

Структура и функционал интеллектуальной системы поддержки принятий решений в водоотведении

В. Н. Штепа
проректор по научной работе,
УО «Полесский государственный университет»
shtepa.v@polessu.by

Аннотация

Проанализированы недостатки существующих подходов оценки состава сточных вод с использованием лабораторного оборудования и измерительных средств реального времени. Обоснованы задачи, которые необходимо решать при моделировании процессов водоотведения. На основе математической статистики установлено частичное отсутствие нормальности распределения значений показателей качества сточных вод промышленных предприятий. Разработаны структурные и функциональные параметры интеллектуальной системы поддержки принятия решений водоотведения с её интеграцией в существующие системы управления очистными сооружениями.

Введение

Под водоотведением понимают комплекс сооружений и инженерных мероприятий, предназначенных для сбора и транспортирования за пределы населенного пункта или промышленного предприятия сточных вод (СВ), их очистки, обезвреживания и обеззараживания с целью сброса в водоем или для повторного использования. Таким образом в состав системы водоотведения входят: внутренняя канализация; дворовая или внутриквартальная водоотводящая сеть; уличная водоотводящая сеть; насосные станции и напорные трубопроводы; очистные сооружения (ОС) и выпуски СВ в водоем. Именно ОС является наиболее технологически сложными и играют ключевую роль при обеспечении экологической безопасности геоэкосистем [1].

Анализируя состав технологических регламентов и особенности функционирования водоочистного оборудования, можно сделать выводы, что ключевыми и очень сложными задачами при выполнении технологического регламента непосредственно на сооружениях очистки сточных вод (СВ) [1 – 3] выступают:

- контроль технологических процессов в проектно установленных точках отбора проб СВ и осадка, характеристик имеющихся приборов контроля очистных сооружений;
- технологический анализ работы оборудования согласно производственным эксплуатационным показателям;
- регулирование расхода ресурсов, эффективности очистки согласно регламентно установленным критериям и показателей.

В то же время, чем сложнее задача обработки, тем более громоздкий и менее надежный контроль за соблюдением регламентных требований. Например, при реализации технологической схемы химического способа удаления за-

грязнителей концерна «Siemens» необходимо одновременно контролировать более 40 технологических величин (согласно требований производителя и фактического наличия небольшого количества датчиков). Между тем СВ (бытовые, производственные и атмосферные) содержат обычно большое количество неорганических и органических компонентов [3]. Даже при простом смешивании сточных вод от различных коммунально-промышленных объектов происходят биохимические реакции между компонентами, приводящие к образованию новых веществ, иногда более опасных для окружающей среды чем исходные (синтез токсикантов). При хлорировании, например, появляются продукты окисления неорганических и органических веществ и их хлорпроизводные [2]. В целом, биохимической очистке подвергаются промышленные сточные воды, смешанные с хозяйственно-бытовыми, и тогда в обработанных растворах нередко можно обнаружить непредсказуемые соединения.

При этом технологический контроль качества составляет примерно на 40% из оценки органолептических свойств, определении мутности (прозрачности) и содержания взвешенных частиц, примерно 20% анализов – определение различных суммарных показателей, 29% всех анализов приходится на неорганические вещества и только 3% на органические вещества (главные из них: нефтепродукты, синтетические поверхностно-активные вещества (СПАВ), полиакриламид). Не всегда методики в должной степени метрологически исследованы и обоснованы их применимости для решения конкретной задачи. Так, «арбитражная» методика определения химического потребления кислорода (ХПК) дает количественные результаты при уровне загрязнения 270 мг O_2 /л и более, а биологическое

потребление кислорода (БПК₅) с уровня 175 мг О₂/л. Однако оба способа обычно рекомендуются и для анализа гораздо менее загрязненных вод. Методические сложности анализа вод становятся очевидными, в частности во время межлабораторного исследования.

Ситуация усугубляется наличием незначительного количества методик, в том числе, основанных на использовании самых современных физических подходов, которые дают возможность надежно определять поллютанты на уровне предельно-допустимых концентраций (ПДК) загрязнителей [3].

Общим недостатком подходов управления ОС является то, что необходимо контролировать в режиме реального времени десятки параметров качества воды и технологических процессов, а существуют и надёжно работают на реальных объектах только единицы автоматизированных измерительных приборов (менее 30% от технологических потребностей).

При этом при проектировании систем очистки не учитывается возможность действия чрезвычайных ситуаций техногенного и природного происхождения, хотя для эффективного функционирования ОС это необходимо [4].

