

Р. Ф. Витковская Т. М. Портнова А. А. Гусев

Автоматизация управления процессом водоподготовки

Монография

Санкт-Петербург
2024

УДК 681.518:004.896:628.1
ББК 32.965:38.761.1
В54

Рецензенты:

доктор технических наук, профессор
Санкт-Петербургского горного университета императрицы Екатерины II
М. А. Пашкевич;

кандидат технических наук
Санкт-Петербургского государственного университета
промышленных технологий и дизайна
К. Н. Бусыгин

Витковская, Р. Ф.

В54 Автоматизация управления процессом водоподготовки: монография / Р. Ф. Витковская, Т. М. Портнова, А. А. Гусев. – Санкт-Петербург, ФГБОУ ВО «СПбГУПТД», 2024. – 101 с.

ISBN 987-5-7937-2630-6

В монографии рассмотрены методики выбора значимых технических параметров производственного процесса и управления технологическими процессами производства питьевой воды.

Представлена разработка алгоритма и модели построения и управления материальным ресурсным балансом водопроводной станции. Представлено тестирование прототипа базы данных системы интеллектуального управления технологическим процессом водоподготовки.

Коллектив авторов – известные специалисты в области техники и технологии процессов водоподготовки, эксплуатации производственных объектов и создании автоматизированного управления технологическими процессами. Под их руководством и в контакте с рядом организаций и фирм ведутся исследования как по разработке новых технологий с использованием искусственного интеллекта, так и по модернизации существующих процессов.

Предназначена для бакалавров и магистров очного и очно-заочного отделений, обучающихся по направлениям 20.03.01, 18.03.01, 20.04.01, аспирантов по специальности 2.6.13, 1.5.15 и специалистов в данной области.

УДК 681.518:004.896:628.1
ББК 32.965:38.761.1

ISBN 978-5-7937-2630-6

© ФГБОУ ВО «СПбГУПТД», 2024
© Витковская Р. Ф., 2024
© Портнова Т. М., 2024
© Гусев А. А., 2024

Оглавление

ВВЕДЕНИЕ.....	5
ТЕРМИНЫ, ОПРЕДЕЛЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ	7
1. РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ ПРОИЗВОДСТВА ПИТЬЕВОЙ ВОДЫ.....	10
1.1 Область применения.....	10
1.2. Теоретические основы разработки метода управления технологическими процессами производства питьевой воды	11
1.3. Методические подходы к разработке системы интеллектуального управления технологическими процессами производства питьевой воды.....	12
1.4. Описание технологических процессов и их взаимосвязей на примере сооружений двухступенной схемы водоподготовка.....	17
1.4.1. Общая характеристика объекта водоподготовки.....	17
1.4.2. Осветление	19
1.4.3. Обесцвечивание	19
1.4.4. Обеззараживание	29
1.4.5. Сорбция	29
ЗАКЛЮЧЕНИЕ ПО РАЗД. 1.....	37
2. РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ВЫБОРА ЗНАЧИМЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ПРОЦЕССА.....	38
2.1. Классификация параметров СИУ	39
2.2. Формирование слоя метаданных технических параметров производственного процесса производства питьевой воды	41
2.3. Описание массивов данных параметров производственного процесса	47
2.4. Выбор значимых технических параметров производственного процесса.....	55
ЗАКЛЮЧЕНИЕ ПО РАЗД. 2.....	57
3. РАЗРАБОТКА ПРОТОТИПА БАЗЫ ДАННЫХ СИСТЕМЫ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ПРОЦЕССОМ ВОДОПОДГОТОВКИ. РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА И МОДЕЛИ ПОСТРОЕНИЯ И УПРАВЛЕНИЯ МАТЕРИАЛЬНЫМ РЕСУРСНЫМ БАЛАНСОМ ВОДОПРОВОДНОЙ СТАНЦИИ....	58
3.1. Порядок формирования общей архитектуры базы данных для системы интеллектуального управления технологическим процессом водоподготовки	58
3.1.1. Параметры управления технологическим процессом водоподготовки	58
3.1.2. Параметры управления производственными затратами водоподготовки.....	63
3.1.3. Параметры оценки производственных затрат водоподготовки.....	64
3.2. Прототип базы данных и анализ результатов технологических параметров процесса водоподготовки.....	65

3.2.1. Формирование общей архитектуры базы данных с учетом дальнейшего применения моделей на основе линейных алгоритмов и нейросетей	65
3.2.2. Алгоритм и модели построения и управления материальным ресурсным балансом водопроводной станции.....	74
3.2.3. Тестирование и настройка прототипа базы данных оптимизационной модели технологических процессов водоподготовки	77
3.2.4. Off-line оптимизация для оценки потенциала возможных улучшений процесса. Модель построения и управления автоматизированной системой учета ресурсов (АСУР)	84
4. ТЕСТИРОВАНИЕ ПРОТОТИПА БАЗЫ ДАННЫХ СИСТЕМЫ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ПРОЦЕССОМ ВОДОПОДГОТОВКИ	95
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	97
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	100
ПРИЛОЖЕНИЕ А	101

ВВЕДЕНИЕ

Настоящая работа по созданию прототипа базы данных выполнена на основе ранее разработанных методик в рамках создания автоматизированной интеллектуальной системы управления процессом водоподготовки с учетом научных основ, реализованных проектов и опыта эксплуатации объектов водоподготовки.

В гл. 1 выявлены и описаны закономерности физико-химических процессов водоподготовки, взаимное влияние технологических параметров, методы выбора значимых параметров и способов их контроля. Использован процессный подход. Основной процесс производства питьевой воды разложен на его подпроцессы, определены контрольные точки и контрольные показатели, описаны и классифицированы управляемые и неуправляемые параметры, определены причинно-следственные связи.

В процессе исследования проводился сбор, анализ, классификация статистической информации по всем управленческим стадиям технологического процесса производства питьевой воды на основе системного анализа. В результате исследования была создана методика управления технологическими процессами производства питьевой воды. Выстроены технические, технологические и эксплуатационные взаимосвязи параметров технологических процессов производства питьевой воды. Основные конструктивные и технико-эксплуатационные показатели: выявлены основные параметры процесса, определены основные источники сбора информации, определены критические точки и контрольные показатели подпроцессов, определены зависимости между параметрами технологических процессов производства питьевой воды.

Результатом работы явилась разработка методика управления технологическими процессами производства питьевой воды. Эффективность внедрения методики «Управления технологическими процессами производства питьевой воды» определяются ее универсальностью. Методы и способы выбора параметров, классификация параметров технологических процессов могут быть рекомендованы для различных схем водоподготовки.

В гл. 2 определена архитектура взаимосвязи сбора данных для выбора значимых технических параметров технологических процессов. Сформирована классификация параметров СИУ. Разработан алгоритм выбора значимых технических параметров для базовых технологических и смежных процессов производственного цикла на предприятии.

В процессе исследования массива базы данных значимые параметры были структурированы в слои метаданных и выстроены логические модели взаимосвязей между ними, атрибутов, мер и измерений методом корреляционного анализа.

В результате исследования была создана методика, включающая в себя сценарии приема, преобразования, загрузки данных и построения логической модели, описывающей семантическую модель данных в терминах предметной области и логику, структуру и взаимосвязи данных и параметров.

Основные конструктивные и технико-эксплуатационные показатели: создано единое представление данных, что обеспечивает хранение информации, организованной по определенным правилам, и обработка с применением корреляционного анализа.

Степень внедрения – создана аналитическая основа для интеграции информации автоматизированных внутренних и внешних систем (системы сбора и прогноза метеорологических данных, информационно измерительных систем, обеспечивающих интеграцию информации для обеспечения мониторинга энергетических потоков с возможностью обеспечения мониторинга текущих показаний). Создан интерфейс обмена между системами в реальном режиме времени. При использовании структурного подхода применена матрица технологических процессов водоподготовки и связи между ними. Для каждого участка системы построены материальный и водный балансы, которые затем объединяются в общее описание объекта и выбор значимых технических параметров производственного процесса с классификацией параметров технологических процессов водоподготовки.

Результаты выполненных исследований, описанных в гл. 1 и 2 обосновывают утверждение, что параметры производственного процесса разделяются на два типа:

- параметры управления технологическим процессом водоподготовки;
- параметры управления производственными затратами водоподготовки.

В методике сформулированы принципы выбора массива данных и определен порядок формирования баз данных по каждому типу.

Одна из основных задач настоящей методики – формирование понимания у специалистов отрасли и студентов профильных учебных заведений того, что при построении модели управления производственным процессом водоподготовки важным является следующее.

Определяющим при выборе параметров является не абсолютное значение входных параметров, но совокупность показателей входа и выхода процесса, когда оптимальный результат достигается посредством выбора режимов, обеспечивающих наилучшее качество при оптимальных затратах.

В методике представлены результаты исследований (гл. 4) по определению области улучшения параметров производства питьевой воды на основе оптимизационной модели управления технологическим процессом водоподготовки и созданию прототипа базы данных для системы интеллектуального управления технологическим процессом водоподготовки.

ТЕРМИНЫ, ОПРЕДЕЛЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ

В настоящей монографии применяют следующие термины с соответствующими определениями и сокращениями.

Анализ – метод научного исследования путём рассмотрения отдельных сторон, свойств, составных частей чего-нибудь.

База данных (БД) – совокупность данных, организованных в соответствии с концептуальной структурой, описывающей характеристики этих данных и взаимоотношения между ними.

Массив данных – структура данных, хранящая набор значений (элементов массива), идентифицируемых по индексу или набору индексов.

Интеллектуальное управление – методы управления, которые используют различные подходы искусственного интеллекта, такие как искусственные нейронные сети, нечеткая логика, машинное обучение, эволюционные вычисления и генетические алгоритмы.

Человеческий фактор – многозначный термин, описывающий возможность принятия человеком ошибочных или алогичных решений в конкретных ситуациях.

Входной процесс – множество входных воздействий, которые изменяются с течением времени.

Выходной процесс – результат предшествующего процесса, последовательно связанный с данным процессом.

Управляемые входные параметры – независимые параметры, которые удобно измерять и контролировать, а также оценивать по ним значения параметров рабочего процесса и осуществлять необходимые их ограничения.

Неуправляемые входные параметры – параметры, которыми система управления варьировать не может (качественные показатели воды водоемника, природные явления, техногенные факторы и т. п.).

Контролируемые технологические параметры – параметры, по значениям которых осуществляется оперативное управление технологическим процессом, а также его пуск и остановка. К таким параметрам относятся все режимные и выходные параметры, а также входные параметры, при изменении которых в объект будут поступать возмущения. Обязательному контролю подлежат параметры, значения которых регламентируются технологической картой.

Контролируемые обязательные показатели качества воды – показатели качества питьевой воды, значения которых нормированы санитарным законодательством.

Переходный процесс системы – множество преобразований начального состояния и входных воздействий в выходные величины, которые изменяются с течением времени по определенным правилам.

Математическая модель – описание какого-либо реального процесса или некоторой исследуемой ситуации на языке математических понятий, формул и отношений.

Виртуальный датчик – модель датчика параметров, измеряемых в процессе лабораторных исследований.

Нейронные сети – искусственные, многослойные высокопараллельные (т. е. с большим числом независимо параллельно работающих элементов) логические структуры, составленные из формальных нейронов.

Аналитическое моделирование – косвенное описание моделируемого объекта с помощью набора математических формул. При этом предполагается использование математической модели реального объекта в форме алгебраических, дифференциальных, интегральных и других уравнений, связывающих выходные переменные с входными параметрами.

Адекватная математическая модель – соответствие модели моделируемому объекту или процессу. Модель считается адекватной, если отражает заданные свойства с приемлемой точностью. Точность определяется как степень совпадения значений выходных параметров модели и объекта.

Хлоропоглощение воды – представляет собой разность между количеством введенного в обеззараживаемую воду хлора и его концентрацией в воде через некоторый промежуток времени.

Осветление воды – удаление взвешенных частиц, содержащихся в воде.

Обесцвечивание воды – удаление из воды коллоидных и растворенных примесей, окрашивающих воду.

Обеззараживание воды – технологические процессы, в ходе которых происходит инаktivация микроорганизмов и вирусов, вызывающих инфекционные заболевания.

Сорбция – физико-химические процессы поглощения твердыми сорбентами примесей (молекул, ионов) из воды. При сорбции происходит поглощение и концентрирование веществ из раствора на поверхности и в порах сорбента.

ГАУ – гранулированный активированный уголь.

Доза УФ – доза ультрафиолетового облучения.

КИП – контрольно-измерительные приборы.

НИОКР – научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы.

ПАУ – порошкообразный активированный уголь.

KPI – ключевые показатели эффективности.

ТП – технологический процесс.

APC (Advanced Process Control) – система расширенного (усовершенствованного) управления.

АИИСКУЭ – автоматизированная информационно-измерительная система коммерческого учета электроэнергии.

АИС УАО – автоматизированная информационная система учета атмосферных осадков.

ЕХД – единое хранилище данных технологической информации.

ИС – информационная система. Информационная система данных водного баланса.

Корреляция, корреляционная зависимость – статистическая взаимосвязь двух или более параметров. При этом изменения значений одного или нескольких из этих параметров сопутствуют систематическому изменению значений другой или других величин.

Корреляционный анализ – метод, позволяющий обнаружить зависимость между несколькими параметрами.

КЦСИС – корпоративная цифровая сеть с интеграцией служб предприятия.

ПК СИУМУ – программный комплекс системы измерения, учета, мониторинга и управления технологическими процессами на предприятии.

СИУ – система интеллектуального управления.

Реляционная база данных – это реализация реляционной модели (модели данных) на физическом уровне.

Система управления базами данных (СУБД) – специализированное программное обеспечение, обеспечивающее доступ к базе данных как к совокупности её структурных единиц.

Ядро – компонент базы данных, отвечающий за управление данными во внешней и оперативной памяти и журнализацию.

Индекс – это объект, который существует только в структуре конкретной таблицы (или представления).

Transact-SQL – процедурное расширение языка *SQL*, созданное компанией *Microsoft* (для *Microsoft SQL Server*).

Транзакция — группа последовательных операций с базой данных, которая представляет собой логическую единицу работы с данными.

АСУР – автоматизированная система учета ресурсов.

СИУ ППВ – система интеллектуального управления технологическими процессами производства питьевой воды.

1. РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ ПРОИЗВОДСТВА ПИТЬЕВОЙ ВОДЫ

Настоящая технология управления технологическими процессами производства питьевой воды разработана на основе ряда законодательных актов Российской Федерации в области требований к качеству питьевой воды, строительных норм и правил, содержащих рекомендации по организации производства питьевой воды, научных достижений в области создания систем интеллектуального управления производственными процессами, производственных регламентов станций водоподготовки.

Метод определяет порядок создания системы управления технологическими процессами производства питьевой воды на основании процессного подхода.

В технологии определены технические, технологические, эксплуатационные и экономические взаимосвязи параметров технологических процессов производства питьевой воды, обоснован выбор управляемых параметров для сооружений водоподготовки, определены требования к исходной статистической информации для дальнейшей разработке базы данных технологических процессов производства питьевой воды, изложены основные принципы построения зависимостей параметров технологических процессов от качества и объема исходной воды.

Метод предназначен для предприятий (организаций) водопроводно-канализационного хозяйства, эксплуатирующих централизованные системы коммунального водоснабжения городов и населенных пунктов и носит рекомендательный характер.

1.1. Область применения

Важнейшей задачей водоснабжения является гарантированное обеспечение населения питьевой водой, качество которой отвечает требованиям санитарного законодательства. Наряду с обязательствами ресурсоснабжающей организации перед потребителем в части качества питьевой воды требуется управлять производственным процессом, исключая случаи непроизводительных затрат.

Основная сложность создания интеллектуальной системы управления сводится к тому, что производство питьевой воды имеет комбинированный характер зависимостей, что расширяет задачи при описании технологических процессов.

Для устранения негативных последствий фактора субъективного выбора значений параметров производства, а также для целей эффективного использования ресурсов необходимо разработать автоматизированную систему интеллектуального управления технологическим процессом, основанную на принципах такого научного направления, как системный анализ. Большие возможности предоставляют встроенные в систему управления процессами функции усовершенствованного управления процессами (*Advanced Process Control, APC*), которые математически описывают сложные взаимосвязи параметров процесса. Это направление объединяет целый ряд методов и алгоритмов, таких как построение моделей, прогнозирующее управление, моделирование пространства состояний и т. п.

Создание метода управления технологическими процессами производства питьевой (далее – Метод) воды создает предпосылки для обеспечения, следующего:

- стабилизации эксплуатационных показателей технологического оборудования и оптимизации режимных параметров технологических процессов;
- диагностики и предупреждения возникновения аварийных ситуаций;
- повышения производительности и качества продукции;
- создания системы быстрого планирования основных показателей;
- усовершенствования эффективности использования оборудования и приборов КИП;
- диагностики и определения причин отклонений параметров процесса от желаемых значений.

1.2. Теоретические основы разработки метода управления технологическими процессами производства питьевой воды

Управление производством – сложная задача, требующая участия специалистов различных областей знаний. По мере усложнения производственных процессов и развития наукоемких технологий в условиях повышения требований к качеству питьевой воды при соблюдении условия оптимизации производственных затрат возросла роль лица, принимающего решение, роль человека как носителя системы ценностей, критериев принятия решений, целостного восприятия.

В ходе решения подобных, комплексных проблем широко используются понятия «система», «системный подход», системный анализ». Наиболее конструктивным из направлений системных исследований в настоящее время считается системный анализ, занимающийся применением методов и моделей теории систем для практических ее приложений к задачам управления.

Важная функция системного анализа – работа с целями, организация процесса целеобразования, т. е. исследование факторов, влияющих на цель, формулирование, структуризация и декомпозиция обобщающей цели.

При изучении фундаментальных основ научного направления «Системный анализ» при сравнении с основными принципами и закономерностями научных и прикладных основ процесса производства питьевой воды была выявлена сопоставимость процессов системы – совокупность последовательных изменений состояния системы для достижения цели:

- входной процесс,
- выходной процесс,
- переходный процесс системы.

В соответствии с научными основами системного анализа производство питьевой воды классифицируется как сложная большая система со следующими характеристиками:

- большие размеры,
- сложная иерархическая структура,
- циркуляция в системе больших информационных, энергетических и материальных потоков,
- высокий уровень неопределенности в описании системы.

По характеру поведения производство питьевой воды относится к системе с управлением. Система считается человеко-машинной, когда человек принимает окончательное решение, а средства автоматизации лишь помогают ему в обосновании правильности выбранного решения.

Все вышеизложенное определило работу по разработке Метода для дальнейшего формирования базы данных и создания автоматизированной системы интеллектуального управления производства питьевой воды по следующим направлениям:

- выбор методов и создание адекватной модели процесса производства питьевой воды;
- описание и обоснование взаимосвязей и научных основ технологического процесса водоподготовки;
- определение требований к исходной статистической информации для формирования базы данных системы интеллектуального управления (СИУ) технологическим процессом водоподготовки.

1.3. Методические подходы к разработке системы интеллектуального управления технологическими процессами производства питьевой воды

Систему интеллектуального управления (далее – СИУ) технологическими процессами производства питьевой воды необходимо относить к классу боль-

ших организационно-технических человеко-машинных систем. К их существенным особенностям можно отнести:

- сложность поведения;
- иерархичность структуры управления;
- многоцелевой характер управления;
- большой период жизни и эволюции.

При создании такого рода систем целесообразно использовать системный подход. Подход, при котором объект автоматизации расчленяется на составные части, его свойства и особенности функционирования определяются как результат объединения свойств и особенностей функционирования его частей, не является оптимальным. В больших системах оптимальное построение отдельных элементов, как правило, не обеспечивает оптимальное функционирование всей системы в целом.

Основной концепцией системного подхода является сосредоточение внимания на построении системы как единого целого, отвечающего поставленным перед системой целям. При этом представляется целесообразным составляющие системы управления технологическими процессами производства питьевой воды рассматривать во взаимосвязи до того, как будет уточнена их сущность или организация подсистем. Поэтому на этапе концептуальных проработок системы интеллектуального управления технологическими процессами производства питьевой воды и ее составных элементов необходимо исследовать объект автоматизации лишь с позиций, соответствующих наиболее общим целям и задачам системы автоматизированного управления.

При разработке системы интеллектуального управления технологическими процессами производства питьевой воды основное внимание целесообразно уделять следующим аспектам:

- точному определению исходных параметров и их систематизации;
- выбору целевых параметров (выходные) и выявлению зависимостей с исходными (входными);
- созданию базы данных исходных параметров за длительный период времени;
- сопряжению с другими системами автоматического управления предприятия;
- возможности поэтапного наращивания глубины и объема автоматизации;
- возможности обслуживания и последующей модернизации силами предприятий без привлечения организации разработчика.

Система интеллектуального управления (СИУ) технологическими процессами производства питьевой воды включает в себя информационную и организационную базы. Под внутримашинной информационной базой понимает-

ся информационная база, работающая непосредственно на серверах СИУ. Под немашинной информационной базой понимается часть информационной базы, представляющая собой совокупность документов, предназначенных для непосредственного восприятия человеком без применения средств вычислительной техники (классификаторы технической информации, документы, методические инструктивные материалы и т. п.).

В состав внутримашинной информационной базы данных должны входить все существующие параметры, регистрируемые в автоматизированной системе управления технологическими процессами, в системе автоматизированного управления основными фондами, системами мониторинга и отдельными датчиками.

Все параметры внутримашинной информационной базы должны делиться на четыре основные группы:

- параметры, характеризующие систему интеллектуального управления технологическими процессами водоподготовки в целом;
- параметры, характеризующие технологические процессы участков водоподготовки;
- параметры, характеризующие технологические процессы смежных автоматизированных систем предприятия, например, почасовые планы водоснабжения, планы энергоснабжения, время наработки оборудования т. п.;
- параметры мониторинга внешних к технологическим процессам автоматизированных систем, например, метеоданные.

Все параметры, характеризующие систему интеллектуального управления технологическими процессами производства питьевой воды в целом, и параметры, характеризующие технологические процессы участков водоподготовки, должны делиться на три основные группы:

- выходные параметры;
- входные параметры, которые можно изменять в процессе управления (например, расход исходной воды);
- входные параметры без возможности изменения в процессе управления (например, мутность сырой воды).

Выходные параметры должны иметь:

- наименование, раскрывающее назначение в технологическом процессе;
- единицу измерения;
- оптимальное значение (число);
- допустимый диапазон изменения (минимальное значение – максимальное значение).

Входные параметры, которые можно изменять в процессе управления должны иметь:

- наименование, раскрывающее назначение в технологическом процессе;
- единицу измерения;
- диапазон изменения в процессе управления (минимальное значение – максимальное значение).

