

С.Э. Сероштан

АНАЛИЗ ИНФОРМАЦИОННЫХ РЕСУРСОВ ДЛЯ РЕШЕНИЯ
ПРОБЛЕМЫ ОПТИМАЛЬНОГО ПОДБОРА ОБОРУДОВАНИЯ
ДЛЯ ОЧИСТКИ ВОДЫ

Аннотация. Цель работы состоит в привлечении опыта по успешному использованию программных продуктов очистки сточных вод применительно к решению проблематики очистки питьевой воды. Выполнен совместный анализ действующих информационных программных комплексов, предназначенных для подбора технологической цепочки водоочистного оборудования. Сформулированы предложения по интеграции основных достоинств этих программных продуктов применительно к решению проблемы оптимального алгоритма подбора оборудования для очистки питьевой воды. *Ключевые слова:* водоочистка, водоподготовка, подбор водоочистного оборудования, информационные интеллектуальные системы, алгоритмы, загрязняющие вещества.

S.E. Seroshtan

ANALYSIS OF INFORMATION RESOURCES TO SOLVING THE PROBLEM
OF OPTIMAL SELECTION OF EQUIPMENT FOR WATER PURIFICATION

Abstract. The purpose of the work is to apply an experience in the successful implementation of wastewater treatment software products in relation to solving the problem of potable water treatment. A joint analysis of existing information software systems designed for selecting the process chain of water treatment equipment is carried out. The article formulates the proposals for integrating the main advantages of these software products in relation to solving the problem of the optimal algorithm for selecting potable water treatment equipment.

Keywords: wastewater, water treatment, selection of water treatment equipment, information intelligent systems, algorithms, pollutants.

Введение

Сегодня на большей части функционирующих в России водоочистных сооружений и станций очистки питьевой воды происходит глубокая модернизация технологического оборудования и агрегатов, обусловленная следующими факторами:

- значительное повышение концентрации загрязняющих веществ;
- необходимость увеличения эффективности работы станций и снижения эксплуатационных затрат;
- потребность в замене морально и физически изношенного оборудования.

На станциях водоподготовки используются разнообразные способы очистки воды от загрязняющих веществ до требуемых санитарными нормами предельно допустимых концентраций (далее – ПДК).

К настоящему времени в области очистки стоков достигнут существенный прогресс в части разработки и применения специализированных программных продуктов. Существенное обстоятельство состоит в том, что в экономическом отношении затраты на очистку сточных вод в разы превосходят аналогичные расходы на очистку питьевой воды (водоподготовку).

Сероштан Сергей Эдуардович

аспирант, Российский новый университет; технический директор, ООО «ВОДЭКО», Москва.

Сфера научных интересов: очистка природной воды, мембранные технологии, автоматизация процессов. Автор одной опубликованной научной работы.

Электронный адрес: pxty@yandex.ru

Отдельные процессы очистки воды от разных загрязнений достаточно хорошо изучены, но исследования в этой области не прекращаются, создаются новые материалы и методы. Известны сотни книг и научных трудов российских и иностранных авторов по методам очистки воды, существуют программные продукты производителей отдельных единиц оборудования для очистки, однако нет универсального программного продукта, обобщающего возможные методы очистки. В первую очередь это относится к проблеме очистки питьевой воды.

В целом необходимо отметить, что вопрос разработки оптимальных схем водоочистки можно отнести к «вечным» проблемам экологического характера. В настоящий момент известно немало программных продуктов для подбора технологического оборудования для очистки сточных вод, однако программ такого же уровня для подбора оборудования для очистки питьевой воды не имеется.

Формирование проблематики

Ключевой проблемой создания и реализации искомого программного продукта для очистки питьевой воды выступает многовариантность возможных методов очистки. Количество показателей, по которым контролируется очистка воды, достигает 50 единиц, поэтому возникает неизбежная необходимость рационального подбора оборудования для эффективной работы по различным загрязнителям и их группам [1–5]. Таким образом, поставленная в настоящей работе проблема представляется актуальной.

