хозяйства (ВКХ), обеспечивающих прогнозирование влияния СВ на очистные сооружения и водные объекты.

Объект исследования – экологическая безопасность систем водоотведения.

Предмет исследования – процессы управления экологической безопасностью систем водоотведения и закономерности ее поддержания с учетом рисков возникновения чрезвычайных ситуаций и требований энергоэффективности с использованием интеллектуальных ранжирующих измерительных систем.

² Павловская И.В. Разработка метода оценки ранжирующих измерительных систем при управлении качеством продукции и процессов: дис. ... канд. техн. наук: 05.02.23. – М., 2012. – 136 л.

³ Presence of synthetic surfactants in groundwater derived by sewage contamination / C. Corada-Fernandez, J. Jimenez-Martinez, L. Candela et al. // Eur. Geosci. Union Gen. Assem. – 2011. – Vol. 13. URL: https://www.researchgate.net/publication/281387121_Presence_of_synthetic_surfactants_in_groundwater_derived_by_sewage_contamination

Оценка негативных экологических аспектов функционирования схем централизованных систем водоотведения. Анализируя и систематизируя схемы централизованных сетей водоотведения, их узлы можно укрупнённо сгруппировать согласно формированию, транспортировке, очистке и приёму сточных вод (рисунок 1).

Исходя из существующих экологических задач и функциональных неопределенностей можно выделить ряд проблематик, решению которых должны способствовать создаваемые РИС ИМ:

ПРОБЛЕМА 1. Отсутствие измерительных средств, работающих в сегментах сети водоотведения I (колодцы), II (коллектора, насосные станции, напорные трубопроводы) (см. рисунок 1) и способных:

- в оперативном беспроводном режиме и удалённо передавать данные о качестве сточных вод;
- выдерживать агрессивную среду (щелочные или кислотные среды водных растворов, сероводород и аммиак в воздушных средах размещения оборудования);
- быть энергонезависимыми, то есть без подключения к электрической сети.

ПРОБЛЕМА 2. Отсутствие программного обеспечения, способного оценивать и прогнозировать качество сточных вод в сегментах сети водоотведения II (коллектора, насосные станции, напорные трубопроводы) (см. рисунок 1).

ПРОБЛЕМА 3. Незначительное количество программного обеспечения, способного в сегменте III (очистные сооружения) (см. рисунок 1):

- адаптивно управлять очистными сооружениями в условиях нестационарности и нелинейности качества и объёмов поступающих сточных вод;
- предлагать варианты действий технологам при спрогнозированных залповых поступлениях загрязнителей, особенно токсикантов;
- прогнозировать экологическое состояние водных объектов в конкретный момент времени при известных режимных параметрах ЦСВ.

ПРОБЛЕМА 4. Отсутствие измерительных средств, способных функционировать в водных геоэкосистемах объектов (сегмент IV, см. рисунок 1):

- в оперативном беспроводном режиме и удалённо передавать данные о качестве сточных вод;
- быть энергонезависимыми, то есть без подключения к электрической сети.

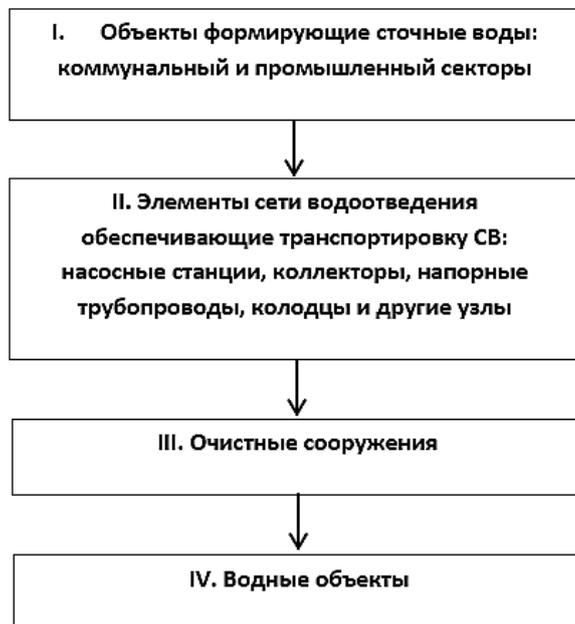


Рисунок 1. – Систематизация элементов схемы централизованных сетей водоотведения согласно функциональным узлам формирования, транспортировке, очистке и приёму сточных вод

Ключевая комплексная проблема, которая является результатом всех выше указанных, – отсутствие централизованного информационно-аналитического подхода при управлении экологической эффективностью ЦСВ. Для её решения необходимо рассматривать как единый экологический комплекс все её элементы, обеспечивающие: «формирование сточных вод – их отведение до коммунальных очистных сооружений – очистку сточных вод на ОС – приём СВ в водные объекты». Обобщая, можно выделить ряд важных негативных производственно-хозяйственных результатов отсутствия такой системности (рисунок 2).

