

Отзыв

официального оппонента

на диссертацию Пономарёва Дмитрия Сергеевича

«Интеллектуальная система поддержки принятия решений для управления технологическим процессом дезодорации природных поверхностных вод на городских очистных сооружениях»,

представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.01 – «Системный анализ, управление и обработка информации

(в науке и технике)»

Актуальность. В диссертационной работе Пономарёва Д.С. «Интеллектуальная система поддержки принятия решений для управления технологическим процессом дезодорации природных поверхностных вод на городских очистных сооружениях» рассмотрены одни из самых важных вопросов современности: проблемы водных ресурсов и источников питьевого водоснабжения. В научно-исследовательской работе предложен ряд технических решений для улучшения процесса водоочистки с применением методов системного анализа и моделирования. Рассмотрены городские очистные сооружения и технологический процесс дезодорации воды с применением порошкообразных активированных углей (ПАУ) марок ОУ-А и ОУ-Б.

Автором доказано, что применение теоретических методов в системах водоочистки предпочтительнее, чем проведение экспериментов. При этом технологическая схема предприятия рассматривается как сложная система. Были применены методы системного анализа, такие как корреляционный анализ данных, регрессионное моделирование, а также применение метода главных компонент, метода наименьших квадратов, искусственных нейронных сетей.

В первой главе проведен анализ основных причин ухудшения органолептических свойств питьевой воды. Доказано преимущество применения активированных углей в системах водоочистки. Были рассмотрены актуальные вопросы, представляющие трудности для технологического процесса дезодорации, а именно: отсутствие рекомендаций по выбору марки активированного угля, его дозирования, выбора времени контакта ПАУ с водой в зависимости от исходных параметров. Автором были рассмотрены преимущества разработки моделей к решению проблем водоочистки (экономия ресурсов предприятия, возможность изучить процессы во времени, выявить скрытые зависимости между значениями параметров). Кроме того, сооружения водоподготовки были рассмотрены с позиции применения методов системного анализа. Было доказано, что водоочистные сооружения обладают всеми двенадцатью свойствами сложных систем.

Во второй главе были разработаны основные условия для создания модели, выбраны показатели исходной и питьевой воды для проведения исследований. Проведен корреляционный анализ данных, применен метод главных компонент для устранения мультиколлинеарности. В разработке моделей для параметров питьевой воды были применены метод наименьших квадратов и регрессионное моделирование. Были разработаны модели для значений показателей, которые влияют на органолептические свойства питьевой воды (в данном случае это геосмин, хлороформ и хлориды). Возможность применения полученных результатов была доказана при помощи сравнения с фактическими значениями. Достоверность была доказана при помощи критерия Фишера и коэффициентов корреляции (для геосмина $r=0,81$, хлоридов $r=0,97$, хлороформа $r=0,76$).

В третьей главе разработана модель, позволяющая на теоретическом уровне рассчитать значения параметров процесса дезодорации, таких как: дозирование сорбента, время контакта сорбента с водой, адсорбционная активность (т.е. марка активированного угля, либо их смесь). Была проведена

оценка значимости входящих сигналов (значения параметров исходной воды) по отношению к исходящим сигналам. Разработана трехслойная нейронная сеть с одним скрытым слоем, проведено ее обучение. В качестве функции активации нейронов была выбрана сигмоидальная функция:

$$f(s) = \frac{1}{1 + e^{-x}}$$

Достоверность полученных результатов была доказана при помощи критерия Фишера (для дозирования активированного угля $F_{\text{доз.}} = 23,22$; для адсорбционной активности $F_{\text{адс.акт.}} = 81,15$; для времени контакта $F_{\text{время}} = 43,19$ при табличных значениях $F_{\text{доз.}}=2,53$; $F_{\text{адс.акт.}}=2,53$; $F_{\text{время}}=2,54$; при $P=0,95$).

В четвертой главе была проведена проверка возможности применения разработанной модели для параметров процесса дезодорации воды на фактических данных. Возможность применения полученных результатов на практике доказывалась на независимой выборке (которая не учитывалась в обучении искусственной нейронной сети). При этом полученные результаты моделирования хорошо аппроксимируют фактические данные (средняя ошибка аппроксимации для дозирования сорбента - 9,5%, для адсорбционной активности - 1,7%, для времени контакта сорбента с водой - менее 1%). Доказана экономическая и практическая значимость полученных результатов. Установлено, что применение полученных результатов позволит сократить остаток сорбента при сезонной дезодорации питьевой воды, более точно рассчитать адсорбционную активность (а значит и подобрать марки активированного угля) и время контакта сорбента с водой.

Научная новизна диссертационного исследования заключается в следующем:

1. При помощи корреляционного анализа данных установлены зависимости между параметрами исходной и питьевой водой на очистных

сооружениях. Это позволит более подробно изучить процессы дезодорации, выявить недостатки применяемых технологических схем.

2. При помощи метода главных компонент, метода наименьших квадратов и регрессионного анализа разработаны модели, которые позволяют рассчитать на теоретическом уровне значения параметров питьевой воды исходя из качества исходной на городских очистных сооружениях при проведении дезодорации.

3. На основе обученной нейронной сети разработана модель, позволяющая более точно рассчитать дозирование сорбента, адсорбционную активность, время контакта с водой при проведении дезодорации.

