

**СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ
АВТОМАТИЗИРОВАННОГО УПРАВЛЕНИЯ ОЧИСТНЫМИ
СООРУЖЕНИЯМИ ПРЕДПРИЯТИЙ
НЕФТЕПЕРЕРАБАТЫВАЮЩЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

Шкундина Р.А.

Уфимский государственный авиационный технический университет

Проведен анализ проблем, возникающих при очистке сточной воды от нефтяного загрязнения на биологических очистных сооружениях. Приведен обзор существующих за рубежом систем поддержки принятия решений для организации эффективного управления процессом очистки сточных вод. Предложена структура интеллектуальной системы поддержки принятия решений для управления процессом очистки сточных вод на очистных сооружениях, интегрирующая различные модели представления знаний.

Проблемы очистки сточных вод, загрязненных нефтью и нефтепродуктами

Многочисленные исследования показывают, что до 70% ущерба, наносимого окружающей среде приносит топливно-энергетический комплекс [2]. Например, в 1998 г. сброс загрязненных сточных вод нефтеперерабатывающей промышленности составил 184,74 млн. м³ [3]. Основная часть загрязненных сточных вод прошла очистку на очистных сооружениях (ОС), но признана инспектирующими органами недостаточно очищенными.

Для очистки сточных вод загрязненных нефтепродуктами на очистных сооружениях наиболее часто используется активный ил аэротенков [1]. В нем содержатся различные группы микроорганизмов, которые потребляют углеводороды. При этом загрязненную нефтепродуктами воду перед подачей на аэрационные очистные сооружения обычно разбавляют хозяйственными стоками. В большинстве своем нефтепродукты очень медленно биохимически окисляются, токсически действуют на активный ил и нарушают процесс дыхания клеток ила. Поэтому рекомендуется удалять их на стадии предварительной очистки. Однако нефть и нефтепродукты попадают на очистные сооружения и при этом часто возникают проблемные ситуации для преодоления которых необходимо

использовать опыт многих экспертов, нормативно-техническую, справочную и регламентирующую информацию. Управление работой ОС является сложной задачей, связанной с особенностями состояния, функционирования ОС, а также учетом человеческого фактора.

Технолог ОС, осуществляющий принятие решений по управлению очисткой сточных вод (ОСВ), сталкивается со следующими проблемами:

- недостаток параметров для принятия решений, вследствие ограниченного резерва времени и высокой стоимости проведения анализов;
- неполнота, неточность естественно-языковых инструкций для принятия решений;
- недостаточность теоретических знаний о процессе управления очисткой сточных вод;
- отсутствие учета особенностей функционирования конкретного ОС.

Процесс ОСВ осуществляется в режиме запаздывания реакции системы и зависит от многих входных сигналов. Сигналы эти являются разнородными, поступают с разной периодичностью, на обработку части из них необходимо время, а также специальные лабораторные условия и дорогостоящие реактивы.

ОС функционируют частично за счет деятельности разнообразных живых организмов, чьи реакции на воздействие входных параметров специфичны и взаимозависимы. Оптимальные условия для существования комплексов организмов, осуществляющих ОСВ, весьма сложно подбирать вследствие изменчивости этих комплексов в зависимости от состава сточных вод. Эксперименты с нефтеокисляющими бактериями показали [2], что оптимизация среды с добавлением малых концентраций легкоокисляемой органики (2-5 мг/л) в качестве биостимулятора способствует процессу биodeградации нефти до 5 раз. Регулирование же концентрации биогенов, поддержание рН среды и температуры в нужном диапазоне положительно отражаются не только на развитии микроорганизмов, но и на биохимической активности последних по очищению воды от нефти. Для подбора оптимальных условий функционирования микроорганизмов в аэротенках используются автоматизированные системы управления, которые основываются на математических моделях (таблица 1).

