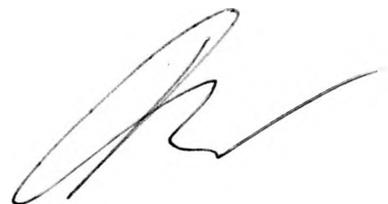


МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ УКРАИНЫ

Сумской государственной университет

УДК 504.04: 006.91.001: 628.2 (043.3)



ШТЕПА ВЛАДИМИР НИКОЛАЕВИЧ

**НАУЧНО-ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ЭКОЛОГИЧЕСКИ БЕЗОПАСНЫХ
ТЕХНОЛОГИЙ ОЧИСТКИ ПРОМЫШЛЕННЫХ СТОЧНЫХ ВОД**

Специальность 21.06.01 – экологическая безопасность

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени

доктора технических наук

Диссертация является квалификационной научной работой на правах рукописи.

Работа выполнена на кафедре прикладной экологии Сумского государственного университета Министерства образования и науки Украины.

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор
Трофименко Анна Григорьевна,
Национальный университет кораблестроения
имени адмирала Макарова
Министерства образования и науки Украины,
заведующий кафедрой экологии и природоохранных
технологий, г. Николаев

доктор технических наук, профессор
Сакалова Галина Владимировна,
Винницкий государственный педагогический
университет
имени Михаила Коцюбинского
Министерства образования и науки Украины,
профессор кафедры химии и методики обучения
химии, г. Винница

доктор технических наук, профессор
Дядюра Константин Александрович,
Сумской государственный университет
Министерства образования и науки Украины,
профессор кафедры «Технология машиностроения,
станки и инструменты», г. Сумы

Защита диссертации состоится 3 июля 2020 в 11 ч 00 мин на заседании диссертационного совета Д 55.051.04 в Сумском государственном университете по адресу: 40007, г. Сумы, ул. Римского-Корсакова, 2, корп. Ц, ауд. 204.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Сумского государственного университета по адресу: 40007, Украина, г. Сумы, ул. Римского-Корсакова, 2, и на сайте диссертационного совета Д 55.051.04 по электронному адресу: [https://sumdu.edu ua/uk/science/science-info/scientific-infrastructure/specialized-council/102-55-051-04.html](https://sumdu.edu.ua/uk/science/science-info/scientific-infrastructure/specialized-council/102-55-051-04.html) .

Автореферат разослан 1 июня 2020 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета Д 55.051.04

И.Ю.Аблеева

ВВЕДЕНИЕ

Первоочередными задачами в области экологической безопасности государства является обеспечение качественного и экологически безопасного водопользования, снижение техногенной нагрузки на водные объекты, прежде всего за счет соблюдения требований нормативов и стандартов по очистке сточных вод и возвращение их в естественную цепочку водообмена. Всемирная организация здравоохранения отмечает, что более 80% всех заболеваний человека напрямую связаны с употреблением некачественной воды, в состав которой входят вещества, которые могут вызвать токсические эффекты разного характера – от интоксикации к летальному исходу. Очень высокий процент (около 70% по данным Государственного агентства водных ресурсов) в системе централизованного водоснабжения Украины занимают поверхностные источники, поэтому эффективная очистка сточных вод имеет особо важное значение, поскольку ежегодно без очистки, согласно данным Государственной службы статистики, сбрасывается их значительное количество: в 2015 году – 184 млн м³, в 2016 году – 164 млн м³, в 2017 году – 158 млн м³.

В то же время, усиление техногенной нагрузки на водные объекты осуществляется и за счет возникновения чрезвычайных ситуаций (ЧС) природного характера, количество которых в 2017 году увеличилось на 11,4% по сравнению с 2016 годом. Риск превышения установленных нормативов по качеству очистки сточных вод связан не только с химическим, но и бактериологическим загрязнением сточных вод, в частности в результате распространения особо опасных инфекционных заболеваний сельскохозяйственных животных (рост за указанный выше период составляет 43%).

При этом, сточные воды промышленных объектов, в целом, являются наиболее загрязненными. Стоимость удаления загрязнителей с 1 м³ этих стоков колеблется в широких пределах и зависит от параметров воды, подаваемой на технологические установки, функционала такого оборудования и требований по ее показателям после обработки (повторное использование, сброс в природные водоемы или канализацию и т.д.). Есть факторы, которые вызывают техногенную нагрузку на окружающую среду и затрудняют управление экологической безопасностью водоочистки: возможность действия ЧС природного и техногенного происхождения; отсутствие полноты информации о конкретных комбинированных процессах (каждый объект имеет свои особенности и параметры настройки оборудования для эффективного функционирования); многофакторность характеристик процессов; отсутствие измерительного оборудования показателей качества сточных вод или низкая точность и быстрое действие современных технических решений.

Отсутствие комплексного научного подхода и соответствующего нормативно-методического обеспечения, которые бы в зависимости от динамического изменения внутренней и внешней среды устраняли (уменьшали) такое негативное влияние, усложняет управление сохранением и восстановлением окружающей среды и приводит к необоснованным расходам информационных, материальных и энергетических ресурсов. В связи с указанным возникает необходимость решения актуальной научно-прикладной проблемы в области экологической безопасности.

которая заключается в разработке методов совершенствования научно-теоретических основ управления экологической безопасностью технологий промышленной водоочистки с уменьшением риска возникновения чрезвычайных ситуаций и учетом требований энергоэффективности, что будет способствовать соблюдению нормативов вредных воздействий на окружающую среду.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Связь работы с крупными научными программами, темами. Исследования и научные результаты диссертационной работы соответствуют приоритетным направлениям развития науки и техники Украины, а именно тематическому направлению из раздела 4 «Технологии рационального водопользования, повышение эффективности очистки сточных вод и предотвращения загрязнения водных объектов» и требованиям Закона Украины «Об Общегосударственной программе адаптации законодательства Украины к законодательству Европейского Союза».

Исследования выполнялись в рамках научно-исследовательской тематики кафедры прикладной экологии Сумского государственного университета и являются составной частью НИР «Снижение техногенной нагрузки на окружающую среду предприятий химической и машиностроительной промышленности, теплоэнергетики» (номер госрегистрации 0116U006606) и в соответствии с научно-исследовательскими тематиками Киевского национального университета технологий и дизайна, Национального университета биоресурсов и природопользования Украины по таким НИР: «Разработка компьютерно-интегрированных систем эффективного управления энергетическими ресурсами на птицефабриках» (номер госрегистрации 0108U001969), «Математическое моделирование в агротехнологиях» (номер госрегистрации 0101U000664), «Разработка теории построения систем управления агропромышленным производством с биотехническими объектами и особенностями природных возмущений» (номер госрегистрации 0110U003609), «Научное обоснование структурно-функциональной защиты водопользователей от недопустимых веществ в неуправляемых ситуациях» (номер госрегистрации 0109U008132).

Цель и задачи исследования.

Целью работы является снижение техногенной нагрузки на окружающую среду путем усовершенствования научно-теоретических основ управления экологической безопасностью технологий очистки сточных вод промышленных объектов с учетом риска возникновения чрезвычайных ситуаций и требований энергоэффективности.

Для достижения указанной цели поставлены и решены следующие **задачи**:

- проанализировать нормативные базы и средства промышленной водоочистки в контексте защиты окружающей среды и рисков действия чрезвычайных ситуаций;
- разработать и оценить модели измерения и обработки эколого-энергетических параметров промышленной очистки сточных вод;
- обосновать и разработать методы управления экологической безопасностью технологий водоочистки на основе учета перекрестного влияния способов удаления загрязнителей;

- создать и исследовать математические, аппаратные и программные средства виртуальной меры энергоэффективности водоочистки для минимизации техногенной нагрузки на окружающую среду;

- обосновать и разработать метод доминирующего динамического загрязнителя и методики его применения при управлении экологической безопасностью технологий водоочистки;

- создать модели, методическое обеспечение разработки и экологически безопасного использования эколого-энергетической информации промышленной очистки сточных вод с учетом действия чрезвычайных ситуаций;

- усовершенствовать практическую составляющую научно-теоретических основ технологий очистки стоков с учетом рисков возникновения чрезвычайных ситуаций для улучшения рентабельности и эколого-энергетической эффективности внедрения ресурсосберегающих схем водоснабжения в соответствии с международными требованиями систем экологического менеджмента.

Объект исследования – экологическая безопасность технологических систем очистки сточных вод промышленных объектов.

Предмет исследования – процессы управления экологической безопасностью технологий промышленной водоочистки и закономерности ее поддержания с учетом рисков возникновения чрезвычайных ситуаций и требований энергоэффективности.

Положения, выносимые на защиту:

1. Принципы совершенствования научно-теоретических основ управления экологической безопасностью технологий промышленной водоочистки, *что в отличие от существующих подходов* комплексно обеспечивают уменьшение рисков возникновения чрезвычайных ситуаций с учетом требований энергоэффективности и способствуют соблюдению нормативов в контексте минимизации вредных воздействий на окружающую среду.

2. Метод управления экологической безопасностью технологий водоочистки, *который в отличие от аналогов* основан на установлении и применении эффекта перекрестного наложения действия различных способов на одни и те же загрязнители, характеризуется возможностью смягчения потенциального действия чрезвычайных ситуаций и агрегирования оборудования систем удаления загрязнителей из стоков.

3. Метод управления экологической безопасностью водоочистки на основе доминирующего динамического загрязнителя, *что в отличие от других* основывается на установлении по параметрам эколого-энергетической эффективности ключевого загрязнителя и конфигурированием структуры технологий водоочистки на основе комплексного удаления других загрязнителей вместе с ним, что обосновывает уменьшение количества контролируемых в режиме реального времени показателей качества стоков.

4. Метод обработки и экологически безопасного использования параметров технологий промышленной водоочистки на основе настроек в режиме реального времени нечетких когнитивных и нейросетевых моделей, *который в отличие от аналогов* характеризуется возможностью адаптивного улучшения эколого-

экономических показателей производств с учетом рисков возникновения чрезвычайных ситуаций.

5. Экспериментальные и теоретические доказательства измерения и обработки эколого-энергетических параметров удаления загрязнителей путем комплексного учета взаимовлияния способов и приемов их устранения, что легло в основу создания виртуальной меры энергоэффективности водоочистки, *которая в отличие от существующих* обеспечивает воспроизведение, обработку и сохранение значений экологически безопасных параметров систем очистки стоков при проектировании и во время эксплуатации в режиме реального времени на производственных объектах.

6. Экспериментальные и теоретические доказательства построения систем сбора, обработки и использования технико-экономической информации для управления экологической безопасностью очистки промышленных сточных вод с использованием эколого-энергетических параметров, *которые отличаются* возможностью реализации ресурсосберегающего функционирования производств при выполнении требований стандартов серии ISO 14000 «Системы экологического менеджмента» с прогнозированием и учетом риском возникновения чрезвычайных ситуаций.

Личный вклад соискателя. Диссертационная работа является самостоятельным научным исследованием. Автор лично научно обосновал концепцию улучшения эколого-экономических параметров технологий управления экологической безопасностью промышленной водоочистки путем усовершенствования научно-теоретических основ с учетом требований охраны окружающей среды и рисков возникновения чрезвычайных ситуаций на основе моделирования и интеллектуальной обработки производственной информации; синтезировал метод перекрестных влияний различных способов на одни и те же загрязнители стоков; обосновал критерий эколого-энергетической эффективности использования оборудования обработки стоков; разработал виртуальную меру энергоэффективности водоочистки (ВМЭВО) и исследовал ее функционирование на промышленных объектах; создал метод доминирующего динамического загрязнителя и апробировал его в производственных условиях для усовершенствования научно-теоретических основ управления экологической безопасностью технологий промышленной водоочистки; усовершенствовал принципы создания технологических регламентов комбинированных методов обработки сточных вод промышленных объектов с детализацией для опасных производств.

