

## ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию Пономарёва Дмитрия Сергеевича, представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.01 – «Системный анализ, управление и обработка информации (в науке и технике)» по теме:

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

### Структура и объем работы:

Диссертация Пономарева Д.С. выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Ижевский государственный технический университет имени М.Т. Калашникова». Работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы и приложений к работе. Общий объем работы составляет 162 стр., включая 52 рис., 40 таб., 8 прил. и 155 библиографических ссылок. Основные результаты диссертации опубликованы в 24 печатных работах, в том числе 5 рекомендованных ВАК, 1 в сборнике конференции, включенном в базу данных *Web of Science*.

### Актуальность работы:

Актуальность работы не вызывает сомнения, т.к. автором раскрыта одна из актуальных проблем современности – подготовка питьевой воды на городских очистных сооружениях. Актуальность обусловлена и тем, что для ряда технологических процессов на предприятиях отсутствуют рекомендации по выбору наиболее подходящих значений параметров. Особую проблему в данном вопросе представляет дезодорация питьевой воды, так как отсутствуют рекомендации для дозирования сорбента в зависимости от качества исходной воды, не определено точное время контакта с дезодорируемой водой и, кроме того, нужно знать наиболее подходящую адсорбционную активность (т.е. марку сорбента, либо их смесь) при сезонном проведении процесса.

В диссертационном исследовании предложено решить данные проблемы при помощи разработки модели. Автором были использованы такие методы как корреляционный анализ данных, регрессионное моделирование,

применение метода главных компонент, метода наименьших квадратов и разработка искусственных нейронных сетей. Следует отметить, что особый интерес в данной области представляет применение искусственных нейронных сетей, т.к. можно выявить нелинейные зависимости между параметрами исходной воды и значениями параметров технологического процесса дезодорации, и, тем самым более точно описать рассматриваемые процессы.

### **Основное содержание работы:**

*В первой главе* сооружения водоподготовки рассмотрены как сложная система, обладающая всеми двенадцатью свойствами сложных систем. Рассмотрено взаимодействие элементов с позиции системного анализа. Проведен анализ причин ухудшения органолептических свойств питьевой воды. Доказано, что одним из перспективных решений на сегодняшний день является применение порошкообразных активированных углей. Выявлены основные недостатки технологического процесса дезодорации природных поверхностных вод на городских очистных сооружениях. *Во второй главе* произведена обработка статистических данных предприятия более чем за 10 лет. Проведен корреляционный анализ данных, для устранения мультиколлинеарности между векторами был применен метод главных компонент. Проведен анализ значений показателей питьевой и исходной воды. Выбраны показатели исходной воды (в качестве входящего сигнала), исходя из которых велась разработка модели для значений параметров питьевой воды в системе водоснабжения. *В третьей главе* для решения проблемы подбора наиболее подходящих значений показателей процесса дезодорации были применены искусственные нейронные сети. Разработана структура нейронной сети (а именно: определено количество входящих сигналов, скрытых слоев и нейронов), доказана актуальность применения сигмоидальной функции активации, произведена нормализация значений, определена значимость входящих сигналов относительно исходящих. Для каждого из трех параметров дезодорации (дозирование сорбента, адсорбционная активность, время контакта сорбента с водой) была разработана отдельная нейронная сеть со своей структурой и входящими

сигналами, проведено ее обучение, разработаны модели для корректировки фактических значений. **В четвертой главе** проведено сравнение результатов полученных при помощи модели с фактическими значениями. Доказана возможность применения разработанной модели для основных параметров дезодорации питьевой воды на фактических данных. Достоверность и адекватность полученных результатов была доказана при помощи критерия Фишера, средней ошибки аппроксимации, коэффициента корреляции, двухвыборочного  $t$ -теста с различными дисперсиями. Разработаны рекомендации для очистных сооружений водоподготовки (дозирование сорбента в зависимости от качества исходной воды, выбор марки сорбента при сезонной дезодорации воды, определение времени контакта сорбента с водой). Доказана актуальность применения полученных результатов на предприятиях с экономической точки зрения (возможность сократить затраты на сезонную закупку сорбента для дезодорации воды).

#### **Научная новизна:**

1. Автором установлены зависимости между значениями параметров исходной и питьевой воды (корреляционная зависимость была установлена для концентраций геосмина ( $\text{мг/дм}^3$  ( $Z_2$ )), хлороформа ( $\text{мг/дм}^3$  ( $Z_3$ )) и хлоридов ( $\text{мг/дм}^3$  ( $Z_4$ )) в питьевой воде). Полученные результаты позволят более подробно изучить процессы дезодорации на предприятиях водоочистки, выявить взаимосвязь между качеством исходной воды и органолептическими показателями питьевой воды.