Важность водоподготовки обусловлена следующими обстоятельствами:

- потребность в бесперебойном снабжении населенных пунктов и городов питьевой водой;
- необходимость обеспечения каждого промышленного предприятия водой для хозяйственно-бытовых и технологических нужд;
- конструирование систем водопользования замкнутого цикла на предприятиях с целью уменьшения стоков.

При этом эффективное решение проблемы водоочистки, несмотря на существующие и разрабатываемые технологии, осложнено следующими факторами.

1. Из-за множества различных источников воды и разнообразия присутствующих в воде загрязнений появляется большая вариативность методов очистки. Это приводит к усложнению поиска оптимальных технологических решений в области водоподготовки.

2. Критерии оптимального решения у разных пользователей разнятся. В городской черте, помимо качества очистки, критична площадь очистных сооружений, для предприятий без централизованной канализации – минимизация или отсутствие стоков. Соответственно, эти параметры влияют на состав оборудования и технологию очистки.

3. Количество разновидностей химических веществ техногенного характера, загрязняющих поверхностные источники водоснабжения, каждый год увеличивается. Это порождает проблему, заключающуюся в том, что свойства новых загрязнителей и соответствующие способы очистки исследованы не в полной мере.

3. Каждый источник воды (скважина, река, озеро) имеет свой уникальный химический состав. Соответственно, в каждом случае необходимо анализировать и выбирать технологию очистки.

4. Количество вводимых установок очистки питьевой и технологической воды естественным образом кратно больше очистных сооружений сточных вод. Чтобы решить все задачи по установкам питьевой воды, требуется большее число специалистов в каждом регионе России. Специалистов не хватает по разным причинам: мало выпускников профильных вузов, недостаток компетенций, отток специалистов.

Материалы и методы

В связи с вышеизложенным востребованной оказалась задача разработки соответствующих алгоритмов, работающих в составе различных информационных систем по подбору оборудования очистки питьевой воды. Алгоритм создания проектных решений в области водоочистки можно представить в виде следующей структурной схемы (см. Рисунок).

Как показал критический анализ релевантных источников информации в русскоязычном научном сегменте по тематике статьи, на настоящий момент разработок немного, информации по ним мало, и она требует тщательного поиска. Нами выделены и проанализированы три ключевые разработки по созданию алгоритмов подбора водоочистного оборудования в различных производственных сферах с различными загрязняющими веществами:

- комплексная информационная интеллектуальная система «ВОДОСВ»;
- интеллектуальная информационная система WAAM;
- специализированная система поддержки принятия решений, разработанная в Российском химико-технологическом университете имени Д.И. Менделеева.

Комплексная информационная интеллектуальная система «ВОДОСВ» (далее – ИИС) разработана на кафедре кибернетики РХТУ имени Д.И. Менделеева и предназначена для оптимального подбора оборудования для различных технологических способов эффективной очистки сточных вод гальванических производств.

В системе можно выделить следующие программные модули.

Базы данных. Базы включают в себя большой объем информации по существующим технологическим решениям, в том числе по применяемому оборудованию для очистки сточных вод гальванических производств. Описание данных построено на основе реляционной модели в виде диаграмм «сущность – связь». Разработанный модуль анализирует запрос клиента с учетом присутствия необходимого оборудования, представленного в базе «Очистное оборудование». Оборудование упорядочено по типам и характеристикам. Разработчиком внедрены так называемые экспертные оценки для определенного типа технологических аппаратов и производственные правила, посредством которых возможен корректный выбор оборудования под определенную задачу [7]. В результате работы данной подпрограммы ИИС пользователь получает определенный набор технологического оборудования, дифференцированный по стадиям в цикле водоочистки, с полным описанием по каждой составляющей схемы.

Расчетный модуль. Включает в себя модуль вычисления показателей материальных потоков, является регулируемой моделью процессов переработки сточных вод. На каж-

Анализ информационных ресурсов для решения проблемы оптимального подбора ...

дом этапе осуществляется необходимый комплекс вычислений по концентрации компонентов с точки зрения реализующихся в жидких средах химических реакций. На последней стадии вычислений для пользователя программа формирует отчет со всей информацией по реализованным технологическим этапам обработки сточных вод, а также по отдельным элементам (их форме, количеству). Также данный документ включает в себя сведения об итоговых концентрациях всех компонентов, которые были добавлены на начальной стадии обработки сточных вод, об их соответствии/несоответствии ПДК [8].