Вклад автора в работах, опубликованных в соавторстве, приведен в списке работ по теме диссертации. Автор выражает искреннюю благодарность и уважение за предоставление научных консультаций и поддержку при написании диссертационной работы к.т.н., доц. Ф. И. Гончарову, д.т.н., проф. В. В. Каплуну, д.т.н., доц. Н. А. Заяц, к.э.н., доц. С. П. Вертай.

Апробация результатов диссертации. Основные результаты исследований представлялись на следующих научных конференциях: Международной научной конференции «Интеллектуальные системы принятия решений и проблемы вычислительного интеллекта» (г. Евпатория, 16-20 мая 2011 г.); Международных

научных конференциях «Проблемы энергообеспечения и энергосбережения в АПК Украины» (г. Харьков, 2011-2014 гг.); Международных научных конференциях «Эколого-правовые и экономические аспекты экологической безопасности регионов» (г. Харьков, 2011-2016 гг.); Всеукраинской научной конференции «Информационно-измерительные технологии, техническое регулирование и менеджмент качества: состояние, достижения и перспективы» (г. Одесса, 5-6 апреля 2012 г.); Международной научной конференции «Contemporary Aspects of Production Engineering» (г. Варшава, 22-25 мая 2013 г.); Международной научной конференции «Современные методы, информационное, программное и техническое обеспечение систем управления организационно-техническими и технологическими комплексами» (г. Киев, 23 ноября 2016 г.); Международной научной конференции «Переработка и управление качеством сельскохозяйственной продукции» (г. Минск, 23-24 марта 2017 г.); Международной научной конференции «Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии» (г. Могилев, 27-28 апреля 2017 г.); Международной научной конференции «Перспективы будущего и реалии в технологиях водоподготовки» (г. Киев, 2018, 2019); International Conference «Manufacturing & mechatronic systems 2018» (г. Харьков, 25-26 октября 2018 г.); Международной конференции «Машиноведение 2018» (г. Гомель, 22-23 ноября 2018 г.); Международной научной конференции «Комплексное обеспечение качества технологических процессов и систем» (г. Чернигов, 14-16 мая 2019 г.); Международной научной конференции «Управление качеством в образовании и промышленности: опыт, проблемы и перспективы» (г. Львов, 16-17 мая 2019 г.); Международной научной конференции метрологов «МКМ – 2019» (г. Львов, 10-12 сентября 2019 г.).

Опубликованность результатов диссертации. По теме диссертационной работы опубликовано 50 научных работ автора, в которых изложено основное содержание выполненных исследований. Из них 2 монографии, 26 статей в научных изданиях Украины, 10 статей в зарубежных профессиональных изданиях, 6 тезисов докладов в сборниках материалов конференций, 6 патентов Украины (3 патента на изобретение, 3 патента на полезную модель).

Структура и объем работы. Диссертация изложена на 537 страницах текста, в том числе основного текста – 312 страницы. Диссертация состоит из аннотации, введения, 5 глав, заключения и 31 приложения на 141 странице, содержит 46 таблиц, 180 рисунков. Список использованных литературных источников включает 326 наименований на 43 страницах.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении определены актуальность темы и научной проблемы, сформулированы цель и задачи исследований, приведены основные научные положения и практическая ценность полученных результатов, данные о личном вкладе соискателя, апробация результатов диссертации, структура и объем работы.

В первом разделе «Анализ современного состояния экологической безопасности промышленной водоочистки» для снижения техногенной нагрузки

на водные объекты проанализированы методики и методы оценки состояния окружающей среды в контексте показателей качества водосброса, нормативно-правового контроля очистки сточных вод, разработка технологических регламентов, измерительного оборудования показателей качества сточных вод, моделирование процессов водоочистки.

Промышленные стоки составляют примерно 8–10% от общего объема всех сточных вод, но степень их загрязнения гораздо выше. В то же время правила сброса сточных вод нормируются и осуществляются в соответствии с рядом нормативно-правовых документов, среди которых: Закон Украины «Об охране окружающей природной среды», «Правила приема сточных вод в системы водоотведения», Водный кодекс Украины.

Концептуальные вопросы экологической безопасности в разрезе стандартов водоотведения исследовались такими специалистами как Г. А. Белявский, Ю. А. Израэль, И. П. Крайнов, Н. Ф. Реймерс, Z. Song, C. Williams и другими. Сточные воды отличаются друг от друга видами и концентрацией загрязняющих веществ, скоростью поступления и другими непредсказуемыми факторами. Исследованиями способов удаления загрязнений из стоков занимались ученые: И. Е. Апельцин, Ф. И. Гончаров, В. В. Гончарук, А. Г. Запольский, Л. А. Кульский, S. Adav, S. Kawamura, P. Pavan и другие.

На данный момент используются такие базовые способы очистки сточных вод: механические (физические), физико-химические, химические, биологические и комбинированные. Их общим недостатком является необходимость контроля в режиме реального времени (РРВ) десятков параметров качества воды и технологических процессов, однако существуют и надежно работают на промышленных объектах только единицы соответствующего измерительного оборудования. Большинство показателей исследуется в аккредитованных лабораториях в течение экологически неприемлемо долгого времени (более чем на 70% украинских промышленных предприятий лаборатории не функционируют – отобранные пробы стоков транспортируются десятки километров) от нескольких часов до нескольких суток. Такая ситуация приводит к невозможности оперативной реакции (экологически безопасного управления) в случае превышения предельно допустимых концентраций (ПДК) загрязняющих веществ, включая токсичные соединения, создает значительную техногенную опасность для окружающей среды.

Многовариантность оценки показателей качества стоков, являясь следствием многоцелевого применения воды в производственных процессах, также приводит к тому, что надежный вывод о составе стоков на основе информации только о содержании в них отдельных компонентов получить практически невозможно. В то же время, недостатком существующих моделей процессов технологий водоочистки является их фрагментарный характер, несогласованность результатов и неспособность отражать наиболее общие, фундаментальные нелинейные закономерности. Это обстоятельство усиливает необходимость разработки теоретических основ принципиально иных системных подходов к комплексной оценке параметров экологической безопасности водоочистки, например, базируясь на показателях эффективности использования энергетических ресурсов.

Именно поэтому для решения задач экологически безопасного управления промышленной водоочистки целесообразно использовать средства моделирования (физического и математического), что позволит улучшить наблюдаемость (прогнозируемость) процессов удаления загрязнителей, создаст предпосылки соблюдения нормативов вредных воздействий на окружающую среду и ресурсосбережения с учетом потенциального воздействия ЧС.

Во втором разделе *«Исследование научно-теоретических основ безопасности промышленной водоочистки»* сформулирована процедура исследований на основе активных и пассивных экспериментов на опытных установках и промышленном оборудовании, системного анализа, теории измерений, методов математической статистики, кластерного и функционально-структурного моделирования; созданы концептуальные и функциональные модели сбора и обработки технико-экономической информации промышленной водоочистки; разработан подход по совершенствованию использования нормативной базы на основе метода перекрестных влияний на загрязнители стоков; обоснована виртуальная мера энергоэффективности водоочистки (ВМЭВО) и создано научно-техническое обеспечение (НТО) применения технологий для удаления загрязнителей из стоков на основе измерения параметров их эколого-энергетической эффективности.

Анализ работы промышленных систем, в случае комбинирования базовых способов очистки (обязательно для обработки производственных стоков), показал наложения действия различного оборудования на одни и те же загрязнители: перекрестное влияние различных средств на один вид загрязнителей колеблется в пределах 5–40%. На основании полученных результатов обоснована последовательность создания систем водоочистки с расширением функциональных возможностей и их способности эффективно противодействовать ЧС – *метод перекрестных влияний способов удаления загрязнителей* из стоков (рис. 1).

Определение перечня загрязнителей сточных вод промышленных объектов

Выбор и расчет нескольких вариантов номенклатуры водоочистительного оборудования согласно нормативных документов

Решение многопараметрической задачи с использованием генетического алгоритма и выбор режимов и номенклатуры комбинированного оборудования водоочистки, которое эффективно способно противодействовать ЧС при учете перекрестного влияния разных способов

Рисунок 1 – Структурная схема выбора режимов и номенклатуры оборудования системы водоочистки с учетом перекрестных влияний способов удаления загрязнителей и повышением эффективности противодействия ЧС (методический базис для усовершенствования нормативных документов. например, ДБН В.2.5-75: 2013)

Реализация метода перекрестных влияний экологически безопасного управления промышленной водоочисткой позволила определить возможность агрегирования способов по видам загрязнителей (табл. 1).

Таблица 1 – Возможные варианты агрегирования способов водоочистки по методу перекрестных влияний (при соблюдении требований качества водосброса)

	Очистные сооружения, указанные в разделе 10 ДБН В.2.5-75: 2013	
	Сооружения для осветления сточных вод	Физико-химическая очистка сточных вод
	Степень потенциального агрегирования	
Показатели качества стоков согласно Приказа № 316 Министерства регионального развития, строительства и жилищно-коммунального хозяйства Украины от 15 января 2018 г. (N 56/31508)	рН (6,5 - 9,0)	50-60%
	Биологическое потребление кислорода (БПК) – не более 350 МГО ₂ /л	40-45%
	Химическое потребление кислорода (ХПК) – до 500 МГО ₂ /л	30-35%
	Взвешенные вещества – до 300 мг / л	40-50%
	Азот общий – до 50 мг / л	35-45%
	Фосфор общий – до 5 мг / л	45-55%

Для установления электроэнергетических затрат на эффективное удаление загрязнителя из сточных вод создан эколого-энергетический критерий:

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

где $Ll_{вих}, \dots, LN_{вих}$ – фактические значения соответствующих показателей качества сточных вод (в единицах измерения согласно нормативных документов по оценке показателей качества сточных вод); $ГДК1, \dots, ГДКN_{зад}$ – нормативные значения соответствующих показателей качества сточных вод (в единицах измерения в соответствии с нормативными документами по оценке показателей качества сточных вод); Q – время работы технологических агрегатов водоочистки, которые обеспечивают нормирования соответствующих показателей качества сточных вод, ч; W – электроэнергия, затраченная на водоочистку, кВт·ч; N – количество показателей качества сточных вод, штук.

В случае, если одна установка (комплекс очистных сооружений) обеспечивает нормирование нескольких параметров, такой эколого-энергетический критерий:

$$EF_y = \frac{\left[\left(\frac{Ll_{вих} - ГДК1}{ГДК1} \cdot 100 \% \right) + \dots + \left(\frac{LN_{вих} - ГДКN}{ГДКN} \cdot 100 \% \right) \right] \cdot Q}{W} \% / \text{кВт} (2)$$

Технологическое задание во время экологически безопасного управления оборудованием – поддерживать значение критерия равным (максимально близким) к нулю, что соответствует режиму максимальной эколого-энергетической эффективности водоочистки.

Вместе с тем в одном из подходов оценки качества поверхностных вод, в том числе сформированных сбросом промышленных сточных вод, используется методика определения баллов кратности превышения загрязнений. Для каждого ингредиента на основе фактических концентраций рассчитывают баллы кратности превышения предельно допустимых концентраций K_i и повторяемости случаев превышения H_i , а также общий оценочный балл загрязнения водных ресурсов – B_i :

$$K_i = \frac{C_i}{ГДК_i}, \quad (3)$$

$$H_i = \frac{R_{ГДК_i}}{R_i}, \quad (4)$$

$$B_i = K_i \cdot H_i, \quad (5)$$

где i – концентрация в воде i -го ингредиента (в единицах измерения в соответствии с нормативными документами по оценке показателей качества сточных вод); $ГДК_i$ – предельно допустимая концентрация i -го ингредиента; $R_{ГДК_i}$ – число случаев превышения ПДК по i -му ингредиенту; R_i – общее количество измерений i -го ингредиента.

Ингредиенты, для которых величина общего оценочного балла больше или равна 11, выделяются как лимитирующие показатели загрязненности (ЛПЗ). По величине комбинаторного индекса загрязненности устанавливается класс загрязненности воды. Сам же комбинаторный индекс загрязнения рассчитывается как сумма общих оценочных баллов всех ингредиентов.