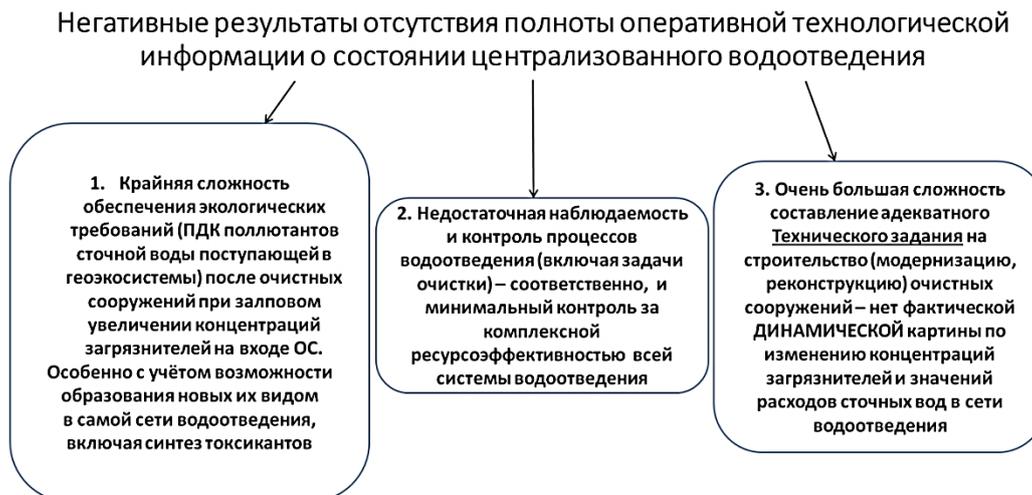


Рисунок 2. – Структурирование некоторых недостатков систем водоотведения, вызванных отсутствием оперативного получения и системного анализа технологической информации

Апробация математического аппарата искусственного интеллекта с целью получения новых знаний о режимах очистки сточных вод. Для технического регулирования процессов очистки сточных вод через реализацию агрегирования технологических параметров применили подходы нечетких нейронных сетей (ННС) с использованием алгоритма обратного распространения погрешности. Он включает следующие шаги⁴:

1. Задаются значения константы η ($0 < \eta < 1$), E_{max} и малый случайный вес нейронной сети.
2. Вводятся переменные $k = 1$ и $E = 0$.
3. Задаётся очередная обучающая пара (x^k, y^k) (x – вход, y – эталонный выход) и обозначения:

$$x := x^k, \quad y := y^k, \quad (1)$$

и вычисляется величина выхода сети:

$$O = \frac{1}{1 + e^{-W^T x}}, \quad (2)$$

где W – вектор весов выходного нейрона;
 o^k – вектор выходов нейронов скрытого слоя с элементами:

$$O_i = \frac{1}{1 + e^{-W_i^T x}}, \quad (3)$$

w_i – вектор весов, связанных с i -м скрытым нейроном, $i = 1, 2, \dots, L$.

4. Проводится корректировка весов выходного нейрона:

$$W := W + \eta \delta o, \quad (4)$$

где

$$\delta = (y - O)O(1 - O). \quad (5)$$

5. Корректируется вес нейронов скрытого слоя:

$$W_i := W_i + \eta \delta W_i O_i (1 - O_i), \quad i = 1, 2, \dots, L. \quad (6)$$

6. Корректируется (наращивается) значение функции погрешности:

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

Если $k < n$ (n – заданное количество итераций обучения), тогда $k := k + 1$ и переход к шагу 3.

⁴ Штепа В.М. Науково-теоретичні засади екологічно безпечних технологій очищення промислових стічних вод: дис. ... д-ра техн. наук: 21.06.01. – Суми: СумДУ, 2020. – 537 л.

7. Завершение цикла обучения. Если $E < E_{max}$, то окончание всей процедуры обучения. Если $E \geq E_{max}$, то начинается новый цикл обучения с переходом к шагу 2.

При синтезе ННС использовался пакет прикладных математических программ MatLAB ANFIS-Editor. Статистические данные, на основе которых создавалась нейросеть, являли собой результаты лабораторных исследований промышленных сточных вод предприятий мясопереработки, деревообработки, производства бытовой химии⁵ по таким показателям качества водных растворов: «Концентрация фосфатов», «рН», «Концентрация синтетических поверхностно-активных веществ (СПАВ)», «Концентрация взвешенных частиц».

В качестве интегрального критерия, который описывает экологическую эффективность очистки СВ (без учёта затрат на их перекачку) и затраты на неё энергетических ресурсов, применено следующее выражение [11; 12]:

$$EF_y = \frac{\left[\left(\frac{LI_{\text{факт}} - ГДК1}{ГДК1} \cdot 100\% \right) + \dots + \left(\frac{LN_{\text{факт}} - ГДКН}{ГДКН} \cdot 100\% \right) \right] \cdot \sum_{i=1}^N Q_i}{\sum_{i=1}^N E_i}, \quad \%/ \text{ кВт.} \quad (8)$$

где $LI_{\text{факт}}, \dots, LN_{\text{факт}}$ – фактические значения соответствующих показателей качества СВ (в единицах измерения согласно нормативным документам показателей качества СВ);

$ГДК1, \dots, ГДКН$ – нормативные значения показателей качества СВ (в единицах измерения в соответствии с нормативными документами по оценке показателей качества СВ);

Q – время работы технологических агрегатов очистки, которые обеспечивают нормирования соответствующих показателей качества СВ, ч;

E – электроэнергия, затраченная на очистку, кВт·ч;

N – количество показателей качества сточных вод, штук.