Соответственно, создание информационно-аналитических систем, способных прогнозировать режимы водоотведения с точки зрения опасности для окружающей среды, которые устранят концептуальные недостатки традиционных подходов – актуальная научно-практическая задача в контексте обеспечения рационального природопользования.

Анализ существующих решений в области мониторинга и моделирования процессов водоотведения

Автоматизированные информационно-измерительные комплексы при максимальной компоновке, например, для решения задач управления комплектом оборудования концерна «Siemens», можно разделить на уровне [5]. Однако даже такой иерархический подход не позволяет обеспечить полной автоматизации процессов очистки СВ – из-за отсутствия всего нужного перечня промышленных датчиков, способных работать в режиме реального времени.

Для решения такой задачи целесообразно использовать средства моделирования, что позволит улучшить наблюдаемость (прогнозируемость) процессов и возможность проектирования и соблюдения технологических регламентов. Модели, наиболее широко применяемые при проектировании и исследовании процессов очистки, в том числе комбинированной, делятся на [6]: физические и математические.

Первые из них позволяют с использованием натурных макетов и пилотных установок, исследовать функциональные особенности процес-

сов, которые не удается установить математическими подходами. Особенностью таких приемов является привязка созданного научно-технического оборудования к какому-либо определенному из методов воздействия на водные растворы или к задачам, связанным с одним классом объектов (например, СВ молочной промышленности).

В таких научных целях используется оборудование разработанное Г. М. Ивановым, В. А. Гвоздевым, А. К. Кинебасом, Л. П. Русоновой. Установка снабжена механизмом поворота и средствами фиксации колонн в вертикальном положении. Фильтровальная колонна имеет коробчатую форму, расширяющуюся в верхней части, где образуются сливные камеры. Задание оборудования – техническое моделирование процессов фильтрации.

Авторы А. И. Горова, В. Е. Колесник и Д. В. Куликова провели физическое моделирование процесса выпадения взвешенных веществ в макете отстойника. Построены кривые выпадения частиц в зависимости от длительности отстаивания при разной высоте слоя жидкости и средней скорости осаждения взвешенных частиц (или их гидравлической крупности). Полученные результаты применения таких моделей позволяют масштабировать перенести полученные конструктивные и режимные параметры на реальное оборудование.

Однако создание качественных физических моделей требует, как правило, значительных финансовых затрат и квалифицированных узкоспециализированных специалистов, поэтому актуальным направлением является применение математических моделей. Их разработка активно проводилась группой ученых под руководством В. А. Вавилина. Коллектив создал такие математические модели как: «Азот», «Азот 2», «Метан». Модель «Азот 2» была успешно использована при проектировании первых крупных сооружений нитри-денитрификации на Люберецкой станции очистки.

Решающий прорыв в сфере создания современных моделей сооружений очистки сточных вод, позволивший сделать их средством проектирования и исследования режимов станций очистки сточных вод, был сделан международной группой специалистов – исследовательской командой по моделированию процессов с активным илом International Water Association (IWA) под руководством М. Хенце. Этой группой были синтезированы модели ASM – activated sludge model. Модель ASM1, созданная в 1986 году, описывала процессы аэробного окисления органических веществ и нитриденитрификации.

Также практический интерес представляют работы, выполненные В. Я. Пономаревым, Е. Ш. Юнусовым, Г. О. Ежковым по математическому моделированию процессов аэробной

очистки сточных вод пищевой промышленности – разработаны системы дифференциальных уравнений.

Аналитическое исследование фильтрации СВ через ионообменные фильтры выполнено Ю. А. Лебедевым и М. А. Тихоновым базируется на предварительных экспериментальных исследованиях в лабораторных условиях. Полученные результаты позволили улучшить экономические показатели работы водоочистного оборудования.

Есть большое количество работ посвященных построению и исследованию математических электродных моделей (В. М. Волгин, А. П. Григин, А. Д. Давыдов) и электромембранных систем удаления загрязнителей из водных растворов (Е. Ю. Будников, А. В. Григорчук, Э. Н. Коржов, В. А. Кузьминых, В. В. Никоненко, С. Ф. Тимашев, В. А. Шапошник).

Анализ разных методологий моделирования показал необходимость использования сильных сторон каждого из подходов (табл. 1) при создании математического аппарата оценки и прогнозирования водоотведения.

