

## РАЗРАБОТКА ЭКСПЕРТНОЙ СИСТЕМЫ ВЫБОРА ТЕХНОЛОГИИ ОЧИСТКИ ПИТЬЕВОЙ ВОДЫ

<sup>1</sup>Крутя Н.А., <sup>1</sup>Скичко А.С., <sup>1</sup>Кольцова Э.М., <sup>2</sup>Зубов Д.В.

<sup>1</sup>Российский химико-технологический Университет им. Д.И.Менделеева,

<sup>2</sup>Московский государственный университет инженерной экологии

*Проведен анализ и структурирование информации об экспериментальных исследованиях методов водоподготовки для создания экспертной системы водоочистки питьевой воды. Разработана структура банка данных системы. Разработаны структура экспертной системы PureWater, подбирающей возможные методы водоочистки на основе данных о составе воды из природного источника, а так же алгоритм принятия решения при подборе альтернативных последовательностей методов.*

Важнейшим жизнеобеспечивающим элементом окружающей среды, определяющим качество жизни, является наличие необходимых запасов и степень загрязненности водных ресурсов. Состояние природных источников водоснабжения населения в настоящее время составляет одну из наиболее серьезных проблем. Воздействие производственно-хозяйственной деятельности человека на экосистему непрерывно возрастает. Это приводит к ухудшению качества поверхностных и подземных вод. В то же время, развитие промышленности, сельского хозяйства, расширение коммунального хозяйства вызывают интенсивный рост водопотребления. Повышаются требования к подготовке воды, как для питьевых нужд, так и для промышленного водоснабжения. В связи с этим, выбор методов обработки воды является доминирующим при проектировании новых и реконструкции старых станций подготовки воды [1].

На сегодняшний день существует немало методов очистки воды [2]. Также, с возрастанием антропогенной нагрузки на водоисточники растет список загрязняющих компонентов. Специфика и сложность водоподготовки заключаются в том, что каждый источник, содержит присущий только ему набор загрязнений [1]. Следовательно, исходные данные к проектированию сооружений водоочистки отличаются большим разнообразием, а подбор технологической схемы водоочистки становится довольно трудоемкой задачей.

Значительно упростить процесс подбора методов очистки воды может экспертная система – программа-«советчик», работающая на основе баз знаний экспертов в данной предметной области. В качестве исходной информации для создания такой системы выступают знания экспертов о ряде методов водоподготовки. Для каждого метода известны

производительность, условия применения, загрязняющие вещества, от которых метод способен очистить воду, а также экспертные оценки, основанные на полуэмпирических алгоритмах и экспериментальных данных, характеризующие степень очищения воды от какого-либо загрязнения.

### Описание экспертной системы PureWater

Схема потоков данных в экспертной системе PureWater представлена на рис. 1.

Знания о предметной области, полученные от эксперта, добавляются в базу знаний системы с помощью инженера по знаниям – посредника, с одной стороны понимающего все, что говорит эксперт, с другой – способного придать знаниям удобный вид [3]. Инженер по знаниям имеет прямой доступ к банку данных, то есть имеет возможность удалять, изменять или добавлять знания в систему.