Технологическое задание для выполнения требований экологически безопасного управления оборудованием согласно критерию (8) – поддерживать его значение равным (максимально близким) нулю, что соответствует режиму эколого-энергетической эффективности очистки. Физический смысл: при отрицательных значениях EF_y происходит перерасход (неэффективное использование) энергии, при положительных значениях – загрязнение окружающей среды (риск возникновения чрезвычайных ситуаций).

Адекватность созданных моделей, с использованием методов нечетких нейронных сетей согласно оптимизационной методике обратного распространения погрешности (1)–(7), подтверждена на основе оценки полученной относительной среднеквадратичной погрешности генерации всех термов (графических представлений влияния входных факторов на выходные)⁶ – 1,44%.

Новые знания о влиянии значений показателей СВ на энергоэффективность их удаления (нейтрализации) были получены в виде функций принадлежности нечёткой логики [6]. Для всех входных параметров использованы качественные термы: «Незначительное влияние на энергоэффективность», «Среднее влияние на энергоэффективность», «Значительное влияние на энергоэффективность» (рисунок 3).

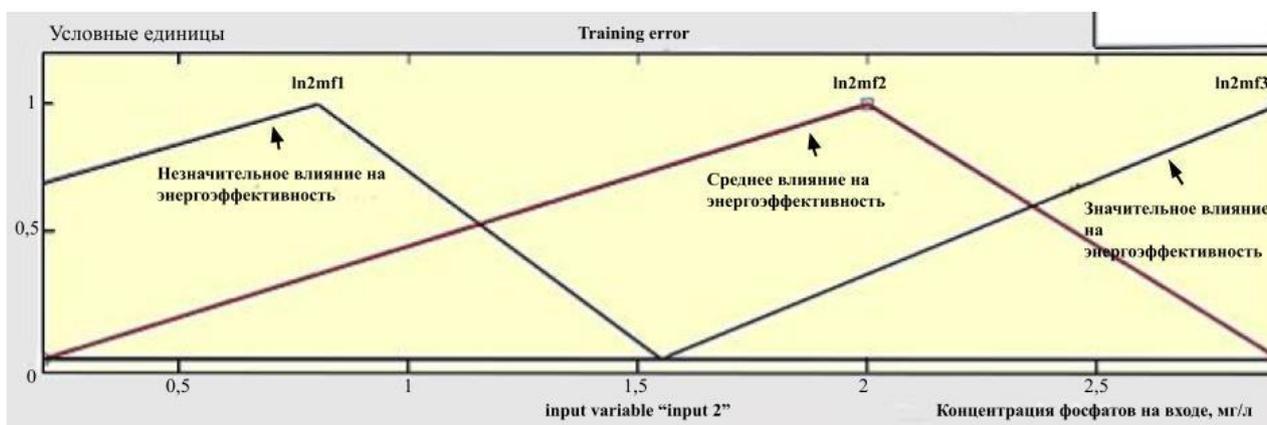


Рисунок 3. – Функции принадлежности эколого-энергетических параметров очистки сточных вод промышленных предприятий (начало)

⁵ См. сноску 4.

⁶ См. сноску 4.