Входные данные без возможности изменения в процессе управления должны иметь:

- наименование, раскрывающее назначение в технологическом процессе;
- единицу измерения;
- диапазон изменения (минимальное значение – максимальное значение).

Для всех параметров должны быть указаны:

- источник данных (например, АСУТП, журнал учета на бумажном носителе, суточный отчет в электронном виде);
- способ сбора (ручной, автоматический);
- период сбора (например, один раз в сутки, четыре раза в час, мониторинг с обновлением информации каждые 15 с).

СИУ должна быть интегрирована со следующими информационными системами предприятия и внешними информационными системами:

- автоматизированная информационно-измерительная система коммерческого учета электроэнергии;
- единое хранилище данных технологической информации;
- информационная система «Водный баланс»;
- программный комплекс измерения, учета, мониторинга и управления водоснабжением города;
- автоматизированная информационная система учета атмосферных осадков.

Необходимость интеграции с автоматизированной информационной системы учета атмосферных осадков обоснована влиянием наличия и интенсивности осадков, силы и направления ветра на неконтролируемые параметры сырой воды, требующие изменения дозы реагентов.

Для возможности группировки параметров по трем вышеописанным группам и поиску взаимозависимостей между ними предлагается использовать современные цифровые технологии на основе нейронных сетей. Искусственные нейронные сети представляют собой класс нелинейных регрессионных моделей, включающий в себя большое количество параметров, соединенных различным способом, обладающих интерполяционными и экстраполяционными свойствами, позволяющими на информационном уровне моделировать поведение сложных объектов и систем. Т. е. при анализе взаимодействия большого

количества параметров построенная нейронная сеть позволяет по виду функции отнести процесс к множеству надежных процессов. Под надежным процессом понимается процесс, соответствующий требованиям законодательства, а также имеющий лучшие показатели результативности, эффективности по сравнению с эталонным.

На первом этапе собирается фактический статистический материал о параметрах, характеризующих процесс. Таким образом, каждый процесс однозначно характеризуется определенным набором входных параметров (X) – его количественными и качественными характеристиками. Нормированную величину выходных характеристик – вектор качества – можно рассматривать как значение функции принадлежности к множеству надежных процессов, качество которых характеризуется как низкое, надлежащее или высокое, принимающее значения – 1, 2, 3. На основе накопленной и обработанной статистической информации обученная нейронная сеть позволит прогнозировать состояние технологического процесса и быстро рассчитывать показатели эффективности.

Достоинство предложенного подхода заключается в том, что значимость технических параметров определяется на основе конкретного статического материала и может уточняться в дальнейшем при эксплуатации системы. Нейронная классификация позволяет корректно обращаться с неопределенно (интервально, нечетко) заданными характеристиками. Эффективность метода по объему обучающих выборок превосходит известные статистические методы.

Для повышения эффективности работы СИУ технологическими процессами производства питьевой воды целесообразно следующее:

- разработать и внедрить подсистему виртуальных датчиков, выдающих в систему управления непрерывные данные на основе модели датчика параметров, измеряемых в процессе лабораторных исследований;
- разработать и внедрить автоматизированную систему управления основными фондами предприятия.

Данные автоматизированной системы управления основными фондами предприятия обеспечивают предсказание аварийных ситуаций СИУ технологическими процессами производства питьевой воды и выявление связи отклонения выходных параметров водоподготовки с неисправностью технологического оборудования и его элементов.

Внемашинная база данных содержит следующие документы:

- должна быть представлена следующая техническая информация:
 - 1) общая технологическая схема водоподготовки;
 - 2) схема автоматизации;
 - 3) технологический регламент производства питьевой воды (описание алгоритма);
 - 4) технологические схемы всех сооружений водоподготовки;

5) схема автоматизации технологических участков;

6) регламент работы технологических участков (описание алгоритма);

– в состав базы данных должны входить следующие регламенты:

1) регламенты функционирования всех сотрудников сооружений водоподготовки;

2) регламенты взаимодействия сооружений водоподготовки со всеми связанными оперативными службами (например, аварийные службы, службы материально-технического обеспечения, оперативными диспетчерскими службами).

Должны быть определены дополнительные руководящие и информационные документы, включаемые в состав базы данных, необходимые для реализации системы поддержки принятия решения (например, приказы, руководства, ГОСТы, СП, СН, СанПиН и другие государственные нормативные правовые акты, структурные схемы комплекса технических средств, принципиальные электрические схемы, планы расположения оборудования, спецификация оборудования, инструкции по эксплуатации комплекса технических средств с указанием перечня настроечных параметров и рекомендаций по их изменению и т. п.).

На начальном этапе выбора информации для формирования базы данных определяются входные и выходные параметры качества обрабатываемой воды. При этом в качестве исходных данных выбираются те показатели качества воды водоисточника, значения которых:

– превышают предельно допустимые требования к качеству питьевой воды, нормируемые санитарным законодательством Российской Федерации;

– влияют на параметры режимов обработки воды (температура, хлоропоглощение, щелочность и т. д.),

– претерпевают изменения при реагентной обработке воды (содержание алюминия, концентрация активного хлора и т. д.).

Качественные характеристики воды следует учитывать по всем этапам технологических процессов производства питьевой воды в целях своевременной оценки эффективности каждого процесса и оперативного реагирования на нештатные ситуации.

К исходным данным следует относить и производственные задания по выходному с водопроводной станции давлению и объемам подаваемой воды.

1.4. Описание технологических процессов и их взаимосвязей на примере сооружений двухступенной схемы водоподготовки

1.4.1. Общая характеристика объекта водоподготовки

Технология водоподготовки изображена на *рис. 1.1*, состоит из следующих процессов:

- забор воды из поверхностного источника;
- подъем воды из шахт водоприемного колодца насосными агрегатами 1-го подъема;
- транспортировка воды по водоводам на очистные сооружения;
- предварительное окисление воды – озонирование;
- на очистных сооружениях осветление с реагентной обработкой хлопьеобразования;
- тонкослойное отстаивание с интенсификацией процесса хлопьеобразования;
- фильтрация через двухслойные фильтры с инертно-сорбционной загрузкой;
- водо-воздушная система обратной промывки фильтров;
- первичное обеззараживание хлораминами;
- сбор и хранение питьевой воды в резервуарах чистой воды;
- забор воды из резервуаров чистой воды насосными агрегатами 2-го подъема и подача ее в городскую сеть с заданным напором;
- вторая ступень обеззараживания на станциях УФ-обеззараживания.

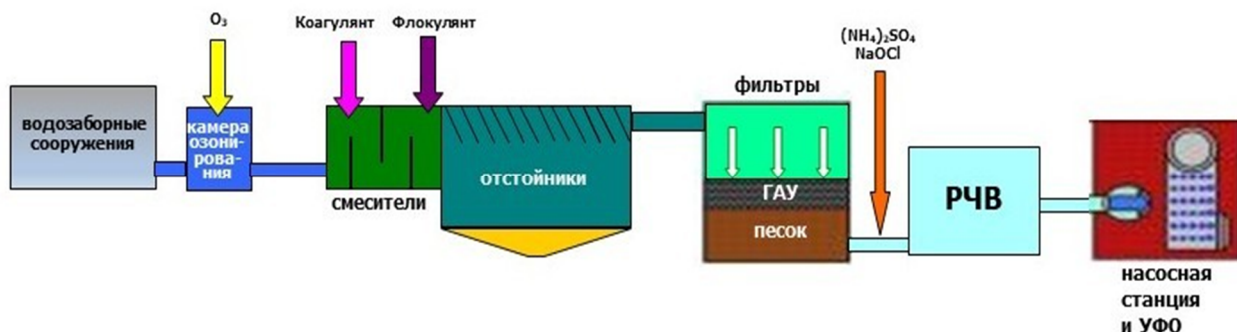


Рис. 1.1. Технология объекта водоподготовки

На *рис. 1.2* отображена карта технологических процессов производства питьевой воды с указанием зависимостей между входными и выходными данными и определением ресурсов.

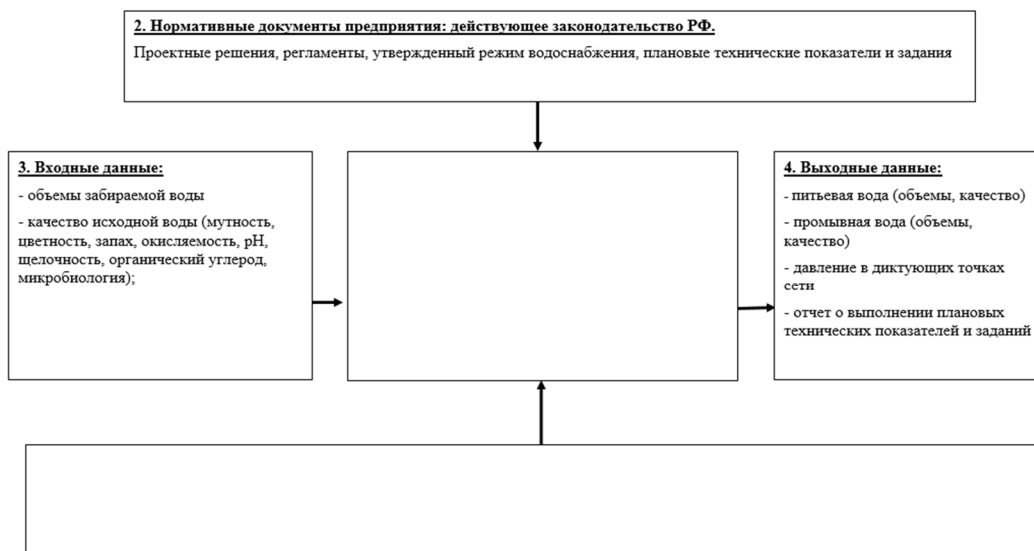


Рис. 1.2. Карта технологических процессов производства питьевой воды

1.4.2. Осветление

Под осветлением понимают удаление взвешенных частиц, содержащихся в воде. Размер удаляемой частицы колеблется от видимых глазу до близких по размеру к коллоидным частицам. Удаляемые методом осветления частицы могут либо уже находиться в воде, либо появиться в воде на предшествующих стадиях ее химической обработки. На карте процесса «осветления воды» (рис. 1.3) схематично представлен объект водоподготовки. Вода из источника водоснабжения проходит по технологии двухступенной очистки на сооружениях седиментации (отстойники) и фильтрации (скорые фильтры), обеспечивается введением в обрабатываемую воду коагулянта и флокулянта.

В табл. 1.1 идентифицированы значимые факторы влияющие на выходные параметры процесса «Осветление воды», способы сбора информации.

1.4.3. Обесцвечивание

Под обесцвечиванием понимают удаление из воды коллоидных и растворенных примесей, окрашивающих воду.

Цветность воде придают два вида загрязнений:

- коллоидные вещества (мельчайшие частицы глины, цисты простейших организмов, бактерии, макромолекулы и т. д.);
- растворенные вещества (органические вещества (ОВ), соли, газы и т. д.).

Цветность водоисточника – это ее природное свойство, характеризующееся наличием вымываемых из почвы гуминовых веществ. Эти вещества появляются в почве в результате разложения органических соединений, а также синтеза микроорганизмами особого вещества, присущего только почве – гумуса.

Сам по себе гумус коричневого цвета, поэтому вещества, входящие в его состав, придают воде коричневый окрас. На количество таких веществ, в первую очередь, влияют характер почвы, геологические условия, а также наличие поблизости с водоемом торфяников и болот. Незначительное количество гуминовых веществ попадает в водоем непосредственно при разрушении микроорганизмами водорослей. Чем выше содержание гуминовых веществ в воде, тем интенсивнее выражается ее цвет.

На *рис. 1.4* представлена карта процесса «Обесцвечивание воды», в котором графически показан алгоритм управления технологическим процессом.

В *табл. 1.2* идентифицированы значимые факторы, влияющие на выходные параметры процесса «Обесцвечивание воды», способы сбора информации.



Рис. 1.3. Карта процесса «Осветление воды»

Таблица 1.1. Управление процессом «Осветление воды»

Подпроцесс	Контролируемый показатель	Параметр	Причинно-следственные связи	Способ выбора данных для создания адекватной модели
Осаждение (седиментация)	Качество исходной воды	Мутность, цветность, окисляемость, pH, щелочность	Оптимальность условий протекания процесса осветления обеспечивается коагуляционным осаждением. Оптимальность дозы коагулянта имеет прямую зависимость от исходных характеристик качества воды	Статистический. Для решения уравнения регрессии с учетом режимных карт на конкретных водопроводных сооружениях
	Эффективность работы отстойника	Высота осадка	На существующих сооружениях удаления накопленного осадка осуществляется 2 раза в год. Уровень осадка необходимо контролировать	Расчетный, с учетом высоты зоны седиментации отстойников
		Мутность осветленной воды, растворенный алюминий	Эффективность работы сооружений первой ступени оценивается по интегральному показателю «мутность». Значение показателя зависит от следующего: 1) корректно выбранных доз коагулянта и флокулянта с учетом качества исходной воды; 2) оптимальности скоростного режима работы сооружений; 3) уровня осадка в отстойнике	Статистический

Продолжение табл. 1.1

Подпроцесс	Контролируемый показатель	Параметр	Причинно-следственные связи	Способ выбора данных для создания адекватной модели
	Массовая доля катионного акриламида на соответствие ТУ	Концентрация мономера акриламида, мг/дм ³	Контроль осуществляется с целью оценки рисков при обеспечении безвредности производимой питьевой воды. Значение показателя влияет на выбор параметров на стадии приготовления рабочего раствора или дозирующего оборудования (в случае если не предусмотрено приготовление рабочего раствора), учитывается при определении прямых затрат	Требования определены условиями договора на поставку реагента, способы контроля – в технических условиях и аттестованных методиках определения контролируемого показателя
Предварительное озонирование воды	Эффективность отстаивания	Доза озона, мутность воды на выходе первой ступени	Контроль осуществляется в связи с выявленным эмпирическим методом зависимости эффекта осветления воды от дозы озона вследствие ухудшения процесса коагуляции. При увеличении дозы озона вследствие ухудшения процесса происходит с образованием мелкодисперсных частиц	Статистический. Доза озона устанавливается в соответствии с рекомендациями технологической карты
Возврат осветленной промывной воды в начало технологического процесса водоподготовки	То же	Мутность неочищенной промывной воды после усреднителя и отстаивания. Расход возврата осветленной промывной воды в голову сооружений. Доза флокулянта	Контроль осуществляется в целях исключения риска снижения эффекта осветления обрабатываемой воды, контроль состояния сооружений и технологических параметров обработки промывной воды	Требования определены проектными решениями

Продолжение табл. 1.1

Подпроцесс	Контролируемый показатель	Параметр	Причинно-следственные связи	Способ выбора данных для создания адекватной модели
Фильтрация	Качество фильтрованной воды	Мутность, остаточный алюминий	Эффективность работы сооружений оценивается по показателям «мутность», остаточный алюминий». На показатели оказывают влияние: 1. Эффективность работы первой ступени (отстойник). 2. Оптимальность выбранных доз коагулянта и флокулянта. 3. Оптимальность режима промывки фильтровального сооружения 4. Оптимальность скоростного режима работы фильтровального сооружения. 5. Состояние фильтрующей загрузки и дренажной системы	Статистический. Проектные решения
	Длительность фильтрации	Время в часах между промывками фильтра	Параметр влияет на прямые затраты: расход воды на собственные нужды, энергозатраты. Может оцениваться как фактор риска неудовлетворительного качества производимой продукции. На показатели оказывают влияние: 1. Эффективность работы первой ступени (отстойник). 2. Оптимальность выбранных доз коагулянта и флокулянта	То же

Окончание табл. 1.1

Подпроцесс	Контролируемый показатель	Параметр	Причинно-следственные связи	Способ выбора данных для создания адекватной модели
			3. Оптимальность режима промывки фильтровального сооружения. 4. Оптимальность скоростного режима работы фильтровального сооружения. 5. Состояние фильтрующей загрузки и дренажной системы	
	Эффективность промывки	Мутность на всех стадиях промывки	Динамика промывки фильтра считается удовлетворительной, если характеризуется резким увеличением мутности промывной воды на 1-2 мин промывки и последующим плавным снижением показателя до уровня не более 2 мг/дм ³ без сброса первого фильтрата и не более 10 мг/дм ³ при сбросе первого фильтрата. Состояние дренажной системы и фильтрующей загрузки. Техническое состояние промывного насоса	Статистический. Проектные решения
	Техническое состояние фильтрующей загрузки	Гранулометрический состав. Высота загрузки	Отклонение параметров от определенных проектом решений исключают возможность обеспечения эффективности работы сооружений, негативно влияют на все параметры фильтрации, включая прямые эксплуатационные затраты	Параметры определены проектными решениями

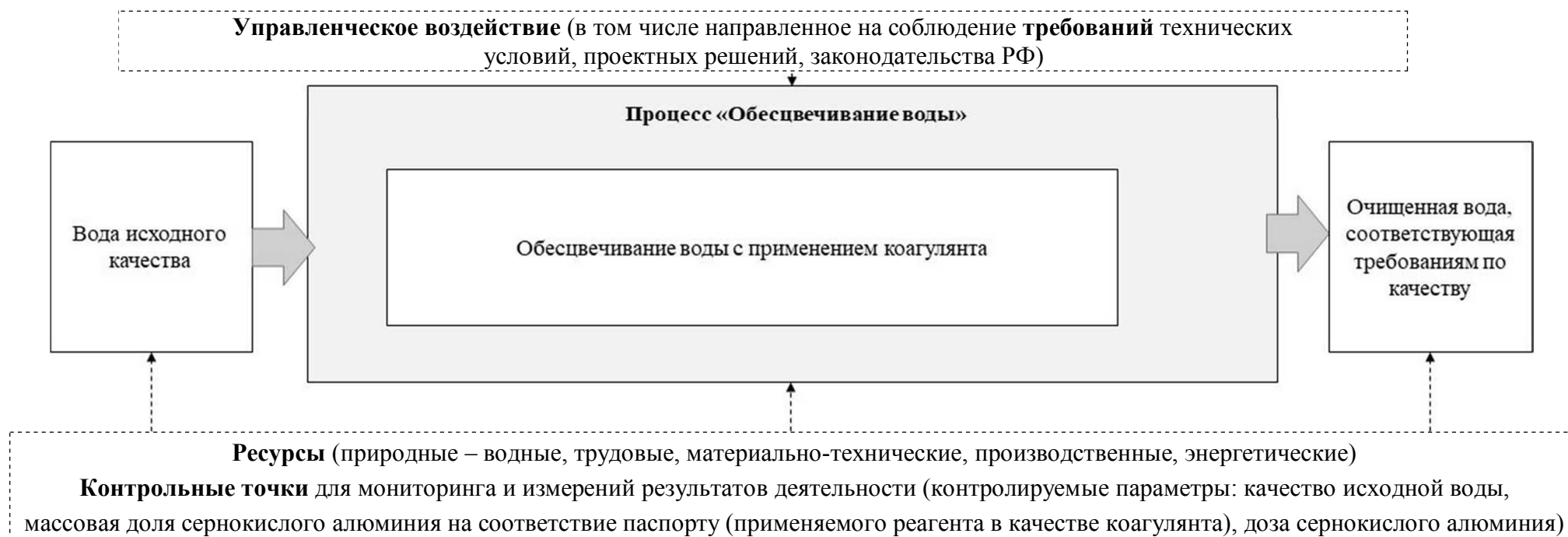


Рис. 1.4. Карта процесса «Обесцвечивание воды»

Таблица 1.2. Управление процессом «Обесцвечивание воды»

Подпроцесс	Контролируемый показатель	Параметр	Причинно-следственные связи	Способ выбора данных для создания адекватной модели
Обесцвечивание воды с применением коагулянта	Качество исходной воды	Мутность, цветность, окисляемость, pH, щелочность, органический углерод	Оптимальность дозы коагулянта имеет прямую зависимость от исходных характеристик качества обрабатываемой воды	Статистический. Для решения уравнения регрессии с учетом режимных карт на конкретных водопроводных сооружениях
	Массовая доля сернистого алюминия на соответствие паспорту (применяемого реагента в качестве коагулянта)	Концентрация оксида алюминия, %	Контроль осуществляется с целью оценки рисков при обеспечении безвредности производимой питьевой воды. Значение показателя влияет на выбор параметров на стадии приготовления рабочего раствора или дозирующего оборудования (в случае, если не предусмотрено приготовление рабочего раствора), учитывается при определении прямых затрат	Требования определены условиями договора на поставку реагента, способы контроля – в технических условиях и аттестованных методиках определения контролируемого показателя
	Доза сернистого алюминия	Разность между щелочностью коагулированной и некоагулированной воды ммоль/дм ³ . pH коагулированной воды	Существует зависимость между дозой сернистого алюминия по активному веществу и разностью между щелочностью коагулированной и некоагулированной воды. Соответствие устанавливается на основании результатов лабораторного пробного коагулирования	Статистический, основанный на результатах практики и научных основах процесса
		Электропроводность коагулированной и некоагулированной воды, растворенный алюминий, мг/дм ³	При отклонении от заданного параметра необходимо изменить расход подаваемого реагента. При уменьшении разности расход коагулянта необходимо увеличить, при увеличении разности расход коагулянта нужно уменьшить	

Окончание табл. 1.2

Подпроцесс	Контролируемый показатель	Параметр	Причинно-следственные связи	Способ выбора данных для создания адекватной модели
			Сернокислый алюминий снижает pH воды. Рабочий диапазон pH для реагента – 6,0-6,7	
			Оптимальным диапазоном значений pH воды, в границах которого эффективность процесса коагуляции для сернокислого алюминия наибольшая – 6,4-6,5. В этом случае практически на уровне 100 % идет образование гидроксида алюминия, что положительно влияет на эффективность процесса осветления воды на действующих сооружениях. В случае увеличения показателя «цветность» более 50° требуется увеличение дозы коагулянта, что приводит к снижению pH обрабатываемой воды и, как следствие, увеличению содержания растворенного алюминия в обработанной воде. В этом случае следует решать вопрос с изменением гидравлической нагрузки на сооружения	

1.4.4. Обеззараживание

В основу гигиенических требований к качеству питьевой воды положен принцип, ставящий в центр внимания то качество воды, от которого зависят здоровье и условия жизни человека. На основе этого принципа была сформулирована триада гигиенических требований к питьевой воде: она должна быть безопасной в эпидемиологическом и радиационном отношении, безвредной по химическому составу и иметь благоприятные органолептические свойства. Важным компонентом воды, с позиции влияния на здоровье человека, являются биологически живые объекты, представленные бактериями, вирусами и простейшими. Вода может явиться причиной массовых болезней. Основное требование, которое должно обеспечиваться при обеззараживании воды, это отсутствие в ней возбудителей заболеваний.