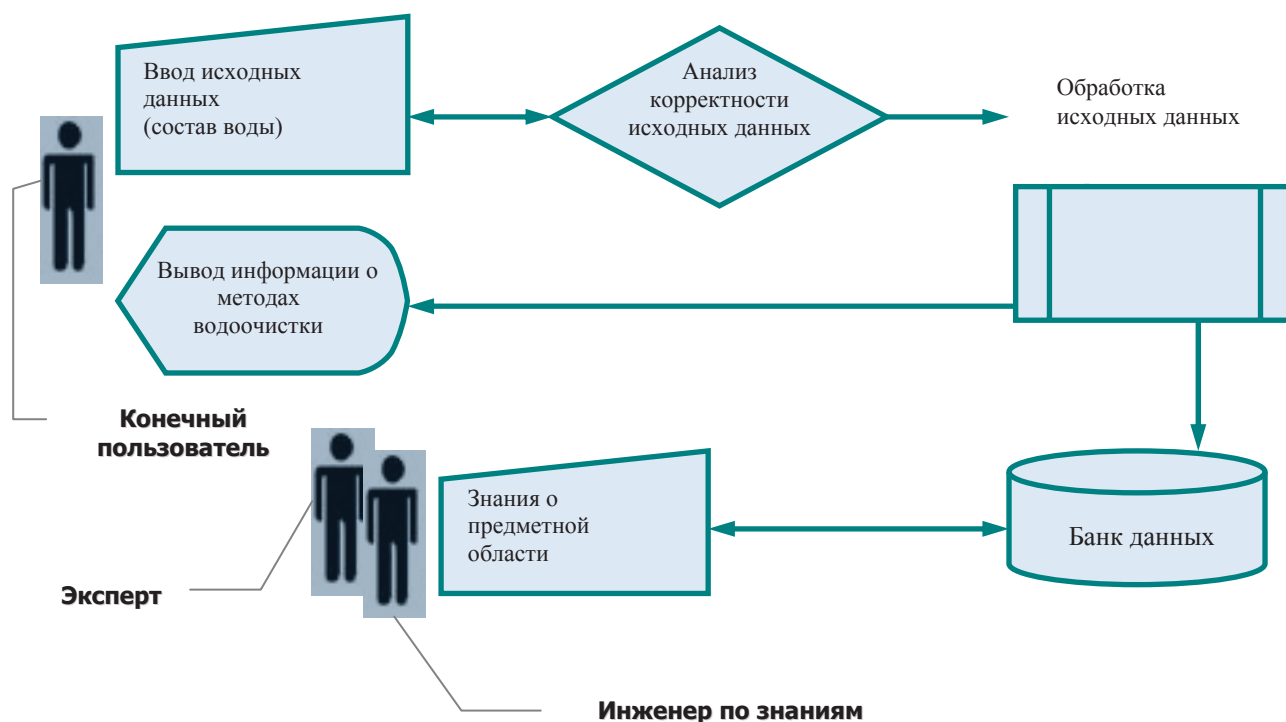


Рис. 1. Схема потоков данных в экспертной системе PureWater

Конечный пользователь вводит исходные данные о составе воды из какого-либо водоемного источника. В качестве исходных данных выступают характеристики источника: тип источника (река, озеро и т.д.), название источника, название ближайшего к месту забора пробы населенного

пункта. Также пользователю необходимо ввести известные ему концентрации загрязняющих веществ, значения показателей качества воды и предполагаемую производительность водоочистки. После анализа корректности введенных данных система либо передает их на обработку, либо выдает пользователю сообщение об ошибке. В блоке обработки исходных данных осуществляется процесс поиска решений. Система получает знания, необходимые для подбора подходящих методов водоочистки, из банка данных. В итоге пользователю выдается информация о подобранных методах водоподготовки, либо сообщается о том, что вода не требует очистки или о невозможности подобрать методы.

#### *Банк данных экспертной системы PureWater*

Банк данных экспертной системы (ЭС) PureWater представляет собой реляционную совокупность данных, включающую в себя базу знаний – совокупность всех имеющихся сведений о предметной области, для которой предназначена ЭС, – и базу данных – информацию о состоянии предметной области [3].

*База данных* (БД) экспертной системы PureWater содержит таблицы, характеризующие такие сущности, как: метод водоочистки, загрязняющий элемент, стадия водоподготовки, водоисточник, состав пробы воды. Инфологическая модель БД представлена на рис. 2.

Основными таблицами в БД являются таблицы «Метод водоочистки» и «Загрязняющий элемент», в которые заносится исходная информация о методах водоочистки, загрязняющих веществах и показателях качества воды. При заполнении таблицы «Загрязняющий элемент» также используется информация о ПДК загрязняющих веществ в питьевой воде из СанПиН 2.1.4.1074-01 [4].

В таблице «Метод относится к стадии» хранится информация о том, на какой стадии водоподготовки может применяться тот или иной метод. Сами стадии водоподготовки описаны в таблице «Стадия водоподготовки». В таблице «Состав пробы воды» пользователь при желании может сохранить введенные им исходные данные. В таблицах «Тип источника», «Ближайший населенный пункт» и «Водоисточник» сохраняется информация об источнике, когда-либо вводимая пользователем.