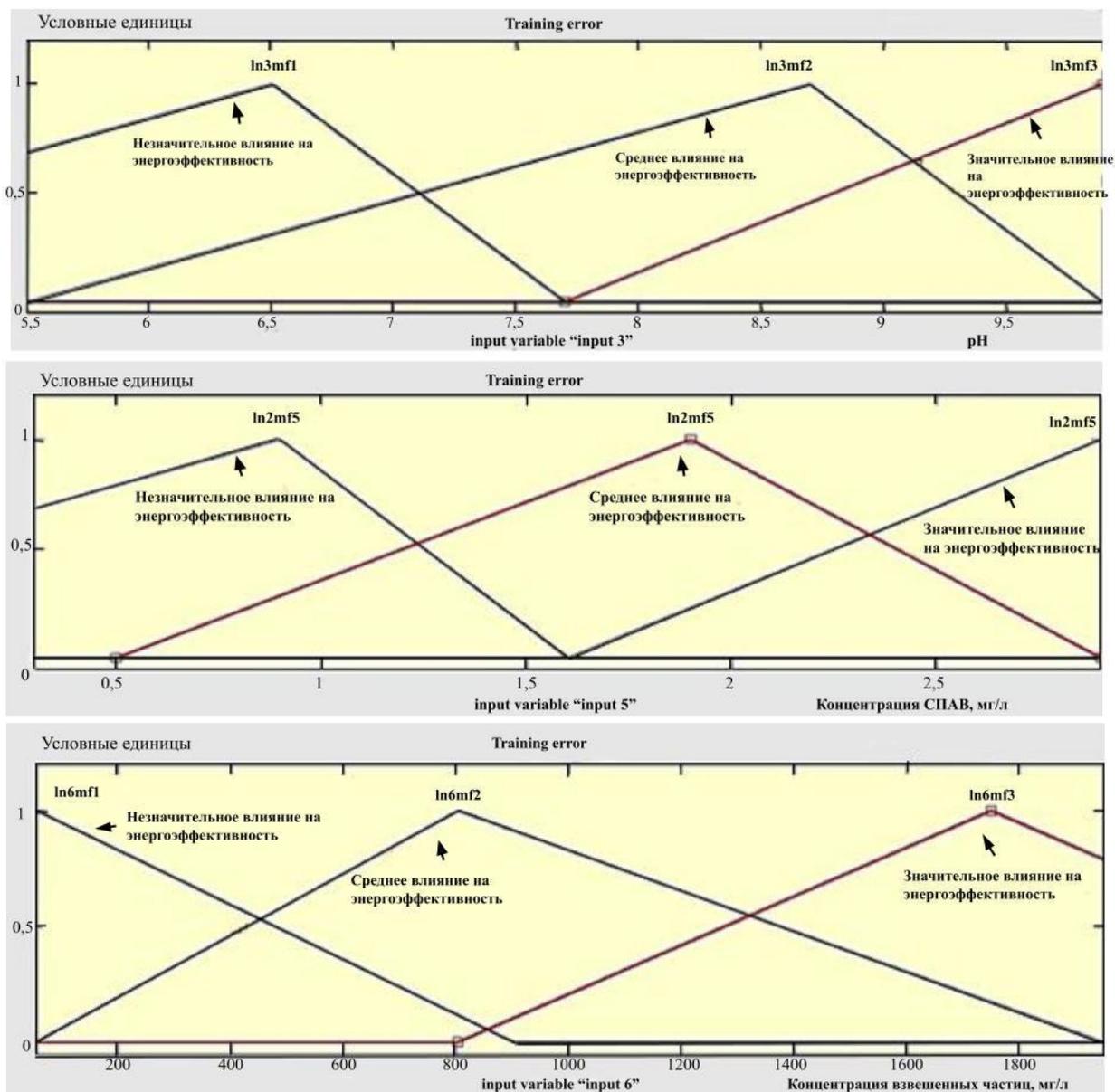


Рисунок 3. – Функции принадлежности эколого-энергетических параметров очистки сточных вод промышленных предприятий (окончание)

При этом аналитическое выражение треугольных кусочно-линейных функций рисунка 3:

$$MF(x) := \begin{cases} 1 - \frac{b-x}{b-a}, & a \leq x \leq b \\ 1 - \frac{x-c}{c-b}, & b \leq x \leq c \\ 0, & \text{другие случаи} \end{cases} \quad (9)$$

где x – значение входной переменной;
 a, b, c – некоторые числовые параметры.

Полученные функции принадлежности ННС (см. рисунок 3) позволяют, с использованием созданного на их основе программного обеспечения и информации с РИС ИМ:

- создать технологические карты технического регулирования ОС СВ с целью отслеживания потенциального воздействия значений показателей качества СВ на процессы удаления загрязнителей и экологическую безопасность водных объектов, обеспечивая выполнение превентивных действий для повышения эффективности работы очистных сооружений;
- прогнозировать потенциальную возможность возникновения техногенных ЧС как на ОС, так и в водных объектах.

Алгоритмическое обеспечение ранжирующих измерительных систем импактного экологического мониторинга водоотведения, структурные схемы практического использования аппаратно-программных решений. Исходя из технологической обоснованности и экологической актуальности использования в ЦСВ РИС ИМ создан базовый алгоритм сбора данных, их анализа, принятия решений (рисунок 4) и передачи информации на верхний уровень информационно-коммуникационных систем управления ОС (рисунок 5).