В технологии водоподготовки, представленной в методике, процесс обеззараживания организован в две ступени: реагентным методом – гипохлоритом натрия с предварительной аммонизацией и безреагентным физическим методом ультрафиолетового обеззараживания воды.

На *рис. 1.5* представлена карта процесса «Обеззараживание воды», в котором графически показан алгоритм управления технологическим процессом.

В *табл. 1.3* идентифицированы значимые факторы, влияющие на выходные параметры процесса «Обеззараживание воды», способы сбора информации.

1.4.5. Сорбция

Сорбционная очистка воды – физико-химические процессы поглощения твердыми сорбентами примесей (молекул, ионов) из воды. При сорбции происходит поглощение и концентрирование веществ из раствора на поверхности и в порах сорбента. Движущей силой этого процесса является разность химических потенциалов вещества в свободном и адсорбированных состояниях. Сорбционная очистка воды используется для извлечения из природных вод органических соединений, как правило, (фенолы, нефтепродукты, различные запахи, привкусы, токсичные вещества).

Сорбционная очистка воды – это высокоэффективный метод глубокого очищения. При сорбции устраняются вредные химические соединения и примеси за счет того, что частицы связываются между собой из-за силы молекулярного взаимодействия. Уникальность сорбционной очистки воды состоит в том, что с помощью сорбционных материалов можно очистить воду от таких органических веществ, которые не удалялись с помощью других методов.



Рис. 1.5. Карта процесса «Обеззараживание воды»

Таблица 1.3. Управление процессом «Обеззараживание воды»

Подпроцесс	Контролируемый показатель	Параметр	Причинно-следственные связи	Способ выбора данных для создания адекватной модели
Хлорирование воды с предварительной аммонизацией	Массовая доля гипохлорита натрия на соответствие регламента	Концентрация активного хлора, г/дм ³	Контроль осуществляется с целью оценки рисков при обеспечении безвредности производимой питьевой воды. Значение показателя влияет на выбор параметров на стадии приготовления рабочего раствора или дозирующего оборудования (в случае, если не предусмотрено приготовление рабочего раствора), учитывается при определении прямых затрат	Требования определены условиями договора на поставку реагента, способы контроля – в технических условиях и аттестованных методиках определения контролируемого показателя. Показатель может быть определен на основании проектных и эксплуатационных решений
	Массовая доля сульфата аммония на соответствие ТУ	Массовая доля иона аммония в растворе сульфата аммония	Контроль осуществляется с целью оценки рисков при обеспечении безвредности производимой питьевой воды. Значение показателя влияет на выбор параметров дозирующего оборудования (учитывается при определении прямых затрат)	Требования предусмотрены в регламенте на применения сульфата аммония в технологии преаммонизации воды для сооружений водоподготовки. Концентрация активного вещества должна быть 38 %
	Доза хлора и соотношения хлор:аммиак	Концентрация остаточного хлора в точке ввода реагента. Концентрация аммиака и ионов аммония. Концентрация остаточного хлора на выходе с водопроводной станции	Контроль осуществляется в целях обеспечения эффекта обеззараживания воды и требований нормативных документов по содержанию остаточных концентраций реагента активного хлора на выходе с сооружений	Статистический, основанный на результатах практики и научных основах процесса. При введении в обрабатываемую воду порошкообразного активированного угля следует учитывать увеличение хлоро- поглощения до 30 %

Окончание табл. 1.3

Подпроцесс	Контролируемый показатель	Параметр	Причинно-следственные связи	Способ выбора данных для создания адекватной модели
Ультрафиолетовое обеззараживание воды	Доза УФ облучения.	Интенсивность излучения Качество воды (мутность, цветность, окисляемость), соблюдение сроков очистки кварцевых чехлов, время наработки бактерицидных ламп	Контроль осуществляется в целях обеспечения эффекта ультрафиолетового обеззараживания воды.	Статистический, основанный на результатах практики и научных основах процесса и требований технологического регламента
	Гидравлическая нагрузка на УФ установку	Расход воды, тыс. м ³ /ч	Контроль осуществляется в целях обеспечения эффекта ультрафиолетового обеззараживания воды. Значение показателя влияет на обеспечение нормативной дозы УФ облучения.	Расчетная нагрузка указана в технологическом регламенте
	Качество питьевой воды	Мутность, цветность, окисляемость мг/дм ³ , коэффициент светопропускания %	Тоже	Диапазон значений показателей указан в технологическом регламенте

Сорбция как процесс перемещения вещества в пространстве зависит от соотношения размеров адсорбируемых молекул и пор сорбента.

Сорбционная очистка воды осуществляется либо в режиме фильтрации через гранулированный сорбент, либо при контакте воды и порошкообразного сорбента с перемешиванием (5–15 мин). В качестве фильтров-адсорберов используют скорые фильтры с высотой загрузки сорбента 1,5–2,5 м (в одну – две ступени) и скоростью фильтрации 5–8 м/ч.

Сорбентами выступают пористые твердые материалы, эффективность которых определяется величиной удельной поверхностью. Сорбционной способностью материала называют емкость и определяют ее в зависимости от того, сколько загрязнителей, которые можно нейтрализовать с помощью данного количества сорбента.

В качестве сорбента чаще всего используют активированный уголь. Он особо эффективен за счет своей структуры: в нем присутствуют микропоры и субмикропоры, величина которых зависит от того, какой тип сырья выбран, а также от процесса активации.

Сорбционная очистка воды является одним из самых эффективных способов удаления нефтепродуктов, токсичных веществ, улучшения запаха, вкуса, цвета воды. В некоторых случаях сорбционная очистка показывает наилучшие результаты по сравнению с остальными способами очищения воды. Это касается удаления различных органических примесей, которые по ряду причин могут оставаться в воде даже после фильтрации с помощью других фильтров. Уникальность технологии сорбционной очистки воды заключается в способности молекул сорбентов вступать в реакцию даже с теми примесями, которые содержатся в воде в крайне малых количествах.

На *рис. 1.6* представлена карта процесса «Сорбция воды», в котором графически показан алгоритм управления технологическим процессом.

В *табл. 1.4* идентифицированы значимые факторы, влияющие на выходные параметры процесса «Сорбционная обработка воды», способы сбора информации.

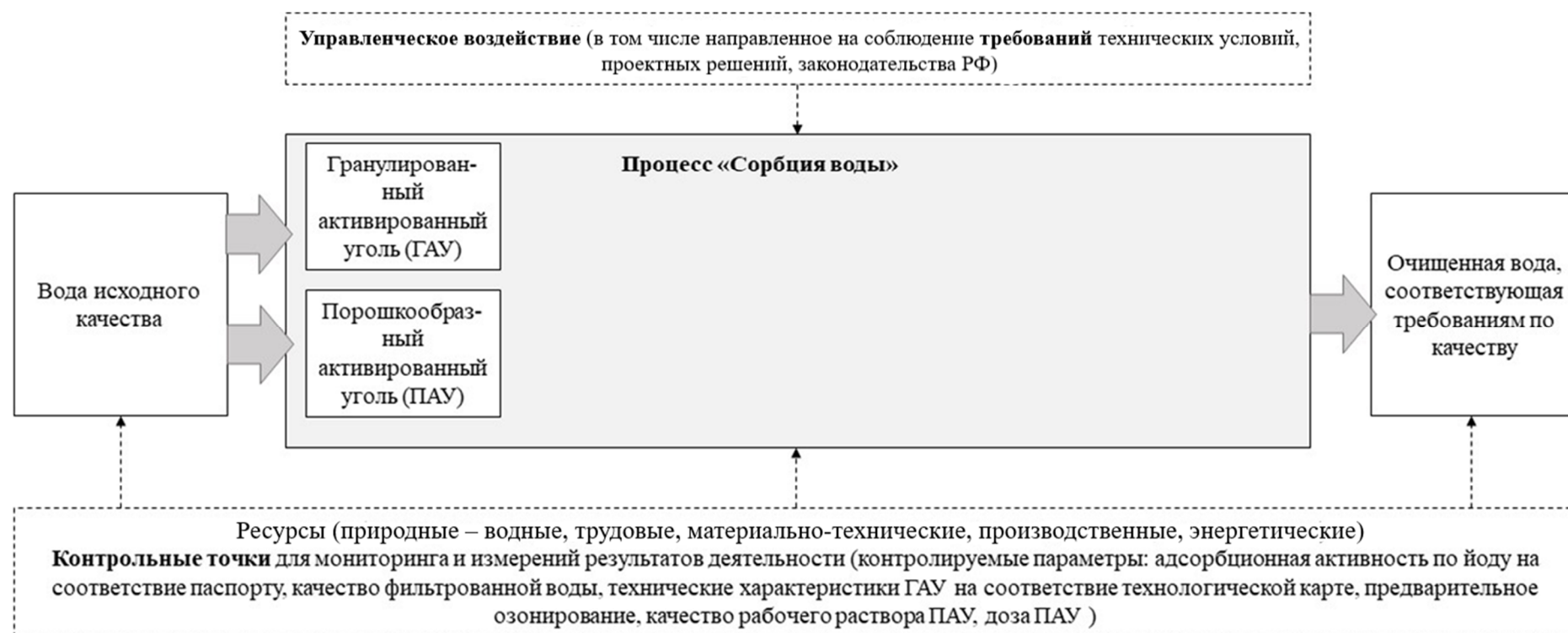


Рис. 1.6. Карта процесса «Сорбция воды»

Таблица 1.4. Управление процессом «Сорбционная обработка воды»

Подпроцесс	Контролируемый показатель	Параметр	Причинно-следственные связи	Способ выбора данных для создания адекватной модели
Сорбция на гранулированном активированном угле	Адсорбционная активность по йоду на соответствие паспорту	Показатели сорбционной активности, наличие сторонних примесей, механической прочности	Контроль осуществляется в целях обеспечения эффекта сорбционной обработки, исключения риска ухудшения качества питьевой воды в технологии двухслойного фильтрования, исключения риска попадания в питьевую воду токсичных веществ	Показатели качества ГАУ предусмотрены проектными требованиями
	Качество фильтра	«Цветность», «окисляемость», «запах», «нефтепродукты»	Оценивается изменение показателей качества воды, поступающей на фильтрацию. Контроль состояния сорбента. Определение срока замены или реактивации материала	Статистический. Диапазон % изменения определен проектными решениями в зависимости от эффективности работы сооружений первой ступени
	Технические характеристики ГАУ на соответствие технологической карте	Высота фильтрующего слоя ГАУ (по проекту на К-6 1,2 м). Гранулометрический состав сорбционной загрузки. Значение механической прочности	В случае значительного отклонения показателей от проектных решений высокий риск снижения эффективности сорбционной очистки и попадания остатков материала в питьевую воду в виде угольной пыли	Показатели определены проектными решениями
	Преозонирование воды	Доза озона	Эффективность удаления веществ одорантов и нефтепродуктов обеспечивается процессом озонсорбции	Показатель определен на основании статистических данных с учетом возможного негативного влияния на процесс осветления

Окончание табл. 1.4

Подпроцесс	Контролируемый показатель	Параметр	Причинно-следственные связи	Способ выбора данных для создания адекватной модели
Сорбция на гранулированном активированном угле	Качество рабочего раствора	Концентрация ПАУ % в рабочем растворе	Контроль осуществляется в целях обеспечения расчетных доз сорбента и управления параметрами дозирующего оборудования	Значение показателей определены требованиями технологического регламента
	Доза ПАУ	Концентрация нефтепродуктов в воде на выходе с очистных сооружений не более 0,1 мг/дм ³ . Показатель запах в воде на выходе с водопроводной станции в пределах средне-статистических значений	Контроль осуществляется в целях обеспечения эффективности сорбционного процесса	Значение показателей определены требованиями санитарного законодательства

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ПО РАЗД. 1

Производство питьевой воды – это комплекс технологических производственных процессов, направленных на получение продукции соответствующей стандартам качества, нормируемых санитарным законодательством Российской Федерации, из исходного сырья, коим является вода водоисточника.

Управление технологическими процессами производства питьевой воды имеет 4 основных функции – планирование, исполнение, контроль, корректировка (действия).

Управление технологическими процессами производства питьевой воды осуществляется на основании выявленных и описанных в методике закономерностей физико-химических процессов водоподготовки, взаимного влияния технологических параметров, методов выбора значимых параметров и способов их контроля.

В соответствии с процессным подходом основной процесс производства питьевой воды разложен на его подпроцессы, определены контрольные точки и контрольные показатели, описаны и классифицированы управляемые и неуправляемые параметры, определены причинно-следственные связи, сформирован массив данных для дальнейшего формирования базы данных.

Разработанный метод может являться базовой основой для формирования базы данных производства питьевой воды с иными технологическими процессами.

2. РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ВЫБОРА ЗНАЧИМЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ПРОЦЕССА

Настоящая методика выбора значимых технических параметров процесса производства питьевой воды разработана на основе научных достижений в области создания систем интеллектуального управления, обеспечивающих прогнозирующее управление производственными процессами.

Традиционные методы управления технологическими процессами, как правило, основанные на *PID*-регуляторах, в сложных процессах, таких как производство питьевой воды, наталкиваются на свои границы.

Большие возможности предоставляют встроенные в систему управления процессами функции расширенного (усовершенствованного) управления процессами (*Advanced Process Control, APC*), которые математически описывают сложные взаимосвязи параметров процесса.

Система расширенного управления технологическим процессом решает, по сути, две задачи:

- за короткое время вычислить оптимальный режим для технологического процесса;
- удерживать технологический процесс в рамках оптимального режима, оперативно предупреждая и устраняя отклонения от него.

Это направление (*APC*) в системах интеллектуального управления основано на построении эмпирических моделей.

Эмпирические модели наиболее близко соответствуют формализации действий высококвалифицированного технолога (эксперта) по управлению технологическим процессом.

В этих моделях исследуемый реальный процесс представляется как «черный ящик» с неизвестными зависимостями входных и выходных параметров объекта управления.

Эмпирические данные наиболее точно и достоверно характеризуют реальность.

Эффективность использования эмпирических данных во многом определяют эффективность модели. Эффективность использования эмпирических данных в первую очередь связана с выбором значимых технических параметров из всего массива измеренных параметров в СИУ. Методика определяет порядок создания системы управления технологическими процессами производства питьевой воды на основании процессного подхода.

В методике определены технические, технологические, эксплуатационные и экономические взаимосвязи параметров технологических процессов производства питьевой воды, обоснован выбор управляемых параметров для сооружений водоподготовки, определены требования к исходной статистической информации для дальнейшей разработке базы данных технологических процессов производства питьевой воды, изложены основные принципы построения зависимостей параметров технологических процессов от качества и объема исходной воды.

Методика предназначена для предприятий (организаций) водопроводно-канализационного хозяйства, эксплуатирующих централизованные системы коммунального водоснабжения городов и населенных пунктов, и носит рекомендательный характер.

2.1. Классификация параметров СИУ

СИУ технологическими процессами водоподготовки выстроена в соответствии со структурой технологических процессов, степень централизации управления и степень автономности уровней управления соответствуют степени автономности технологических процессов.

Главной задачей при разработке алгоритмов системы управления технологическими процессами на предприятии является определение значимых технических параметров.

Выбор значимых технических параметров производственного процесса целесообразно начать с классификации параметров СИУ технологическими процессами водоподготовки.

Параметры, воздействующие на технологические процессы водоподготовки, делятся на следующие:

- контролируемые (измеряемые в соответствии с общепринятой шкалой и задаваемые определенными уровнями);
- неконтролируемые (воздействия на системы, которые находятся вне нашего контроля).

Все контролируемые параметры информационной базы СИУ делятся на четыре основные группы:

- параметры, характеризующие систему интеллектуального управления технологическими процессами водоподготовки в целом;
- параметры, характеризующие технологические процессы участков водоподготовки;
- параметры, характеризующие технологические процессы смежных автоматизированных систем предприятия, например, почасовые планы расхода реагентов, планы энергопотребления, время наработки оборудования т. п.;
- параметры мониторинга внешних к технологическим процессам автоматизированных систем, например, метеоданные.

Все параметры, характеризующие систему интеллектуального управления технологическими процессами водоподготовки в целом, и параметры, характеризующие технологические процессы участков водоподготовки, подразделяются на три основные группы:

- выходные параметры;
- входные параметры, которые можно изменять в процессе управления (например, доза реагента);
- входные параметры без возможности изменения в процессе управления (например, мутность водоисточника).

Выходные параметры информационно указывают:

- наименование, раскрывающее назначение в технологическом процессе;

- единицу измерения;
- оптимальное значение (число);
- допустимый диапазон изменения (минимальное значение – максимальное значение).

Входные параметры, которые можно изменять в процессе управления, включают:

- наименование, раскрывающее назначение в технологическом процессе;
- единицу измерения;
- диапазон изменения в процессе управления (минимальное значение – максимальное значение).

Входные данные без возможности изменения в процессе управления имеют:

- наименование, раскрывающее назначение в технологическом процессе;
- единицу измерения;
- диапазон изменения (минимальное значение – максимальное значение).

Подход, при котором объект автоматизации расчленяется на составные части, его свойства и особенности функционирования определяются как результат объединения свойств и особенностей функционирования его частей, не является оптимальным. В больших системах оптимальное построение отдельных элементов, как правило, не обеспечивает оптимальное функционирование всей системы в целом.

Следовательно, основной алгоритм управления СИУ технологическими процессами водоподготовки должен основываться на представлении единой системы управления технологическими процессами водоподготовки в целом. При этом выходные параметры технологических процессов могут быть исключены из списка значимых. Отнесение таких параметров к списку значимых описывается в следующем разделе.

Алгоритм управления строится таким образом, что при прекращении обмена информацией между смежными технологическими процессами и/или с верхними уровнями управления локальная автоматика воспринимает изменения режимов работы смежных процессов как внешние возмущающие воздействия, которые компенсируются внутренними резервами системы управления технологических процессов. В этом режиме работы алгоритм управления СИУ технологическими процессами водоподготовки определяется как результат объединения свойств и особенностей функционирования всего производства водоподготовки.

В этом режиме работы выходные параметры одного технологического процесса являются входными к смежному по порядку следования производственного процесса. Следовательно, выбор значимых технических параметров необходимо осуществлять для каждого отдельного технологического процесса.

2.2. Формирование слоя метаданных технических параметров производственного процесса производства питьевой воды

2.2.1. Архитектура взаимосвязи сбора данных, носителей предметной области, измерений, глубина архивов на примере предприятия водоподготовки

Архитектура взаимосвязи сбора данных формируется как основа создания реляционной базы данных в целях последующего применения этой базы данных в системе интеллектуального управления процессами водоподготовки.

Реляционная база данных представляет собой совокупность отношений, содержащих всю информацию, которая должна храниться в базе данных. База данных представляет набор таблиц, необходимых для хранения всех данных. Таблицы реляционной базы данных логически связаны между собой.

Четкое описание функциональных зависимостей параметров технологических процессов водоподготовки лежит в основе создания реляционной базы данных.

Следует учесть тот факт, что база данных создается для производственного процесса водоподготовки с уже определенной последовательностью технологических процессов, состава очистных сооружений и оборудования, методов контроля, выбора и способов получения и архивации параметров водоподготовки.

Руководствуясь теорией выбора ключей при создании реляционной базы данных, ниже представлена архитектура взаимосвязи сбора данных для технологических процессов. Ключам присвоено название технологического процесса. Таким образом решается вопрос при создании автоматизированной системы интеллектуального управления процессом водоподготовки оценки и выбора параметров каждого имеющегося в системе технологического процесса, определяя его входные и выходные параметры.

Ключ № 1 – осветление воды

Таблица 2.1. Значимые технологические параметры качества воды водоисточника

Параметры	Единицы измерения
Температура	$^{\circ}\text{C}$
Мутность	мг/дм^3
Цветность	$^{\circ}\text{C}$
Перманганатная окисляемость	мг/дм^3
рН	единицы рН
Щелочность	ммоль/дм^3
Органический углерод	мг/дм^3
Метеоданные (осадки, направление ветра)	—

Таблица 2.2. **Функциональные зависимости параметров качества воды водоисточника и параметров технологического процесса**

Параметры качества воды водоисточника	Параметры технологического процесса	Источники выбора параметров технологического процесса
Температура. Мутность. Цветность. Перманганатная окисляемость. рН. Щелочность. Органический углерод	Доза коагулянта	Массив данных, результаты пробных лабораторных процессов, режимные карты
	Доза флокулянта	То же
	Гидравлическая нагрузка на сооружения	Фактическое водопотребление на текущие сутки, часовая нагрузка на технологическую линию
	Техническое состояние сооружений	Массив данных производственного процесса
	Доза озона	Массив данных, режимные карты

Таблица 2.3. **Эффективность работы сооружений в зависимости от выбранных параметров**

Параметры технологического процесса	Параметры качества осветленной воды. 1-я ступень – осажде- ние	Показатели технологического процес- са. Параметры качества. 2-я ступень – фильтрация
Доза коагулянта. Доза флокулянта. Гидравлическая нагрузка. на сооружения. Доза озона. Высота осадка	Мутность. Цветность. рН. Перманганатная окисляемость. Растворенный алюминий	Мутность. Цветность. рН. Перманганатная окисляемость. Остаточный алюминий. Органический углерод. Фильтроцикл

Таблица 2.4. **Значимые технологические параметры качества воды водоисточника**

Параметры	Единицы измерения
Температура	$^{\circ}\text{C}$
Мутность	мг/дм^3
Цветность	$^{\circ}\text{C}$
Перманганатная окисляемость	мг/дм^3
рН	единицы рН
Щелочность	ммоль/дм^3
Органический углерод	мг/дм^3
Метеоданные (осадки, направление ветра)	—

Таблица 2.5. **Функциональные зависимости параметров качества воды водоисточника и параметров технологического процесса**

Параметры качества воды водоисточника	Параметры технологического процесса	Источники выбора параметров технологического процесса
Температура. Мутность. Цветность. Перманганатная окисляемость. рН. Щелочность. Органический углерод	Доза коагулянта Доза озона	Массив данных, результаты пробных лабораторных процессов, режимные карты

Таблица 2.6. **Эффективность работы сооружений в зависимости от выбранных параметров**

Параметры технологического процесса	Параметры качества обесцвеченной воды
Доза коагулянта →	Цветность. рН. Перманганатная окисляемость. Остаточный алюминий
Доза озона →	

Ключ № 3 – обеззараживание воды хлорирование с предварительным аммонированием

Таблица 2.7. Значимые технологические параметры качества воды водоисточника, сооружений

Параметры	Единицы измерения
Температура	$^{\circ}\text{C}$
Хлоропоглощение водоисточника	мг/дм^3
Хлоропоглощение сооружений	мг/дм^3
Метеоданные (осадки, направление ветра)	–
Микробиологические показатели (ОКБ, ТКБ, ОМЧ, СКК)	КОЕ

Таблица 2.8. Функциональные зависимости параметров качества воды водоисточника, сооружений и параметров технологического процесса

Параметры качества воды водоисточника	Параметры технологического процесса	Источники выбора параметров технологического процесса
Температура. Хлоропоглощение водоисточника. Хлоропоглощение сооружений. Микробиологические показатели (ОКБ, ТКБ, ОМЧ, СКК)	Доза активного хлора. Доза аммиака	Массив данных, результаты пробных лабораторных процессов, режимные карты

Таблица 2.9. Эффективность работы сооружений в зависимости от выбранных параметров

Параметры технологического процесса	Параметры качества обеззараженной воды
Доза активного хлора. Доза аммиака	Концентрация остаточного активного хлора. Концентрация аммиака и ионов аммония. Микробиологические показатели качества обеззараженной воды

Ключ № 4 – обеззараживание воды методом ультрафиолетового обеззараживания

Таблица 2.10. Значимые технологические параметры качества воды, подаваемой на установки ультрафиолетового обеззараживания

Параметры	Единицы измерения
Мутность	мг/дм ³
Цветность	⁰ С
Окисляемость	мг/дм ³
Коэффициент светопропускания	%

Таблица 2.11. Функциональные зависимости параметров качества воды и параметров технологического процесса

Параметры качества воды водоисточника	Параметры технологического процесса	Источники выбора параметров технологического процесса
Мутность. Цветность. Окисляемость	Гидравлическая нагрузка на УФ установку. Количество работающих установок. Доза УФ облучения. Интенсивность излучения	Массив данных, основанный на результатах практики и научных основах процесса и требований технологического регламента

Таблица 2.12. Эффективность работы сооружений в зависимости от выбранных параметров

Параметры технологического процесса	Параметры качества обеззараженной воды
Гидравлическая нагрузка на УФ установку. Количество работающих установок. Доза УФ облучения Интенсивность излучения	Микробиологические показатели качества обеззараженной воды

Таблица 2.13. Эффективность работы сорбента в зависимости от выбранных параметров и фактической сорбционной активности гранулированного активированного угля

Параметры состояния сорбционной загрузки	Параметры качества воды после обработки ГАУ
Показатели сорбционной активности (йодное число). Высота фильтрующего слоя ГАУ (по проекту). Гранулометрический состав сорбционной загрузки. Значение механической прочности. Доза озона	Цветность. Окисляемость. Запах. Нефтепродукты

Таблица 2.14. Эффективность работы сорбента в зависимости от выбранных параметров и фактической сорбционной активности порошкообразного активированного угля

Параметры процесса сорбции	Параметры качества воды после обработки ПАУ
Показатели сорбционной активности. Доза ПАУ. Доза активного хлора	Запах. Нефтепродукты. Остаточный хлор

2.3. Описание массивов данных параметров производственного процесса

Структура массивов входных и выходных данных, поступающих в БД для создания автоматизированной системы интеллектуального управления технологическими процессами на примере процессов обесцвечивания и обеззараживания воды при водоподготовке, представлены на *рис. 2.1* и *2.2*.