2. При помощи метода главных компонент и метода наименьших квадратов разработаны модели для значений параметров питьевой воды (таких как геосмин, хлориды и хлороформ) исходя из исходной воды на сооружениях водоочистки. Достоверность результатов была доказана при помощи коэффициентов корреляции (для геосмина  $r=0,81$ , хлоридов  $r=0,97$ , хлороформа  $r=0,76$ ), а также при помощи критерия Стьюдента.

3. Разработана модель управления технологическим процессом дезодорации питьевой воды, базирующаяся на применении искусственных нейронных сетей. Адекватность полученных результатов доказана при помощи критерия Фишера  $F_{\text{доз.}} = 23,22$  (для дозирования активированного

угля);  $F_{\text{адс.акт.}} = 81,15$  (для адсорбционной активности );  $F_{\text{время}} = 43,19$  (для времени контакта ), при  $P=0,95$  и табличных значениях  $F_{\text{доз}}=2,53$ ;  $F_{\text{адс.акт.}}=2,53$ ;  $F_{\text{время}}=2,54$  соответственно).

4. Разработаны уравнения нейрорегрессии для параметров процесса дезодорации, позволяющие адаптировать систему водоочистки к изменяющемуся качеству источника питьевого водоснабжения.

**Достоверность и обоснованность** результатов диссертационного исследования подтверждается корректным использованием физико-химических законов; использованием научно-обоснованных методов экспериментальных и теоретических исследований; применением обоснованных методов системного анализа сложных прикладных объектов исследования, включая вопросы анализа и моделирования.

#### **Теоретическая значимость работы:**

1. Разработан способ оценки риска размножения сине-зеленых водорослей в водоеме, позволяющий определить риск ухудшения качества исходной воды. Разработана методика, позволяющая выявить зависимость между качеством исходной и питьевой воды. Применение полученных результатов позволит более точно определить недостатки работы очистных сооружений в области дезодорации питьевой воды.

2. Автором разработана модель, которая позволяет сделать прогноз изменений концентрации ароматических соединений в питьевой воде, исходя из качества исходной воды.

3. При помощи искусственной нейронной сети разработана модель, позволяющая более точно определить параметры сорбента при проведении технологического процесса дезодорации питьевой воды

4. Разработана методика, позволяющая адаптировать систему водоочистки к изменяющимся параметрам источников питьевого водоснабжения. Применение данной методики позволит выбрать правильное соотношение марок активированного угля; позволит сократить остатки, которые присутствуют после сезонной дезодорации.

#### **Практическая значимость работы:**

1. В результате выполнения диссертационного исследования автором был внесен вклад в разработку изобретения (патент №2559561 RU) и программ для ЭВМ (свидетельства №2014662091 RU, №2015619352 RU, №2015661214 RU, №2015661548 RU).

2. Разработанные научно-методические основы были использованы при выполнении НИР по договорам ВиВ-1 -14/С и ВиВ-2-15/С для МУП г. Ижевска «Ижводоканал».

3. Результаты исследования могут быть использованы в учебном процессе по специальностям 05.23.04 «Водоснабжение, канализация, строительные системы охраны водных ресурсов» и 05.13.01 «Системный анализ, управление и обработка информации».

**Область исследования диссертации, соответствие паспорту специальности:**

Работа выполнена в соответствии с пунктами паспорта специальности 05.13.01 - «Системный анализ, управление и обработка информации»: 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».

**Вопросы, замечания, недостатки к работе:**

1. В Главе 3 автором разрабатывается модель искусственной нейронной сети глубокого обучения для технологического процесса дезодорации воды. Не совсем понятно на основе, каких данных была сформирована выборка для обучения искусственной нейронной сети? Чем был ограничен объем выборки? Сколько входящих сигналов было выбрано при разработке искусственной нейронной сети?

2. За основу в работе автор берет СанПиН 2.1.4.1074-01 в соответствии, с которым рассчитываются показатели качества питьевой воды. Хотелось

уточнить, почему именно этот нормативный документ взят за основу? Существуют ли другие нормативные документы определяющие показатели качества питьевой воды в России?

3. Приведенные в работе (рис. 3.12, 3.13 - рукописи и рис. 5, 6 - автореферата) структуры нейронной сети для показателей дозы и адсорбционной активности активированного угля, времени контакта активированного угля с питьевой водой являются обобщенными и не отражают всего принципа работы искусственной нейронной сети.