Тогда получив с (3) $ГДК_i$ подставив в (2), приняв, что $C_i = LN_{вых}$:

$$EF_y = \frac{\left[\left(\frac{L1_{вых} - \frac{L1_{вых}}{K_1}}{\frac{L1_{вых}}{K_1}} \cdot 100 \% \right) + \dots + \left(\frac{LN_{вых} - \frac{LN_{вых}}{K_N}}{\frac{LN_{вых}}{K_N}} \cdot 100 \% \right) \right] \cdot Q}{W}. \quad (6)$$

Отсюда взаимосвязь между экологическим показателем баллов кратности превышения ПДК и эколого-энергетическим критерием (2):

$$K_1 + \dots + K_N = \frac{EF_y \cdot W}{100 \% \cdot Q} + N. \quad (7)$$

Установлено, что общий оценочный балл прямо пропорционален эколого-энергетическому критерию технологий водоочистки:

$$\frac{B_1}{H_1} + \dots + \frac{B_n}{H_n} = \frac{EF \cdot W}{100 \% \cdot Q} + N. \quad (8)$$

Для оценки реализации такого критерия эколого-энергетической эффективности (ЕЕЕ) (2) разработано методическое обеспечение проектирования физической модели (ФМ) водоочистки, как составляющей развития (усовершенствования) информационно-измерительных систем (ИИС) в двух аспектах: структурном и функциональном (рис. 2). В то же время, расширив функциональные возможности ФМ и дополнив ее программной реализацией методического обеспечения, которое реализует воспроизведения и (или) сохранение показателей стоков на этапах проектирования и при эксплуатации в режиме реального времени на производственных объектах, обосновали *виртуальную меру энергоэффективности водоочистки*.

Проведя анализ сброса сточных вод от промышленных предприятий и пользуясь материалами ДБН В.2.5-75: 2013, на основе синтезированного агрегативного метода (см. рис. 1), сформирована номенклатура технологических средств водоочистки ВМЭВО (соответствуют патентам № 95201 UA и № 120530 UA) в составе: емкость регулирования; электрохимический деаэратор (рН-корректор); электролизер-коагулятор; батарея электротехнологических окислителей (с ультразвуковой интенсификацией); пенополистирольный фильтр с самопромывкой.



Рисунок 2 – Модель измерения эколого-энергетических параметров водоочистки на основе использования ВМЭВО

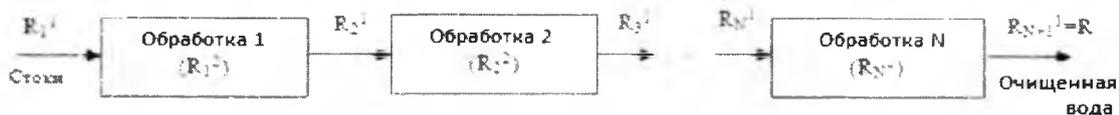
В то же время очистку стоков можно представить, как единую последовательную цепь, сточная вода по которой проходит последовательно через оборудование, что реализует соответствующие базовые способы удаления загрязнителей и имеет соответствующие риски возникновения ЧС (согласно ISO 31000) и/или перерасхода ресурсов (рис. 3).

Приняв, что $R = EF$, (для всех звеньев и системы в целом) на основе критерия эколого-энергетической эффективности (2):

$$R^3 = \Delta - (\Delta - R^1)(\Delta - R^2). \quad (9)$$

Технологической задачей является обеспечение значение уровня риска ЧС и перерасхода ресурсов равным « Δ » или максимально близким к нему в случае

выполнения условия (2), как правило « Δ » = 0. Каждое i -звено удаления загрязнителей характеризуется уровнем привнесенного риска R_i^1 , уровнем собственного риска R_i^2 и уровнем риска R_{i+1}^1 , который одновременно является уровнем привнесенного риска для $(i+1)$ -звенья, где $i = 1, 2, \dots, N$. Общий риск R равен риску R_{N+1}^1 генерируемый заключительным звеном.



R_i^1 – уровень привнесенного риска возникновения ЧС и перерасхода ресурсов соответствующей звена, R_i^2 – уровень собственного риска возникновения ЧС и перерасхода ресурсов соответствующего звена, N – количество звеньев (блоков водоочистки), R – уровень риска возникновения ЧС и перерасхода ресурсов на водоочистку

Рисунок 3 – Схема последовательной технологической цепочки очистки сточных вод

Тогда для схемы рисунка 3 запишем:

$$R_{i+1}^1 = \Delta - (\Delta - R_i^1)(\Delta - R_i^2), \quad i = 1, 2, \dots, N-1, \quad (10)$$

$$R = \Delta - (\Delta - R_N^1)(\Delta - R_N^2), \quad (11)$$

Подставив (10) в (11), получаем выражение для оценки рисков возникновения ЧС и перерасхода ресурсов с обязательным выполнением условия (2):

$$R = \Delta - (\Delta - R_1^1) \prod_{i=1}^N (\Delta - R_i^2) \quad (12)$$

Физический смысл такого выражения: при отрицательных значениях R происходит перерасход (неэффективное использование) энергии, при положительных значениях – загрязнение окружающей среды (риск возникновения ЧС).

Установлен ключевой недостаток методики разработки технологических регламентов (ТР) систем водоочистки: в случае их разработки не учитывается действие ЧС на процессы водоочистки, рассчитывается только «постдействие» – минимизация последствий после их возникновения; комплексно не соблюдаются требования оперативного управления экологической безопасностью промышленных объектов и финансовых составляющих эксплуатации водоочистных установок.

Также необходимо концептуально изменить подход при проектировании схем водоотведения и соответствующих технологических регламентов опасных производственных объектов – путем учета «серой зоны» (каналы водосброса из всех помещений и территорий, включая административно-бытовой комплекс и лаборатории, где существует вероятность попадания загрязнителей, определяющие объект, как «опасный») и очистки ее стоков на специализированном оборудовании.

Тогда концептуальные этапы разработки технологического регламента комбинированной очистки сточных вод разноотраслевых промышленных объектов итерационные, с конечной целью разработки технологической схемы, функциональных режимов устранения действия потенциальных чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера и учетом «серой зоны»; номенклатуры и режимов работы комбинированного водоочистительного оборудования. Последнее основывается на комплексном учете инвестиционно-финансовых и эколого-энергетических критериев с использованием средств адаптивной настройки систем водоочистки для минимизации техногенной нагрузки на окружающую среду.

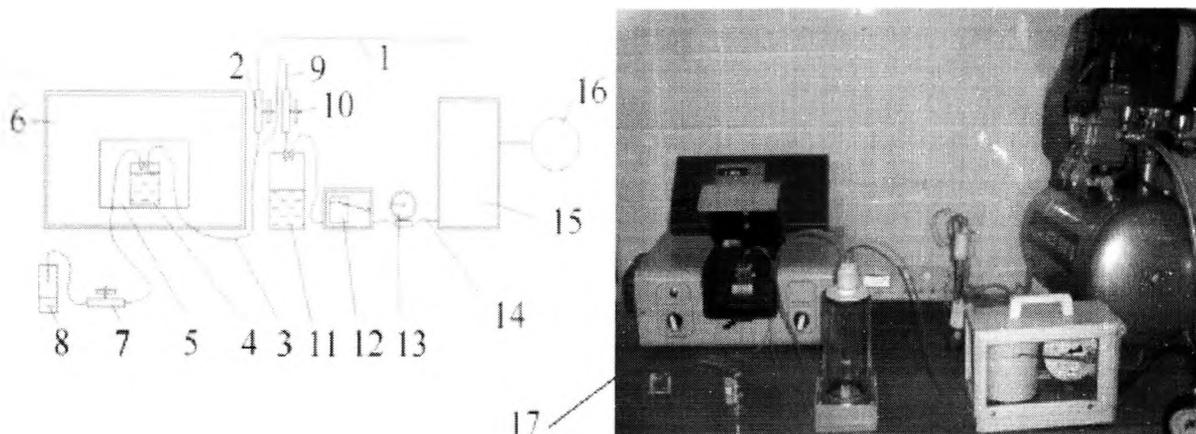
В третьем разделе «Обоснование и создание метода управления экологической безопасностью технологий водоочистки на основе доминирующего загрязнителя» оценены качественно-количественные показатели стоков промышленных предприятий и экспериментально исследованы условия измерения ЕЕЕ; создана ВМЭВО; обоснован, синтезирован и практически апробирован метод доминирующего динамического загрязнителя (ДДЗ) совершенствования экологической безопасности технологий водоочистки.

Экспериментальные исследования условий измерения параметров ЕЕЕ выполняли электротехнологическими средствами (табл. 2).

Таблица 2 – Результаты исследований условий измерения параметров ЕЕЕ очистки промышленных сточных вод

Промышленные объекты	Ключевые загрязнители	Способы, которые комбинировались при доведении параметров стоков к требованиям ПДК	Энергозатраты (в пересчете на объем стоков), кВт/сутки
Мясоперерабатывающее предприятие	Фосфор (до 50 мг/л), азот аммонийный (до 40 мг/л), хлориды (до 1000 мг/л), взвешенные частицы (до 2000 мг/л)	Механический, физико-химический	до 400
Деревоперерабатывающее предприятие	Формальдегид (до 20 мг/л), азот аммонийный (до 100 мг/л)	Механический, физико-химический	до 76
Предприятие малой металлургии	Синтетические поверхностно-активные вещества (СПАВ) (до 10 мг/л), свинец (до 0,05 мг/л)	Механический, физико-химический	до 85
Предприятие производства бытовой химии	СПАР (до 866 мг/л); нефтепродукты (до 88 мг/л), ХПК (до 1500 мг/л), сухой остаток (до 2200 мг/л)	Механический, физико-химический	До 26

Оценка неконтролируемых воздействий на качество стоков осуществлена на примере действия манометрического давления на показатели качества воды; для исследования разработана и изготовлена лабораторная установка (рис. 4).



1 – сеть; 2 – кран 3 – трубка подачи воды к измерительной кювете;
 4 – измерительная кювета высокого давления; 5 – измерительная камера прибора;
 6 – прибор КФК с микропроцессорным устройством управления; 7 – кран слива;
 8 – сливная емкость; 9 – трубка подачи воды к контрольной емкости; 10 – кран
 контрольной емкости; 11 – контрольная емкость; 12 – самописец давления;
 13 – регулятор давления; 14 – соединительная трубка; 15 – компрессор; 16 –
 манометр; 17 – внешний вид лабораторной установки

Рисунок 4 – Схема и внешний вид устройства исследования динамики
 образования и осаждения веществ в воде сети водоотведения в случае изменения
 манометрического давления

Анализируя динамику образования и осаждения взвешенных в воде частиц, можно утверждать, что при отборе воды из сети водоотведения и обеспечении устойчивого давления (условно установившегося режима): в период с 0 до 80 – 100 минут происходит увеличение мутности (на 0,09 – 0,21 мг/л); в период с 80 – 100 до 1260 – 1270 минут мутность уменьшается до фактически нулевого значения.

Дальнейшие исследования заключались в выделении особенностей изменения Coli-index (КУО/дм³) воды в разные периоды работы мясокомбината (рис. 5): убой животных, мойка оборудования и условно штатный режим.

Полученные результаты (рис. 5) соответствуют скорости осаждения взвешенных частиц согласно их гидравлической крупности, зависят от параметров давления – то есть последний гидравлический параметр влияет на биологическую безопасность стоков, хотя в системах водоотведения такие параметры не связывают между собой.

Графоаналитический анализ ВМЭВО продемонстрировал, что комбинированные системы водоочистки – сложные многопараметрические объекты, в случае функционирования которых в режиме реального времени возникает задача координации работы управляемых подсистем, решением является определение взаимодействия подсистем.