Таблица 1 – Критическая оценка типов моделирования

Показатели	Физические модели	Математические модели
Доступность переноса на реальные объекты	При работе с фактическими СВ, а не модельными, переносятся достаточно эффективно	Требуют длительного процесса адаптации на производстве и проверки адекватности
Стоимость реализации	Для получения эффекта необходимы значительные финансовые материалы и временные затраты	Финансовые затраты относительно незначительны, временные – соразмерны с физическим моделированием
Персонал	Высококвалифицированные специалисты	Высококвалифицированные специалисты
Средства создания моделей	Специализированное производство, включая конструкторскую группу	Наличие программного обеспечения и профильных ИТ-специалистов

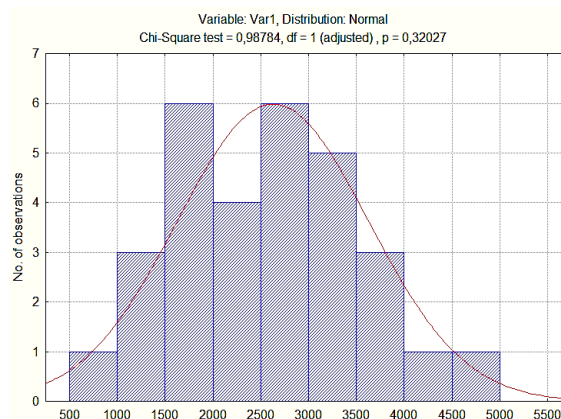
Оценка водоотведения с использованием математической статистики

Для репрезентативной оценки характеристик качества водоотведения выбрали предприятия из разных секторов реальной экономики: мясоперерабатывающий комплекс; деревоперерабатывающий холдинг; предприятие малой ме-

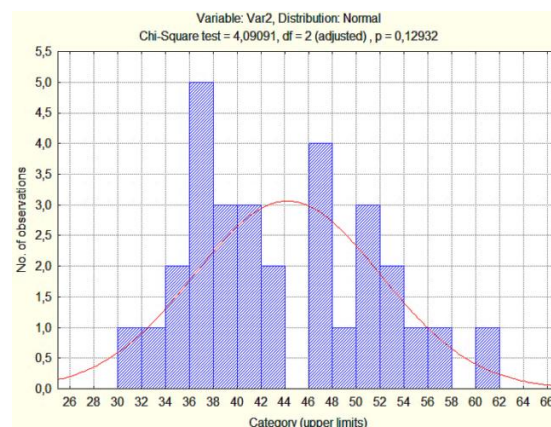
таллургии; производство продуктов бытовой химии (косметология).

Задача такой оценки – анализ объемов водоотведения, выявление типовых загрязнителей, залповое увеличение которых (нештатная ситуация) необходимо учесть при работе ОС. Предварительные исследования разноотраслевых промышленных объектов (мясоперерабатывающее предприятие, деревоперерабатывающее предприятие, предприятие малой металлургии и предприятие производства продукции бытовой химии) продемонстрировал разнокомпонентность загрязнителей, что вызвано разным технологическим использованием водных ресурсов.

Для статистической оценки и проверки нормальности распределения полученных выборок концентраций загрязнителей были выбраны типовые загрязнители (концентрации взвешенных частиц и азота аммонийного) таких объектов, использовался пакет прикладных математических программ «Statistica» (рис. 1, 2).

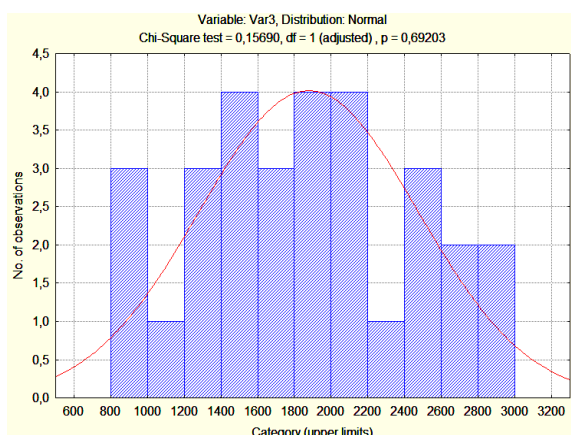


А)