Дополнительная информация в базу данных для создания автоматизированной системы интеллектуального управления производства питьевой воды поступает из внешних и смежных источников информации.

Дата	Мутность водоисточни- ка	Цветность водоисточни- ка	Мутность осветленно- й воды	Параметры мутности после линий осветления				Мутность чистой воды	Цветность чистой воды	Расход сырой воды по водоводу 5, м3/ч	Расход сырой воды по водоводу 6, м3/ч	Суммарный расход сырой воды, м3/ч	Расход сырой воды по линиям с 1-4, м3/ч				Расход озона по линиям с 1-4, кг/ч				Фильтроцикл	Промывка	температура	Доза коагулянта	Доза флокулянта
				Мутность после 1-ой линии осветлени	Мутность после 2-ой линии осветлени	Мутность после 3-й линии осветлени	Мутность после 4-й линии осветлени						Линия 1	Линия 2	Линия 3	Линия 4	Линия 1	Линия 2	Линия 3	Линия 4					
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26

Рис. 2.1. Заголовок таблицы технологического процесса обесцвечивания воды

Дата	периодичность	Качество водоисточника							ХП сооруж.	Реагенты				выход УФО							
		ХП Нева	Темп. °С	мутность	цветность	окисл. перманг.	ОМЧ	ОКБ		гипохлорит натрия уд. норма	концентрация гипохлорита	сульфат аммония уд. норма	концентрация	Остаточный хлор	мутность	цветность	окисляемость	микробиология	коэффициент светопр.	расход воды через установку, м³/ч	Доза УФ- обеззара- живания, Дж/см²
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	14	15	17	18	19	20	21	22	23	24

Рис. 2.2. Заголовок таблицы технологического процесса обеззараживания воды

Смежными и внешними системами на предприятии являются:

- автоматизированная информационная система учета атмосферных осадков (АИС УАО);
- программный комплекс системы измерения, учета, мониторинга и управления технологическими процессами на предприятии (ПК СИУМУ); схема данных ПК СИУМУ для примера представлена на *рис. 2.3*;
- автоматизированная информационно-измерительная система коммерческого учета электроэнергии (АИИСКУЭ – *рис. 2.4*;
- единое хранилище данных технологической информации (ЕХД); формат хранилища приведен на *рис. 2.5*;
- информационная система данных водного баланса (см. пример на *рис. 2.6*.

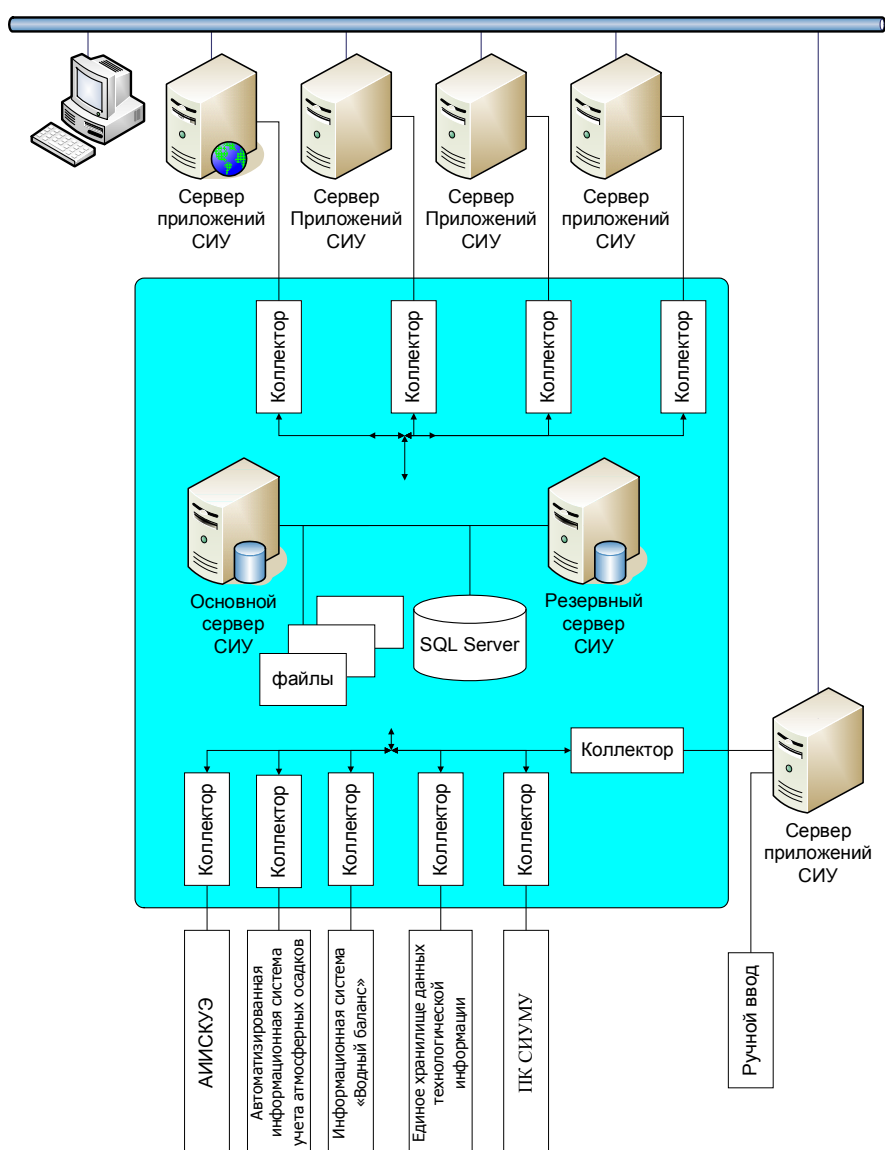


Рис. 2.3. Схема данных программного комплекса систем измерения, учета, мониторинга и управления технологическими процессами на предприятии

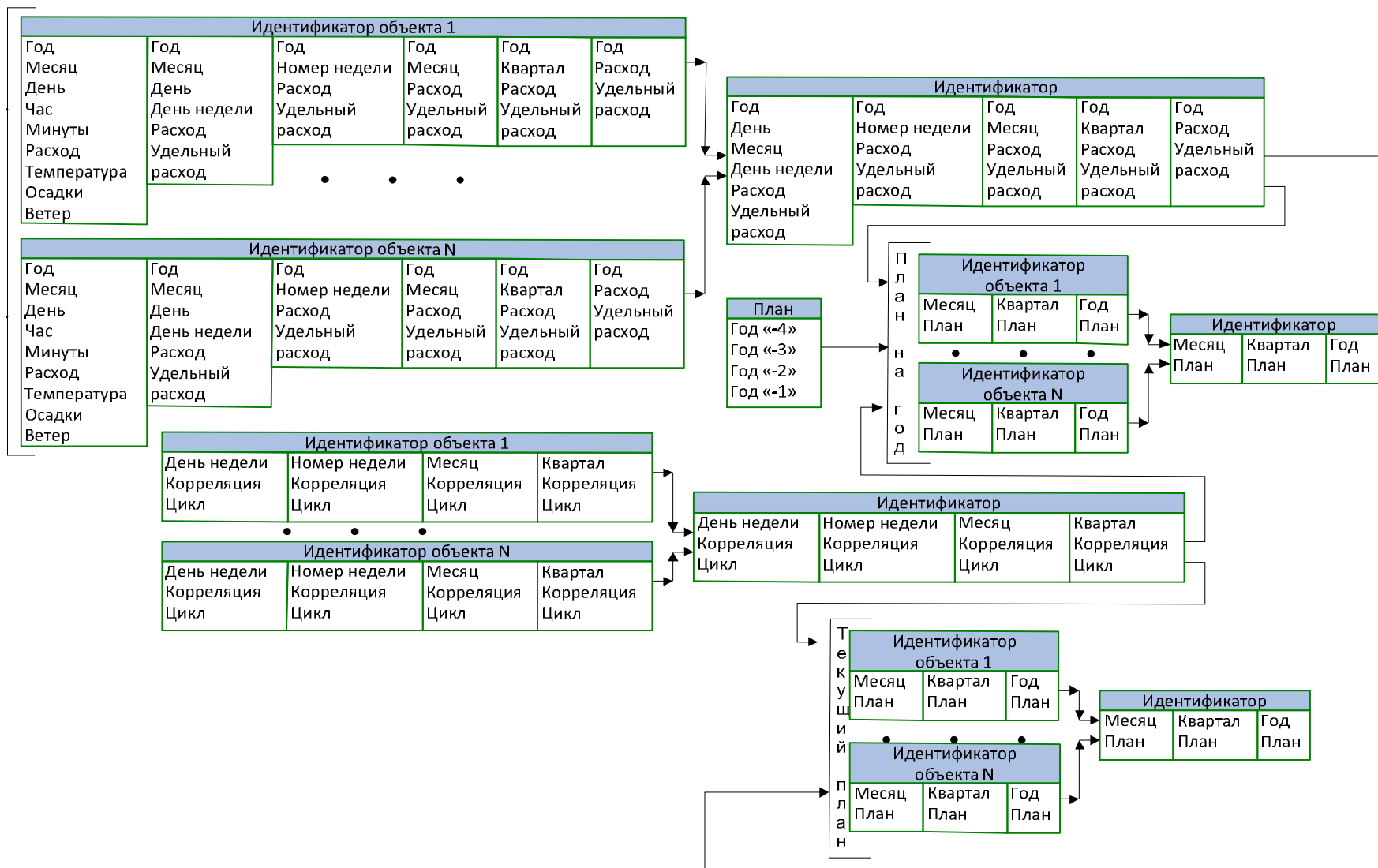


Рис. 2.4. Логическая структура базы учета источников электроэнергии на предприятии

Отчет по часовым расходам ПНС за сутки

Урицкая зона

09.11.2017

Дата:

	ПНС 1			ПНС 10			ПНС 13		
	Выход 1	Выход 2	Сумма:	Выход 1	Выход 2	Сумма:	Выход 1	Выход 2	Сумма:
Сумма:	119,95	93,52	213,48	120,27	111,87	232,13	22,49	20,63	43,12
1:00	3,48	3,98	7,46	6,62	6,16	12,78	0,72	0,66	1,38
2:00	1,55	2,54	4,09	3,09	2,86	5,95	0,49	0,44	0,93
3:00	0,00	1,14	1,14	2,20	2,02	4,22	0,15	0,13	0,28
4:00	3,70	1,04	4,74	2,05	1,90	3,95	0,16	0,05	0,21
5:00	1,73	1,38	3,11	2,05	1,18	3,23	0,06	0,18	0,23
6:00	2,88	2,23	5,12	1,35	3,16	4,51	0,43	0,33	0,75
7:00	5,40	4,14	9,54	5,88	4,27	10,14	0,95	0,86	1,81
8:00	7,10	5,38	12,48	7,22	6,73	13,95	1,23	1,13	2,36
9:00	6,55	4,97	11,52	5,55	5,18	10,73	1,27	1,18	2,46
10:00	5,75	4,38	10,13	5,43	5,05	10,48	1,06	0,97	2,03
11:00	5,70	4,35	10,05	5,18	4,82	10,00	1,03	0,95	1,98
12:00	5,30	4,04	9,34	3,88	3,60	7,48	1,01	0,93	1,94
13:00	4,91	3,74	8,65	3,55	3,30	6,86	0,98	0,91	1,88
14:00	4,42	3,39	7,81	3,73	3,47	7,20	0,85	0,78	1,63
15:00	4,22	3,26	7,48	4,13	3,83	7,95	0,86	0,79	1,65
16:00	4,56	3,50	8,06	4,08	3,79	7,87	0,91	0,84	1,75
17:00	4,27	3,27	7,55	4,45	4,14	8,59	1,03	0,94	1,97
18:00	5,66	4,30	9,97	4,97	4,63	9,59	1,31	1,21	2,53
19:00	6,40	4,87	11,27	6,48	5,61	12,09	1,23	1,12	2,35
20:00	6,91	5,23	12,14	5,77	7,06	12,84	1,34	1,23	2,57
21:00	7,51	5,69	13,20	8,85	6,99	15,84	1,18	1,09	2,27
22:00	8,60	6,53	15,13	8,53	7,94	16,47	1,42	1,30	2,72
23:00	7,53	5,73	13,26	8,24	7,68	15,92	1,54	1,41	2,95
0:00	5,81	4,43	10,24	6,98	6,50	13,48	1,30	1,20	2,50
Сумма:	119,95	93,52	213,48	120,27	111,87	232,13	22,49	20,63	43,12

Рис. 2.5. Формат хранилища данных технологической информации

Южная водопроводная станция

Показатель	Дет	Ед.Изм.	01.08.2019				02.08.2019				03.08.2019				И
			План	Факт	Отклонение	Процент выполнения	План	Факт	Отклонение	Процент выполнения	План	Факт	Отклонение	Процент выполнения	
Объем питьевой воды поданной водопроводной станцией	Д	тм3	12768,63917	12240,67400	-528,06517	95,96%	499,83825	496,94500	-2,89325	99,42%+	494,11945	508,30800	14,18855	102,87%+	21,29683
Объем подачи собственной воды ВС (2-й подъем)		тм3	12768,63917	12240,67400	-528,06517	95,96%	499,83825	496,94500	-2,89325	99,42%+	494,11945	508,30800	14,18855	102,87%+	21,29683
Объем воды израсходованной при водоподготовке, в т.ч.		тм3	1002,30726	827,38948	-264,91777	76,76%	37,13888	31,13242	-6,00646	83,83%+	37,13935	32,71662	-4,42273	88,09%+	-2,42320
Объем воды израсходованной на промывку фильтровальных сооружений ВС		тм3	919,10624	763,00180	-156,10444	83,02%	35,35024	29,39998	-5,95026	83,17%+	35,35024	29,39998	-5,95026	83,17%+	-5,95026
Объем производственных расходов ВС	Д	тм3	173,20101	64,38768	-108,81333	37,18%	1,78864	1,73244	-0,05620	96,86%+	1,78911	3,31664	1,52753	185,38%+	3,52706
Объем потерь воды на водопроводных станциях		тм3	117,16770	112,65752	-4,51018	96,15%	4,50645	4,50658	0,00013	100,00%+	4,50645	4,50638	-0,00007	100,00%+	-0,00007
Объем воды израсходованной на промывку скважин резервного водоснабжения		тм3	0,80000				0,80000								
Объем на промывку скважин (ГОИЧС) ЮВС	Д	тм3	0,80000				0,80000								
Объем обработанной сырой воды	Д	тм3	13978,11412	13180,62100	-797,49312	94,29%	541,48358	532,58400	-8,89958	98,36%+	535,76525	545,53100	9,76575	101,82%+	18,87356
Объем забранной воды из источников, в т.ч.		тм3	13978,11412	13180,62100	-797,49312	94,29%	542,28358	532,58400	-9,69958	98,21%+	535,76525	545,53100	9,76575	101,82%+	18,87356
Поверхностные источники		тм3	13978,11412	13180,62100	-797,49312	94,29%	541,48358	532,58400	-8,89958	98,36%+	535,76525	545,53100	9,76575	101,82%+	18,87356
р.Нева		тм3	13978,11412	13180,62100	-797,49312	94,29%	541,48358	532,58400	-8,89958	98,36%+	535,76525	545,53100	9,76575	101,82%+	18,87356
Подземные источники		тм3	0,80000				0,80000								
Объем воды забранной из скважин (ГОИЧС) ЮВС	Д	тм3	0,80000				0,80000								

К-6

Показатель	Дет	Ед.Изм.	01.08.2019				02.08.2019				03.08.2019				И
			План	Факт	Отклонение	Процент выполнения	План	Факт	Отклонение	Процент выполнения	План	Факт	Отклонение	Процент выполнения	
Объем питьевой воды поданной с блока К-6		тм3	6240,00000	6070,65900	-169,34100	97,29%	240,00000	238,55200	-1,44800	99,40%+	240,00000	260,80900	20,80900	108,67%+	-8,93900
Собственные нужды на блоке К-6		тм3	268,15906	248,77800	-19,38106	92,77%	10,31381	11,57300	1,25919	112,21%+	10,31381	9,24100	-1,07281	89,60%+	-1,08281
Промывная вода на блоке К-6, в том числе		тм3	284,89690	245,71100	-18,98590	92,83%	10,18085	11,38100	1,20035	111,79%+	10,18085	9,15300	-1,02785	89,91%+	-1,03785
Возвратная промывная вода на блоке К-6		тм3	277,27752	292,34000	15,06248	105,43%	10,88452	11,44000	0,77548	107,27%+	10,88452	11,02700	0,36248	103,40%+	0,70948
Производственные расходы на блоке К-6, в том числе		тм3	21,66216	20,56700	-1,09516	94,94%	0,83316	0,89200	0,05884	107,06%+	0,83316	0,78800	-0,04516	94,58%+	-0,04516
Производственные расходы блока А		тм3	2,28800	2,28000	-0,00800	99,15%	0,08800	0,08800	0,00000	100,00%	0,08800	0,08800	0,00000	100,00%	0,00000
Приборы контроля, отбор проб воды		тм3	2,28800	2,28000	-0,00800	99,15%	0,08800	0,08800	0,00000	100,00%	0,08800	0,08800	0,00000	100,00%	0,00000
Производственные расходы блока С		тм3	19,37416	18,38700	-1,00716	94,80%	0,74516	0,80400	0,05884	107,90%+	0,74516	0,70000	-0,04516	93,94%+	-0,04516
Надиповая вода		тм3	18,20000	17,50000	-0,70000	96,15%	0,70000	0,70000	0,00000	100,00%	0,70000	0,70000	0,00000	100,00%	0,00000

Рис. 2.6. Информационная система данных водного баланса

Взаимодействие между БД СИУ и АИС УАО (табл. 2.15).

Целью информационного взаимодействия базы данных (БД) СИУ с АИС УАО является обеспечение интеграции информации по каналам связи в объеме, позволяющем СИУ обеспечить мониторинг текущих показаний осадкомеров.

Доступ к данным осуществляется с помощью технологий *Web* сервисов. Формат отправки данных определен в процессе реализации интерфейса взаимодействия между системами.

Интерфейс обмена между системами доступен в реальном режиме времени. Интервал обновления измерительных данных соответствует частоте обновления данных в системе АИС УАО. Предусмотрены способы досылки информации в ситуациях отсутствия связи между системами. Диагностика наличия связи между системами проводится по соответствующим сетевым протоколам.

Пример описание методики подсчета

Определяется ближайший к интересующей точке осадкомер, имеющий данные за нужный промежуток времени, и суммируются показания за запрашиваемый интервал.

Таблица 2.15. Взаимодействие между БД СИУ и АИС УАО

Входные параметры			
Параметр	Обозначение	Тип	Формат
1. ИД объекта	id	int	Определяется на стороне АСУР
2. Широта	lat	double	WGS-84, доли градуса
3. Долгота	lon	double	WGS-84, доли градуса
4. Время начала интервала	dateFrom	timestamp ISO-8601	YYYY-MM-DDThh:mm+03
5. Время окончания интервала	dateTo	timestamp ISO 8601	YYYY-MM-DDThh:mm+03
Выходные параметры			
Параметр	Обозначение	Тип	Примечание
1. ИД объекта	id	int	Соответствует ИД в запросе
2. Сумма за период	value	double	Сумма пятиминутных значений в миллиметрах за период в запросе по каждому объекту

Взаимодействие между БД СИУ и АИИСКУЭ

Целью информационного взаимодействия СИУ с автоматизированной информационно-измерительной системой коммерческого учета электроэнергии (АИИСКУЭ) является обеспечение интеграции информации для обеспечения СИУ мониторингом энергетических потоков в электросетях объектов предприятия.

Обмен данными между серверами систем осуществляется посредством корпоративной сети предприятия.

Доступ к данным осуществляется посредством программного интерфейса *ODBC (Open Database Connectivity)* через набор представлений базы данных.