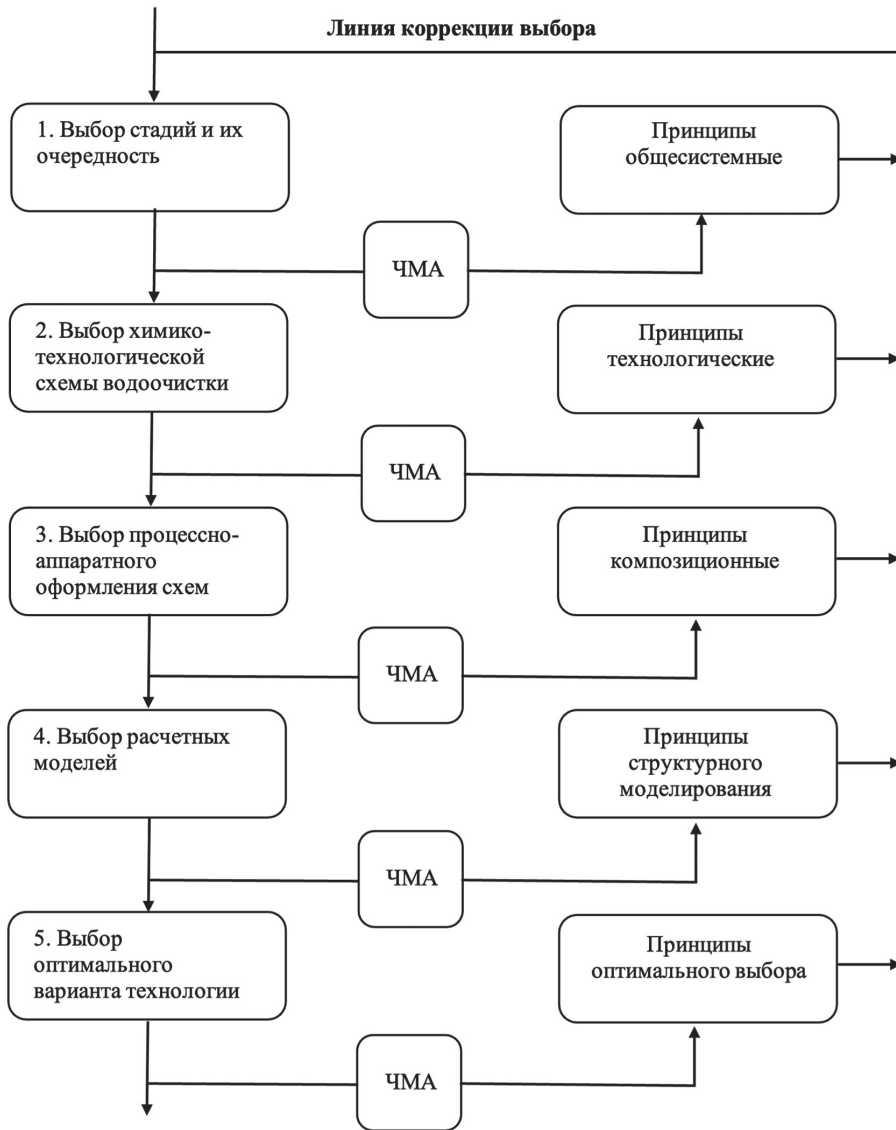


Рисунок. Алгоритм генерации проектных решений в процессе разработки водоочистной технологии (ЧМА – человеко-машинный анализ)

Источник: [6].

Согласно [9] эффективность работы ИИС «ВОДОСВ» была проверена на примере очистки реальных сточных вод гальванического производства. По результатам получено эффективное очищение сточных вод до регламентируемых законодательством уровней ПДК по загрязняющим веществам, при этом временные затраты обработки жидкой среды сокращены на порядок благодаря тому, что программный комплекс позволил исключить множество ненужных этапов обработки сточных вод.