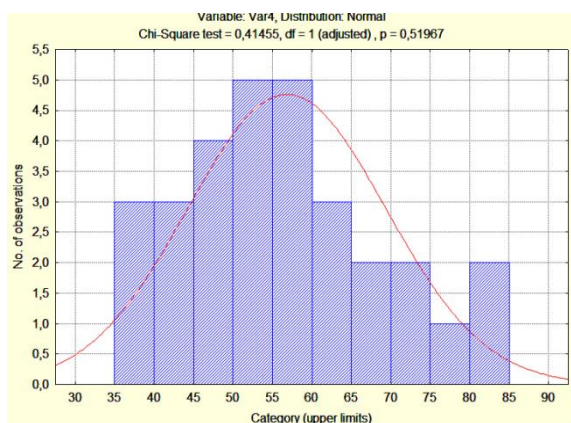


Б)

Рисунок 1 – Примеры проверки на нормальность закона распределения выборок концентраций однотипных загрязнителей, полученных на реальных предприятиях: А – концентрация взвешенных частиц на предприятии мясопереработки, Б – концентрация азота аммонийного на предприятии мясопереработки



В)



Г)

Рисунок 2 – Примеры проверки на нормальность закона распределения выборок концентраций однотипных загрязнителей, полученных на реальных предприятиях: В – концентрация взвешенных частиц на предприятии деревопереработки, Г – концентрация азота аммонийного на предприятии деревопереработки

С учетом того, что не все полученные выборки (порядка 50%) отвечают требованиям нормальности закона распределения случайных величин (см. рис.1), для дальнейших комплексных статистических исследований применили непараметрические подходы, а именно оценим согласно требованиям ISO 16269-4-2017 наличие выбросов (рис. 3).

На основе анализа результатов можно утверждать, что выбросов, которые следовало бы отсеивать, не обнаружено. В целом статистические исследования (см. рис. 1 - 3) продемонстрировали, что на этапе оперативного анализа водоотведения путём создания систем поддержки принятия решений (СППР) нужно применять непараметрические подходы и разрабатывать программные решения, способные работать в условиях высокоамплитудных нелинейных нестационарных изменений концентраций загрязнителей при неполноте и размытости технологической информационной картины. К таким отно-

сится математический аппарат интеллектуальных систем: нейронные сети, нечёткая логика, генетический алгоритм и другие [5].

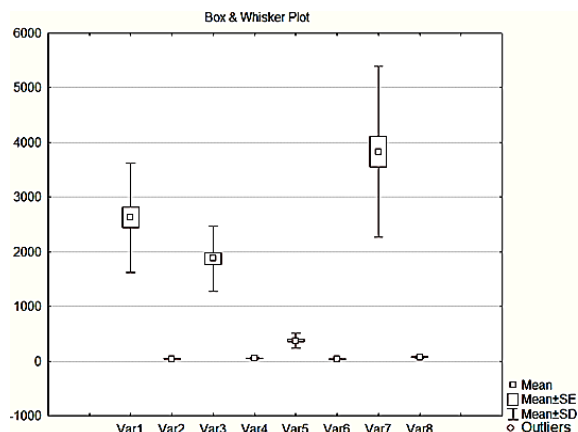


Рисунок 2 – Оценка наличия статистических выбросов исследования выборок концентраций однотипных загрязнителей полученных на реальных предприятиях (в качестве центральной точки выбрано среднее значение)

На рисунке Var 1-8 – соответственно, концентрация взвешенных частиц на предприятии мясопереработки, концентрация азота аммонийного на предприятии мясопереработки, концентрация взвешенных частиц на предприятии деревопереработки, концентрация азота аммонийного на предприятии деревопереработки, концентрация взвешенных частиц на предприятии малой металлургии, концентрация азота аммонийного на предприятии малой металлургии, концентрация взвешенных частиц на предприятии бытовой химии, концентрация азота аммонийного на предприятии бытовой химии.

Функционал и структура интеллектуальной системы поддержки принятия решений в водоотведении

Исходя из технологических задач, которые необходимо решать [1-4], интеллектуальная система поддержки принятия решений водоотведения (ИСППРВ) предназначена для наладки работы систем водоотведения путём оперативного определения, максимально приближенного к режиму реального времени:

- эффективных и экологических безопасных режимов функционирования очистных сооружений;
- эффективных и экологических безопасных режимов работы систем водоотведения в целом;
- реакции на чрезвычайные и опасные для окружающей среды и технологического оборудования ситуации;
- ведения технологических баз данных;

– научно-технологической поддержки решений технологов очистных сооружений.

Также ИСППРВ можно использовать в ряде этапов создания и функционирования водопроводно-канализационных хозяйств (рис.4). При этом ИСППРВ должна относиться к системам нормальной эксплуатации, соответствовать классу безопасности 4 (классификационное обозна-

чение 4Н) по ПНАЭ Г-01-011 (ОПБ 88/97) и функциональной группе 4Н в соответствии с НП-026. Аппаратная часть ИСППРВ проектируется с внедрением унифицированных программно-логических контроллеров и графического пакета визуализации, ключевой аспект – удалённая передача данных.