При заполнении *базы знаний* (БЗ) экспертной системы использовались знания о различных методах водоочистки, полученные в ходе научно-исследовательской работы сотрудников НИИ ВОДГЕО [1]. На рис. 3 представлен фрагмент бланка, содержащего знания о микрофильтрации. Столбец «ВХОД» характеризует ограничения на исходные данные при использовании метода. Столбец «ВЫХОД» – степень очищения воды (в % от входа). Если степень очищения задается минимальным и максимальным значениями, то в систему вносились данные о среднем значении.

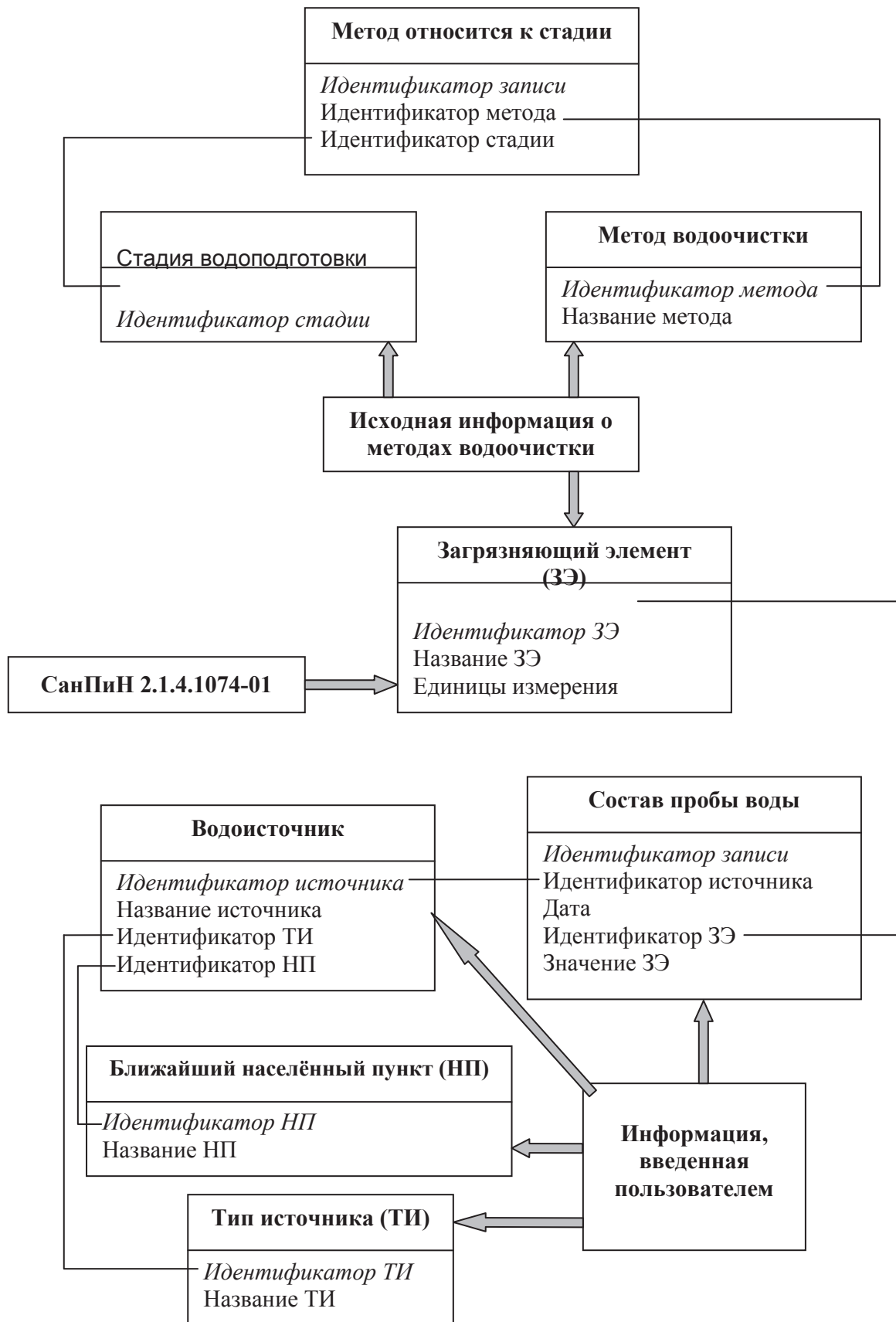


Рис. 2. Инфологическая модель базы данных экспертной системы PureWater

№ п/п	ВИД ОБРАБОТКИ		Единица измерения	ПДК СанПиН	ВХОД, мг/л		ВЫХОД, % от ВХ	
	1	2			3	4	5	6
1 000	ДЕГАЗАЦИЯ/ ДЕЗОДОРАЦИЯ							
1 001	Сероводород							
1 002	Углекислый газ							
1 003	Кислород							
2 000	ОСВЕТЛЕНИЕ И ОБЕСЦВЕЧИВАНИЕ							
2 001	Цветность		градусы	20	450		99	50
2 002	Мутность		мг/л	1,5	20		99	

Рис. 3. Фрагмент бланка, содержащего знания о микрофильтрации

Знания в базе знаний системы представлены в виде производственных правил 2 типов.

**1. ЕСЛИ (выполняются условия на вход), ТО (метод применим).**

Правила первого типа хранятся в таблице БЗ RULES и характеризуют условия применимости того или иного метода водоочистки. Левая часть правил формируется по следующему принципу:

(условие 1)V(условие 2)V...V(условие n),

где V – знак логического «И» (конъюнкции).

Например, из рис. 3 видно, что для применения микрофильтрации цветность воды не должна превышать 50 град, а мутность – 20 мг/л. Таким образом, левая часть правила записывается так: (4<50)V(5<20), где 4 и 5 – идентификаторы цветности и мутности в базе данных, соответственно.