Интеллектуальная информационная система WAAM. Ее функционал – рациональный подбор оборудования для различных технологических способов эффективной очистки сточных вод химических лабораторий. Рассматриваемый программный комплекс содержит в себе четыре независимые базы данных (далее – БД): «Патенты», «Очистка стоков», «Схемы очистки», «Водоподготовка». Интегрально они позволяют хранить, аккумулировать и обрабатывать большие массивы данных, непосредственно относящихся к вопросу водоочистки жидких сред.

В базах содержится информация об установках, основным назначением которых выступает эффективная очистка сточных вод предприятий химического комплекса: приведены сведения об оборудовании, предназначенном для осуществления электрофлотации, ультрафиолетовой обработки и механической очистки, от основных производителей.

Эффективность представленного программного комплекса проверена в условиях реального процесса очистки стоков химических лабораторий РХТУ имени Д.И. Менделеева. Эксперимент показал высокую эффективность рассмотренного программного продукта в процессах очистки сточных вод химических производств и уменьшение уровня загрязнения до требуемого экологическим законодательством уровня ПДК [10].

Программный продукт «Система поддержки принятия решений» (далее – СППР) разработан и направлен на автоматизацию подбора соответствующего оборудования и реактивов для очистки сточных вод от нефти и масленефтепродуктов.

Ключевым отличием данной системы является фактографическая модель описания используемых данных. Ее главной особенностью по сравнению с реляционной моделью, которая массово применяется в программных продуктах, является возможность более глубоко и интегрированно использовать информационные массивы, в каком бы виде они ни были представлены. СППР включает в себя три составляющие: 1) систему баз данных; 2) модуль Case Study; 3) модуль Treatment Advisor.

Согласно [11] **система баз данных** представлена следующими разделами:

1) раздел «Ликвидация последствий аварий» – включает данные о материалах, способах и схемах для эффективной обработки водоемов в целях ликвидации разливов нефтепродуктов и нефти;

2) раздел «Сточные воды в нефтедобывающей области» – включает данные о способах, оборудовании и схемах для переработки сточных вод;

3) раздел «Патенты» – содержит в себе патентную информацию о российских и зарубежных технологических разработках;

4) раздел «Сточные воды нефтеперерабатывающих производств и ливневые стоки» – содержит сведения о способах, установках и технологических схемах для водоочистки стоков, содержащих нефть и продукты ее переработки;

5) раздел «Обзор теоретических разработок» – включает в себя материалы различных конференций и статей.

Анализ информационных ресурсов для решения проблемы оптимального подбора ...

Цифровая архитектура СППР является достаточно гибкой к изменениям и возможным модификациям. Особенностью программного комплекса является возможность свободного перехода по связям, представленным в документах. При этом любой документ, добавленный в БД, аннотируется, каждый файл включает метайнформацию. Основой поисковой системы являются алгоритмы нечеткого поиска, плюс используется подход, основанный на вычислении расстояния Хемминга [12].

Модуль Case Study построен на БД реальных производственных ситуаций. Представленный модуль дает возможность клиенту программы исследовать примеры из реальной производственной практики. Непосредственно параметры рассматриваемых материальных потоков дифференцированы на три группы: микробиология, физические и химические свойства, а также содержание неорганических и органических веществ.

Модуль Treatment Advisor разработан для выбора (Treatment Base) или разработки (Options) технологических схем по переработке сточных вод. Treatment Base проектирует возможные технологические решения по очистке жидких сред от загрязняющих веществ на основе существующих способов, представленных в БД. В модуле параметры сточных вод задаются пользователем, и на их основе создаются схемы очистки. Если для очистки конкретного стока возможно использование нескольких технологических схем, то система предложит наиболее оптимальный вариант.

Алгоритм выбора способов очистки построен на рассмотрении отклонения параметров загрязнителей от базовых значений ПДК. Итогом работы программы выступает одна или множество последовательностей по обработке воды с обязательным определением интегрального критерия эффективности. Предлагаемые модулем оптимальные схемы очистки проранжированы именно по этому показателю эффективности.

Целевое назначение СППР:

- существенно уменьшить издержки на технические ресурсы, трудовые затраты, экспериментальные исследования и время на создание технологических решений по водоочистке;
- организовать и интегрировать разрозненные сведения по установкам и технологическим процессам в области очистки различных вод;
- выбрать наиболее рациональную схему водоподготовки;
- предоставить подробные сведения по стандартным технологическим установкам в области очистки.