Таблица 1

Модели классического управления на биологических очистных сооружениях

Название	Пример применения	Оборуд-е	Недостатки моделей	Достоинства моделей
Корреляционные модели	Устанавливаются взаимосвязи и взаимозависимости между характеристиками воды	ОС	<ul style="list-style-type: none"> Наличие большого числа внешних факторов, взаимовлияние микроорганизмов и их взаимодействие с субстратом приводит к сложности выбора адекватной модели описания системы. Модели сложно разрабатывать, часто они неточны и чрезмерно упрощают действительность. Имитационное моделирование не работает с неизвестными или не смоделированными ситуациями. Качественные данные не могут быть использованы для модели числового управления. Данные неточны или отсутствуют, датчики выдают ошибочную информацию или отсутствуют, не все характеристики, необходимые для моделирования анализируются каждый день, что влияет на точность моделей. Характеристики втекающей воды сильно изменчивы и неуправляемы. Задержка в получении данных из-за длительных лабораторных анализов и аналитических расчетов. 	<ul style="list-style-type: none"> Оценка поведения ОС в ответ на определенный сценарий развития (операционные условия и характеристика втекающей воды) и прогноз на средний и длительный период возможных исходов при определенных действиях по процессу очистки Повышение эффективности удаления загрязнителей Сокращение расхода электроэнергии, химических реагентов и затрат на обслуживание ОС Разработка альтернатив для модифицирования существующих ОС
Адаптивные алгоритмы	Для поддержания необходимого уровня кислорода в аэротенке	Аэротенк		
Прагматические модели	Рост бактерий и потребление субстрата	Аэротенк		
Фундаментальные модели				
Имитационные модели	Моделирует эволюцию состояний ОС	ОС		
Статистический синтез				
Кластеризация	Классификация данных с датчиков	ОС		
Закон Стокса	Моделирование осаждения	Песколовка		
Кривая Гусмана	Моделирование осаждения твердых веществ	Первичный отстойники.		
Метод оптимизации (комбинация метода проб и ошибок и градиентного метода)	Оптимизация обработки осадка	Первичный отстойники		
Детерминистические, прогнозные модели	Осаждение	Первичный/ Вторичный Отстойник		
Кривые функционирования и стохастические модели	Прогноз поведения отстойников	Первичный/ Вторичный Отстойник		

Такие системы имеют ряд недостатков (таблица 1). Они хорошо работают, когда ОС находится в нормальном режиме работы и плохо применимы в случае внештатного режима. Естественно, что при возникновении проблемных ситуаций, необходимы знания и опыт экспертов, и разработки имитационных моделей и программ для решения уравнений явно недостаточно. Возникает необходимость использовать субъективную информацию, накопленную за годы, а также неполные данные и объективную информацию, накопленную за период работы ОС.

Автоматизация процесса принятия решений технолога очистных сооружений

В настоящее время, во всем мире рутинные функции обработки информации и функции обмена информацией практически полностью автоматизированы. В тоже время функция принятия решений и ее автоматизированная поддержка на ОС на данный момент только развивается. Знания и опыт, накопленные при эксплуатации таких систем, очень важны для разработки концептуального подхода к решению проблем управления ОСВ.

Применение методов и средств искусственного интеллекта (ИИ) предоставляет новые возможности для решения проблемы управления ОС. Системы поддержки принятия решений на основе ИИ в идеальном случае должны обладать уровнем эффективности решений неформализованных задач, сравнимым с человеческим или превосходящим его. На данный момент за рубежом существует ряд СППР, применяемых для очистки сточных вод (таблица 2).

Архитектуру СППР для ОСВ можно представить в виде трех основных модулей:

- интерпретация: сбор данных и извлечение знаний;
- диагностика: процесс рассуждений. Включает статистические и числовые модели, а также методы искусственного интеллекта;
- поддержка принятия решений. Отражает взаимодействие пользователя с СППР. Включает модули объяснения пользователю решения, его обоснования, оценки альтернатив.