**2. ЕСЛИ (применяется метод), ТО (очищает воду от загр. элемента)**

**И (степень очищения).**

Правила второго типа хранятся в таблице БЗ Осенка и описывают, какой метод очищает воду от каких загрязняющих веществ и с какой степенью очищения.

*Алгоритм принятия решения при подборе технологических цепочек методов водоочистки*

Блок-схема алгоритма принятия решения при подборе технологических цепочек представлена на рис. 4. Под технологическими цепочками понимаются возможные последовательности технологических методов водоочистки.

При подборе методов система принимает допущение о том, что на каждом шаге из подходящих методов всегда выбираются те, у которых степень очищения максимальна. Таким образом, подобранные системой технологические цепочки являются наиболее эффективными, качество воды становится удовлетворительным после применения наименьшего количества методов водоочистки.

Пользователь вводит исходные данные: известные ему показатели качества воды и концентрации загрязняющих веществ. Система анализирует введенную информацию и определяет, превышает ли значение какого-либо показателя качества значение, установленное нормативами, есть ли в воде загрязнения, концентрации которых больше ПДК. Если таких загрязнений нет, то выводится сообщение: «Вода не требует очистки».

Если такие компоненты есть, то для них проводится расчет относительного отклонения от ПДК (в %) по формуле:

$$\Delta = (C_{загр.} - ПДК_{загр.}) / ПДК_{загр.} \cdot 100, \quad (1)$$

где  $C_{загр.}$  – концентрация загрязнения (значение показателя качества);  $ПДК_{загр.}$  – значение ПДК [4].