Интерфейс обмена между системами доступен в реальном режиме времени. Интервал обновления измерительных данных соответствует частоте обновления данных в системе АИИСКУЭ. Предусмотрены способы досылки информации в ситуациях отсутствия связи между системами. Диагностика наличия связи между системами проводится по соответствующим сетевым протоколам.

Взаимодействие между БД СИУ и единым хранилищем данных технологической информации производства питьевой воды

Целью информационного взаимодействия СИУ с единым хранилищем данных технологической информации производства питьевой воды является обеспечение интеграции информации для обеспечения СИУ мониторингом значений технологических параметров производственных процессов.

Обмен данными между серверами систем осуществляется посредством корпоративной сети предприятия.

Доступ к данным осуществляется посредством программного интерфейса *OPC DA/UA* или *ODBC*.

Интерфейс обмена между системами доступен в реальном режиме времени. Интервал обновления измерительных данных соответствует частоте обновления данных в ЕХД. Предусмотрены способы досылки информации в ситуациях отсутствия связи между системами. Диагностика наличия связи между системами проводится по соответствующим сетевым протоколам.

Взаимодействие БД СИУ с информационной системой данных водного баланса и программным комплексом измерения и учета, мониторинга и управления технологическими процессами на предприятии

Целью информационного взаимодействия СИУ с информационной системой данных водного баланса и программным комплексом измерения и учета, мониторинга и управления технологическими процессами на предприятии (далее Комплекс) является обеспечение интеграции информации в объеме, позволяющем СИУ обеспечить мониторинг текущих показаний параметров технологических процессов.

Обмен данными между серверами систем осуществляется посредством корпоративной сети предприятия.

Доступ к данным осуществляется с помощью технологий *Web* сервисов. Формат посылки данных определен в процессе реализации интерфейса взаимодействия между системами.

Интерфейс обмена между системами доступен в реальном режиме времени. Интервал обновления измерительных данных соответствует частоте обновления данных в Комплексе. Предусмотрены способы досылки информации в ситуациях отсутствия связи между системами. Диагностика наличия связи между системами проводится по соответствующим сетевым протоколам.

В табл. 2.16 приведен пример описания параметров обмена.

Таблица 2.16. Пример описания параметров обмена

Параметр	Обозначение	Тип
1. ИД объекта	id	int
2. Давление (бар)	pressure,bar	float
3. Объем прямой накопленный, м ³	volume,m3,	float
4. Объем обратный накопленный, м ³	volume acc-of-abs-value-only-if-neg-contr,m3,	float
5. Расход, м ³ /ч	volume-flow,m3/h,	float

2.4. Выбор значимых технических параметров производственного процесса

Главной задачей при разработке системы интеллектуального управления технологическими процессами водоподготовки является выбор параметров, которые необходимо регулировать, контролировать и анализировать и по значениям которых можно определить качество питьевой воды.

Выделение параметров процесса, полностью описывающих процесс, а также выбор наиболее важных параметров, учитывающих в максимальной степени особенности данного процесса, можно произвести, определив парные коэффициенты корреляции между параметрами по историческим данным, сохраненным в базе данных СИУ.

Корреляционный анализ с использованием взаимно корреляционной функции позволит выделить только сильно связанные параметры и тем самым снизить размерность обрабатываемых данных.

Математической мерой корреляции двух параметров служит коэффициент корреляции $R(r)$.

Значительная корреляция между двумя параметрами всегда является свидетельством существования некоторой статистической связи, но эта связь не обязательно должна иметь причинно-следственный характер. Коэффициенты корреляции устанавливают лишь статистические взаимосвязи.

Корреляция двух величин может свидетельствовать о существовании общей причины, хотя сами явления напрямую не взаимодействуют. Таким образом, в модели могут опосредовано учитываться неконтролируемые параметры, обеспечивающие статистические взаимосвязи контролируемых параметров.

В корреляционном анализе наиболее широко используется коэффициент корреляции Пирсона, называемый также линейной корреляцией, так как он измеряет степень линейных связей.

Корреляция Пирсона предполагает, что два параметра измеряются, по крайней мере, в интервальной шкале, и определяет степень, с какой значения двух параметров пропорциональны друг другу. Важно, что значение коэффициента корреляции не зависит от масштаба измерения (корреляция будет одной и той же, независимо от того, проводились измерения в атмосферах и килограммах или в барах и фунтах).

Коэффициенты корреляции могут быть положительными или отрицательными. Величина коэффициента корреляции определяет наличие или отсутствие связи, а знак определяет её направление.

При отрицательной корреляции увеличение одного параметра связано с уменьшением другого. При положительной корреляции увеличение одного параметра связано с увеличением другого параметра.

Для словесного описания величины коэффициента корреляции используются следующие градации, приведенные в *табл. 2.17*.

Таблица 2.17. Градации корреляции

Значение	Интерпретация
От 0 до 0,3	Очень слабая
От 0,3 до 0,5	Слабая
От 0,5 до 0,7	Средняя
От 0,7 до 0,9	Высокая
От 0,9 до 1	Очень высокая

Формируются, например, три группы данных, влияющих на выходные параметры, с коэффициентами корреляции соответственно больше 0,5, 0,7 и 0,9. На основе выбранных параметров строятся три модели технологического процесса. Из всех сформированных моделей окончательно выбирается модель с минимальной среднеквадратической ошибкой.

Таким образом, осуществляется выбор значимых технических параметров производственного процесса на основе парных коэффициентов корреляции между параметрами.

Отсутствие корреляции между двумя величинами ещё не значит, что между ними нет никакой связи. Например, зависимость может иметь сложный нелинейный характер, который корреляция не выявляет.

Для выбора значимых параметров, не определенных корреляционным анализом, необходимо применить структурный метод.

При использовании структурного подхода необходимо знать структуру производственного процесса водоподготовки, процессы технологии и связи между ними. Для каждого технологического процесса системы записываются материальный и тепловой балансы, которые затем объединяются в общее описание объекта.

На основе математического описания физико-химических закономерностей технологического процесса выбираются параметры, явным образом влияющие на выходные параметры.

Указанные параметры добавляются в список значимых параметров, независимо от коэффициента корреляции, рассчитанного в процессе корреляционного анализа.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ПО РАЗД. 2

Производственный процесс производства питьевой воды содержит массив данных параметров технологических процессов.

При разработке системы интеллектуального управления технологическими процессами водоподготовки необходимо сделать выбор параметров, которые необходимо регулировать, контролировать и анализировать, по значениям которых можно контролировать качество питьевой воды.

В разработанной методике определена архитектура взаимосвязи сбора данных для выбора значимых технических параметров технологических процессов. Сформирована классификация параметров СИУ.

Представлен алгоритм выбора значимых технических параметров для базовых технологических и смежных процессов производственного процесса на предприятии.

Разработанная методика являться неотъемлемой частью для формирования базы данных производства питьевой воды с иными технологическими процессами.

3. РАЗРАБОТКА ПРОТОТИПА БАЗЫ ДАННЫХ СИСТЕМЫ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ПРОЦЕССОМ ВОДОПОДГОТОВКИ. РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА И МОДЕЛИ ПОСТРОЕНИЯ И УПРАВЛЕНИЯ МАТЕРИАЛЬНЫМ РЕСУРСНЫМ БАЛАНСОМ ВОДОПРОВОДНОЙ СТАНЦИИ

3.1. Порядок формирования общей архитектуры базы данных для системы интеллектуального управления технологическим процессом водоподготовки

3.1.1. Параметры управления технологическим процессом водоподготовки

Задача настоящего раздела – определение порядка формирования базы данных с учетом определения как самих параметров производства, способа сбора информации, так и определения временного фактора на каждом этапе технологического процесса, сопоставимости входных и выходных параметров с учетом инерционности работы сооружений. Блок-схема процесса водоподготовки представлена в *приложении А*.

В ранее разработанных методиках был определен тип формируемой базы данных – реляционная база данных. Ключам присвоены названия технологических процессов (*табл. 3.1–3.8*):

- 1) осветление воды;
- 2) обесцвечивание воды;
- 3) обеззараживание воды хлорированием с предварительным аммонированием;
- 4) обеззараживание воды методом ультрафиолетовой обработки;
- 5) сорбция активированным углем.

Таблица 3.1. **Входные параметры освещение воды**

Значимые показатели качества поступающей на осветление воды	Способ получения данных		Технологическая точка контроля параметров	Периодичность контроля	Цель контроля показателей
	лабораторный +/-	приборный +/-			
Температура. Мутность. Цветность. Перманганатная окисляемость. рН. Щелочность. Органический углерод. Метеоданные			Перед поступлением воды на сооружения осветления	Лабораторный контроль – согласно графику лабораторно-производственного контроля, приборный контроль – в соответствии с настройками анализатора	Выбор режимов обработки воды на этапе осветления: параметры реагентной обработки, гидравлических нагрузок, режимов промывки фильтровальных сооружений

Таблица 3.2. **Рекомендованные параметры режимов обработки воды**

Результаты пробных лабораторных процессов в соответствии с исходными параметрами качества воды		Результаты технологических исследований состояния и работы сооружений линии осветления				Рекомендации технологических карт и регламентов
Доза коагулянта	Доза флокулянта	Техническое состояние фильтровальных сооружений	Длительность цикла каждого фильтровального сооружения	Режимы промывки каждого фильтровального сооружения	Скорость фильтрации и седиментации	Доза озона

Таблица 3.3. **Фактические параметры режимов обработки воды**

Гидравлическая нагрузка на сооружения	Режимы реагентной обработки	Режимы промывки фильтровальных сооружений	Примечание
Расход поступающей на сооружения воды. Расход воды по технологическим линиям. Скорость фильтрации на каждом фильтровальном сооружении	Дозы озона, коагулянта, флокулянта		Время седиментации на каждой технологической линии осветления и время фильтрации должны быть учтены при формировании массива данных выходных параметров

Таблица 3.4. **Выходные параметры осветление воды**

Значимые показатели качества осветленной воды	Способ получения данных		Технологическая точка контроля параметров	Периодичность контроля	Временной фактор при формировании базы данных	Цель контроля показателей
	лабораторный +/-	приборный +/-				
			На выходе с сооружений седиментации и фильтрации	Лабораторный контроль –согласно графику лабораторно-производственного контроля, приборный контроль – в соответствии с настройками анализатора	В обязательном порядке следует учесть время обработки воды на каждой ступени осветления	Оценка эффективности работы сооружений при заданных параметрах

Таблица 3.5. **Входные параметры обесцвечивания воды**

Значимые показатели качества поступающей на обесцвечивание воды	Способ получения данных		Технологическая точка контроля параметров	Периодичность контроля	Цель контроля показателей
	лабораторный +/-	приборный +/-			
Температура. Мутность. Цветность. Перманганатная окисляемость. рН. Щелочность. Органический углерод. Метеоданные			Перед технологическими точками ввода озона, коагулянта	Лабораторный контроль – согласно графику лабораторно-производственного контроля. Приборный контроль – в соответствии с настройками анализатора	Выбор параметров реагентной обработки (доза коагулянта, доза озона)
Органический углерод. Перманганатная окисляемость. Цветность			Перед ступень сорбционной очистки, после сорбции на выходе с фильтровальных сооружений	Лабораторный контроль – согласно графику лабораторно-производственного контроля, приборный контроль – в соответствии с настройками анализатора	Контроль состояния сорбционной активности загрузки. Выполнение своевременно мероприятий по восстановлению сорбционной активности

Таблица 3.6. Рекомендованные параметры режимов обработки воды

Результаты пробных лабораторных процессов в соответствии с исходными параметрами качества воды		Результаты технологических исследований состояния и работы сооружений линии обесцвечивания	Рекомендации технологических карт и регламентов
Доза коагулянта	Доза озона	Сорбционная активность гранулированного активированного угля	Доза озона, доза коагулянта, сорбционная емкость (йодное число ГАУ в соответствии с проектом минимально допустимое значение)

Таблица 3.7. Фактические параметры режимов обработки воды

Режимы реагентной обработки	Параметры сорбционной активности ГАУ	Примечание
Доза коагулянта, доза озона	Йодное число	При формировании массива данных выходных параметров следует учесть разрыв во времени процессов преозонирования и введения коагулянта

Таблица 3.8. **Выходные параметры обесцвечивания воды**

Значимые показатели качества обесцвеченной воды	Способ получения данных		Технологическая точка контроля параметров	Периодичность контроля	Временной фактор при формировании базы данных	Цель контроля показателей
	лабораторный +/-	приборный +/-				
			На выходе с сооружений седиментации и фильтрации	Лабораторный контроль – согласно графику лабораторно-производственного контроля, приборный контроль – в соответствии с настройками анализатора	В обязательном порядке следует учесть время обработки воды на каждой ступени осветления	Оценка эффективности работы сооружений при заданных параметрах

3.1.2. Параметры управления производственными затратами водоподготовки

Задача настоящего раздела – определение порядка формирования базы данных выходных параметров качества произведенной питьевой воды перед поступлением в распределительную сеть и объемов затрат производственного процесса. Основанием для формирования базы данных параметров управления производственными затратами является тот факт, что гарантированное качество услуги водоснабжения по показателям качество питьевой воды, напор и бесперебойность перед подачей потребителю может быть обеспечено как при избыточных затратах, так и при снижении производственных затрат в случае их оптимизации.

Оптимизация при этом рассматривается как собственно рациональное использование средств Предприятия, так и реализация политики ресурсосбережения как неотъемлемой составляющей национальной безопасности государства.

Затраты оцениваются в сутки, месяц, год. Полученные данные рекомендовано использовать при формировании планов финансово-хозяйственной деятельности объекта.

3.1.3. Параметры оценки производственных затрат водоподготовки

- Качественные характеристики поступающей на обработку из источника воды.
- Расход химических реагентов.
- Расход электроэнергии.
- Расход воды на собственные нужды при водоподготовке.
- Объемы забранной из источника и поданной потребителю питьевой воды.
- Качественные характеристики произведенной питьевой воды.
- Доля проб воды на выходе с сооружений водоподготовки несоответствующих требованиям нормативных документов по физико-химическим и микробиологическим показателям.

3.1.3.1. Качественные характеристики поступающей на обработку из источника воды

Перечень показателей определен программой производственного контроля качества и безопасности питьевой воды. Программа разрабатывается ресурсоснабжающей организацией и должна быть согласована с главным государственным санитарным врачом региона.

3.1.3.2. Расход химических реагентов

При формировании базы данных учитываются суточные, месячные и годовые расходы химических реагентов как в натуральных показателях (тонн каждого реагента), так и суммарно в стоимостных значениях.

3.1.3.3. Расход электроэнергии

При формировании базы данных учитываются суточные, месячные и годовые расходы электроэнергии по каждому технологическому переделу, как в натуральных показателях (кВт/час), так и суммарно в стоимостных значениях.

3.1.3.4. Расход воды на собственные нужды при водоподготовке

При формировании базы данных учитываются суточные, месячные и годовые расходы воды на собственные нужды при водоподготовке как в натуральных показателях ($\text{т} \cdot \text{м}^3$), так и суммарно в стоимостных значениях.

3.1.3.5. Объемы забранной из источника и поданной потребителю питьевой воды

При формировании базы данных учитываются суточные, месячные и годовые объемы забранной и поданной потребителю воды как в натуральных показателях (т·м³), так и суммарно в стоимостных значениях.

3.1.3.6. Доля проб воды на выходе с сооружений водоподготовки несоответствующих требованиям нормативных документов по физико-химическим и микробиологическим показателям

Параметр учитывается для оценки устойчивости работы сооружений в целях дальнейшего принятия решений о реконструкции или модернизации водопроводных сооружений.

3.2. Прототип базы данных и анализ результатов технологических параметров процесса водоподготовки

3.2.1. Формирование общей архитектуры базы данных с учетом дальнейшего применения моделей на основе линейных алгоритмов и нейросетей

Методика определения рабочих и ложных областей

Определение ложных областей – это опознавание во время интеллектуального анализа данных, которые вызывают подозрения ввиду существенного отличия от большей части данных.

На практике наличие в данных даже небольшого числа резко выделяющихся наблюдений (выбросов) способно сильно повлиять на результат последующей обработки. Для исключения влияния таких помех используются различные подходы для снижения влияния выбросов либо полного их исключения.

Анализ выбросов в данных методом «сигм» позволяет определить аномальные значения в нестационарных рядах с распределением, близким к нормальному.

Основу данного метода анализа составляет расчет среднего значения ряда и среднеквадратичного отклонения.

Формула для вычисления среднего значения ряда

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n X_j. \quad (3.1)$$

Здесь n – количество элементов выборки; j – j -й элемент выборки.

Формула для вычисления среднеквадратичного отклонения (СКО)

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{j=1}^n (X_j - \bar{X})^2}. \quad (3.2)$$

Суть данного метода сводится к тому, что любые значения ряда, отличающиеся от среднего больше, чем на три СКО, являются потенциальными аномалиями.

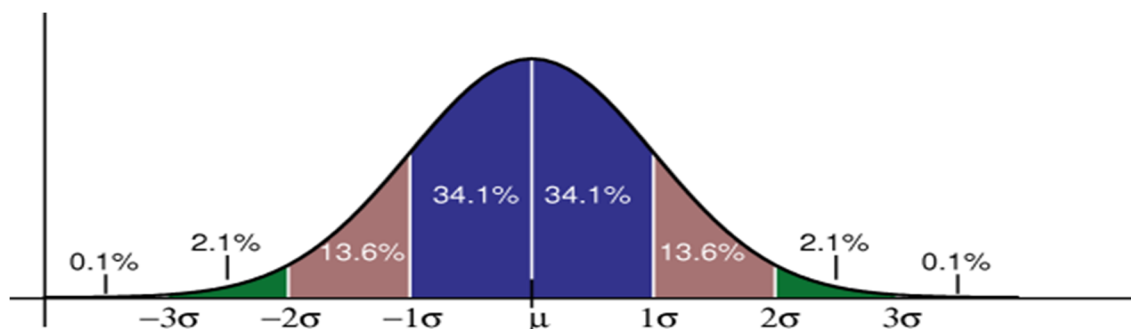


Рис. 3.1. График отклонений рабочих и ложных областей

На *рис. 3.1* видно, что в пределах одного среднеквадратического отклонения лежит 68,26 % значений, принимаемых нормально распределенной случайной величиной (соответствует доли площади под кривой распределения). В пределах двух среднеквадратических отклонений – уже 95,44 %, а в пределах трёх – 99,72 %. Это означает, что вероятность того, что случайная величина примет значение, отклоняющееся от математического ожидания больше, чем на три среднеквадратических отклонения, не превышает 0,28 %, т. е. пренебрежимо мала.

Порог определения аномалий задаётся формулой

$$\frac{|\bar{X} - \bar{X}_j|}{\sigma} > 3. \quad (3.3)$$

Методика проведения корреляционного анализа

Коэффициент корреляции Пирсона рассчитывается по формуле

$$R_{XY} = \frac{\sum (X - \bar{X})(Y - \bar{Y})}{\sqrt{(\sum (X - \bar{X})^2)(\sum (Y - \bar{Y})^2)}}. \quad (3.4)$$

Коэффициенты корреляции могут быть положительными или отрицательными. Величина коэффициента корреляции определяет наличие или отсутствие связи, а знак определяет её направление (см. *табл. 2.17*).

При отрицательной корреляции увеличение одного параметра связано с уменьшением другого. При положительной корреляции увеличение одного параметра связано с увеличением другого параметра.

Таким образом, осуществляется выбор значимых технических параметров производственного процесса на основе парных коэффициентов корреляции между параметрами.

Методика определения цикличности данных

Временной промежуток исследования данных выбирается таким образом, чтобы охватывать достаточное для обнаружения периодичности число периодов предполагаемых циклов. С этой точки зрения интервал исследования должен быть, как минимум, на порядок больше характерного времени предполагаемого цикла. Одновременно период анализа не должен быть чрезмерно велик, так как на слишком больших интервалах в циклах могут случаться многочисленные смещения фаз из-за воздействия различных внешних факторов. Обычно выбирается отрезок исследования порядка 20–30 возможных периодов анализируемых циклов.

Осуществляется выявление следующих типов цикличности – годовой, квартальный, месячный, недельный, дневной.

Сначала все данные переводятся в логарифмический масштаб в целях частичного устранения влияния на циклическую составляющую изменения общего уровня исследуемого параметра, которое может происходить в результате трендовых движений. Если не логарифмировать данные, то появятся искажения в амплитуде цикла при высоких и низких уровнях параметра.

Например, $X = A_0 \cdot A_1^t$ будет преобразовано в линейную функцию

$$\ln X = \ln A_0 + t \cdot \ln A_1 \quad (3.5)$$

или

$$\overline{X} = \overline{A_0} + t \cdot \overline{A_1}. \quad (3.6)$$

Далее проводится сглаживание параметра для устранения случайных колебаний. Предполагается, что период случайной составляющей параметра существенно меньше периода предполагаемой циклической составляющей (частота случайных колебаний больше частоты цикла). С этой целью используется построение скользящего среднего параметра с периодом усреднения не менее характерного времени случайных изменений, но короче периода обнаруживаемого цикла. В этом случае применение скользящей средней играет роль разновидности методов частотной фильтрации.

Метод заключается в замене фактических значений членов ряда средним арифметическим значений нескольких ближайших к нему членов. Набор усредняемых значений образует так называемое окно скользящего. Член, значение которого заменяется на среднее по окну, занимает в окне срединное положение:

$$\overline{X(k)} = \frac{1}{n} \sum_{t=k}^{n+k} \overline{X(t)}, \quad (3.7)$$

где n – размер окна (период сглаживания); k – номер члена ряда, значение которого заменяется средним.

Далее осуществляется выделение циклической зависимости. Этот этап состоит из отделения циклической составляющей от тренда параметра.

Для точной количественной оценки присутствующих в параметре колебаний используется спектральный анализ. Метод спектрального анализа заключается в том, что наблюдаемая зависимость изменения исследуемой величины от времени представляется в виде суммы гармонических колебаний с разными частотами. Вклады разных слагаемых данной суммы, как правило, различаются и определяются амплитудой колебаний на определенной частоте. Зависимость такой амплитуды от частоты составляющих гармонических колебаний называется спектром исследуемой временной функции.

Цель спектрального анализа – разложить ряд на сумму функций синусов и косинусов с различными частотами для определения тех, появление которых особенно существенно и значимо. Для решения можно применить метод линейной регрессии, где зависимая переменная – наблюдаемый временной ряд, а независимые переменные – функции синусов всех возможных (дискретных) частот. Такая модель линейной множественной регрессии может быть записана как

$$X_t = a_0 + \sum_{t=1}^n (a_k \cdot \cos(\omega_t \cdot t) + b_k \cdot \sin(\omega_t \cdot t)), \quad (3.8)$$

где ω – это круговая частота, выраженная в радианах в единицу времени, коэффициенты a_k , b_k при косинусах и синусах – это коэффициенты регрессии. Если n – количество данных, то в нашем уравнении регрессии будет $n/2+1$ функций косинусов и $n/2-1$ функций синусов. Количество анализируемых данных n определяется отрезком исследования порядка 20–30 возможных периодов анализируемых циклов.