Заключение

Сравнительный анализ информационных интеллектуальных систем «ВОДОСВ», WAAM и «СППР» показал, что алгоритмизация и автоматизация процесса подбора необходимого технологического оборудования применительно к очистке сточных вод способствует существенному снижению издержек по разработке технологических схем, экономии времени благодаря скорости вычисления компьютера и исключению излишних этапов очистки.

На основе проведенного анализа указанных систем можно сформулировать следующие рекомендации, направленные на интеграцию их возможностей применительно к проблематике очистки питьевой воды:

- программный продукт должен обладать такими характеристиками, как наличие оцифрованной базы данных по методам очистки, в том числе по каждому показателю, и данных применяемого оборудования;

- расчетный алгоритмический модуль должен выполнять все алгоритмы расчетов, включая расчеты многостадийных процессов водоочистки;
- модуль СППР необходим для ранжирования критериев оптимальности и должен содержать решения для возможных вариантов очистки. В результате действия этого модуля обеспечивается целевой результат – оптимально подобранное оборудование с учетом заданных критериев.

Таким образом, объединение наиболее удачных решений рассмотренной триады программных продуктов может быть полезным применительно к проблеме подбора оборудования очистки питьевой воды и программного продукта на его основе.

Литература

1. Харьковина О.В., Закиев Р.Р. Подходы к расчету сооружений биологической очистки сточных вод, обеспечивающие стабильное качество очистки: опыт компании SUEZ // Наилучшие доступные технологии водоснабжения и водоотведения. 2020. № 6. С. 55–63. EDN GUPMKW.
2. Залётов С.В., Залётова Н.А. Расширение пределов применения биологической очистки сточных вод // Системные технологии. 2021. № 1 (38). С. 27–32. EDN GUPMKW.
3. Суворова Ю.А., Козачек А.В. Анализ классификаций методов очистки сточных вод на предприятиях машиностроительной отрасли // Современные технологии в машиностроении : Сб. статей XIII Междунар. науч.-практ. конф., Пенза, 11–12 декабря 2009 г. Пенза : Приволжский Дом знаний, 2009. С. 229–231.
4. Суворова Ю.А., Козачек А.В. Основные технико-экономические факторы выбора метода очистки сточных вод // Современные технологии в машиностроении : Сб. статей XIII Междунар. науч.-практ. конф., Пенза, 11–12 декабря 2009 г. Пенза : Приволжский Дом знаний, 2009. С. 93–95.
5. Краснова М.Г., Самбурский Г.А. Анализ технологий, направленный на совершенствование технологического процесса очистки питьевой воды // Инновации и инвестиции. 2018. № 6. С. 202–207. EDN QRWBOG.
6. Попов Н.С., Козачек А.В., Святенко А.В., Минь Тьинь Чан. Разработка методики структурного моделирования для целей проектирования технологической очистки загрязненных вод и выделения осадков // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В.И. Вернадского. 2012. № S2 (39). С. 144–158. EDN OXVPSD.
7. Дорохов И.Н., Кафаров В.В. Системный анализ процессов химической технологии: Экспертные системы для совершенствования процессов гетерогенного катализа. М. : Наука, 1989. 376 с. ISBN 5-02-005903-X. EDN XSLDMR.
8. Кафаров В.В., Ветохин В.Н. Основы автоматизированного проектирования химических производств. М. : Наука, 1987. 623 с.
9. Челноков В.В., Меньшутина Н.В., Колесников В.А., Богословская О.В. Информационная интеллектуальная система «ВОДОСВ» по выбору оборудования для очистки сточных вод // Программные продукты и системы. 2002. № 2. С. 5. EDN JVSRBN.
10. Нелюбин Р.С., Меньшутина Н.В. Разработка технологической схемы очистки сточных вод с использованием информационной системы WAAM // Успехи в химии и химической технологии. 2010. Т. 24. № 1 (106). С. 58–60. EDN RCBZEF.
11. Троянкин А.Ю., Ахачева О.С., Тарутин Н.В. Интеллектуальная система: комплексный подход к решению проблем в области очистки сточных вод // Успехи в химии и химической технологии. 2007. № 2 (70). С. 21–25. EDN QZMGXH.