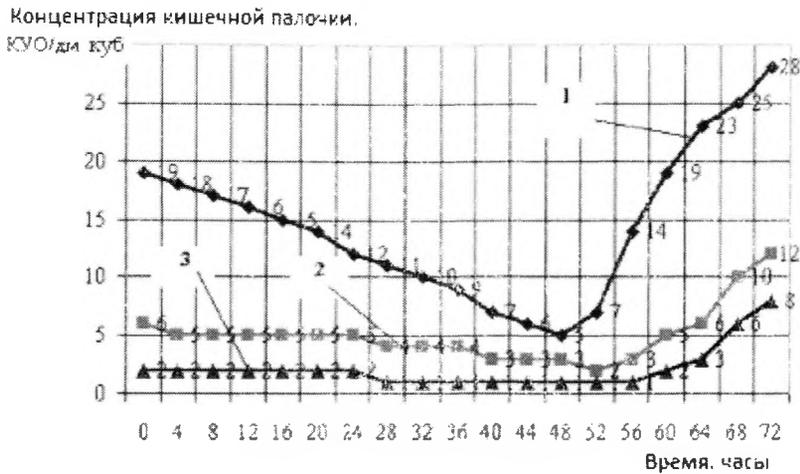
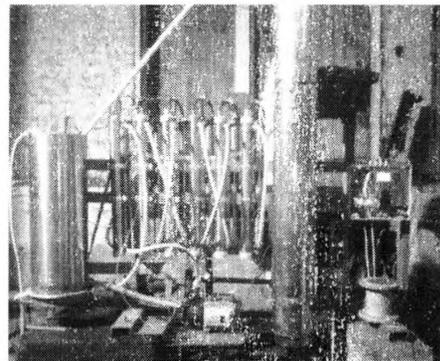
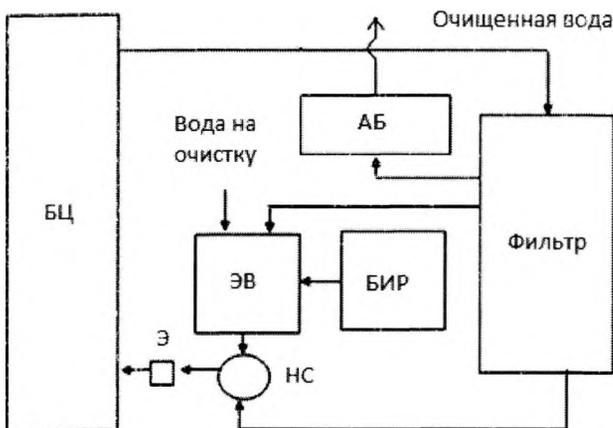


Рисунок 5 – Зависимости полученные в ходе экспериментального установления содержания кишечной палочки (Coli-index) в исследуемых стоках мясоперерабатывающего предприятия

Вместе с тем материальная часть ВМЭВО включает ряд электротехнологических устройств (рис. 6), где установка значений показателей качества воды выполнялась на основе информации измерительного оборудования, способного работать в режиме реального времени в лабораторных условиях.



БЦ – блок электрогидроциклонов; Э – эжектор; ЭВ – электролитическая ванна; НС – насос; БИР – блок интенсификации реакций; АБ – аэробный блок
Рисунок 6 – Структурная схема и внешний вид технологического оборудования ВМЭВО-1 (патент № 85587 UA)

На основе блоков экспериментальных исследований для различных комбинаций показателей качества сточных вод до и после очистки, установлены следующие экологически приемлемые диапазоны значений неопределенностей измерения параметров энергопотребления и суммарная неопределенность водоочистки: 7,8–9,6%/кВт, расширенная неопределенность: 12,87–15,84%/кВт (при $P = 0,95$).

Рассчитанные значения критерия ЕЕЕ (2), с использованием ВМЭВО при случайно выбранных значениях загрязнителей из возможных диапазонов (табл. 1), подтверждают нелинейность процессов в системах водоочистки (рис. 7). Практическая необходимость разработки ВМЭВО, с интеграцией в ней интеллектуальных моделирующих модулей, дополнительно была обоснована тем, что проведение эксперимента (одна точка рисунка 7) занимало порядка 12 часов (формирование блока из 49 экспериментов длилось более 2 месяцев).



Рисунок 7 – Экспериментально полученные в ВМЭВО значения ЕЕЕ промышленной водоочистки

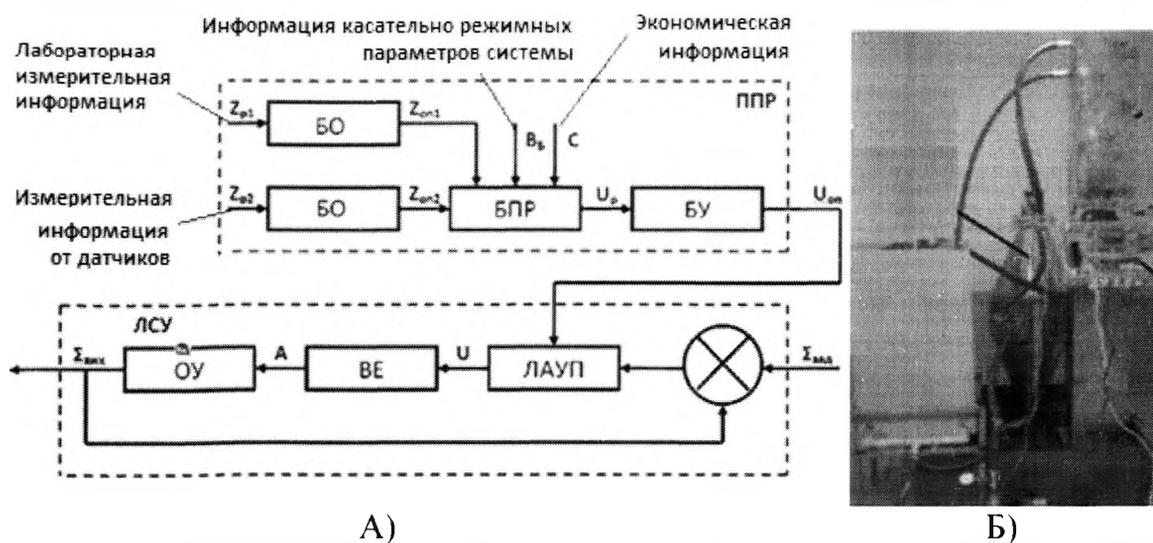
Анализ работы моделирующей нейронной сети позволил определить зависимость величины тока от параметров входящей воды (температуры и электропроводности) и обосновать необходимость синтеза отдельного контура учета влияния температуры для управления условиями измерения параметров эколого-энергетической эффективности.

Используя алгоритм μ -синтеза, получена передаточная функция регулятора 12-го порядка, которая для дальнейшего использования была снижена до 4-го. Далее, применяя метод понижения порядка на основе сингулярных значений по Ганкелю, получили передаточную функцию регулятора температуры воды в ВМЭВО путем корректировки температуры воды с использованием теплообменного оборудования:

$$K_{reduce}(s) = \frac{21,83s^3 + 24,98s^2 + 3,95s + 0,21}{s^4 + 6905s^3 + 1814s^2 + 179,5s + 5,29} \quad (13)$$

На основании проведенных исследований разработали схему интеллектуального управления условиями измерения параметров ЕЕЕ в ВМЭВО (рис. 8), где, с использованием блока обработки (БО), информация из измерительного оборудования передается в блок поддержки принятия решений (БПР) сценариев

экологически безопасного управления водоочистительным оборудованием, в базе данных которого хранятся возможные варианты действий управления (Вб).



А – структурная схема системы управления условиями измерения эколого-энергетических параметров в ВМЭВО с целью минимизации техногенной нагрузки на окружающую среду: 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 (патент №86252 UA); Б – внешний вид ВМЭВО-1М

Рисунок 8 – Реализация виртуальной меры энергоэффективности водоочистки

На этапе анализа качества очистки стоков реальных предприятий и модельных растворов с применением ВМЭВО 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, например, ДБН В.2.5-75:2013, рационально предложить использование метода доминирующего динамического загрязнителя (ДДЗ).

ДДЗ – загрязнитель многокомпонентных сточных вод, который в данный момент времени при фактическом составе стоков необходимо в первую очередь удалить, установив с использованием ВМЭВО таких ДДЗ; определив, с использованием метода перекрестных влияний, технико-экономические режимы его устранения; оценив наличие следующего ДДЗ и удалив его, итерационно повторяя такие шаги до обеспечения нормативных требований к качеству стоков. При использовании комбинированных систем водоочистки стоков 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).

Приняв за функцию многих переменных обоснованный критерий (2), сформулирована задача минимизации:

$$F(L, W) = \min \left(\frac{\left[\left(\frac{L1_{\text{ннк}} - ГДК1}{ГДК1} \cdot 100 \% \right) + \dots + \left(\frac{LN_{\text{ннк}} - ГДКН}{ГДКН_{\text{зад}}} \cdot 100 \% \right) \right] \cdot \sum_{i=1}^N Q_i}{\sum_{i=1}^N W_i} \right) \cdot \% / \text{кВт.} \quad (14)$$

На основании оптимизационного метода покоординатного спуска (14) оценивается количество итераций достижения условия остановки численной оптимизации – с использованием ВМЭВО (формирование статистики измерения параметров промышленной водоочистки: все значения показателей загрязнения принимаются средними, только один задается максимально возможным, что устанавливается на основе объектно-ориентированной оценки водосброса предприятия; затраты энергии постепенно увеличиваются до момента выполнения условий нормативных документов по качеству стоков).

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 технологий водоочистки, что позволило увеличить степень агрегирования систем удаления загрязнителей из стоков (табл. 3).

Таблица 3 – Ранжир ДДЗ для промышленных предприятий (на основе созданных в рамках исследований водных технологических паспортов таких объектов)

Промышленное предприятие	Ранжир ДДЗ	Повышение степени агрегирования оборудования водоочистки за счет метода ДДЗ (по ключевым загрязнителям, которые контролируются на предприятиях)
Производство бытовой химии	1. СПАР 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. СПАР 2. Свинец	около 25%

Примечание: Повышение степени агрегирования оборудования водоочистки благодаря методу ДДЗ по другим загрязнителям из перечня Приказа № 316 Минрегионразвития и ЖКХ достигнет порядка 75–85% – соответственно, на столько же потенциально уменьшится количество показателей качества стоков, которые нужно контролировать, в том числе в РРВ.

Результатом применения метода ДДЗ и подходов нечетких нейронных сетей (относительная погрешность генерации функций принадлежности термов – менее

2%) для получения новых эколого-технологических знаний относительно усовершенствования регулирования процессов водоочистки на исследуемых предприятиях стали функции принадлежности (рис. 9). Полученные данные структурируют значение загрязнителей при определении зависимости ранжира ДДЗ от их значений; базы знаний формирования в режиме реального времени ранжирования ДДЗ.