Если спектр, полученный в результате проведенного анализа, представляет собой горизонтальную прямую, значит, вклады всех частотных составляющих одинаковы и цикличность в исследуемом параметре отсутствует.

В том случае, если в полученном спектре некоторым частотам соответствуют существенно более высокие значения, чем соответствующие остальным частотам, можно утверждать, что у исследуемых данных есть циклическая волновая составляющая на данных частотах. Таким образом, пики частотного спектра параметра соответствуют частотам возможных временных циклов. Однако колебания с экстремальными спектральными значениями не всегда являются статистически значимыми, т. е., проявляясь в течение некоторого числа периодов, они далее могут не повторяться. Следовательно, эти возможные циклические составляющие необходимо подвергнуть соответствующей проверке.

При рассмотрении результатов спектрального анализа необходимо учитывать, что наличие в исследуемом параметре трендовой составляющей влияет на форму получающихся спектров и это влияние может серьезно исказить результаты последующих проверок циклов на статистическую значимость. Поэтому, прежде чем приступить к проверкам статистической значимости, из исследуемой зависимости удаляется трендовая составляющая.

Для удаления из данных трендовой составляющей используется, так же как и в случае удаления случайных колебаний, метод скользящего среднего. Если время трендового движения существенно превышает период предполагаемого цикла, то скользящая средняя с периодом усреднения, близким к периоду цикла, полностью устранил влияние цикличности и в наименьшей степени исказит форму тренда. Такая скользящая средняя отражает только трендовую зависимость, и ее вычитание из исходных данных приводит к временному ряду, в котором тренд уже отсутствует. Предшествующий этому шагу спектральный анализ необходим для того, чтобы как можно более точно определить период усреднения скользящей средней, поскольку скользящие, усредненные по времени, существенно отличающемуся от времени цикла, будут значительно искажать этот цикл.

После проведенного таким образом «снятия» тренда параметра снова проводится спектральный анализ и фиксируются скорректированные значения частот возможных циклов.

Проверка статистической значимости циклов с частотами, выявленными при спектральном анализе, представляет следующий этап циклического анализа. Целью статистической проверки возможного цикла является определение того, насколько случайным является зафиксированное проявление периодичности.

Для проведения тестов статистической значимости циклов строится периодограмма – форма расположения данных. Периодограмма представляет собой таблицу, в которой зарегистрированные данные располагаются в колонках, число которых равно периоду исследуемой циклической зависимости. Число строк данной таблицы определяется длиной исследуемого ряда данных и показывает, сколько периодов может повторяться в данный вероятный цикл. Для каждой строки и каждой колонки периодограммы вычисляются средние значения.

Далее вычисляется F-коэффициент.

F-коэффициент для периодограммы равен отношению дисперсии средних значений колонок периодограммы к дисперсии средних значений строк этой периодограммы. Чем больше значение F-коэффициента, тем более значимым является рассматриваемый цикл.

При отсутствии в параметрах периодической зависимости с данным периодом средние значения колонок периодограммы существенно не различают-

ся между собой. В этом случае дисперсии средних значений колонок и строк периодограммы будут представлять собой близкие величины, а F-коэффициент существенно не отличается от единицы. Если же для исходных данных характерна цикличность, то дисперсия средних значений колонок будет превышать дисперсию средних значений строк исследуемой периодограммы, а F-коэффициент будет существенно больше единицы. Таким образом, величина F-коэффициента служит мерой статистической значимости анализируемого цикла.

Методика определения временных задержек

Во временных рядах возможна ситуация, когда один параметр оказывает влияние на другой с некоторым отставанием (временным лагом). Одним из методов выявления таких связей является кросс-корреляционный анализ.

Кросс-корреляционную функцию для двух временных рядов (параметров) X_t , Y_t определяют как зависимость значения коэффициента парной корреляции Пирсона между рядами X_t и $Y_{t+\tau}$ от величины лага τ :

$$r_{XY}(\tau) = \frac{(n-\tau) \sum_{t=1}^{n-\tau} X_t \cdot Y_{t+\tau} - \sum_{t=1}^{n-\tau} X_t \cdot \sum_{t=1}^{n-\tau} Y_{t+\tau}}{\sqrt{\left[(n-\tau) \sum_{t=1}^{n-\tau} X_t^2 - \left(\sum_{t=1}^{n-\tau} X_t \right)^2 \right] \cdot \left[(n-\tau) \sum_{t=1}^{n-\tau} Y_{t+\tau}^2 - \left(\sum_{t=1}^{n-\tau} Y_{t+\tau} \right)^2 \right]}} \quad (3.9)$$

Формула показывает, что X_t опережает Y_t на τ временных интервалов, или, что то же самое, что Y_t запаздывает по отношению к X_t на τ интервалов. Сдвиг τ , которому соответствует наибольший коэффициент корреляции, называется временным запаздыванием или временным лагом.

Методика формирования модели

Модель строится в однослойной нейронной сети.

Технологический процесс можно представить в виде динамической системы, математические характеристики которой неизвестны. В нашем распоряжении имеется только набор значимых входных данных и выходного сигнала, генерируемых системой в дискретные интервалы времени. В частности, если m входных узлов генерируют m -мерное воздействие $x(i)$, в ответ система формирует скалярный выходной сигнал $d(i)$, где $i = 1, 2, \dots, n$.



Таким образом, внешнее поведение системы описывается следующим множеством данных:

$$T: \{x(i), d(i); i = 1, 2, \dots, n, \dots\}, \quad (3.10)$$

где

$$x(i) = [x_1(i), x_2(i), \dots, x_m(i)]^T. \quad (3.11)$$

Множество T содержит примеры, одинаково распределенные согласно некоторому вероятностному закону. Размерность входного вектора $x(i)$ называют размерностью входного пространства.

Требуется построить модель выходного сигнала неизвестной динамической системы с несколькими входами и одним выходом на основе одного нейрона. Нейронная модель работает под управлением некоторого алгоритма, который обеспечивает настройку синаптических весов нейрона. При этом принимаются следующие соглашения.

- Алгоритм начинает работу с произвольных значений синаптических весов.

- Настройка синаптических весов в ответ на статистические вариации поведения системы выполняется непрерывно (т. е. время встроено в структуру самого алгоритма).

- Вычисление корректирующих значений синаптических весов выполняется через равномерные промежутки времени.

Нейронная модель, описываемая таким образом, получила название адаптивного фильтра.

Работа адаптивного фильтра включает два последовательных процесса.

1. Процесс фильтрации, предполагающий вычисление двух сигналов:

- выходной сигнал, обозначаемый как $y(i)$ и генерируемый в ответ на вектор входного воздействия $x(i)$ с компонентами $x_1(i), x_2(i), \dots, x_m(i)$;

- сигнал ошибки, обозначаемый как $e(i)$ и вычисляемый как отклонение выходного сигнала $y(i)$ от выходного сигнала реальной системы $d(i)$, который еще называют целевым сигналом или ожидаемым откликом.

2. Процесс адаптации, включающий автоматическую подстройку синаптических весов нейрона на основе сигнала ошибки $e(i)$.

Комбинация этих двух процессов называется контуром с обратной связью нейрона.

Выходной сигнал $y(i)$ совпадает с индуцированным локальным полем $v(i)$:

$$y(i) = v(i) = \sum_{k=1}^m w_k(i) x_k(i), \quad (3.12)$$

где m – m синаптических весов нейрона, измеренных в момент времени i . В матричной форме выходной сигнал $y(i)$ можно представить как скалярное произведение векторов $\mathbf{w}(i)$ и $\mathbf{x}(i)$:

$$y(i) = \mathbf{x}^T(i)\mathbf{w}(i), \quad (3.13)$$

где

$$\mathbf{w}(i) = [w_1(i), w_2(i), \dots, w_m(i)]^T. \quad (3.14)$$

Разность значения выходного сигнала нейрона $y(i)$ и фактического выходного сигнала системы $d(i)$ составляет сигнал ошибки $e(i)$:

$$e(i) = y(i) - d(i). \quad (3.15)$$

Алгоритм применения сигнала ошибки для коррекции синаптических весов нейрона определяется функцией стоимости, используемой конкретным методом адаптивной фильтрации.

Алгоритм минимизации среднеквадратической ошибки (*least-mean-square – LMS*) основан на использовании дискретных значений функции стоимости

$$E(\mathbf{w}) = \frac{1}{2e^2(n)}, \quad (3.16)$$

где $e(n)$ – сигнал ошибки, измеренный в момент времени n .

Дифференцируя $E(\mathbf{w})$ по вектору весов $\mathbf{w}$, получим

$$\frac{\partial E(\mathbf{w})}{\partial \mathbf{w}} = e(n) \frac{\partial e(n)}{\partial \mathbf{w}}. \quad (3.17)$$

Сигнал ошибки можно записать в следующем виде:

$$e(n) = d(n) - \mathbf{x}^T(n)\mathbf{w}(n). \quad (3.18)$$

Следовательно,

$$\frac{\partial e(n)}{\partial \mathbf{w}(n)} = -\mathbf{x}(n), \quad (3.19)$$

$$\frac{\partial E(\mathbf{w})}{\partial \mathbf{w}(n)} = -\mathbf{x}(n)e(n). \quad (3.20)$$

Используя полученный результат, можно оценить вектор градиента

$$\hat{\mathbf{g}}(n) = -\mathbf{x}(n)e(n). \quad (3.21)$$

Таким образом, алгоритм минимизации среднеквадратической ошибки имеет следующий вид:

$$\hat{\mathbf{w}}(n+1) = \hat{\mathbf{w}}(n) - h\mathbf{x}(n)e(n), \quad (3.22)$$

где h – параметр скорости обучения.

В табл. 3.10 представлено краткое описание алгоритма минимизации среднеквадратической ошибки.

Таблица 3.10. Алгоритм минимизации среднеквадратической ошибки

Обучающий пример	Вектор входного сигнала = $\mathbf{x}(n)$ Желаемый отклик = $d(n)$
Выбираемый пользователем параметр	η
Инициализация весов	$\hat{\mathbf{w}}(0) = 0$
Вычислительная схема	Для $n = 1, 2, \dots$ $e(n) = d(n) - \mathbf{x}^T(n)\hat{\mathbf{w}}(n),$ $\hat{\mathbf{w}}(n+1) = \hat{\mathbf{w}}(n) + \eta \mathbf{x}(n)e(n)$

Из табл. 3.10 ясно видна простота алгоритма минимизации среднеквадратической ошибки. Для инициализации алгоритма достаточно обнулить его начальный вектор весовых коэффициентов.

Метод Кросс-валидации на временных рядах

Метод Кросс-валидации на временных рядах используется для оптимизации величины используемого для моделирования предыдущего периода данных, что позволяет улучшить точность планирования.

Оператор задает небольшой отрезок временного ряда, от последнего доступного наблюдения до некоторого $-t$.

Оператор выдает команду в программное обеспечение *Proficy CSense* на формирование модели, прогноз на последнее доступное наблюдение и расчет ошибки.

Далее оператор расширяет период выборки исходных данных до значения $-(t+n)$. Оператор выдает команду в программное обеспечение *Proficy CSense* на формирование модели, прогноз на последнее доступное наблюдение и расчет ошибки при новом периоде выборки исходных данных.

Необходимо продолжать двигать тестовый отрезок ряда до тех пор, пока рассогласование прогноза с данными не начнет опять увеличиваться.

Оптимальная величина периода выборки исходных данных определяется по минимальной среднеквадратической ошибке.

3.2.2. Алгоритм и модели построения и управления материальным ресурсным балансом водопроводной станции

Для формирования алгоритма и модели построения базы данных технологического процесса водоподготовки необходима такая база данных (БД), которая обеспечивает надежную защиту данных от случайной потери или порчи, экономно использует ресурсы (как людские, так и технические) и снабжена механизмами поиска информации, удовлетворяющими разумным требованиям к производительности.

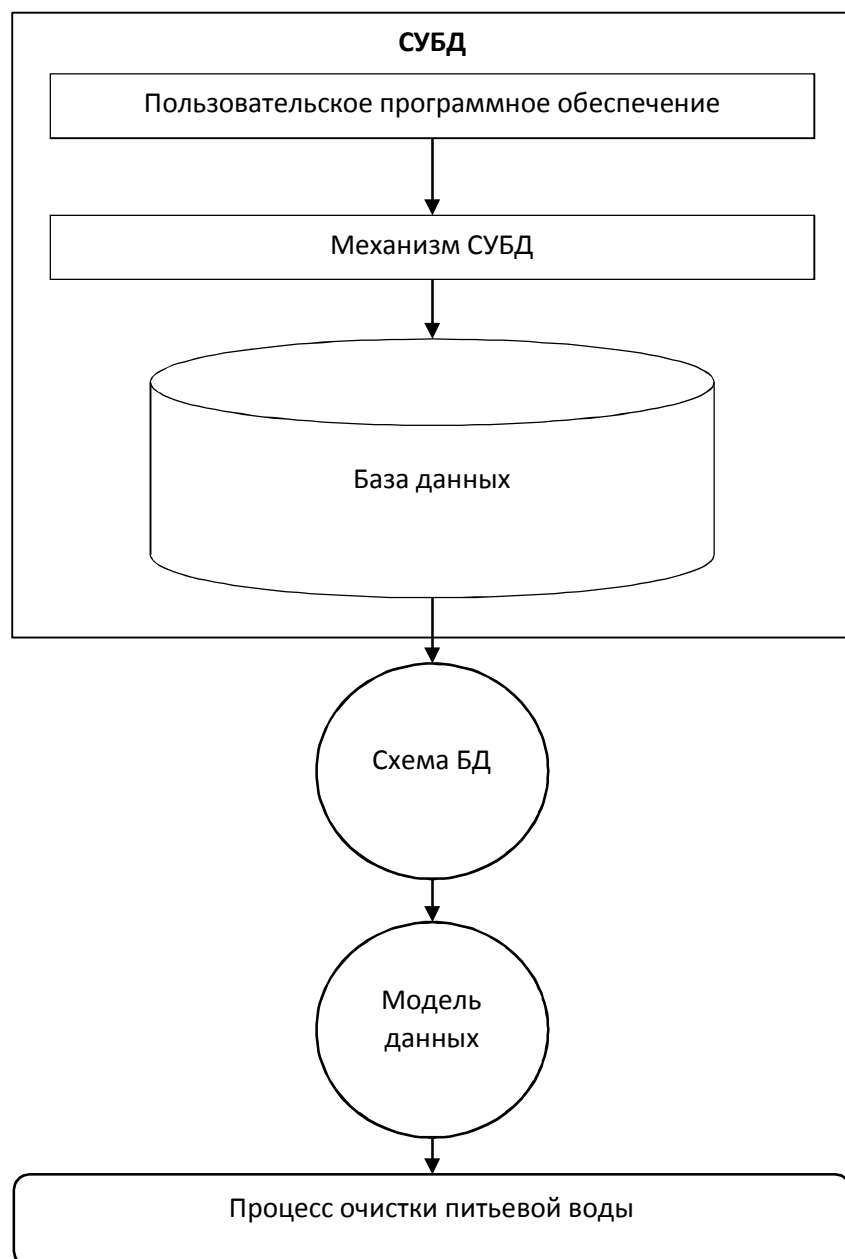


Рис. 3.2. Взаимосвязь между реляционной базой данных и процессом очистки питьевой воды

«Модель данных» концептуально описывает предметную сущность, ее атрибуты и их свойства. Например, атрибутами процесса очистки питьевой во-

ды являются контролируемые параметры, уставки, время фиксации. Свойства этих атрибутов не могут допускать «пустых» (*NULL*) значений. Кроме того, «модель данных» включает в себя описание взаимоотношений между параметрами с накладываемыми на них ограничениями. «Схема базы данных» – это перевод концептуальной модели в физическое представление средствами систем управления базами данных, эта «модель данных» описывается терминами и использует механизмы СУБД.

При помощи программного кода или интерактивной среды программного обеспечения механизм СУБД представляет данные процесса, при этом он создает физические объекты на жестком диске, в которых будут храниться эти данные. Вместе структура и сами данные и являются «базой данных». В понятие «база данных» не входит механизм СУБД и приложения, с помощью которых пользователи работают с «базой данных», поэтому на *рис. 3.2* эти объекты выделены отдельно.

Таблица – это наиболее важный объект БД. Таблицы состоят из так называемых доменных данных (столбцы) и объектных данных (строки). Таблица содержит также метаданные, которые описывают структуру данных в таблице. Каждый столбец имеет набор правил, описывающих, что может храниться в этом столбце.

Представление – виртуальные таблицы, определяемые некоторыми запросами. С точки зрения пользователя представление выглядит так же, как таблица, т. е. его так же, как таблицу, можно использовать в различных запросах (в том числе и для создания других представлений). Некоторые ограничения налагаются только при операциях вставки/редактирования/удаления данных из представлений в случае, когда представление описано многотабличным запросом.

Индекс представляет собой своего рода предметный указатель по одной или нескольким колонкам таблицы. В основном индексы используются как средство увеличения производительности (при этом большое значение имеет как набор колонок, выбранных для индексирования, так и их порядок). Однако *Microsoft SQL Server* (специальное программное обеспечение для баз данных, созданные компанией *Microsoft*) поддерживает также специальные уникальные индексы (*UNIQUE*), которые гарантируют уникальность совокупности значений по указанным колонкам в таблице. Индексы делятся на кластеризованные (строки физически упорядочиваются по колонкам индекса) и некластеризованные (упорядочиваются не сами строки, а указатели на них). Кластеризованный индекс в таблице может быть только один.

Язык *Transact-SQL* является ключом к использованию *MS SQL Server*. Все приложения, взаимодействующие с экземпляром *MS SQL Server*, независимо от их реализации и пользовательского интерфейса, отправляют серверу инструкции *Transact-SQL*.

Модель базы данных

Для процесса очистки питьевой воды атрибутами модели базы данных являются контролируемые технологические параметры, основные из них следующие:

- расход воды водоисточника;
- мутность водоисточника;
- цветность водоисточника;
- температура водоисточника;
- расход реагента (озона);
- расход реагента (коагулянта);
- расход реагента (флокулянта);
- расход гипохлорита натрия;
- расход сульфата аммония;
- мутность осветленной воды;
- время фильтрации после линии осветления;
- мутность чистой воды;
- цветность чистой воды;
- остаточный хлор чистой воды;
- микробиология чистой воды;
- pH чистой воды.

Каждый из этих атрибутов не может допускать нулевых значений. Для разных процессов, разных условий технологические параметры могут изменяться, поэтому при создании «Схемы базы данных» это необходимо учитывать.

Чтобы построить нормализованную «модель данных» с точки зрения реляционных структур, необходимо устранить ее избыточность в предметной области. Для этого отношения, содержащие избыточные данные, разбивают на несколько других отношений. Но это делается так, чтобы получившиеся в результате отношения можно было бы вновь легко соединить и получить точную копию структуры и данных исходного отношения.

Для соединения этих отношений используются уникальные ключи – индексы. Индексами для этих отношений являются технологические параметры. Они уникальны, но их количество может изменяться, поэтому для описания «модели данных» необходимо создать таблицу со списком этих уникальных ключей.

Схема базы данных

Схема базы данных для процесса очистки питьевой воды будет состоять из трех таблиц:

- таблица списка атрибутов (список технологический параметров процесса);
- таблица данных для процесса обесцвечивания;
- таблица данных для процесса обеззараживания.

Таблица списка атрибутов должна содержать:

- уникальный индекс (идентификатор) атрибута;
- наименование атрибута;
- описание атрибута (опционально);
- единицы измерения (опционально).

Уникальный индекс атрибута таблицы необходим для организации связи между таблицами и ускорения поиска необходимой информации. Уникальный индекс – это номер, характеризующий атрибут. Наименование атрибута столбец таблицы служит пользователю для удобства обращения к индексам атрибута. Описание и единицы измерения атрибута – это необязательные параметры таблицы и могут быть не указаны в ней. В них содержится описание атрибута (технологического параметра) и его единицы измерения. Они нужны как дополнительные данные, характеризующие технологический процесс.

Таблица данных должна содержать:

- дату и время;
- уникальный индекс атрибута;
- значение атрибута.

Так как технологические параметры непрерывно изменяются во времени, то для удобства статистической обработки и оптимизации хранения данных они выравниваются по шкале времени в диапазоне ± 5 мин. Таким образом сокращается количество «мусорных данных» в БД.

Столбец «дата и время» содержит дату и время фиксации значения технологического параметра в БД. Уникальный индекс, дата и время в комплексе образуют уникальный ключ, поиск по которому приведет к выдаче единственного значения параметра в БД.

3.2.3. Тестирование и настройка прототипа базы данных оптимизационной модели технологических процессов водоподготовки

Связи таблиц базы данных

Связь таблиц процесса очистки питьевой воды строится через уникальный индекс атрибута технологического параметра. Пользователь запрашивает необходимый параметр, используя его наименование, БД находит его в таблице списка атрибутов, определяет его индекс и осуществляет на его основе поиск требуемой информации (*табл. 3.11*).

Таблица 3.11. Связи между таблицами

Таблица списка атрибутов		Таблица данных
Уникальный индекс		Дата и время
Наименование параметра		Уникальный индекс
Описание параметра		Значение
Единица измерения		

Если бы в таблице отсутствовал индекс или первичный ключ, запрос выполнялся бы следующим образом: механизм СУБД считывал бы каждую запись в базе данных, чтобы выбрать удовлетворяющие критерию запроса данные, а это означало, что чем больше БД, тем дольше выполнялся бы запрос на поиск необходимых данных. В таблице данных столбцы «Дата и время» и «Уникальный индекс» образуют уникальную группу, поиск по которой значительно ускоряет процесс.

После построения концепции БД ее схемы и связей, заполнение данными не вызывает никаких затруднений и осуществляется обычным импортом, например, из таблиц *Excel*, текстовых файлов (типа *csv*) или других БД.

Описание базы данных процесса очистки питьевой воды

Для СУБД используется *Microsoft SQL Server 2012*. Процесс очистки питьевой воды состоит из двух основных этапов: обесцвечивания и обеззараживания.

База данных для процесса очистки питьевой воды называется *Water_Treatment*. Скрипт для создания БД приведен в *приложении А*, листинг 1. База данных состоит из двух системных файлов: файл данных (*Water_Treatment.mdf*) и файл журнала (*Water_treatment.ldf*). Максимальный размер базы данных ограничен только размером жесткого диска. Файлы данных содержат данные и объекты, такие как таблицы, индексы, хранимые процедуры и представления. Файлы журнала содержат сведения, необходимые для восстановления всех транзакций в базе данных.