Таблица 2

Средства искусственного интеллекта, разработанные для очистных сооружений

<i>Название. Разработчик</i>	<i>Модели представления знаний</i>	<i>Основные функции и характеристики</i>	<i>Недостатки</i>
СППР реального времени. Baeza, J. (Испания) [5]	Правила	Регулирование работы очистных сооружений). Управление процессом очистки сточных вод по ЛВС или через Интернет.	<p><i>Системы на основе правил:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - не обучаются в процессе работы - сложности с процессом извлечения знаний и опыта из исходных данных - неспособны к предвидению, их область ограничена прошлыми и предопределёнными ситуациями <p><i>Для систем на прецедентах:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - проблема индексации прецедентов в базе знаний; - организация эффективной процедуры поиска ближайших прецедентов; - обучение, формирования правил адаптации; удаление прецедентов, потерявших актуальность. <p><i>Прецеденты и правила:</i></p> <p>Отсутствует синтаксическая и семантическая интеграция модулей системы</p>
СППР для определения состояния очистных сооружений. Riano, D. (Испания) [6]	Правила	Система автоматического построения правил, используемых для идентификации состояния ОС.	
СППР для управления ОС. Yang, C.T. (Корея) [7]	Правила	Экспертная система для определения последовательности стадий очистки воды на ОС	
СППР для управления ОС. Wiese, J., Stahl, A., Hansen, J. (Германия) [8]	Прецеденты	СППР для определения вредных микроорганизмов в системе активного ила	
"WATERSHEDSS" СППР по сокращению ущерба от загрязнения водных ресурсов. Университет Северной Каролины (США) [9]	Правила, прецеденты	Оценка потенциальных воздействий для управления рассеянными источниками загрязнения в бассейне рек, основанная на информации и решениях, поступающих от пользователя.	
"DAI-DEPUR" СППР реального времени для управления ОС, Sanchez-Marre, M. (Испания) [10]	Правила, прецеденты	ППР при наблюдении, комплексном контроле и управлении за работой одного или нескольких очистных сооружений. СППР комбинирует во фреймовую структуру несколько методов: обучение, рассуждение, приобретение знаний, распределенное принятие решений. Правила вывода частично моделируют данные и экспертные знания. Система на прецедентах моделирует эмпирические знания.	
"BIOMASS" Управление системой активного ила на БОС. Comas, J. (Испания) [11]	Правила, прецеденты	Система контроля и управления системой активного ила на биологических ОС. Ядро и основные модули разработаны на основе объектно-ориентированного оболочки G2, реализующей механизм логического вывода. Управляет получением on-line и off-line данных, БД, системой правил и прецедентов.	

Обзор существующих СППР в области очистки сточных вод показал, что большинство из них основаны на правилах и/или прецедентах. Прецедент – это описание проблемной ситуации, возникающей на ОС в совокупности с подробным указанием действий, предпринимаемых в данной ситуации для решения данной проблемы.

Анализ каждого из подходов, основанных на правилах, прецедентах и их совместном использовании показал, что, кроме достоинств, каждый из них имеет свои недостатки. Чтобы устранить эти недостатки, необходима интеграция системы, основанной на прецедентах с системой, основанной на правилах. Также предложено разработать онтологию для управления процессом ОСВ. Онтология понимается как структурная спецификация некоторой предметной области, ее формализованное представление, которое включает словарь (или имена) указателей на термины предметной области и логические связи, которые описывают, как они соотносятся друг с другом [4]. В работе предложено использовать онтологию для углубления знаний о микроорганизмах на станциях водоочистки и о сточных водах в общем. Онтология совместно использована с другими методами рассуждения для повышения эффективности управления ОС. Предлагаемая онтология моделирует не только терминологию предметной области, но и процессы, и управление в области очистки сточных вод. Более того, онтология кодирует микробиологические знания с учетом существующих систем баз знаний. Интеграция различных методов ИИ позволит управлять количественной, качественной информацией и экспертными знаниями.