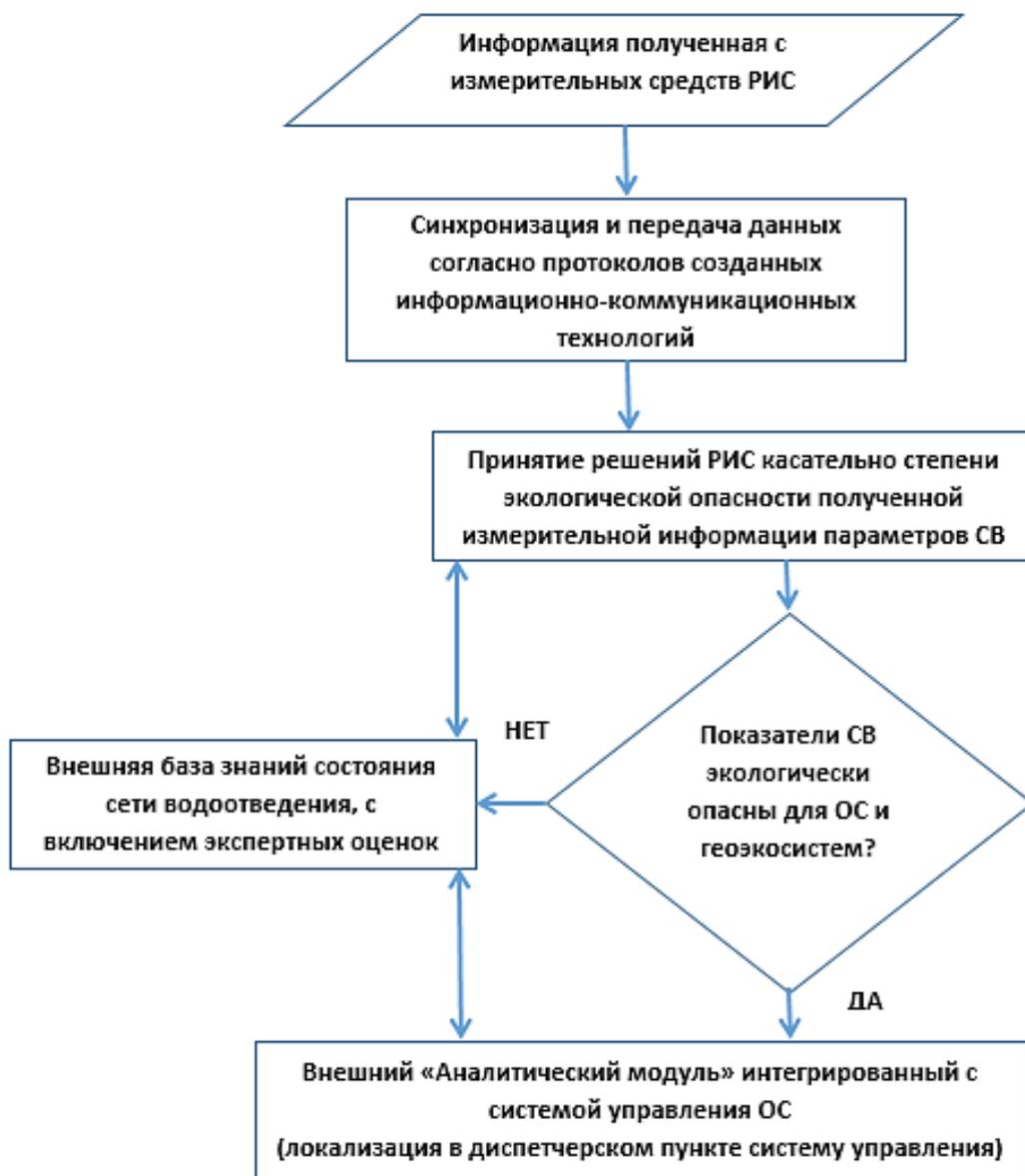


Рисунок 4. – Базовая блок-схема алгоритма функционирования ранжирующих измерительных систем импактного мониторинга водоотведения

Исходя из алгоритмического и структурного обеспечения РИС ИМ (см. рисунки 4 и 5) создана её перспективная масштабируемая распределённая схема (рисунок 6), которая интегрирует инструментальные средства измерения, лабораторные исследования, экспертные заключения и обработку информации на основе искусственного интеллекта.

Прикладные задачи, которые будут решаться с использованием такой ранжирующей измерительной системы на региональном уровне:

- адаптивное формирование экологической стратегии развития региона с учётом антропогенного действия ЦСВ на водные объекты;
- прогнозирование потенциальных опасностей негативного действия антропогенных факторов с превентивным противодействием чрезвычайным ситуациям.

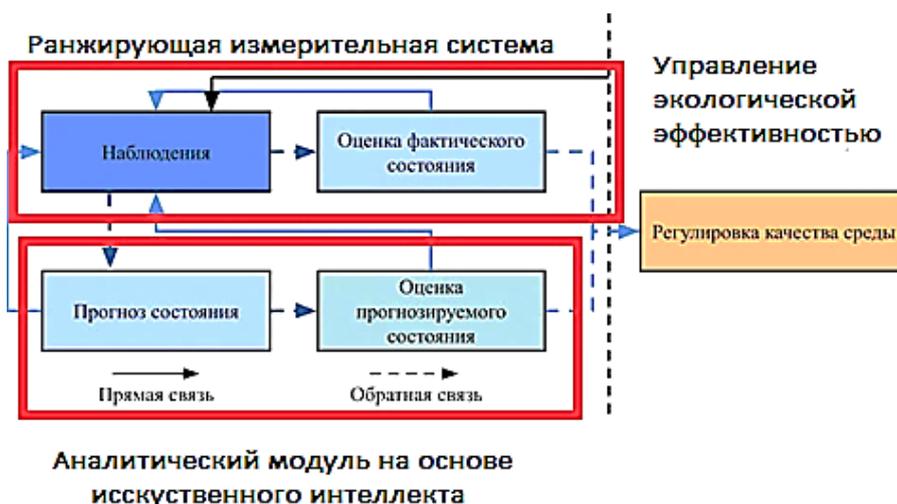


Рисунок 5. – Схема интеграции ранжирующих измерительных систем импактного мониторинга водоотведения с интеллектуальными системами управления очистными сооружениями