Файлы *MS SQL* имеют два типа имен:

- **логическое имя (*Water_Treatment*)**: – имя, используемое для ссылки на физический файл во всех инструкциях Transact – SQL.
- **имя файла в операционной системе (*Water_Treatment.mdf*)**: – имя физического файла, включающее путь к каталогу.

База данных содержит таблицы всех параметров производственного процесса и таблицы данных процессов. Данные каждого технологического процесса сохраняются в собственной таблице. Наименование таблиц определяется процессом.

Описание структуры таблиц

База данных содержит три таблицы:

- таблицу атрибутов (список всех параметров производственного процесса);
- таблицу данных процесса обесцвечивания воды;
- таблицу данных процесса обеззараживания воды.

Таблица атрибутов (*ListParameters*)

Таблица содержит четыре столбца, описание столбцов, типов данных указаны в *табл. 3.12* каждому параметру присваивается уникальный кластеризованный индекс или идентификатор (название *ID*), по которому осуществляется поиск информации. Значение параметр с таким идентификатором заносится в таблицу данных производственного процесса. Столбец с именем параметра (название *NameParameter*) на английском языке является наименованием атрибута и используется для идентификации параметра при составлении запросов на поиск информации. Столбец с именем параметра на русском языке (название *NameParameterRUS*) является простейшим описанием атрибута и столбец (название *Unit*), содержит единицы измерения параметра. Эти два столбца необходимы для удобства восприятия информации конечным пользователем. При создании запроса на поиск и вывод необходимой информации пользователь опирается на русское именование параметра, а программное обеспечение осуществляет поиск запрашиваемых данных ориентируясь на его идентификатор.

Таблица 3.12. Описание столбцов в таблице атрибутов

Название столбца	Тип данных	Описание
ID	int	Уникальный индекс параметра производственного процесса. Является кластеризованным индексом
NameParameter	varchar(MAX)	Имя параметра производственного процесса на английском языке
NameParameterRUS	varchar(MAX)	Имя параметров производственного процесса на русском языке
Unit	varchar(50)	Единицы измерения параметра производственного процесса

Описание типов данных представлены в *табл. 3.13*, на *рис. 3.3* структура проекта таблицы и в *табл. 3.14* списки параметров производственного процесса.

Таблица 3.13. Типы данных

Тип данных	Описание
int	Целочисленное значение в пределах от от -2^{31} ($-2\,147\,483\,648$) до $2^{31} - 1$ ($2\,147\,483\,647$). Длина 4 байта
varchar(MAX)	Строковые данные максимального размера (2 Гб)
varchar(50)	Строковые данные размером 50 пар байт

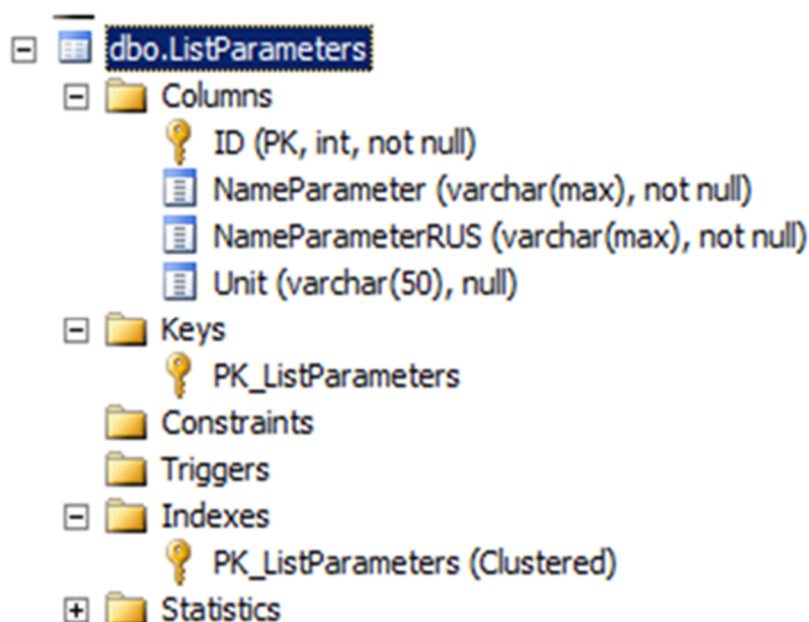


Рис. 3.3 Структура проекта таблицы

Таблица 3.14. Выписка из таблицы атрибутов

ID	NameParameter	NameParameterRUS	Unit
1001	Muddiness_source	Мутность водоисточника	FTU
1002	Muddiness_lighted_water	Мутность осветленной воды	FTU
1003	Muddiness_after_1_line	Мутность на выходе линии 1	FTU
1014	Flow_of_water_in_4_line	Расход сырой воды в линии 4	м ³ /ч
1015	Temperature_of_water	Температура воды	°C
1016	Flow_of_ozone_in_1_line	Расход озона в линии 1	кг/ч

Таблица данных процесса обесцвечивания воды

Таблица (Table_Data_For_Discoloration) содержит три столбца, описание столбцов, типов данных приведены в табл. 3.15. Каждому параметру присваивается кластеризированный индекс или идентификатор (название ID) и метка

времени (название *TimeStamp*). В столбце *Value* содержится значение параметра с индексом *ID* в момент времени, указанный в столбце *TimeStamp*.

Структура проекта таблицы обесцвечивания показана на *рис. 3.4*, а пример данных в таблице данных процесса обесцвечивания воды приведен в *табл. 3.16*.

Таблица 3.15. **Описание столбцов таблицы процесса обесцвечивания воды**

Название столбца	Тип данных	Описание
TimeStamp	Datetime	Дата и время измерения параметра
ID	int	Уникальный индекс, указывающий на параметр измерения
Value	float	Измеренная величина параметра

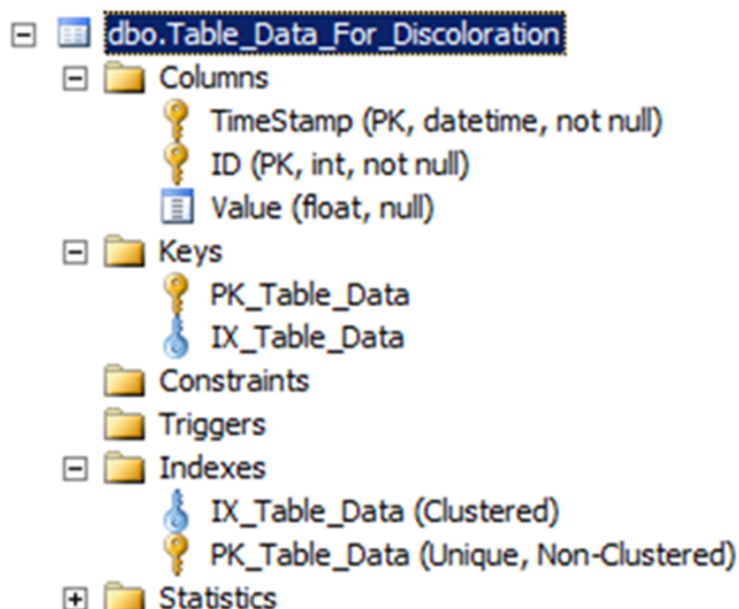


Рис. 3.4. Структура проекта таблицы обесцвечивания

Таблица 3.16. **Выписка из таблицы параметров производственного процесса**

TimeStamp	ID	Value
2017-03-29 18:59:49.000	1001	3.97299994468689
2017-03-29 18:59:49.000	1002	0.0637999996542931
2017-03-29 18:59:49.000	1003	1.66939170837402
2017-03-29 18:59:49.000	1004	1.53141550540924
2017-03-29 18:59:49.000	1005	3.57166958808899
2017-03-29 18:59:49.000	1006	3.93797236442566

TimeStamp	ID	Value
2017-03-29 18:59:49.000	1007	0.01454829223454
2017-03-29 18:59:49.000	1008	1.4
2017-03-29 18:59:49.000	1009	5959.44873046875
2017-03-29 18:59:49.000	1010	5311.099609375
2017-03-29 18:59:49.000	1011	2794.68139648438
2017-03-29 18:59:49.000	1012	2808.00244140625
2017-03-29 18:59:49.000	1013	2628.51928710938
2017-03-29 18:59:49.000	1014	2671.29833984375
2017-03-29 18:59:49.000	1015	1.2

Таблица данных процесса обеззараживания воды

Таблица данных процесса обеззараживания воды называется Table_Data_For_Disinfection. Таблица строится аналогично таблице параметров процесса обесцвечивания, см. п. 1.2. Структура проекта таблицы приведена на рис.3.5, а пример данных в таблице процесса обесцвечивания воды приведен в табл. 3.17.

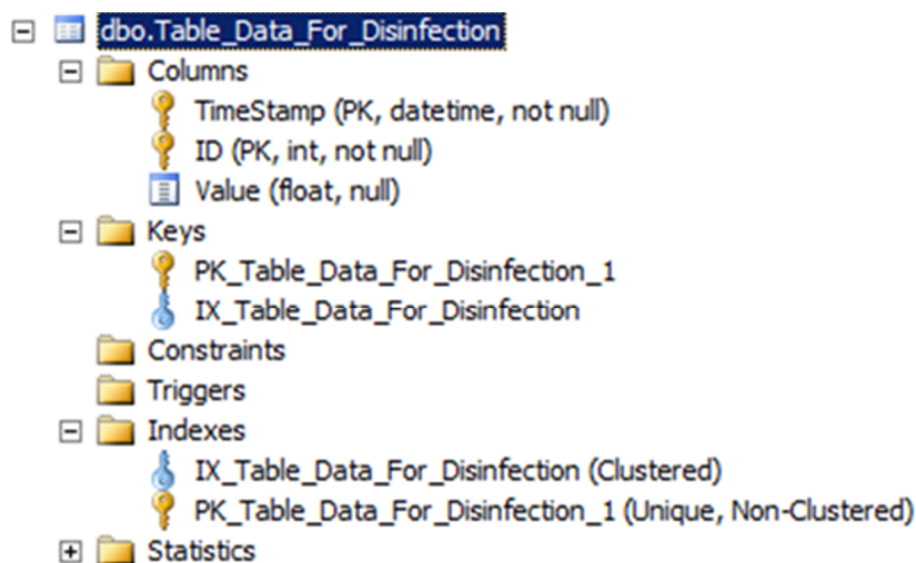


Рис. 3.5 Структура проекта таблицы обеззараживания

Таблица 3.17. Выписка из таблицы параметров производственного процесса

TimeStamp	ID	Value
2017-03-29 11:59:49.000	1038	4.5288
2017-03-29 11:59:49.000	1039	118
2017-03-29 11:59:49.000	1040	1650
2017-03-29 11:59:49.000	1041	0.22
2017-03-29 11:59:49.000	1042	230.50631
2017-03-29 11:59:49.000	1043	8.2
2017-03-29 11:59:49.000	1044	2.44662
2017-03-29 11:59:49.000	1045	39
2017-03-29 11:59:49.000	1046	1.19
2017-03-29 11:59:49.000	1047	2.16
2017-03-29 11:59:49.000	1048	87.43
2017-03-29 11:59:49.000	1049	532.626
2017-03-29 11:59:49.000	1050	67
2017-03-30 11:59:49.000	1038	8.686
2017-03-30 11:59:49.000	1039	85

Описание структуры представлений данных

Представления данных используются для удобства отображения данных пользователю и поиска необходимой информации. Для каждого параметра производственного процесса из таблицы списка параметров созданы собственные представления данных. Представление данных связывает идентификатор таблицы списка параметров и идентификатор таблицы данных процесса.

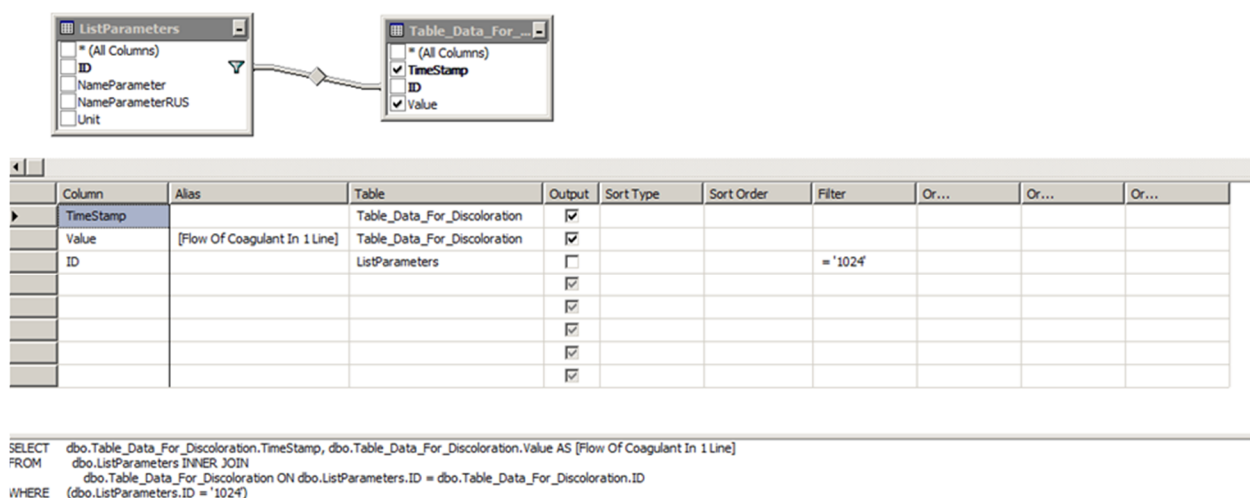


Рис. 3.6. Структура проекта представления данных

Результат выполнения представления показан в *табл. 3.18*.

Таблица 3.18. **Выписка из таблицы данных для расхода коагулянта**

TimeStamp	Flow Of Coagulant In 1 Line
2017-03-29 18:59:49.000	538.58
2017-03-29 19:59:49.000	511.7
2017-03-29 20:59:49.000	463.7
2017-03-29 21:59:49.000	463.93
2017-03-29 22:59:49.000	465.24
2017-03-29 23:59:49.000	454.34
2017-03-30 00:59:49.000	384.12
2017-03-30 01:59:49.000	384.4
2017-03-30 02:59:49.000	420.31
2017-03-30 03:59:49.000	460.02
2017-03-30 04:59:49.000	461.59
2017-03-30 05:59:49.000	472.36
2017-03-30 06:59:49.000	495.85
2017-03-30 07:59:49.000	538.59
2017-03-30 08:59:49.000	538.48

3.2.4. *Off-line* оптимизация для оценки потенциала возможных улучшений процесса. Модель построения и управления автоматизированной системой учета ресурсов (АСУР)

В системы интеллектуального управления технологическими процессами производства питьевой воды (СИУ ППВ) решаются следующие основные задачи:

I. *On-line* определение необходимого и достаточного дозирования реагентов для получения на выходе технологического участка производства питьевой воды нужного качества.

II. *On-line* поддержание выработки питьевой воды нужного качества при изменении входной «сырой» воды в пределах, допустимых для технологической схемы.

III. *On-line* поддержание выработки питьевой воды нужного качества при штатных режимах функционирования технологической схемы.

IV. *On-line* автоматическая динамическая реакция на выход параметров входной «сырой» воды из пределов, допустимых для технологической схемы, и на аварийные режимы работы. СИУ ППВ автоматически выдаст персоналу указания по устранению аварийного состояния и вырабатывает соответствующие команды автоматизированным системам и/или пользователи могут в реальном масштабе времени давать указания персоналу и автоматизированным системам по исправлению создавшейся ситуации. СИУ ППВ позволит минимизировать

количество ложных тревог и обеспечить соответствующую реакцию на реальные.

Кроме указанного выше СИУ ППВ – это мощный аналитический инструмент, использующий передовые технологии для извлечения знаний из имеющихся технологических и производственных данных. Эти инструменты используются *off-line* для идентификации причин производственных проблем и установления возможности предотвращения этих проблем в будущем. Пользователь получает возможность визуализации проблем процесса и их причин посредством моделирования и симуляции процесса с использованием доступных архивных производственных данных.

Такие *off-line* функции СИУ ППВ, как

- выявление вероятных причин проблем и отклонений в процессах;
 - выполнение сценариев «что если»;
 - автоматическое извлечение закономерностей процесса из данных;
 - оценка выгод от внедрения рекомендаций по управлению процессом,
- облегчают процесс идентификации и устранения проблем путем выявления их коренных причин и с помощью поддержки внедрения решений по улучшению процесса в интегрированной программной среде.

Автоматизированные решения по передовому управлению технологическими процессами и по поддержке принятия решений оператором помогают совершенствовать управление производственными процессами.

СИУ ППВ не решает задачи управления материальным ресурсным балансом водопроводной станции. Основной задачей СИУ ППВ является выработка питьевой воды нужного качества. При оптимальном функционировании технологической системы производства питьевой воды с оптимизацией расхода реагентов общая стоимость питьевой воды необходимого качества может возрасти.

Для поддержания баланса производства и потребления питьевой воды необходимо кроме СИУ ППВ создать модель построения и управления автоматизированной системой учета ресурсов (АСУР).

АСУР минимизирует материальные ресурсные затраты водопроводной станции за счет более точного планирования потребления питьевой воды и, соответственно, потребления химических реагентов, электроэнергии и воды на собственные нужды, необходимые для производства нужного количества и качества питьевой воды.

Основными задачами, решаемыми АСУР, являются:

- автоматизированный централизованный учет всех ресурсов водопроводной станции;
- осуществление краткосрочного и долгосрочного планирования потребления ресурсов;
- снижение затрат на покупку ресурсов путем более точного прогнозирования потребления и перехода на оптимальные тарифные планы;

- автоматическое оповещение оперативного персонала о выходе контролируемых параметров за расчетные допустимые пределы.

Автоматизированная система учета ресурсов должна создаваться:

- на основе методов процессного управления по технологии *Workflow*;
- на базе сервис ориентированной архитектуры информационно-управляющей структуры *SOA (Service-Oriented Architecture)*;
- с использованием методов усовершенствованного (расширенного) управления процессами *APC (Advanced Process Control)*.

3.2.5. Результаты проведенного моделирования на основе прототипа БД с данными реального технологического процесса

Для проверки методики построения модели БД были взяты реальные данные на примере процесса осветления питьевой объекта реальных очистных сооружений (*рис. 3.7*).

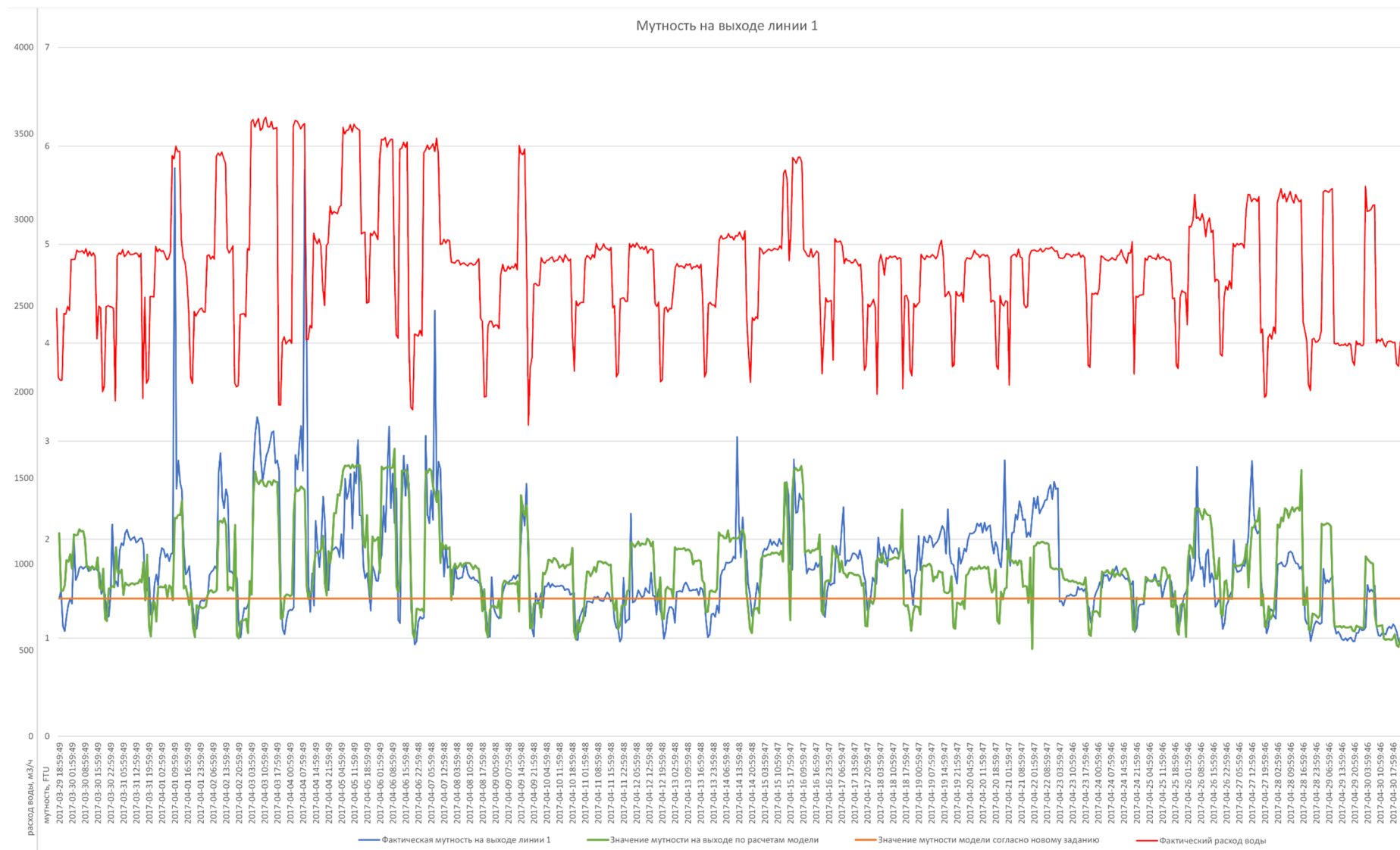


Рис. 3.7. Результат моделирования на основе прототипа БД по мутности

Для моделирования на основе прототипа БД был выбран процесс осветления воды, имеющий полный набор необходимых параметров для контроля и управления процессом, измеряемый системой автоматизированного контроля качества воды в режиме *on-line*, а также лабораторными данными. Для построения прототипа модели были использованы часовые значения за интервал измерений длиной в 1 месяц. Результат моделирования показан на *рис. 3.7–3.12*. Данные измерений были заведены в БД. С помощью специального программного обеспечения на основании этих данных был построен прототип модели процесса обесцвечивания воды. Основным параметром, характеризующим осветленную воду, была выбрана «мутность». Построенная модель «сходится» на 62 % с реальными данными. На *рис. 3.7* фактическая, измеренная «мутность» показана синим цветом, зеленым цветом показана «мутность», полученная по результатам моделирования. В построенной модели в качестве задания установили требуемое значение «мутности» в это время года для соответствующей температуры воды. Затем, запускаем модель с целью получить измененные показания расходов доз реагентов для достижения необходимого значения «мутности». Результаты моделирования показаны на *рис. 3.8 – 3.12*.