На основании общей схемы и с учетом специфики предметной области был построен контур управления процессом ОСВ и определено место разрабатываемой интеллектуальной системы поддержки принятия решений (рисунок 1).

Основными компонентами разрабатываемой системы являются онтологическая база знаний и система вывода на основе онтологии. Онтологическая база знаний включает в себя онтологию процесса очистки сточных вод. Она содержит общие знания экспертов в области очистки сточных вод: о структуре очистных сооружений, о химическом составе воды, ее физических свойствах, об основных группах организмов, очищающих сточные

воды, о биоиндикаторах и т.д. Кроме этого, разработаны правила, которые позволяют на основе предметной онтологии описать явные взаимосвязи и взаимозависимости объектов конкретного ОС. То есть, с учетом общих знаний, таких как, например, характеристики поступающей воды, формируются правила возникновения проблемной ситуации с учетом специфики определенного ОС. Также разработана онтология прецедентов проблемных ситуаций, содержащая опыт экспертов по выходу из проблемных ситуаций на конкретном ОС, зафиксированный в прецедентах. Алгоритм поиска позволит на основании онтологии сначала определить класс ситуации на ОС, а затем найти похожий прецедент, описывающий проблемную ситуацию.

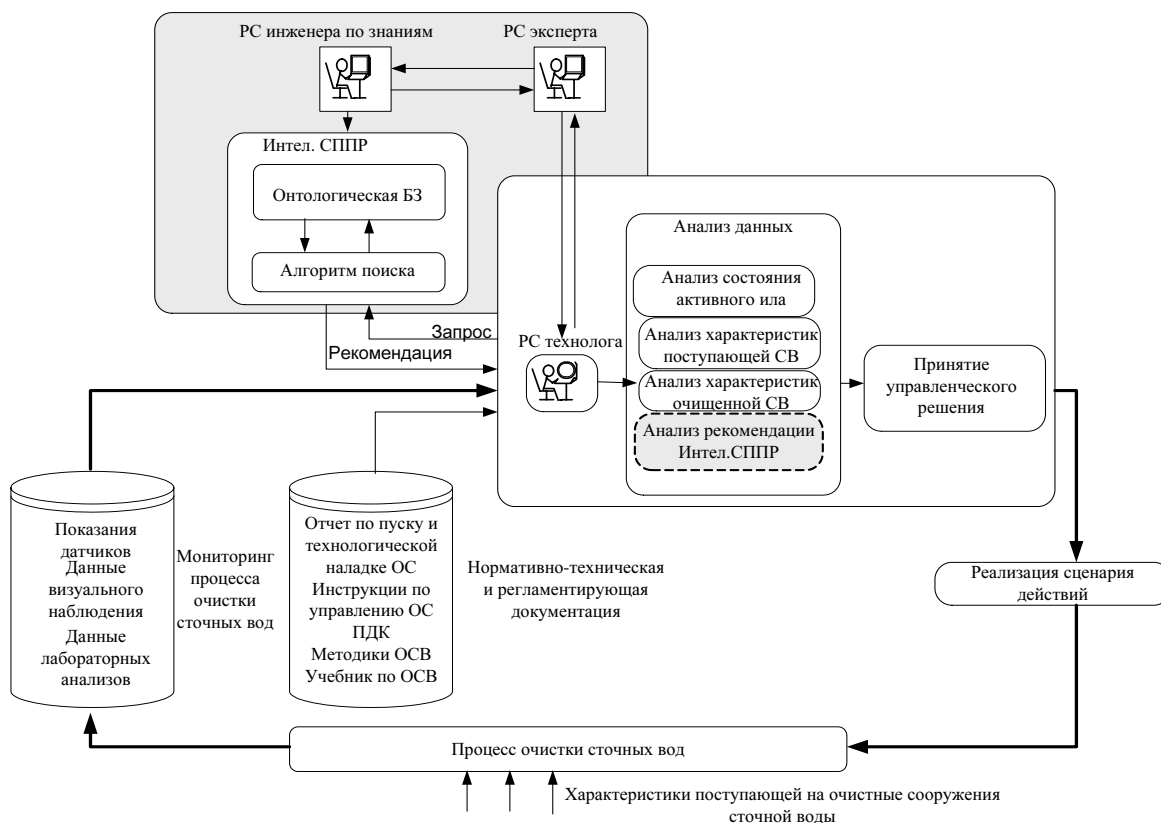


Рисунок 1. Контур управления процессом ОСВ

Таким образом, проведенный анализ предметной области показал, что управление работой ОС является нетривиальной задачей в связи с необходимостью учета неопределенности при определении состава воды,

сложностью в подборе оптимальных условий для существования комплекса организмов, осуществляющих ОСВ, вследствие изменчивости этих комплексов и их взаимовлияния и взаимозависимости, запаздывания реакции системы на входные параметры. Существующие средства автоматизации, разработанные для очистки воды, направлены в основном на сбор и хранение информации. Сделан вывод о необходимости автоматизации процесса принятия решений на основе искусственного интеллекта. Показано, что существующие системы поддержки принятия решений в области очистки сточных вод не могут учитывать всех особенностей процесса очистки и необходимо сочетать их со знаниями и опытом специалистов в этой области. Предложено