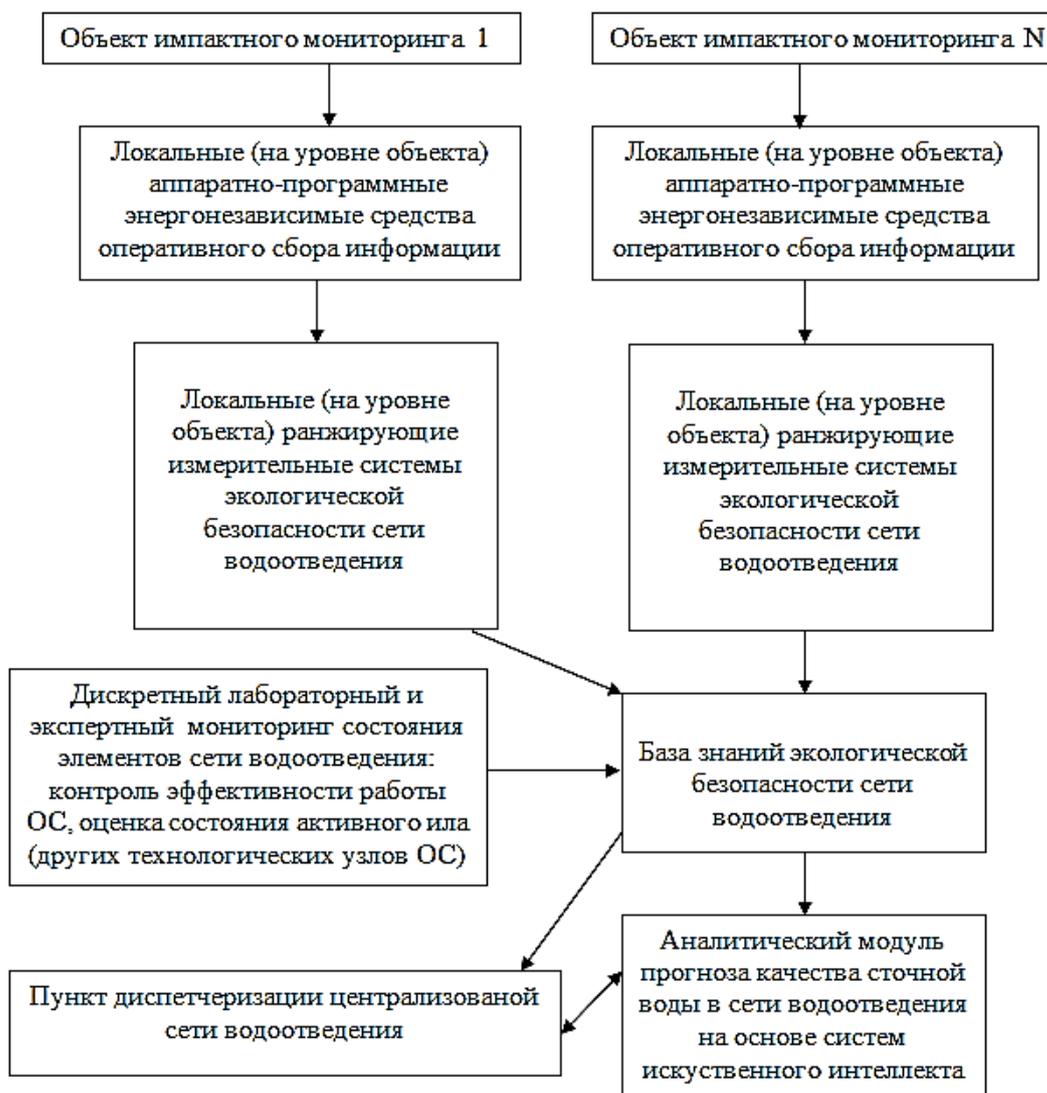


Рисунок 6. – Структурная схема использования ранжирующих измерительных систем импактного экологического мониторинга функционирования водоотведения на региональном уровне

В то же время формирование и практическое внедрение РИС ИМ ЦСВ с использованием концептов Web-SCADA даст возможность уменьшить промежутки времени передачи технологического контента, упростить хранение баз данных, как результат, можно будет получить такие преимущества по сравнению с классическими аналогами [13]:

- оперативное беспроводное получение информации о режимах водоотведения с максимальным охватом узлов сети централизованного водоотведения, что позволит ускорить процессы экологического управления ОС и повысить их качество;

- быстрое и адаптивное во времени ранжированное прогнозирование концентраций загрязнителей СВ до их поступления на сооружения очистки сточных вод – соответственно, создаются более веские технологические предпосылки для противодействия залповым выбросам загрязнителей в водные объекты и предупреждения там техногенных ЧС.

Практическая реализация обоснованного и созданного алгоритмического и структурного обеспечения (см. рисунки 4–6) позволит предприятиям водопроводно-канализационных хозяйств получить:

- методику интегральной оценки экологического состояния ЦСВ ВКХ, которую можно будет использовать при создании технологических регламентов;

- методику внедрения на предприятиях автоматизированных систем сбора и анализа технологической информации согласно перспективной концепции «Цифровой водоканал»;

Органы власти, проектные организации и структуры экспертизы смогут использовать:

- методический аппарат для анализа обоснованности финансовых вложений в ОС предприятий ВКХ;

- информацию для усовершенствования нормативной базы проектирования, экспертизы и эксплуатации ОС ВКХ.