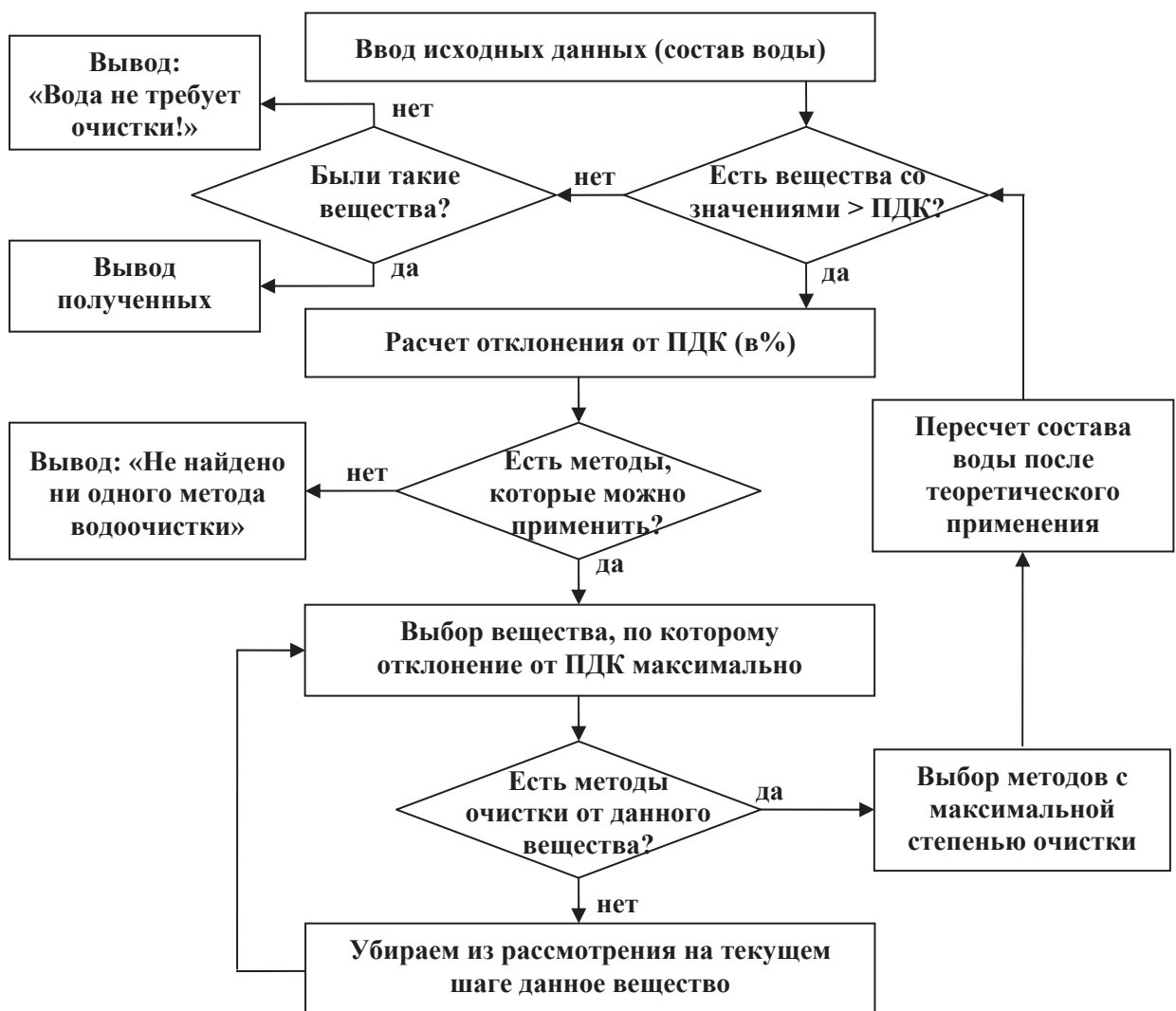


Рис. 4. Алгоритм принятия решения при подборе технологических цепочек

Затем проверяется, верны ли какие-либо правила из таблицы базы знаний RULES, то есть при данных начальных условиях возможно ли применить какие-либо методы. Если нет, то выводится сообщение о невозможности подобрать методы. Если подходящие методы есть, то



первым рассматривается загрязняющее вещество, для которого отклонение значения от ПДК максимально.

Из методов, для которых выполняются правила из таблицы базы знаний RULES, выбираются методы, которые способны очистить воду от данного загрязнения. Для этого анализируются правила из таблицы базы знаний Osenka. Если таких методов нет, то текущее вещество убирается из рассмотрения на данном шаге, система переходит к рассмотрению другого загрязняющего компонента.

Если существуют подходящие методы, то из них система выбирает те, степень очистки у которых наибольшая. Это может быть один, а может быть несколько методов, таким образом возникают альтернативные цепочки методов. Учитывая, что любой из методов водоочистки удаляет сразу несколько загрязняющих компонентов, для каждой цепочки пересчитывается состав воды, и заново осуществляется проверка необходимости дальнейшей очистки. Если ни одна цепочка не требует продолжения, то пользователю выводится список полученных последовательностей методов водоочистки.

После подбора альтернативных технологических цепочек пользователь может получить информацию о составе воды после теоретического применения каждого метода из какой-либо цепочки и таким образом может сам проследить, как меняется состав воды в ходе применения предложенной последовательности методов.