разработать интеллектуальную систему поддержки принятия решений для управления процессом очистки сточной воды. Знания и опыт в этой системе будут аккумулированы в онтологической базе знаний, а поиск будет производиться на основе онтологии предметной области. Это позволит повысить качество принимаемых решений при управлении технологом процесса очистки сточных вод.

Литература

1. Соловых Г.Н., Левин Е.В., Пастухова Г.В. Биотехнологическое направление в решении экологических проблем. Екатеринбург, 2003.–295с.
2. Морозов Н.В. Экологическая биотехнология: очистка природных и сточных вод макрофитами. – Казань: Изд-во Казанского государственного педагогического университета, 2001. – 394 с.
3. Государственный доклад за 1998 год. Часть V. Раздел 1. http://www.wdcb.rssi.ru/mining/obzor/Doc_1998/Part5-1.htm
4. Базы знаний интеллектуальных систем / Т.А.Гаврилова, В.Ф.Хорошевский – СПб: Питер, 2000. – 384 с.
5. Baeza, J., E. Ferreira, and J. Lafuente. Knowledge-based supervision and control of wastewater treatment plant: a real-time implementation. //Water Science & Technology, 2000, 41(12). – pp. 129–137.

6. Riano, D. Learning rules within a framework of environmental sciences.//In ECAI 98 - W7 (BESAI98) workshop notes, Brighton, UK, 1998. - pp. 151–165.
7. Yang, C.T. and Kao, J.J. An expert-system for selecting and sequencing wastewater treatment processes. //Water Science & Technology, 34(3-4), 1996. – pp. 347–353.
8. Wiese, J., Stahl, A., Hansen, J.: "*Applying and optimizing case-based reasoning for wastewater treatment systems*", AI Communications. Special Issue: Binding Environmental Sciences and AI 18(4), pp. 269-279, 2005.
9. Osmond D. L., Gannon R. W., etc. WATERSHEDSS // AWRA Journal of the American Water Resources Association, Volume 33, No. 2, pp. 327-341, April 1997.
10. Sanchez-Marre, M. DAI-DEPUR: an integrated supervisory multi-level architecture for wastewater treatment plants. Ph. D. thesis, Software Department, UPC, Barcelona, Spain. – 1995.
11. Comas, J. Development, implementation and evaluation of an activated sludge supervisory system for Granollers WWTP. Ph.D. thesis, Departament d'enginyeria química agrària i tecnologies agroalimentàries, Universitat de Girona, Girona, Spain. //COMADEM, 1(3), 2000. - Pp. 31–38.