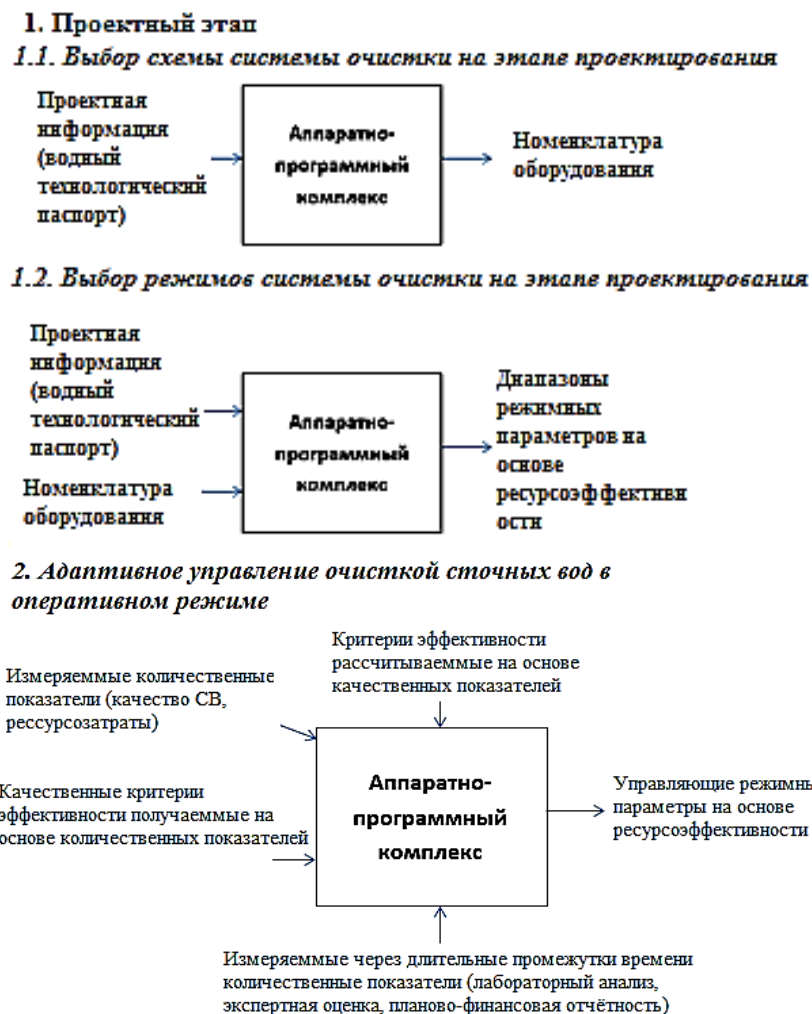


Рисунок 4 — Этапы создания и функционирования водопроводно-канализационных хозяйств

Использованием ИСППРВ обеспечивается выполнение следующих функций:

- обработка сигналов ввода-вывода и выдачу исполнительных команд, в соответствии с адаптивными и самоорганизующимися алгоритмическими процедурами систем водоотведения;
- в оперативном режиме создание и выполнение алгоритмических процедур управления системами очистки и водоотведения в целом;
- синхронизация времени контроллера и приложения визуализации с внешним источником точного времени;
- самодиагностика технических средств систем очистки и водоотведения;

- архивирование технологической информации по проводимому тесту;
- генерация пороговых нарушений по превышению установленных значений;
- определение неисправностей цепей управления;
- определение неисправностей главных цепей
- прогнозирования функционирования систем очистки и водоотведения на основе построенных интеллектуальных математических моделей.

Прикладное программное обеспечение (ППО) ИСППРВ разрабатывается на лицензионном базовом программном обеспечении (БПО) и

состоит из следующих компонентов: инструментальная система поддерживающая разработку прикладных задач программируемых логических контроллеров (ПЛК) на пяти языках по стандарту МЭК 61131-3 – ППО SCADA.

Исходя из функциональных задач, программное обеспечение «Аналитического модуля» (интеллектуальная составляющая) является надстройкой над классическими системами управления ОС (рис. 5) [7].