Заключение. Обобщённый потенциальный эффект от внедрения РИС ИМ при экологическом анализе режимов водоотведения:

- создание комфортной экосреды для жителей населённых пунктов и обеспечение региональной водной безопасности путём выполнения требований Водной стратегии Республики Беларусь;

- повышение экологической наблюдаемости технологических процессов в сетях водоотведения (в случае коммунальных объектов с возможностью точечного выявления организации, которая выполняет ненормативный сброс сточных вод, что представляют опасность для биологических ОС и окружающей среды);

- повышение ресурсоэффективности очистных сооружений (уменьшение удельных затрат на качественную очистку 1 м³ сточных вод) путём интеграции РИС ИМ в существующие системы управления ОС при возможности предупреждения их выхода из строя: например, подачей команды о поступлении через фиксированный промежуток времени в голову биологических ОС сточных вод с наличием опасных для активного ила токсикантов, что создаёт объективные предпосылки для эффективной технологической реакции (благовременного противодействия возникновению ЧС);

- создание дополнительного информационно-аналитического базиса (информационной среды) для цифровизации, соответственно, оптимизации, функционирования систем централизованного водоотведения с выполнением требований экологической безопасности и предотвращения действия ЧС;

- разработка методической основы формирования цифровой системы регионального экологического мониторинга загрязнения водных объектов путём масштабирования РИС ИМ;

- значительное уменьшение стоимости нового строительства (модернизации, реконструкции) очистных сооружений коммунальных и промышленных объектов путём создания адекватных ТЗ на их проектирование.

Научная новизна полученных результатов заключается в том, что впервые обоснованы и созданы структурные модели использования ранжирующих измерительных систем экологического мониторинга (импактного и регионального) систем водоотведения, что позволит увеличить управляемость процессов удаления загрязнителей из сточных вод на основе использования интеллектуального математического аппарата.

ЛИТЕРАТУРА

1. Семячков К.А. Трансформация общественного сектора в условиях цифровой экономики // Журн. экон. теории. – 2018. – Т. 15, № 3. – С. 545–548.
2. Войтов И.В. Научные основы рационального управления и охраны водных ресурсов. – Минск: БГУ, 2000. – 386 с.
3. Гличев А.В. Основы управления качеством продукции. – М.: Стандарт, 2001. – 424 с.
4. Адлер Ю.П. Проблемы применения методов статистического управления процессами на отечественных предприятиях // Методы менеджмента качества. – 2009. – № 8. – С. 44–48.
5. Круглов В.В., Борисов В.В. Искусственные нейронные сети: Теория и практика. – 2-е изд. – М.: Горячая линия-Телеком, 2002. – 381 с.
6. Validation of a quantitative image analysis methodology for the assessment of the morphology and structure of aerobic granular sludge in the presence of pharmaceutically active compounds / C. Leal, A. Val del Río, E.C. Ferreira et al. // Environmental Technology and Innovation. – 2021. – Vol. 23. – P. 101639.
7. Dychko, A., Monitoring and biochemical treatment of wastewater / A. Dychko, N. Remez, V. Kyselov et al. // Journal of Ecological Engineering. – 2020. – Vol. 21, № 4. – P. 150–159.
8. Prospects on coupling UV/H₂O₂ with activated sludge or a fungal treatment for the removal of pharmaceutically active compounds in real hospital wastewater / J.A. Mir-Tutusaus, A. Jaén-Gil, D. Barceló et al. // Science of The Total Environment. – 2021. – Vol. 773. – P. 145374.
9. Ecofriendly laccases treatment to challenge micropollutants issue in municipal wastewaters / F. Spina, M. Gea, C. Bicchi et al. // Environmental Pollution. – 2019. – Vol. 257. – P. 113579.

10. The Circular Model in Disposal with Municipal Waste. A Case Study of Slovakia / H. Pavolová, R. Lacko, Z. Hajduová et al. // *J. Environ. Res. Public Health*. – 2020. – № 17(6). – P. 1839.
11. Штепа В.М., Гончаров Ф.І., Сироватка М.А. Обґрунтування та розробка критерію енергоефективності функціонування електротехнологічних систем водопідготовки // *Наук. вісн. Нац. ун-ту біоресурсів і природокористування України. Сер. Техніка та енергетика АПК*. – 2011. – Вип. 161. – С. 187–193.
12. Штепа В.М., Каплун В.В. Віртуальна міра водоочищення та оцінка ризиків виникнення надзвичайних ситуацій // *Вимірювальна техніка та метрологія: міжвід. наук.-техн. зб. / голов. ред. Б.І. Стадник*. – Львів: Вид-во Львів. політехніки, 2018. – Т. 79, вип. 4. – С. 5–11.
13. Штепа В.Н., Алексеевский Д.Г., Заец Н.А. Методическое обеспечение управления экологической безопасностью локальных систем очистки сточных вод // *Научно-технический прогресс в жилищно-коммунальном хозяйстве: сб. тр.: в 2 ч. / Ин-т жилищ.-коммун. хоз-ва НАН Беларуси; под общ. ред. В.О. Китикова*. – Минск: БГТУ, 2021. – Ч. 2. – С. 215–221.