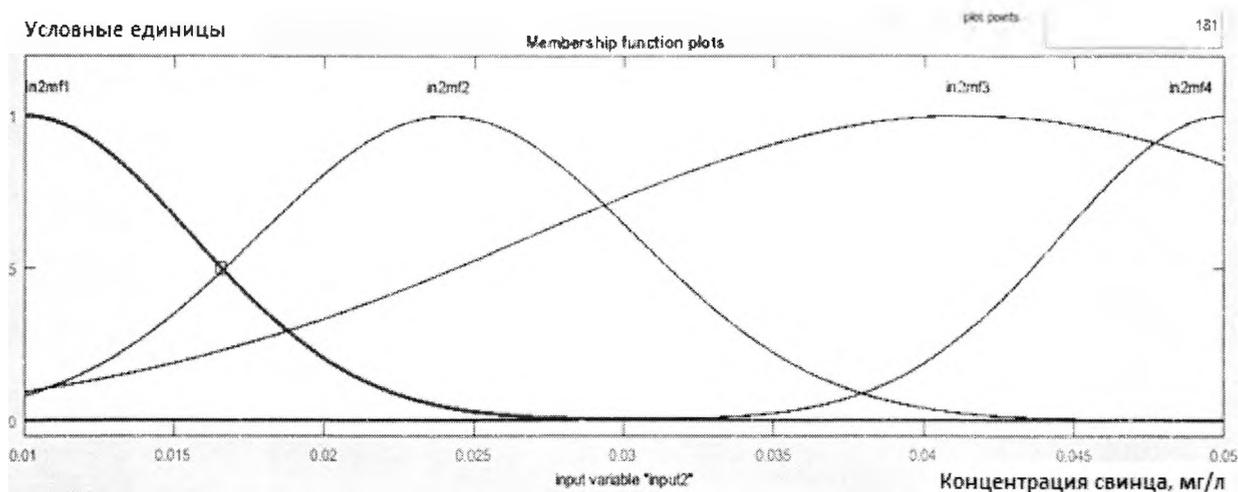


Рисунок 9 – Технологическая информация совершенствования экологического регулирования процессами водоочистки по методу ДДЗ на предприятии малой металлургии: функции принадлежности загрязнителя «концентрация в сточных водах свинца» для определения ранжира доминирующих динамических загрязнителей очистки сточных вод

Тогда сформировав наборы адекватных данных влияния независимого фактора X_i (доминирующий динамический загрязнитель) на выход модели Y_i (эколого-энергетическая эффективность), посредством использования пакета прикладных программ «MatLAB» установлен вид математической модели, которую целесообразно применять для корректировки значений полученных с использованием зависимостей, приведенных в нормативных документах, например, ДБН В.2.5-75: 2013), и расчета погрешности идентификации (на примере мясоперерабатывающего предприятия, где погрешности идентификации $SSE = 0,0044$, $R^2 = 0,985$):

$$Y = -0,000001045 \cdot e^{0,1773 \cdot X} + 0,03325 \cdot e^{-0,0986 \cdot X}. \quad (15)$$

Такой подход поддерживает использование ВМЭВО в режиме реального времени, где предлагается предварительная обработка стоков в виртуальной мере с корректировкой по результатам ее функционирования режимов применения системы водоочистки как на этапе проектирования, так и при штатном функционировании с возможностью поддержки валидации (рис. 10) при минимизации техногенной нагрузки на окружающую среду.

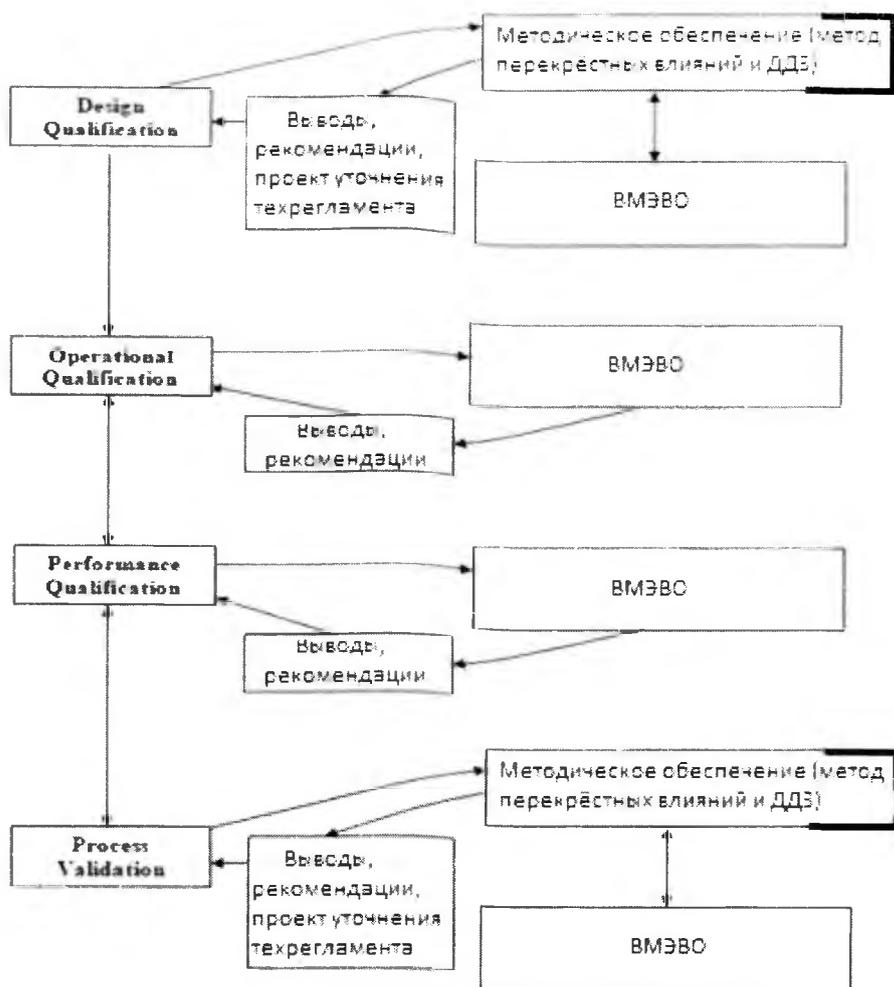


Рисунок 10 – Использование параметров ЕЕЕ водоочистки (на основе методов перекрестных влияний различных способов водоочистки, ДДЗ и функционирования VMZO) для проведения валидации соответствующих технических систем

В четвертом разделе «Разработка и экологически безопасное использование эколого-энергетической информации промышленной водоочистки с учетом действия чрезвычайных ситуаций» обоснованы, разработаны и проверены на адекватность методы создания информационно-функциональных моделей обработки и экологически безопасного использования эколого-энергетической информации систем водоочистки.

На основе результатов предыдущих исследований методов обработки технико-экономической информации комбинированной промышленной очистки сточных вод, в матрицу взаимовлияния нечеткой когнитивной карты (НКК) включены следующие элементы:

1. Промежуточные концепты: E1 – техническое и технологическое оснащение установок водоочистки; 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 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.

Информационно-функциональная модель представлена в виде соответствующего орграфа (нечеткой когнитивной карты), которая приведена на рисунке 11 и иллюстрирует множественные связи и характер взаимодействия факторов. Концепт ЕЕЕ (Y2) является интегральным показателем, который объединяет экологическую безопасность и затраты энергии на водоочистку.

На основе синтезированной нейросети типа радиально-базисной функции, согласно архитектуры НКК, получили значения коэффициентов, устанавливаемых от данных ИИС. При расчете значений коэффициентов НКК таблица экспериментальных исследований расширяется экспертными оценками, 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.

Полученные значения весовых коэффициентов НКК (экспертные оценки в условных единицах): (E1 – Y1) – -0,77, (E1 – Y2) – 0,79, (E2 – Y1) – -0,78, (E2 – Y2) – 0,8, (E3 – Y1) – -0,89, (E3 – Y2) – -0,9 (рис. 12).

Реализация имитационных моделирований в пакете MatLAB продемонстрировала, что максимальная относительная погрешность эколого-технологически приемлемая – 4,12%. Согласно критерия Колмогорова (Колмогорова-Смирнова) установлено, что для таких выборок данных невозможно применить параметрические подходы: выбраны результаты работы моделирующего комплекса промышленной водоочистки по параметру качества воды «Концентрация нитратов», где установлено, что значимость результатов менее 5% (фактически 0,5%). Также статистическая оценка данных водных паспортов исследуемых предприятий показала, что не все полученные выборки значений загрязнителя соответствуют требованиям нормальности закона распределения случайных величин (порядка 20% не соответствуют), одновременно в соответствии с положениями ISO 16269-4-2017 установлено отсутствие выбросов в полученной на предприятиях информации.

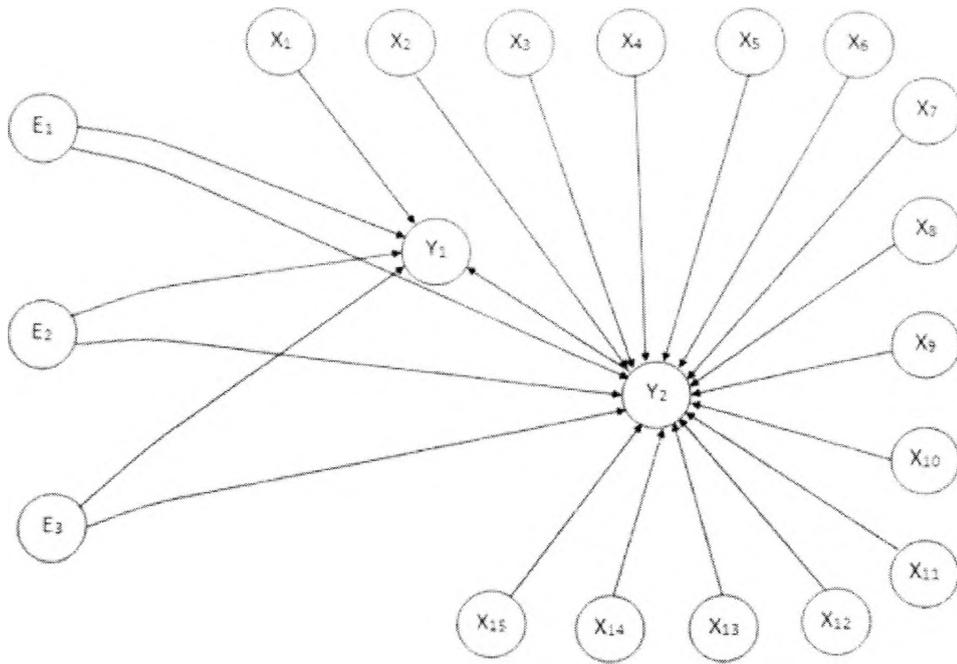


Рисунок 11 – Информационно-функциональная модель комбинированной системы водоочистки в виде нечеткой когнитивной карты

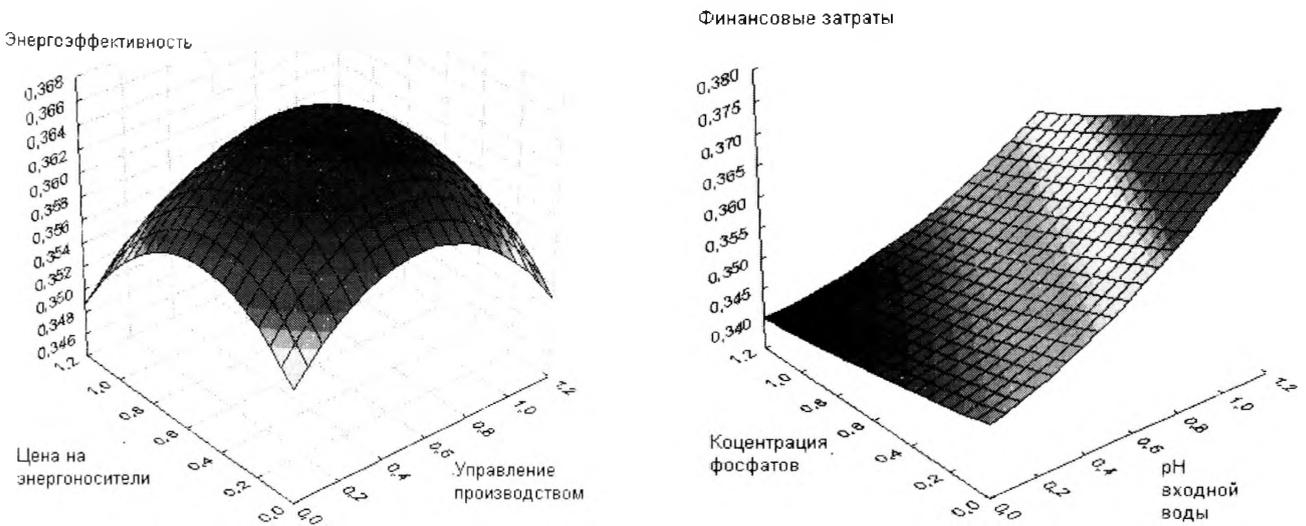


Рисунок 12 – Зависимости выходных концептов («Энергоэффективность» и «Финансовые расходы») от промежуточных и входных концептов (результаты функционирования оптимизированной с использованием муравьиного алгоритма нейросети)

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 промышленных объектах, например, в качестве системы поддержки принятия решений (патент № 95200 UA).