#### *Программная реализация экспертной системы PureWater*

Экспертная система была реализована с помощью объектно-ориентированной среды визуального программирования Borland Delphi 7. Для отладки работы экспертной системы был разработан ряд примеров-тестов, в которых по возможности было учтено разнообразие составов природных водоемов. На рис. 5 представлено окно ввода исходных данных ЭС PureWater, в котором пользователь может ввести известные ему показатели качества воды и концентрации загрязняющих веществ.

Экспертная система PureWater функционирует в двух режимах. Режим автоматического подбора технологических цепочек описан выше. Также возможна работа ЭС PureWater в режиме пошагового подбора методов. В этом случае на каждом этапе пользователю выводится список возможных методов, из которых он выбирает наиболее подходящий по его мнению. Для каждого возможного метода пользователь может получить информацию о примерном составе воды после теоретического применения данного метода.

На рис. 6 представлено основное окно программы после подбора технологических цепочек и окно, содержащее более подробную информацию о выбранной последовательности методов водоочистки.

PURE WATER. Ввод/редактирование исходных данных

Источник тип: река название: Ока

Название ближайшего населенного пункта: Орел

Производительность (м3/сут): любая Дата: 17.08.2008

Загрязняющие вещества и показатели качества воды:

50. Хром (Cr 6+) (мг/л)	
51. Цианиды (CN-) (мг/л)	
52. Цинк (Zn 2+) (мг/л)	18
53. ГХЦГ (линдан) (мг/л)	0,03
54. ДДТ (сумма изомеров) (мг/л)	0,12
55. 2,4-Д (мг/л)	
56. Азот аммонийный (мг/л)	4,3
57. Хлороформ (мг/л)	
58. Четыреххлористый углерод (мг/л)	
59. Диоксины (пг/л)	
60. Пестициды хлорорганические (нг/л)	
61. Пестициды фосфорорганические (нг/л)	
62. Водородный показатель (ед рН)	8,3

Ввод

Рис. 5. Окно ввода исходных данных ЭС PureWater

PURE WATER. Подбор методов водоочистки

Задача Данные Справка

Нажмите для просмотра примерного состава воды после применения методов

Ввод исходных данных

Коррекция данных

Подбор

1) 1-8-7-10-  
2) 1-9-7-  
3) 1-8-8-10-  
4) 1-9-8-

PURE WATER

1. Упрощенная аэрация  
2. Ультрафильтрация (реагентная)  
3. Микрофильтрация (Ц < 50 град М < 20 мг/л)

2. Ультрафильтрация (реагентная)

Цветность (градусы): 0.89 [99 %]  
Мутность (мг/л): 0.16 [99 %]  
Взвешенные вещества (мг/л): 0.05 [99 %]  
Окисляемость перманганатная (мг/л): 0.035 [99 %]  
Железо (Fe суммарно) (мг/л): 0.0014 [99 %]  
Жесткость общая (мг-экв./л): 0.08 [99 %]  
Общая минерализация (мг/л): 350  
Нефтепродукты (суммарно) (мг/л): 0.204 [74.5 %] (> ПДК = 0.1!)  
Запах (баллы): 0.003 [99 %]  
Привкус (баллы): 0.003 [99 %]  
Температура (0С): 20  
Коли индекс (кп/л): 0.05 [99 %]

OK

Рис. 6. Окно вывода информации о выбранной последовательности методов водоочистки



Работа выполнена при поддержке Федерального агентства по образованию РФ в рамках проекта по аналитической ведомственной целевой программе «Развитие научного потенциала высшей школы» (2009-2010 годы), грант № 2.1.1/2104.

1. Гельцер Ю.Г. Системотехнические основы жизненного цикла инженерных аквасооружений. – М.: СВР-АРГУС, 2006. – 280 с.
2. Водоподготовка: Справочник /Под ред. д.т.н., действительного члена Академии промышленной экологии С.Е. Беликова. – М.: Аква-Терм, 2007. – 240 с.
3. Дорохов И.Н., Меньшиков В.В. Системный анализ процессов химической технологии. Интеллектуальные системы и инженерное творчество в задачах интенсификации химических процессов и производств. – М.: Наука, 2005. – 582 с.
4. Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества: СанПиН 2.1.4.1074-01. – М., 2002.