REFERENCES

1. Semyachkov, K.A. (2018). Transformatsiya obshchestvennogo sektora v usloviyakh tsifrovoi ekonomiki [Transformation of the Public Sector in the Digital Economy]. *Zhurnal ekonomicheskoi teorii [Journal of Economic Theory]*, 15(3), 545–548. (In Russ., abstr. in Engl.).
2. Voitov, I.V. (2000). *Nauchnye osnovy ratsional'nogo upravleniya i okhrany vodnykh resursov*. Minsk: BGU. (In Russ.).
3. Glichev, A.V. (2001). *Osnovy upravleniya kachestvom produktsii*. Moscow: Standart. (In Russ.).
4. Adler, Yu.P. (2009). Problemy primeneniya metodov statisticheskogo upravleniya protsessami na otechestvennykh predpriyatiyakh [Problems of application of methods of statistical process control at domestic enterprises]. *Metody menedzhmenta kachestva [Methods of quality management]*, (8), 44–48. (In Russ., abstr. in Engl.).
5. Kruglov, V.V. & Borisov, V.V. (2002). *Iskusstvennye neironnye seti: Teoriya i praktika*. Moscow: Goryachaya liniya-Telekom. (In Russ.).
6. Leal, C., Val del Río, A., Ferreira, E.C., Mesquita, D. & Amaral, A.L. (2021). Validation of a quantitative image analysis methodology for the assessment of the morphology and structure of aerobic granular sludge in the presence of pharmaceutically active compounds. *Environmental Technology and Innovation*, (23), 101639. DOI: 10.1016/j.eti.2021.101639.
7. Dychko, A., Remez, N., Kyselov, V., Kraychuk, S., Ostapchuk, N. & Kniazevych, A. (2020). Monitoring and biochemical treatment of wastewater. *Journal of Ecological Engineering*, 21(4), 150–159. DOI: 10.12911/22998993/119811.
8. Mir-Tutusaus, J.A., Jaén-Gil, A., Barceló, D., Buttiglieri, G., Gonzalez-Olmos, R., Rodriguez-Mozaz, S. ... Sarrà, M. (2021). Prospects on coupling UV/H₂O₂ with activated sludge or a fungal treatment for the removal of pharmaceutically active compounds in real hospital wastewater. *Science of The Total Environment*, (773), 145374. DOI: 10.1016/J.SCITOTENV.2021.145374.
9. Spina, F., Gea, M., Bicchì, C., Cordero, C., Schilirò, T. & Varese, G.C. (2019). Ecofriendly laccases treatment to challenge micropollutants issue in municipal wastewaters. *Environmental Pollution*, (257), 113579. DOI: 10.1016/j.envpol.2019.113579.
10. Pavolová, H., Lacko, R., Hajduová, Z., Šimková, Z. & Rovňák, M. (2020). The Circular Model in Disposal with Municipal Waste. A Case Study of Slovakia. *J. Environ. Res. Public Health*, 17(6), 1839. DOI: 10.3390/IJERPH17061839.
11. Shtepa, V.M., Goncharov, F.I. & Sirovatka, M.A. (2011). Obgruntuвання та розробка критерію енергоефективності функціонування електротехнологічних систем водопідготовки [Justification and development of the energy efficiency criterion for the operation of electrotechnological water treatment systems]. *Nauk. visn. Nats. un-tu bioresursiv i prirodoikoristuvannya Ukraini. Ser. Tekhnika ta energetika APK [Scientific Bulletin of the National University of Bioresources and Nature Management of Ukraine. Series: Technology and energy of agricultural industry]*, (161), 187–193. (In Ukrain., abstr. in Engl.).
12. Shtepa, V.M. & Kaplun, V.V. (2018). Virtual'na mira vodoochishchennya ta otsinka rizikiv viniknennya nadzvichainikh situatsii [Virtual measure of water purification and risks assessment of emergency situations]. In B.I. Stadnik (Eds.) *Vimiryuvalna tekhnika ta metrologiya: mizhvid. nauk.-tekh. zb. Vol. 79, iss. 4 (5–11)*. Lviv: Vidavnistvo L'vivs'koï politekhniky. (In Ukrain., abstr. in Engl.).
13. Shtepa, V.N., Alekseevskii, D.G. & Zaets, N.A. (2021). Metodicheskoe obespechenie upravleniya ekologicheskoi bezopasnost'yu lokal'nykh sistem ochistki stochnykh vod (215–221). In V.O. Kitikov (Eds.) *Nauchno-tekhnicheskii progress v zhilishchno-kommunal'nom khozyaistve: v 2 ch. Ch. 2*. Penza: Nauka i Prosveshchenie. (In Russ.).

Поступила 02.02.2023

RATIONALE AND SCHEMES USE RANKING MEASURING SYSTEMS OF ENVIRONMENTAL MONITORING AND INTELLIGENT ANALYSIS WATER DISPOSAL MODES

V. SHTEPA¹, N. ZOLOTYH², S. KIREEV³)

¹Polesky State University, Pinsk,

²National Research Nizhny Novgorod State University named after N.I. Lobachevsky,

³Penza State University)

Based on the analysis of environmental shortcomings in the functioning of centralized sewerage systems, the technological feasibility of using ranking measuring systems for impact monitoring in order to prevent a negative technogenic impact on geoecosystems is substantiated. Structural schemes for the practical implementation of such solutions have been developed and proposed. Structural models have been created for the use of intelligent ranking measuring systems to predict the ecological state of wastewater disposal systems and water bodies with a reduction in the risks of emergency situations.

Keywords: water disposal, water bodies, environmental efficiency, ranking measuring systems, data mining, emergency situations.