4. На основе разработанных моделей получена система, позволяющая сократить количество сорбента при сезонной дезодорации питьевой воды, определить марку закупаемого активированного угля.

Достоверность результатов диссертационного исследования была подтверждена корректным применением методов системного анализа, управления и обработки информации; математического моделирования; обоснованным применением физико-химических законов.

Сходимость с фактическими значениями и адекватность результатов полученных при помощи моделей была доказана при помощи критерия Фишера, коэффициентов корреляции, двухвыборочного t -теста с различными дисперсиями, расчетом средней ошибки аппроксимации (для всех полученных результатов она составила менее 10%) и критерия Стьюдента.

Теоретическая и практическая значимость работы

1. Установленные зависимости между показателями исходной и питьевой водой позволят более подробно изучить процессы дезодорации, выявить недостатки технологических схем в системах водоподготовки.

2. Разработанная модель между параметрами исходной и питьевой водой позволяет получить изменения значений концентраций ароматических

соединений (таких как геосмин, хлороформ, хлориды) исходя из качества исходной воды (если существует связь между параметрами) на теоретическом уровне. Полученные результаты могут быть использованы при разработке прогнозов изменения качества питьевой воды.

3. Применение модели на основе обученной нейронной сети позволит более точно подобрать дозирование сорбента, адсорбционную активность, время контакта с водой при проведении технологического процесса дезодорации.

4. Применение разработанной системы интеллектуальной поддержки принятия решений позволит адаптировать систему водоочистки к изменяющимся параметрам источников питьевого водоснабжения, тем самым возможно сократить затраты на технологические процессы (а именно: сократить остаток сорбента, подобрать его наиболее подходящую марку).

Следует отметить, полученные результаты диссертационного исследования могут быть использованы на сооружениях подготовки питьевой воды при проведении дезодорации, а также в учебном процессе по специальностям 05.13.01 «Системный анализ, управление и обработка информации» и 05.23.04 «Водоснабжение, канализация, строительные системы охраны водных ресурсов».

Соответствие паспорту специальности 05.13.01 - «Системный анализ, управление и обработка информации»

Диссертационная работа выполнена в соответствии с пунктами 3. «Разработка критериев и моделей описания и оценки эффективности решения задач системного анализа, оптимизации, управления, принятия решений и обработки информации», 5. «Разработка специального математического и алгоритмического обеспечения систем анализа, оптимизации, управления, принятия решений и обработки информации», 8. «Теоретико-множественный и теоретико-информационный анализ сложных систем», 10. «Методы и алгоритмы интеллектуальной поддержки при

принятии управленческих решений в технических системах» паспорта специальности 05.13.01 - «Системный анализ, управление и обработка информации (в науке и технике)».

Публикации по теме диссертационного исследования

Полученные автором научные результаты исследований отражены в 24 работах, в том числе 5 статей опубликованы в журналах, входящих в перечень рецензируемых научных журналов и изданий ВАК; был получен 1 патент на изобретение; 1 статья в сборнике конференции, включенном в базу *Web of Science*; получены 4 свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ.

Замечания и вопросы к диссертации и автореферату

По главе 1. В чем преимущество применения теоретических методов по сравнению с проведением экспериментальных исследований для систем водоснабжения?

В главе 2 текста диссертации не совсем понятно, как связаны количество сине-зеленых водорослей в водоеме и органолептические свойства питьевой воды.

В главе 3 хотелось бы получить более подробное объяснение обоснования выбора параметров для входящих сигналов (X) и исходящих сигналов (Y).

По главе 4 в качестве рекомендации для продолжения исследований можно рассчитать экономическую эффективность (сокращение остатков сорбента после сезонной дезодорации питьевой воды) с учетом резервных запасов, которые обязательно должны быть на предприятии.

Следует отметить, что указанные вопросы и замечания не противоречат полученным в диссертационном исследовании результатам, не снижают их достоверность, практическую значимость и новизну. Не снижают качества выполненной работы.

Заключение

Диссертационная работа Пономарёва Д.С. является завершённым научно-квалификационным трудом. Автором разработаны новые теоретические и практические решения для улучшения технологического процесса дезодорации в системах водоснабжения. Все полученные выводы и заключения обоснованы, результаты являются достоверными. Работа имеет внутреннюю завершённую структуру. Диссертация написана единолично, что свидетельствует о личном вкладе в науку.

Диссертация, выполненная на тему «Интеллектуальная система поддержки принятия решений для управления технологическим процессом дезодорации природных поверхностных вод на городских очистных сооружениях» соответствует требованиям Положения ВАК о присуждении ученых степеней, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор - Пономарёв Дмитрий Сергеевич - заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.01-«Системный анализ управление и обработка информации (в науке и технике)».

Доктор технических наук,
профессор кафедры
«Автоматизированный электропривод»
ФГБОУ ВО «Ижевская государственная
сельскохозяйственная академия»

Юран Сергей Иосифович

Подпись Юрана С.И. заверяю
Ученый секретарь ФГБОУ ВО
«Ижевская ГСХА»

Пантелеева Лариса
Анатольевна

426069, Россия, Удмуртская Республика,
г. Ижевск, ул. Студенческая, 11
Тел. +7 (3412) 59-86-17
E-mail: feash@izhgsha.ru

Подпись заверяю:

Начальник управления по персоналу
ФГБОУ ВО Ижевская ГСХА

Е.В.Пашкова