На основе результатов моделирования разработана структура промышленного объектно-ориентированного использования ВМЭВО с учетом рисков возникновения чрезвычайных ситуаций и повышением ресурсосбережения (рис. 13).



Рисунок 13 – Структурная модель получения, обработки и экологически безопасного использования технико-экономической информации с измерением экологических и энергетических параметров в промышленных условиях с использованием ВМЭВО

Учитывая подтвержденную адекватность созданных моделей и основываясь на использовании методов нечетких нейронных сетей (согласно оптимизационной методике обратного распространения ошибки), синтезированы функции принадлежности входных параметров (концентраций нитратов, фосфатов, взвешенных частиц, СПАВ; значений БПК₅, рН, расходов стоков) удаления загрязнителей из стоков при ЕЕЕ режиме водочистки (относительная погрешность генерации функций принадлежности термов – 1,44%).

Полученные результаты рекомендуется использовать во время технического регулирования функционирования соответствующего комбинированного оборудования на промышленных объектах, включая предприятия мясопереработки, деревопереработки, производства бытовой химии и малой металлургии. В то же время для всех указанных входных параметров использованы термы:

«Незначительное влияние на энергоэффективность», «Среднее влияние на энергоэффективность», «Значительное влияние на энергоэффективность» (пример приведен на рисунке 14).

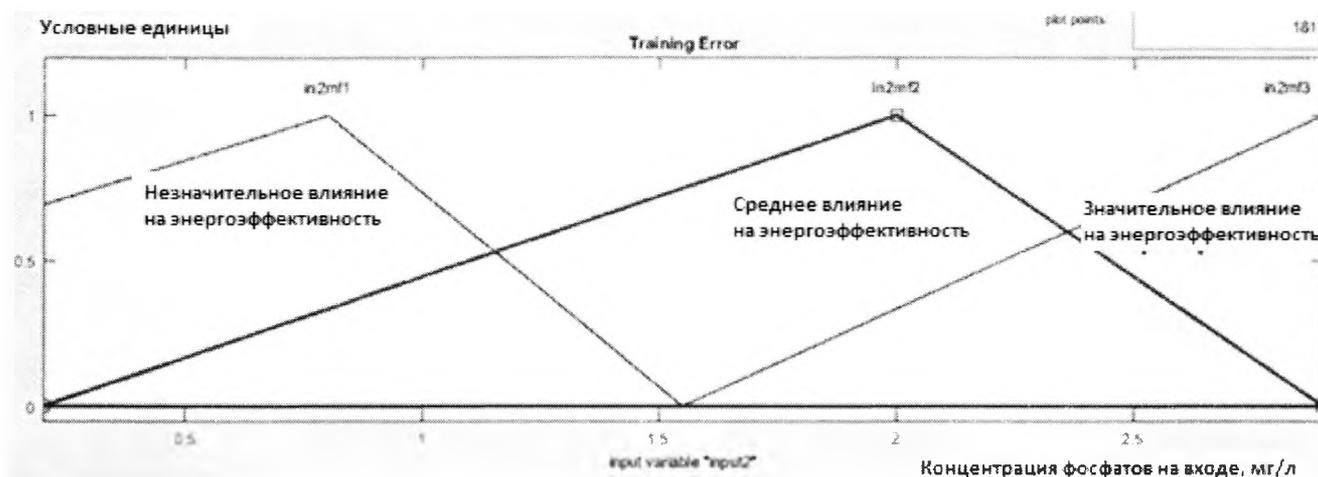


Рисунок 14 – Функция принадлежности и термы параметров очистки сточных вод промышленных предприятий для загрязнителя стоков «Концентрация фосфатов»

В пятом разделе *«Использование усовершенствованных научно-теоретических основ технологий промышленной водоочистки для управления их экологической безопасностью с учетом действия чрезвычайных ситуаций»* разработана архитектура системы сбора, обработки и экологически безопасного использования эколого-энергетической информации; разработана методика инвестиционно-финансового обоснования производственного внедрения водоочистки, проведены производственные апробации созданных НТО; синтезирован подход к рациональному обращению с водными ресурсами в соответствии с международными экологическими требованиями.

На основе применения индекса рентабельности и коэффициента использования природных ресурсов статистически оценены инвестиционно-финансовые предпосылки монтажа средств водоочистки (при имитационном моделировании схемы оборотного водоснабжения индекс рентабельности повысился на 5–11%) и усовершенствованы классические критерии оценки экономических показателей, где в финансовые выкладки добавлено ЕЕЕ:

$$\begin{cases} EF_y \rightarrow 0 \\ \text{Индекс Рентабельности} \rightarrow \max \end{cases} \quad (16)$$

Производственная апробация разработанных научно-теоретических основ, базируясь на получении и обработке технико-экономической информации, состоялась на предприятиях малой металлургии и мясопереработки, с использованием технологического комплекса согласно патенту № 120530 UA. Достигнутые значения критерия (2) были в технологически приемлемых пределах: на

предприятия мясопереработки отклонения от нуля составляли $\pm 9,6\%$, малой металлургии – $\pm 3,4\%$.

В то же время, учитывая результаты теста Манна-Уитни для пар выборок результатов производственного внедрения и информационно-функционального моделирования, делаем выводы, что гипотеза H_0 принимается (наименьшие значения $U = 46$, а $p = 0,923$): наборы данных оценки параметров ЕЕЕ водоочистки однородны, соответственно – *концепция совершенствования управления экологической безопасностью технологий промышленной водоочистки на основе их эколого-энергетической эффективности с учетом рисков возникновения чрезвычайных ситуаций производственно приемлема.*

В то же время оценка антропогенной нагрузки на исследуемых промышленных объектах, где внедрялись созданные НТО управления экологической безопасностью технологий водоочистки, выполнялась с соответствующим индикатором:

- $PCB < 1,0$ – состояние «без риска»;
- $1,0 < PCB < 1,5$ – состояние «возможно под риском»;
- $PCB > 1,5$ – состояние «под риском».

С учетом качества функционирования очистных сооружений установлено, что водоемы, куда осуществляется сброс, находятся в состоянии «под риском» (для предприятия мясопереработки максимальные значения индикатора – $73,8 \text{ м}^3/\text{с}$, малой металлургии – $16,3 \text{ м}^3/\text{с}$).

Корректировка режимов оборудования водоочистки в соответствии с заданием уменьшения такого давления (улучшение эколого-энергетической эффективности технологических систем удаления загрязнителей из стоков) позволила значительно уменьшить негативное воздействие на водные объекты, показала улучшение усредненных значений индикаторов антропогенной нагрузки исследуемых предприятий: мясопереработка – до $2,7 \text{ м}^3/\text{с}$, малая металлургия – до $1,1 \text{ м}^3/\text{с}$. На этапе внедрения систем водоочистки не удалось гарантированно достичь состояния «без риска» из-за необходимости более значительных финансовых затрат промышленных объектов на совершенствование технологических схем удаления загрязнителей из стоков.

Вместе с тем, производственными исследованиями подтверждено, что созданные методы совершенствования научно-технических основ управления экологической безопасностью технологий водоочистки поддерживают реализацию систем экологического менеджмента, в том числе и в режиме реального времени, а это и является целью разработки технологического регламента. Такой подход обеспечивает эффективные управленческие 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») (рис. 15).

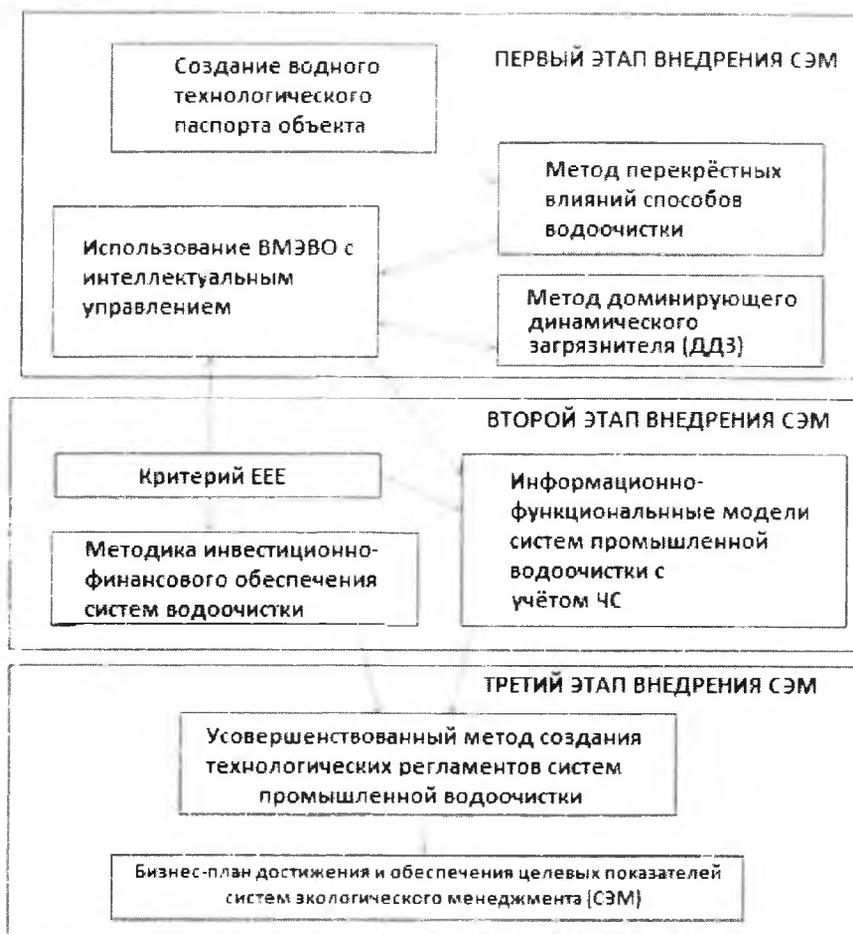


Рисунок 15 -- Структура объектно-ориентированного внедрения ISO 14001 «Системы экологического менеджмента» на основе усовершенствованных научно-теоретических основ управления экологической безопасностью технологий промышленной водоочистки

В приложениях к диссертационной работе приведены акты испытаний и внедрений результатов работы на разноотраслевых объектах.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные научные результаты диссертации

1. На основе анализа нормативной базы и способов промышленной водоочистки установлено, что, даже учитывая относительную проработанность технологий, есть факторы, которые вызывают или некачественное удаление загрязнителей, и/или перерасход ресурсов, комплексно создавая предпосылки для неэффективности управления экологической безопасностью промышленной водоочистки: неуправляемые и непредсказуемые действия чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера; отсутствие в режиме реального времени полноты информации относительно конкретного комбинированного процесса водоочистки, сложность его адекватного исследования даже в лабораторных условиях; отсутствие

и/или низкие точность и быстродействие современных технических средств измерений состава водных растворов, особенно в промышленных условиях.

2. Разработка и оценка моделей измерения эколого-энергетических параметров, сбора и обработки технико-экономической информации, безопасного использования промышленной очистки сточных вод позволили: на основе объектно-ориентированного подхода обеспечить создание концептуальной модели сбора такой информации на промышленных объектах; обосновать и разработать виртуальную меру энергоэффективности водоочистки как программно-аппаратного средства установления энергетических затрат на удаление загрязнителей; создать эколого-энергетический критерий эффективности, который показывает удельные энергозатраты для обеспечения технической эффективности водоочистки, что интегрируется с созданными зависимостями оценки рисков возникновения чрезвычайных ситуаций и результатами исследований полученными в ВМЭВО; усовершенствовать методики разработки технологических регламентов систем очистки сточных вод, что позволяет учитывать действие чрезвычайных ситуаций, комплексно установив требования по эколого-энергетической и инвестиционно-финансовой составляющих водоочистных установок, учитывая наличие «серой» зоны опасных производств.