12. Bogart K., Stein C., Drysdale R.L. (2006) *Discrete Mathematics in Computer Science*. Emeryville, CA : Key College Publishing. 425 p.

References

1. Khar'kina O.V., Zakiev R.R. (2020) Approaches to the calculation of biological wastewater treatment facilities that ensure stable quality of treatment: The experience of SUEZ. *Nailuchshie dostupnye tekhnologii vodosnabzheniya i vodootvedeniya* [Best available water supply and sanitation technologies]. No. 6. Pp. 55–63. (In Russian).
2. Zalyotov S.V., Zalyotova N.A. (2021) Expanding the scope of biological wastewater treatment. *System technologies*. No. 1 (38). Pp. 27–32. (In Russian).
3. Suvorova Yu.A., Kozachek A.V. (2009) Analysis of classifications of wastewater treatment methods at mechanical engineering enterprises. In: *Sovremennye tekhnologii v mashinostroenii* [Modern technologies in mechanical engineering] : Proc. XIII Int. Sci. and Pract. Conf., Penza, December 11–12, 2009. Penza : Privolzhskiy Dom Znaniy Publ. Pp. 229–231. (In Russian).
4. Suvorova Yu.A., Kozachek A.V. (2009) Main technical and economic factors for choosing a wastewater treatment method. In: *Sovremennye tekhnologii v mashinostroenii* [Modern technologies in mechanical engineering] : Proc. XIII Int. Sci. and Pract. Conf., Penza, December 11–12, 2009. Penza : Privolzhskiy Dom Znaniy Publ. Pp. 93–95. (In Russian).
5. Krasnova M.G., Sambursky G.A. (2018) Analysis of technologies aimed at improving the technological process of drinking water purification. *Innovatsii i investitsii* [Innovations and Investments]. No. 6. Pp. 202–207. (In Russian).
6. Popov N.S., Kozachek A.V., Svyatenko A.V., Min' T'in' Chan (2012) Development of a structural modeling technique for the purpose of designing technological purification of contaminated waters and sedimentation. *Problems of Contemporary Science and Practice. Vernadsky University*. No. S2 (39). Pp. 144–158. (In Russian).
7. Dorokhov I.N., Kafarov V.V. (1989) *Sistemnyi analiz protsessov khimicheskoi tekhnologii: Ekspertnye sistemy dlya sovershenstvovaniya protsessov geterogennogo kataliza* [Systems analysis of chemical technology processes: Expert systems for improving heterogeneous catalysis processes]. Moscow : Nauka Publ. 376 p. ISBN 5-02-005903-X. (In Russian).
8. Kafarov V.V., Vetokhin V.N. (1987) *Osnovy avtomatizirovannogo proektirovaniya himicheskikh proizvodstv* [Basics of Automated Design of Chemical Production]. Moscow : Nauka Publ. 623 p. (In Russian).
9. Chelnokov V.V., Men'shutina N.V., Kolesnikov V.A., Bogoslovskaya O.V. (2002) Information intelligent system «VODSV» on selection of equipment for wastewater treatment. *Software & Systems*. No. 2. Pp. 5. (In Russian).
10. Nelyubin R.S., Men'shutina N.V. (2010) Development of a technological scheme for wastewater treatment using the WAAM information system. *Uspekhi v khimii i himicheskoi tekhnologii* [Achievements in chemistry and chemical technology]. Vol. 24. No. 1 (106). Pp. 58–60. (In Russian).
11. Troyankin A.Yu., Ahacheva O.S., Tarutina N.V. (2007) Intelligent system: Integrated approach to solving problems in the field of wastewater treatment. *Uspekhi v khimii i himicheskoi tekhnologii* [Achievements in chemistry and chemical technology]. No. 2. Pp. 21–25. (In Russian).
12. Bogart K., Stein C., Drysdale R.L. (2006) *Discrete Mathematics in Computer Science*. Emeryville, CA : Key College Publishing. 425 p.