4. В п. 1.1 работы автор проводит системный анализ технологического процесса дезодорирования поверхностных вод на городских сооружениях, рассматривая его как сложную систему, состоящую из внешней (экономические, социальные факторы) и внутренней (непосредственно технологический процесс) сред. Из представленных моделей (рис. 1.8, 1.9 - рукописи) не совсем понятно как эти среды и отдельные элементы взаимодействуют между собой, какое влияние оказывают, что является первоочередным, а что вторичным?

5. В п. 3.2 соискатель осуществляет выбор входных параметров для искусственной нейронной сети. В качестве входных параметров были определены исключительно параметры технологического процесса, хотя ранее в п. 1.1 автор рассматривает технологический процесс именно как систему внешних и внутренних факторы влияющих на него. Тем более, что внешние факторы, оказывают влияние на протяжении всего времени выполнения технологического процесса, абсолютно по-разному влияющие на группы и/или отдельные параметры техпроцесса. Отсюда возникает ряд вопросов: Какое влияние оказывают внешние факторы на выполнение технологического процесса? Какова значимость внешних факторов на реализацию технологического процесса? Почему эти факторы не учитываются в качестве входных параметров искусственной нейронной сети? Проводились ли исследования влияния внешних факторов на технологические процессы?

6. Одним из основных направлений специальности 05.13.01 является совершенствование управления и принятия решений, с целью повышения

эффективности функционирования объектов исследования, в контексте работы – процесса дезодорирования воды. В Главе 4 диссертационного исследования автором выдвигается тезис об использовании результатов исследования в качестве «интеллектуальной системы» поддержки для процесса дезодорации воды, что вполне реализуемо. Но из текста работы не совсем понятна организационно-информационная структура данной системы, как все-таки необходимо использовать данную систему для принятия управленческих решений. Какие цели, задачи функции стоят перед «интеллектуальной системой»? Кто является субъектами «интеллектуальной системы»? Что это за управленческие решения? Какова структура, вид, процедура управленческих решений? В какой управленческой плоскости (уровне) лежат управленческие решения?

7. Как одним из результатов апробации разработанных методик приводится экономический эффект (табл. 3.11), который потенциально можно было получить от использования данных подходов. Безусловно, финансово-экономическая составляющая является особенно важным условием любых модернизаций и оптимизаций, но хотелось бы все-таки понять какие еще дополнительные эффекты можно получить от внедрения результатов работы на реальном объекте.

#### **Заключение:**

Оценивая диссертационную работу в целом, можно констатировать, что она представляет собой законченное научное исследование, направленное на решение актуальной научной задачи практического прикладного характера. Указанные замечания не снижают достоинство диссертационной работы, а указывают те моменты, на которые необходимо обратить внимание соискателя, в дальнейших научных исследованиях.

Работа выполнена автором самостоятельно, на высоком научном уровне, написана доходчиво и грамотно. Содержание автореферата, в целом, соответствует содержанию диссертации. Полученные автором результаты достоверны, выводы и заключения обоснованы. По каждой главе и диссертационной работе в целом сделаны четкие обоснованные выводы.

Диссертационная работа Пономарёва Дмитрия Сергеевича на тему «Интеллектуальная система поддержки принятия решений для управления технологическим процессом дезодорации природных поверхностных вод на городских очистных сооружениях» соответствует требованиям п.7 Положения о порядке присуждения ученых степеней к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор - Пономарёв Д.С. заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.01 - «Системный анализ управление и обработка информации (в науке и технике)».

Официальный оппонент,  
кандидат технических наук,  
начальник отдела первичной обработки  
и верификации данных  
Пермского ЦНТИ – филиала  
ФГБУ «Российское энергетическое  
агентство» Минэнерго России,  
614990, г. Пермь, ул. Попова, дом 9,  
Сайт: <http://www.permnti.ru/>  
Телефон организации: +7(342)233-27-29  
Телефон оппонента: +7-902-801-15-75  
E-mail организации: [cnti@permnti.ru](mailto:cnti@permnti.ru)  
E-mail оппонента: [tva@permnti.ru](mailto:tva@permnti.ru)

**Трусов Владимир Александрович,**

«05» марта 2019 года

Подпись удостоверяю,  
руководитель кадровой службы  
Пермского ЦНТИ – филиала ФГБУ «РЭА» Минэнерго России

**Милицкая Светлана Владимировна**