3. Путем моделирования комбинированных систем водоочистки и оптимизации их режимов выявлены потенциальные возможности расширения границ управления экологической безопасностью такого оборудования благодаря перекрестному действию различных способов на одни и те же загрязнители (расширение границ эффективного использования комбинированных технологий удаления загрязнителей со стоков составляет порядка 5-40%), которые позволяют создавать системы очистки промышленных сточных вод с улучшением возможности противодействия чрезвычайным ситуациям; получены статистические данные попарных перекрестных влияний рекомендованных нормативными документами способов удаления загрязнителей для использования во время технического регулирования соответствующих систем по критерию минимизации техногенной нагрузки на окружающую среду.

4. Применение виртуальной меры энергоэффективности водоочистки позволило реализовать объектно-ориентированный подход создания систем промышленной водоочистки с выполнением требований по управлению экологической безопасностью и учета потенциального воздействия чрезвычайных ситуаций: во время ее обоснования, разработки и исследования установлено: в результате использования комбинированных систем водоочистки обеспечивается соблюдение ПДК по ключевым загрязнителям стоков исследуемых объектов, однако, вследствие различной природы загрязнителей, для этого расходуется разное количество электроэнергии (в пересчете на весь объем стоков объектов): мясопереработка – до 400 кВт/сутки, деревопереработка – до 76 кВт/сутки, малая металлургия – до 85 кВт/сутки, производство продуктов бытовой химии – до 26 кВт/сутки.

5. Обоснована, исследована, создана база знаний и аналитические зависимости совершенствования управления экологической безопасностью технологий промышленных систем водоочистки на основе использования метода

доминирующего динамического загрязнителя. Такой подход подтвержден исследованиями: в случае применения комбинированных систем водоочистки стоков мясоперерабатывающих предприятий, где экспериментально установлено: в результате удаления ДДЗ уменьшаются на 50–95% концентрации других загрязнителей; проведения очистки не по ориентации на первоочередное устранение ДДЗ, а на действие на другие загрязнители, продемонстрировали значительное ухудшение (на 30–90%) эколого-энергетического критерия работы оборудования; в случае применении метода ДДЗ, благодаря сопутствующему удалению других загрязнителей, уменьшается количество показателей качества, которые необходимо измерять (для мясоперерабатывающего предприятия минимум в 3 раза).

6. На основе информационно-функционального моделирования обработки и экологически безопасного использования технико-экономической информации водоочистки на промышленных объектах создан метод повышения эколого-энергетической эффективности промышленной водоочистки с учетом действия чрезвычайных ситуаций (на основе имитационного моделирования относительная погрешность реакции системы при выходе на заданное значение качества удаления загрязнителей составляла 3–5%; установлено соответствие предложенного подхода требованиям адекватности, устойчивости и чувствительности).

7. Комплексное использование усовершенствованных научно-теоретических основ управления экологической безопасностью технологий промышленной водоочистки позволило: улучшить инвестиционно-финансовые характеристики производств, что подтверждено на основе применения методики комплексной оценки индекса рентабельности и эколого-энергетического критерия (при моделировании схемы оборотного водоснабжения индекс рентабельности повысился на 5–11%); обеспечить эколого-энергетическую эффективность комбинированных систем удаления из водных растворов загрязнителей (производственно установлено такое качество функционирования водоочистного оборудования: мясоперерабатывающее предприятие – отклонение эколого-энергетического критерия от заданного значения $\pm 9,6\%$; малая металлургия – $\pm 3,4\%$); в десятки раз уменьшить антропогенную нагрузку (по сравнению с системами без управления процессами удаления загрязнителей) выполнения действующих нормативных документов Украины по отводу промышленных стоков, создавая объективные предпосылки для соблюдения предприятиями требований стандартов ISO 9001 «Системы менеджмента качества», ISO 14001 «Системы экологического менеджмента», ISO 50001 «Системы энергетического менеджмента», ISO 31000 «Менеджмент рисков».

Рекомендации по практическому использованию результатов

Практическое использование комплекса научно-практических методов, полученных в результате написания диссертационной работы, включает последовательность обоснованных шагов с привлечением соответствующих функционально-информационных подходов и технико-технологических средств:

1. Проведение экспериментальных исследований с использованием ВМЭВО и формирование водного технологического паспорта предприятия (функционирующего или проектируемого).

2. Математическая фильтрация технико-экономической информации пункта 1.
3. Формирование базы знаний комбинированной водоочистки конкретного предприятия с использованием методов перекрестных влияний способов удаления загрязнителей и доминирующего динамического загрязнителя.
4. Создание нейросетевой модели процессов комбинированной водоочистки (на основе пункта 3).
5. Формирование НКК и проведения комплексного сценарно-когнитивного моделирования.
6. Синтез системы экологически безопасного управления комбинированной водоочисткой.

Такой интегрированный и итерационный подход (пункты 1 – 6), кроме этапа проектирования, обеспечивает штатный режим функционирования оборудования водоочистки с адаптацией в режиме реального времени его настроек. Практическое создание систем обработки технико-экономической информации позволяет учитывать потенциальное воздействие чрезвычайных ситуаций.

При этом наиболее целесообразно, с точки зрения дальнейшей адекватности функционирования реальных систем, действие чрезвычайных ситуаций имитировать во время настройки оборудования водоочистки:

- при создании модельных растворов перед обработкой воды с использованием ВМЭВО;
- путем стехиометрического добавления загрязнителей в реальные лабораторно обрабатываемые сточные воды с превышением показателей, которые зафиксированы в водном технологическом паспорте конкретного предприятия;
- при формировании базы знаний для синтеза нейросети имитационного моделирования (программная часть ВМЭВО).

Список опубликованных работ по теме диссертации

Монографии

1. Лисенко В. П., Решетюк В. М., **Штепа В. М.**, Заєць Н. А., Мірошник В. О., Дудник А. О. Системи штучного інтелекту: нечітка логіка, нейронні мережі, нечіткі нейронні мережі, генетичний алгоритм. К.: НУБіП України, 2014. – 335 с.
2. Chochowski A., Chernyshenko I., Kozyrskyi V., Kyshenko V., Ladaniuk A., Lysenko V., Reshетиuk V., Smitiukh I., **Shtepa V.**, Shcherbatiuk V. Innovative energy-saving technologies in biotechnological objects control: monograph. Warsaw University of Life Sciences (WULS – SGGW), National University of Food Technologies, National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine. – Київ: Tsentr Uchbovonii Literatury, 2014. – 240 p.

Статті в спеціалізованих наукових виданнях із переліку МОН України

3. Гончаров Ф. І., **Штепа В. М.** Динаміка утворення та осадження завислих у воді речовин внаслідок дії змінного манометричного тиску. *Вісник Житомирського національного агроекологічного університету: науково-теоретичний збірник*. 2009. № 2 (25). С. 42–48.

4. Гончаров Ф. І., Штепа В. М. Дослідження впливу вакууметричного тиску на завислі у воді частинки. *Наукові праці Національного університету харчових технологій: науковий журнал*. 2009. № 32. С. 69–71.

5. Гончаров Ф. І., Штепа В. М. Система контролю якості водопостачання. *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. П. Василенка: збірник наукових праць. Серія: Сучасні напрямки технології та механізації процесів переробних і харчових виробництв*. 2009. Вип. 88. С. 267–274.

6. Гончаров Ф. І., Штепа В. М. Безпека водопостачання в умовах надзвичайних ситуацій природного походження. *Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: Техніка та енергетика АПК*. 2010. № 145. С. 309–314.

7. Гончаров Ф. І., Штепа В. М. Електрохімічні засоби захисту водних джерел від небезпечних речовин в умовах дії надзвичайних ситуацій *Вісник Національного технічного університету "ХПІ": збірник наукових праць. Серія: Хімія, хімічна технологія та екологія*. 2010. № 22. С. 55–60.

8. Гончаров Ф. І., Штепа В. М., Очколяс Е. Н. Обоснование схемы переработки органических веществ. *Вісник Харківського національного автомобільно-дорожнього університету: збірник наукових праць*. 2010. Вип. 48. С. 166–169.

9. Гончаров Ф. І., Штепа В. М. Обґрунтування, розроблення та техніко-економічні характеристики універсального багатоканального біогенератора. *Вісник Сумського державного університету. Серія «Технічні науки»*. 2010. № 3. С. 172–176

10. Гончаров Ф. І., Штепа В. М. Ймовірнісні аспекти забезпечення якісної води в системах водокористування в умовах дії надзвичайних ситуацій. *Вісник Харківського національного автомобільно-дорожнього університету: збірник наукових праць*. 2011. Вип. 52. С. 138–142.

11. Штепа В. М., Гончаров Ф. І., Сироватка М. А. Обґрунтування та розробка критерію енергоефективності функціонування електротехнологічних систем водопідготовки. *Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України: збірник наукових праць. Серія: Техніка та енергетика АПК*. 2011. № 161. С. 187–193.

12. Гончаров Ф. І., Штепа В. М., Сироватка М. А. Схема використання електротехнологічних засобів ефективного знешкодження інфільтраційних стоків з місць накопичення побутово-виробничих відходів. *Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України: збірник наукових праць. Серія: Техніка та енергетика АПК*. 2011. № 166. С. 120–126.

13. Гончаров Ф. І., Штепа В. М. Методологія підвищення екологічної безпеки об'єктів агропромислового та харчової індустрій. *Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства України: збірник наукових праць*. 2012. Вип. 16 (30), кн. 2. С. 97–104.

14. Винниченко М. Г., Решетюк В. М., Штепа В. М. Інформаційно-управляючі системи біотехнічними об'єктами з інтелектуальними підсистемами. *Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: Обчислювальна техніка та автоматизація*. 2013. № 3 (25). С. 190–197.

15. Ленков С. В., **Штепа В. М.**, Дудник А. О., Шворов С. А. Методичні засади застосування нейронних мереж у задачах прогнозування та керування. *Інформатика та математичні методи в моделюванні. науковий журнал*. 2013. Т.3, № 3. С. 233–239.

16. Штепа В. М. Обґрунтування архітектури системи управління комплексними методами очищення стічних вод промислових об'єктів. *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. П. Василенка. Технічні науки: збірник наукових праць. Серія: Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України*. 2014. Вип. 154. С. 48–50.

17. Штепа В. М. Оцінка енергетичних характеристик процесів очищення стічних вод агропромислових підприємств електротехнічними комплексами. *Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України: збірник наукових праць. Серія: Техніка та енергетика АПК*. 2014. № 194, ч. 3. С. 259–265.

18. Штепа В. Н. Використання самоорганізаційних карт Кохонена для синтезу систем керування водоочисним обладнанням. *Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України: збірник наукових праць. Серія: Техніка та енергетика АПК*. 2015. № 209, ч. 1. С. 206–211.

19. **Штепа В. Н.**, Янковский И. А. Этапы создания информационно-аналитических систем обеспечения регионального рационального водопользования. *Вісник Харківського національного автомобільно-дорожнього університету: збірник наукових праць*. 2015. № 70. С. 119–121.

20. Вертай С. П., **Штепа В. Н.** Обоснование структуры и заданий системы поддержки принятия решений обобщенной оценки перспективности инновационных технологий. *Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України: збірник наукових праць. Серія: Техніка та енергетика АПК*. 2016. № 240. С. 86–93.

21. Кузнецов А. А., **Штепа В. Н.**, Кот Р. С., Морголь А. В. Проектирование программного обеспечения систем автоматизации комбинированных установок водоочистки с применением нотаций UML. *Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України: збірник наукових праць. Серія: Техніка та енергетика АПК*. 2016. № 256. С. 46–54.

22. **Штепа В. М.**, Каплун В. В. Метод побудови систем енергоефективного управління комбінованою електротехнологічною очисткою стічних вод різногалузевих промислових об'єктів. *Вісник Київського національного університету технологій та дизайну. Серія "Технічні науки"*. 2017. № 2(108). С. 27–37.