Рисунок 5 – Структура прикладного программного обеспечения интеллектуальной системы поддержки принятия решений водоотведения

Выводы

Обоснование создания интеллектуальной системы поддержки принятия решений водоотведения с аналитическим блоком на основе использования искусственного интеллекта базируется на следующих аспектах функционирования водопроводно-канализационных хозяйств: отсутствие полноты информации о качестве сточных вод в репрезентативных точках с учётом динамического развития биохимических преобразований в водных растворах; высокие риски возникновения чрезвычайных ситуаций при неэффективности работы очистных сооружений; распределённая, удалённая и крайне инерционная (особенно при получении данных лабораторных исследований) передача информации.

Функционал ИСППРВ должен соответствовать следующим требованиям к аппаратно-программным решениям такого класса: масштабируемость в зависимости от конкретных объектов (двух одинаковых технических заданий быть не может); открытая архитектура касательно добавления измерительных средств и интерфейсного оборудования; методическая гибкость в контексте интеграции дополнительных математических модулей способных обрабатывать входные данные и возмущающие влияния.

Литература

1. Штепа, В. Н. Адаптивные решения интеллектуального управления очистными сооружениями / В. Н. Штепа, Н. А. Заец, Д. Г. Алексеевский // Новые методы и технологии в водоснабжении и водоотведении : сборник трудов / Институт жилищно-коммунального хозяйства ПАПБеларуси; под общ. ред. В.О. Китикова. – Минск : БГТУ, 2022. – С. 281–287.
2. Штепа, В. Н. Инновационные технологии очистки многокомпонентных водных растворов с противодействием чрезвычайным ситуациям техногенного происхождения / В. Н. Штепа, А. Б. Шикунец // Природнае асяроддзе Палесся і перспектывы развіцця : зборнік навуковых прац / Палескі аграрна-экалагічны інстытут НАН Беларусі; рэдкал. М.В. Міхальчук (гал. рэд.) [і інш.]. - Брэст : Альтэрнатыва, 2022. - Вып. 14: [X міжнародная навуковая канферэнцыя «Природнае асяроддзе Палесся і навукова-практычныя аспекты рацыянальнага рэсурсакарыстання», Брэст, 14-16 верасня 2022 г.]. – С. 184–187.
3. Обоснование структуры и состава систем водоочистки на основе оценки уровня автоматизации технологических процессов / В. Н. Штепа [и др.] // Вестник Брестского госу-

дарственного технического университета, 2020. – № 4. – С. 17–22.

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

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

6. Штепа, В. Н. Концептуальные основы энергоэффективной системы управления комбинированными системами водоочистки /

В. Н. Штепа // Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ. Энергетика: научно-технический журнал, 2016. – № 5. – С. 479 – 487.

7. Штепа, В. Н. Интеллектуальная система анализа и прогноза экологической безопасности биологических сооружений очистки сточных вод / В. Н. Штепа, Н. Ю. Золотых // Первая выставка-форум IT-академграда «Искусственный интеллект в Беларуси» : сборник докладов, Минск, 13-14 октября 2022 г. / Объединенный институт проблем информатики Национальной академии наук Беларуси. – Минск : ОИПИ НАН Беларуси, 2022. – С. 41 – 45.

Штепа В.Н. Структура и функционал интеллектуальной системы поддержки принятия решений в водоотведении. Проанализированы недостатки существующих подходов оценки состава сточных вод с использованием лабораторного оборудования и измерительных средств реального времени. Обоснованы задачи, которые необходимо решать при моделировании процессов водоотведения. На основе математической статистики установлено частичное отсутствие нормальности распределения значений показателей качества сточных вод промышленных предприятий. Разработаны структурные и функциональные параметры интеллектуальной системы поддержки принятия решений водоотведения с её интеграцией в существующие системы управления очистными сооружениями.

Ключевые слова: интеллектуальная система, водоотведение, оперативный сбор информации, система поддержки принятия решений.

Shtepa Vladimir. Structure and functionality intelligent decision support system for wastewater disposal. The shortcomings of the existing approaches to assessing the composition wastewater using laboratory equipment and real-time measuring instruments are analyzed. The problems that need to be solved when modeling the processes of the water disposal are substantiated. On the basis mathematical statistics, partial lack of normality in the distribution of the values wastewater quality indicators industrial enterprises was established. Structural and functional parameters of the intelligent decision support system for wastewater disposal with its integration into existing wastewater treatment plant control systems have been developed.

Key words: intelligent system, wastewater disposal, operational collection of information, decision support system.

Статья поступила в редакцию 27.11.2022

Рекомендуется к публикации профессором Зори С. А.