23. Штепа В. М. Концепція вдосконалення нормативної бази проектування систем водоочищення шляхом урахування дії нештатних ситуацій. *Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України: збірник наукових праць. Серія: Техніка та енергетика АПК*. 2017. № 268. С. 43–55.

24. Заєць Н. А., **Штепа В. М.** Систематизація електротехнологічних комплексів водоочищення харчових виробництв. *Енергетика і автоматика*. 2018. № 4. С. 49–62. URL: <http://journals.nubip.edu.ua/index.php/Energiya/article/view/11554>

25. Заєць Н. А., **Штепа В. М.** Використання когнітивного моделювання при управлінні біотехнологічними об'єктами харчових виробництв. *Науковий вісник*

Національного університету біоресурсів і природокористування України: збірник наукових праць. Серія: Техніка та енергетика АПК. 2018. № 283. С. 29–38.

26. **Штепа В. М.**, Пляцук Л. Д. Використання методу домінуючого динамічного забруднювача для управління екологічною безпекою систем очищення промислових стоків. *Енергетика і автоматика*. 2019. № 6. С. 214–228. URL: http://journals.nubip.edu.ua/index.php/Energiya/article/view/energiya_2019.06.214

27. Zaiets N., Pavlov P., **Shtepa V.**, Elperin I., Hachkovska M. Development of a resource–process approach to increasing the efficiency of electrical equipment for food production. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2019. Vol 5. No 8(101). P. 59–65.

28. **Штепа В. М.**, Пляцук Л. Д., Аблєєва І. Ю., Гурець Л. Л., Шерстюк М. М., Пономаренко Р. В. Обґрунтування еколого-енергетичного підходу до удосконалення технологічних регламентів систем водоочищення. *Технологічний аудит та резерви виробництва*. 2020. № 3(51). С. 3–19.

Статьи в международных специализированных изданиях

29. Lysenko V., Golovinskyi B., Reshetiuk V., Shcherbatyuk V., **Shtepa V.** Energy-efficient modes for management of biotechnical objects based on natural disturbances prediction. *Annals of Warsaw University of Life Sciences – SGGW Agriculture*. 2015. № 65. P. 111–118.

30. Штепа В. Н. Энергетические критерии производственного внедрения экологически безопасных технологий (канал управления – очистка сточных вод (водоподготовка)). *Инновации в сельском хозяйстве: теоретический и научно-практический журнал*. 2014. Выпуск № 4 (9). С. 167–171.

31. Штепа В. Н. Экспериментально-аналитические исследования комбинированных систем водоочищения. *Агропанорама: научно-технический журнал*. 2015. № 6(112). С. 31 – 37.

32. Пындак В. И., Новиков А. Е., **Штепа В. Н.**, Межевова А. С. Капиллярно-сорбционные эффекты в почве после чизелевания и внесения нетрадиционных удобрений-мелиорантов. *Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование: научный журнал*. 2016. № 3(43) С. 252–257.

33. Штепа В. Н. Концептуальные основы энергоэффективной системы управления комбинированными системами водоочистки. *Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ. Энергетика: научно-технический журнал*. 2016. № 5. С. 479–487.

34. Штепа В. Н. Оптимизация функционирования нечетких когнитивных карт с использованием нейронных сетей (на примере управления процессами водоочистки). *Вестник ГГТУ имени П. О. Сухого: научно-практический журнал*. 2016. № 4(67). С. 97–105.

35. **Штепа В. Н.**, Прокопеня О. Н., Кот Р. Е. Повышение качества водоочистки средствами автоматизации в условиях чрезвычайных ситуаций природного происхождения. *Вестник Брестского государственного технического университета. Серия: Водохозяйственное строительство, теплоэнергетика и геоэкология: научно-теоретический журнал*. 2016. № 2(98) С. 61–64.

36. Пындак В. И., Новиков А. Е., **Штепа В. Н.** Оптимизация систем очистки органосодержащих сточных вод и обработки иловых осадков. *Проблемы машиностроения и надежности машин: научный журнал*. 2017. № 5. С. 103–107.

37. **Штепа В. Н.**, Заец Н. А., Прокопеня О. Н., Луцкая Н. Н. Вероятностные нейронные сети в задачах управления комбинированными системами водоочистки. *Вестник Брестского государственного технического университета. Сер. Водохозяйственное строительство, теплоэнергетика и геоэкология: научно-теоретический журнал*. 2018. № 2(110). С. 88–90.

38. Lutska N., Zaiets N., Vlasenko L., **Shtepa V.** Effective robust optimal control system for a lamellar pasteurization-cooling unit under the conditions of intense external perturbations. *Ukrainian Food Journal*. 2018. Vol. 7. Issue 3. P. 511–521.

Научные работы, которые свидетельствуют апробацию материалов диссертации

39. Штепа В. Н. Концепция построения интеллектуальных систем управления биотехническими объектами с учётом влияния природных факторов. *Энергообеспечение и энергосбережение в сельском хозяйстве: труды 9-й международной научно-технической конференции, 21–22 мая 2014 года, г. Москва, ГНУ ВИЭСХ2014. Ч. 5: Инфокоммуникационные технологии и нанотехнологии*. С. 14–19.

40. Штепа В. Н. Обоснование методики использования нечётких сетей Петри при синтезе нейросетевых систем управления технологическими процессами (на примере комбинированных установок водоочистки). *Современные тенденции развития и перспективы внедрения инновационных технологий в машиностроении, образовании и экономике: материалы III Международной научно-практической конференции, Азов, 25 мая 2016 года. Азов: ООО «АзовПечать», 2016. С. 38–41.*

41. **Штепа В. Н.**, Кот Р. Е., Морголь А. В., Вертай С. П., Заец Н. А. Экологически безопасные полигоны бытовых и производственных отходов. *Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии: материалы международной научно-технической конференции, Могилев, 27–28 апреля 2017 года. Могилев: Белорусско-Российский университет, 2017. С. 378–379.*

42. **Штепа В. М.**, Заец Н. А. Практичний досвід використання автоматизованого водоочищення на основі систем безпечного водопостачання. *Перспективи майбутнього та реалії сьогодення в технологіях водопідготовки: матеріали II Міжнародної науково-практичної конференції, 19–20 квітня 2018 року. Київ: НУХТ, 2018. С. 166–169.*

43. **Штепа В. М.**, Вертай С. П., Заец Н. А. Методичне забезпечення автоматизованих систем водоочищення. *Виробництво & Мехатронні Системи 2018: матеріали II-й Міжнародної конференції, Харків, 25–26 жовтня 2018 року. Харків, 2018. С. 38–41.*

44. **Штепа В. Н.**, Заец Н. А. Метрологические характеристики автоматизированных измерительных комплексов рабочей меры эффективности электротехнологической водоочистки. *Современные проблемы машиноведения: материалы XII Международной научно-технической конференции (научные чтения,*

посвященные П. О. Сухому), Гомель, 22–23 ноября 2018 года. Гомель: ГГТУ им. П. О. Сухого, 2018. С. 154–156.

Научные работы, которые дополнительно отображают научные результаты диссертации

45. Пат. 98228 UA, МПК E 02 B 11/00 (2012.01) Меліоративна система / Ф. І. Гончаров, **В. М. Штепа**; заявники і власники Ф. І. Гончаров, **В. М. Штепа**. – № а 2010 14441; заявл. 25.06.2011; опубл. 25.04.12, Бюл. № 8. 4 с.

46. Пат. 98867 UA, МПК A 01 C 3/00 (2012.01) Бродильна камера для біогазових установок / Ф. І. Гончаров, **В. М. Штепа**; заявники і власники Ф. І. Гончаров, **В. М. Штепа**. – № а20104860; заявл. 25.06.2012; опубл. 25.12.12, Бюл. № 12. 6 с.

47. Пат. 95201 UA, МПК E 03 B 7/00 (2014.01) Водопровідна насосна станція / В. О. Маркович, **В. М. Штепа**; заявники і власники В. О. Маркович, **В. М. Штепа**. – № u20147743; заявл. 10.12.2014; опубл. 10.12.14, Бюл. № 23. 4 с.

48. Пат. 108196 UA, МПК B 01 D 29/11, B 01 D 21/00, C 02 F 1/52 (2006.01) Фільтр / Ф. І. Гончаров, **В. М. Штепа**; заявники і власники Ф. І. Гончаров, **В. М. Штепа**. – № а20110583; заявл. 01.09.2011; опубл. 10.04.15, Бюл. № 7. 4 с.

49. Пат. 120530 UA, МПК 02F 9/06 (2006.01), F04D 15/00, F04D 13/06 (2006.01) Автоматична насосна станція / **В. М. Штепа**, Р. Є. Кот; заявники і власники **В. М. Штепа**, Р. Є. Кот. – № u201703999; заявл. 24.04.2017; опубл. 10.11.2017, Бюл. № 21. 8 с.

50. Пат. на корисну модель 138978 UA, МПК G05 13/00 (2006.01) Система управління водоочищенням та водопідготовкою / **В. М. Штепа**; заявник **В. М. Штепа**, власник **В. М. Штепа**. – № u 201906421; заявл. 10.12.2019; опубл. 10.06.2019, Бюл. № 23. 4 с.

РЕЗЮМЕ

Штепа В. Н. Научно-теоретические основы экологически безопасных технологий очистки промышленных сточных вод. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 21.06.01 – экологическая безопасность. Сумской государственный университет, 2020. Специализированный ученый совет Д 55.051.04.

Ключевые слова: экологическая безопасность, техногенная нагрузка, нормативная база, промышленные сточные воды, чрезвычайная ситуация, технологии водоочистки, эколого-энергетическая эффективность, технологический регламент.

Диссертация посвящена решению научно-прикладной проблемы в области экологической безопасности, которая заключается в разработке методов совершенствования научно-теоретических основ управления экологической безопасностью технологий промышленной водоочистки с уменьшением риска возникновения чрезвычайных ситуаций и учетом требований энергоэффективности, что будет способствовать соблюдению нормативов вредных воздействий на окружающую среду.

Научно обоснованные методы совершенствования научно-теоретических основ управления экологической безопасностью технологий промышленной водоочистки, что обеспечивает уменьшение рисков возникновения чрезвычайных ситуаций, с учетом требований энергоэффективности и способствовать соблюдению нормативов вредных воздействий на окружающую среду.

Разработан метод управления экологической безопасностью технологий водоочистки, основанный на установлении и применении эффекта перекрестного наложения действия различных способов на одни и те же загрязнители, который отличается возможностью учета рисков возникновения чрезвычайных ситуаций и агрегирования оборудования систем удаления загрязнителей из стоков.

Обоснован и разработан метод управления экологической безопасностью водоочистки на основе доминирующего динамического загрязнителя, основанной на установлении по параметрам эколого-энергетической эффективности загрязнителя, который сложнее устраняется и отличается конфигурированием структуры технологий водоочистки на основе комплексного удаления других загрязнителей вместе с доминирующим; обоснованием уменьшения количества контролируемых в режиме реального времени показателей качества стоков.

Разработан метод обработки и экологически безопасного использования параметров технологий промышленной водоочистки на основе настроек в режиме реального времени нечетких когнитивных и нейросетевых моделей, который отличается возможностью улучшения эколого-экономических показателей производств с учетом рисков возникновения чрезвычайных ситуаций.

Усовершенствованы модели измерения и обработки эколого-энергетических параметров удаления загрязнителей путем комплексного учета взаимовлияния способов и приемов их устранения, что легло в основу создания виртуальной меры энергоэффективности водоочистки, которая обеспечивает воспроизведение, обработку и сохранение значений экологически безопасных параметров систем очистки стоков на этапах проектирования и эксплуатации в режиме реального времени на производственных объектах.

Получили дальнейшее развитие методы построения систем сбора, обработки и использования технико-экономической информации для управления экологической безопасностью очистки промышленных сточных вод с использованием эколого-энергетических параметров, которые отличаются возможностью реализации ресурсосберегающего функционирования производств при выполнении требований стандартов серии ISO 14000 «Системы экологического менеджмента».