Выполненное моделирование наглядно демонстрирует, что при выборе зависимых параметров необходимо делать более детальную оценку взаимного влияния каждого параметра.

В разд. 2 общей архитектуры базы данных для процесса осветления при двухступенчатой технологической схеме водоочистки указаны значимые входные параметры исходного сырья (обрабатываемой воды) в сочетании с режимами производственного процесса. Согласно полученным результатам моделирования четко определено, что наряду с химическими процессами под влиянием применяемых реагентов эффективность и оптимальность производства зависит от физических параметров (в частности, скоростных режимов работы каждой ступени очистки).

Ошибочно при оценке результатов моделирования на основе базы данных (*рис. 3.8 – 3.12*) по дозе и расходу коагулянта, флокулянта и озона можно сделать выводы о неоптимальных значениях применяемых реагентов. Однако если учесть физико-химический характер процесса, то очевидным становится тот факт, что при одних и тех же параметрах качества исходной воды, при условии корректировки дозы коагулянта лучший результат осветления достигается при снижении расхода обрабатываемой воды. Такое наблюдение позволяет определить новые требования к построению модели данного процесса. Целостная оценка процесса при различных гидравлических нагрузках должна быть предусмотрена для опре-

деления оптимальных параметров процесса. В частности, наилучших режимов, определяющих объемы производства питьевой воды. В случае если с учетом часовой неравномерности водопотребления питьевой воды в течение суток и недостаточным парком резервуаров чистой воды отсутствует возможность установки режима в зоне сниженных скоростных нагрузок на сооружения, целесообразно моделировать процесс для контроля производства в режиме онлайн для каждого циклически повторяющегося режима (максимальной и минимальной нагрузки).

Анализ динамики моделирования на основе прототипа БД по расходу озона позволяет сделать следующие выводы. Озон в описываемом технологическом процессе с учетом качественных характеристик очищаемой воды не оказывает влияние на оптимизацию режимов реагентной обработки. Наряду с этим преозонирование в случае выбора избыточных доз озона приводит к значительному снижению эффекта осветления на первой ступени. Это обстоятельство в свою очередь свидетельствует о том, что при построении модели данного процесса (преозонировании) необходимо устанавливать предельно допустимое значение по активному веществу (озону) и контролировать процесс по граничному параметру, превышение которого следует оценивать как аварийную ситуацию.

Результаты моделирования представлены на *рис. 3.8 – 3.12*. Их анализ указывает на следующее:

- доза коагулянта по расчетам прототипа модели должна быть увеличена (*рис. 3.8*);
- расход коагулянта, согласно прогнозам модели, должен быть уменьшен (*рис. 3.9*);
- доза флокулянта, согласно моделированию, должна быть увеличена (*рис. 3.10*);
- расход флокулянта тоже должен быть увеличен (*рис. 3.11*);
- расход озона, согласно прототипу модели, тоже должен быть увеличен (*рис. 3.12*).

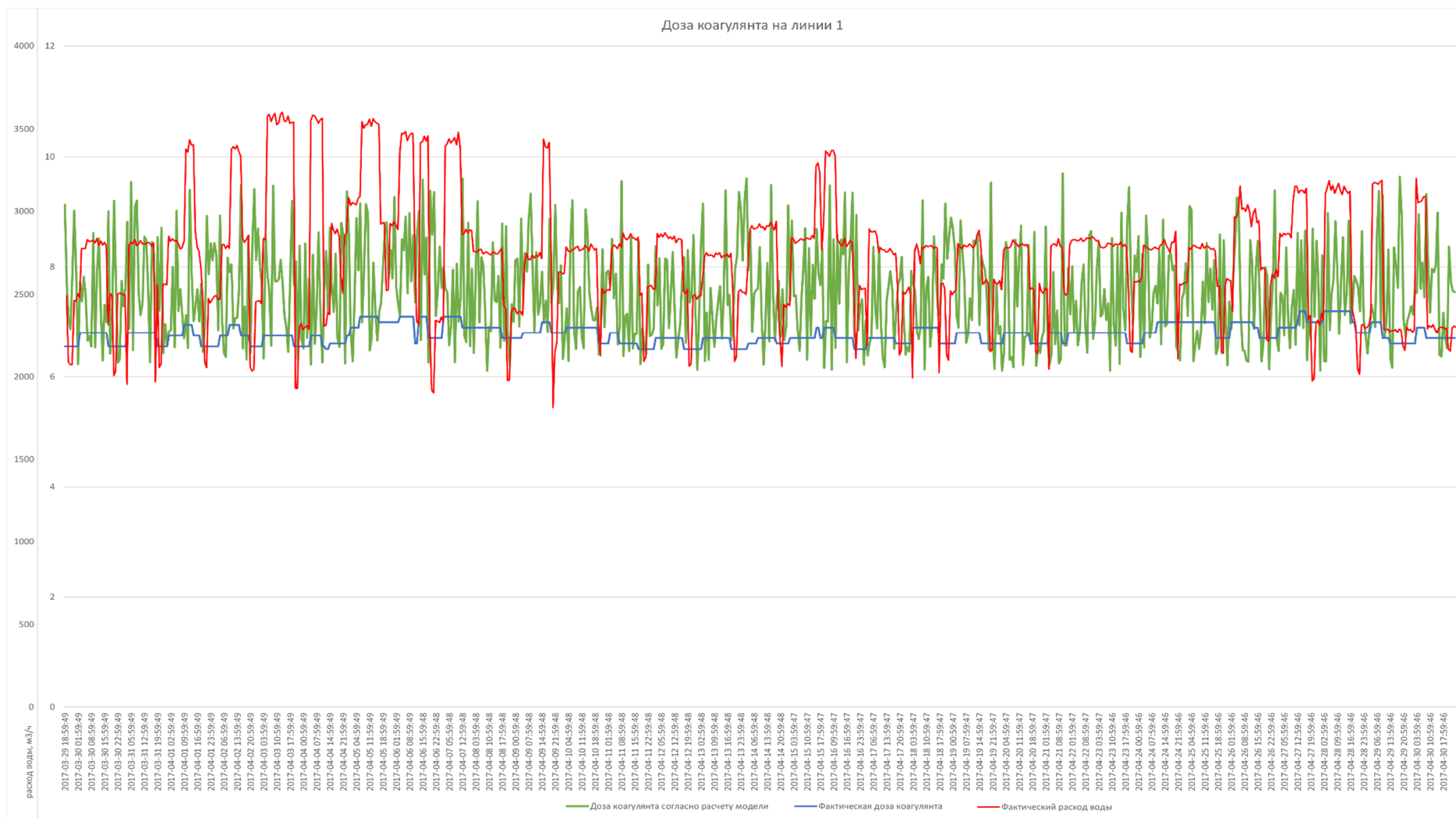


Рис. 3.8. Результат моделирования на основе прототипа БД по дозе коагулянта

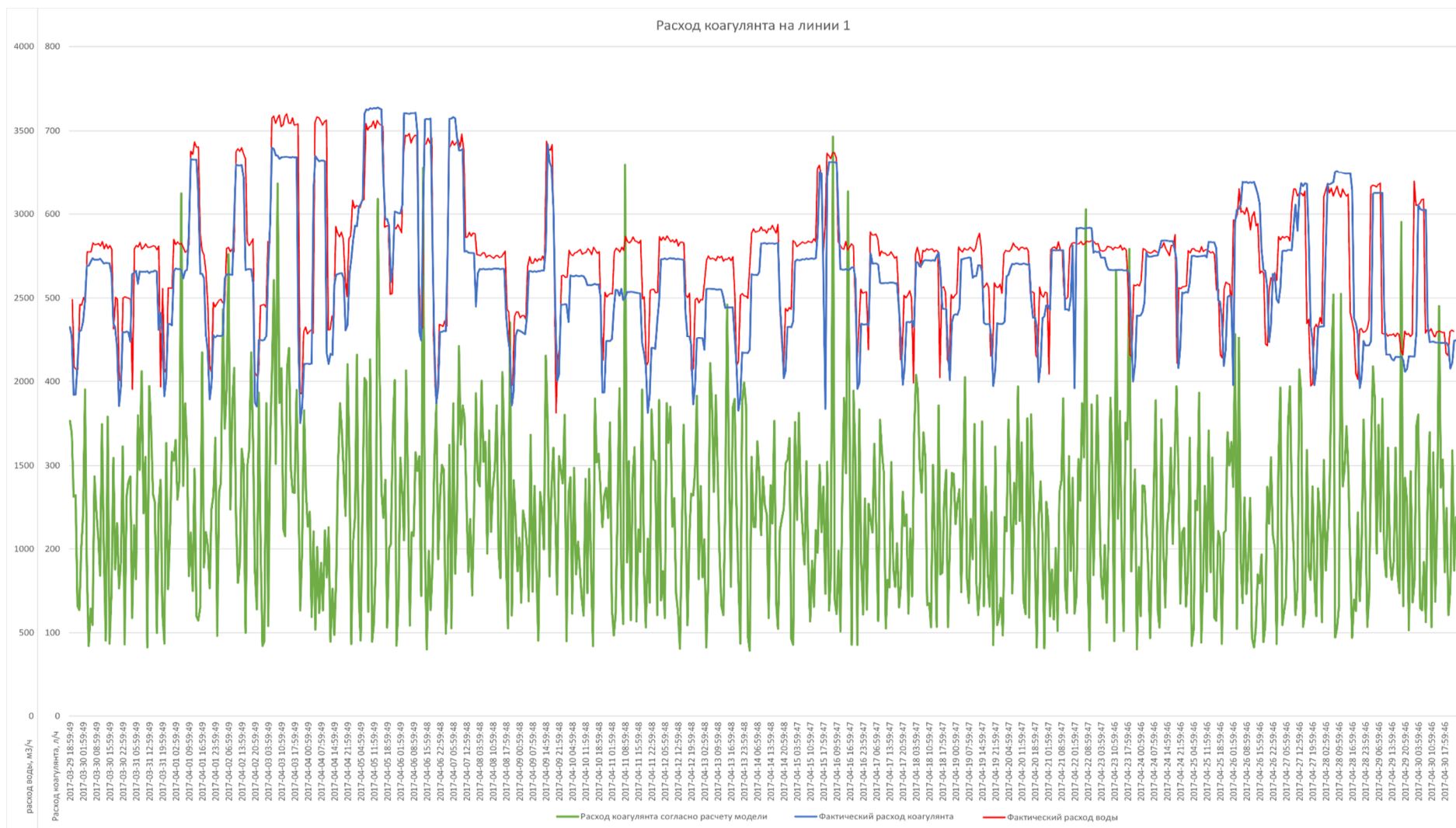


Рис. 3.9. Динамика моделирования на основе прототипа БД по расходу коагулянта



Рис. 3.10. Результат моделирования на основе прототипа БД по дозе флокулянта

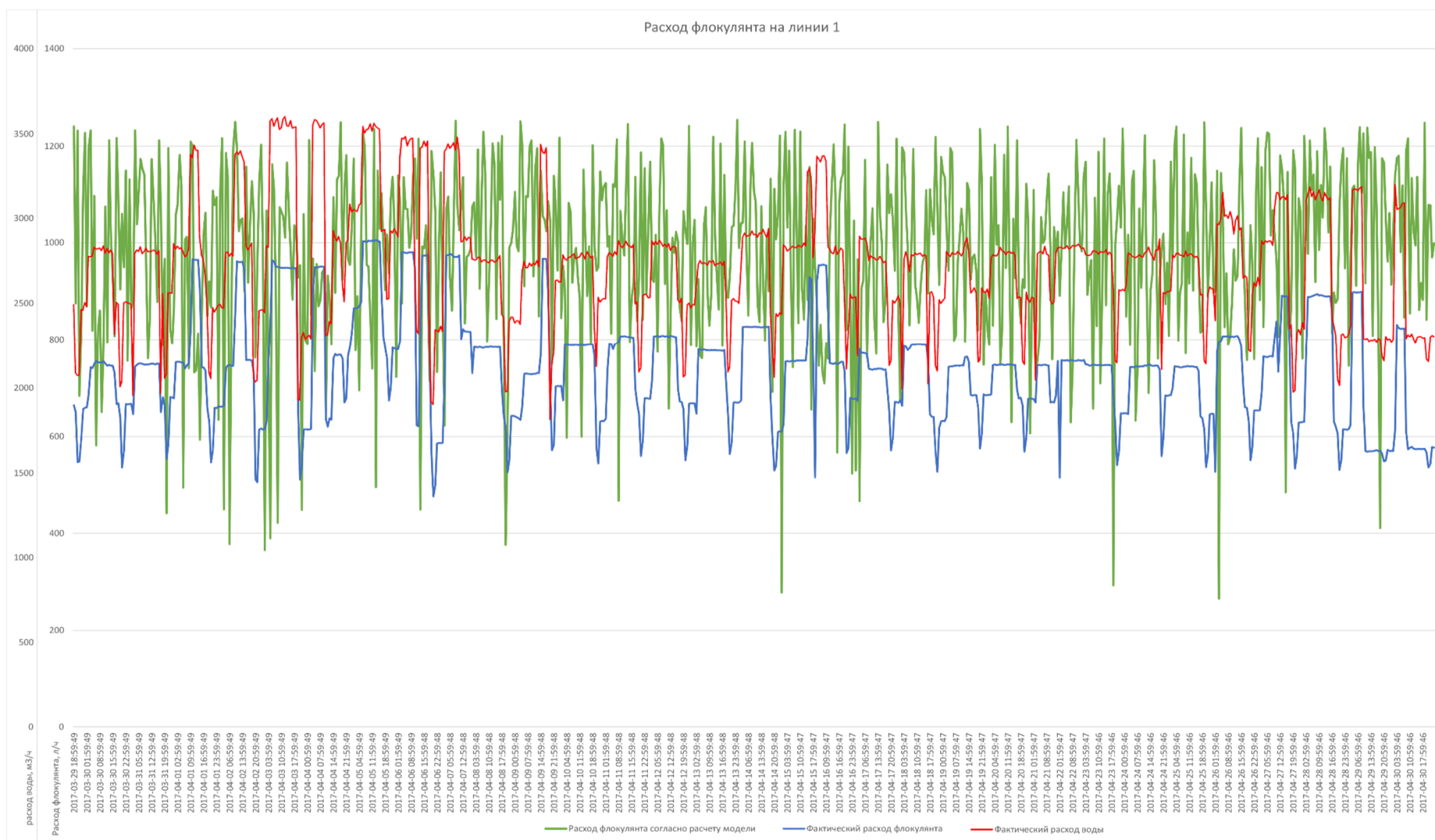


Рис. 3.11. Динамика моделирования на основе прототипа БД по расходу флокулянта

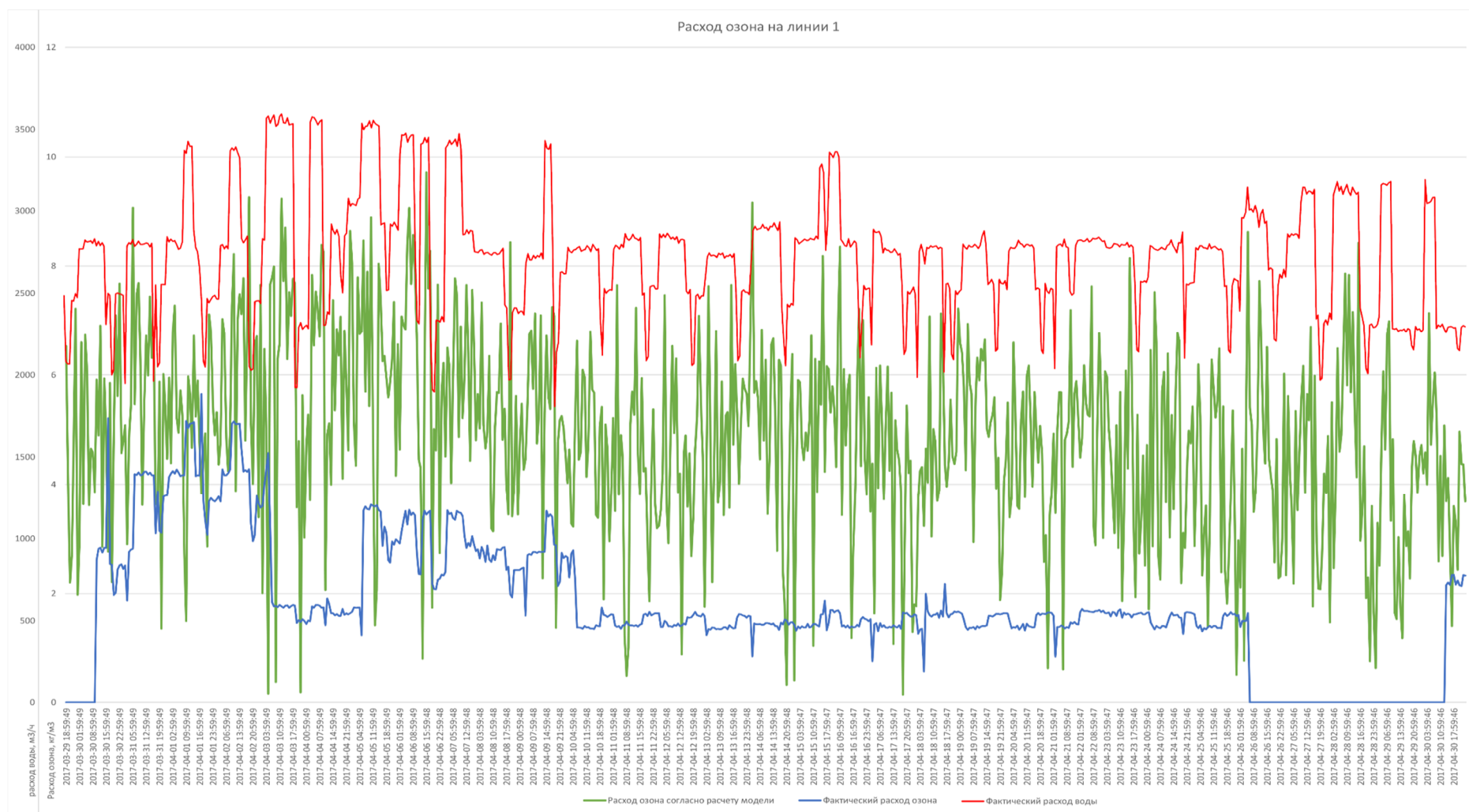


Рис. 3.12. Динамика моделирования на основе прототипа БД по расходу озона

4. ТЕСТИРОВАНИЕ ПРОТОТИПА БАЗЫ ДАННЫХ СИСТЕМЫ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ПРОЦЕССОМ ВОДОПОДГОТОВКИ

В качестве клиента разработанной базы данных выступает система интеллектуального управления технологическими процессами производства питьевой воды (СИУ ППВ).

Хранение базы данных осуществляется на выделенном резервируемом сервере, входящим в состав аппаратно-программного комплекса СИУ ППВ.

Сбор данных производится коллекторами СИУ ППВ, каждый из которых является определенным интерфейсом между источником данных и сервером. Коллектора передают собранную информацию в сервер базы данных и производят входную обработку данных.

Клиентское приложение получает данные из архивов и предоставляет их для пользователя в удобном виде. На этом уровне, исходя из исторических данных, решаются аналитические задачи.

Данные реального времени поставляются в сервер базы данных с применением специальных коллекторов. Поддерживаются интерфейсы OPC, доступ к базам данных *iFIX*, *OSI PI System* и текстовым файлам в формате *CSV/XML*.

Коллекторы поддерживают функции резервирования, буферизации данных и автоматического восстановления связи при сбоях. Настройка резервирования коллекторов производится без программирования. Количество резервируемых коллекторов в СИУ ППВ не ограничено.

Автоматический сбор информации на сервер базы данных выполняются из автоматизированных систем предприятия. Например, коллекторы обеспечивают сбор информации из следующих источников баз данных:

- АСУ ТП водоподготовки водопроводной станции;
- единое хранилище данных технологической информации;
- автоматизированная информационная система учета атмосферных осадков;
- информационная система «Водный баланс».

Дополнительно автоматический сбор информации на сервер базы данных возможен с помощью расчетных формул. Для проведения вычислений над архивными значениями используется коллектор *Calculation*. Он извлекает данные из базы, регулярно или по событию выполняет вычисления и/или логические преобразования и сохраняет результат в новых ар-

живных тегах. Синтаксис формул вычислений соответствует кодам *VBScript*.

При необходимости дополнительно осуществляется ручной ввод информации.

Специальный программный модуль СИУ ППВ обеспечивает контроль полноты, достоверности, требуемой периодичности и времени ввода информации.

Поддерживается резервирование сервера базы данных, при этом СИУ ППВ автоматически переключается на резервный сервер.

В СИУ ППВ автоматически и постоянно ведется не редактируемый контрольный протокол событий.

Таблицы базы данных защищены от несанкционированного доступа средствами, предоставляемыми СИУ ППВ. Каждый пользователь имеет доступ только к строго определенному набору информации. Наборы информации определяются ролью пользователя, хранимой моделью защиты информации.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате выполнения работы были разработаны:

- метод управления технологическими процессами производства питьевой воды;
- метод выбора значимых технических параметров производственного процесса;
- прототип базы данных управления технологическим процессом производства питьевой воды;
- алгоритм и модели построения и управления материальным ресурсным балансом водопроводной станции для повышения скорости принятия управленческих решений, увеличение вариативности технологических процессов в зависимости от изменяющихся входных и выходных параметров в режиме реального времени сложных реляционных технологических систем.

Производство питьевой воды – это комплекс технологических производственных процессов, направленных на получение продукции, соответствующей стандартам качества, нормируемым санитарным законодательством Российской Федерации, из исходного сырья – воды водоисточника.

Управление технологическими процессами производства питьевой воды имеет 4 основных функции – планирование, исполнение, контроль, корректировка (действия).

Управление технологическими процессами производства питьевой воды осуществляется на основании выявленных и описанных в методике закономерностей физико-химических процессов водоподготовки, взаимного влияния технологических параметров, методов выбора значимых параметров и способов их контроля.

В соответствии с процессным подходом основной процесс производства питьевой воды разложен на его подпроцессы, определены контрольные точки и контрольные показатели, описаны и классифицированы управляемые и неуправляемые параметры, определены причинно-следственные связи, сформирован массив данных для дальнейшего формирования базы данных.

Разработанный Метод 1 (разд. 1) может являться основой для формирования базы данных производства питьевой воды с иными технологическими процессами.

Производственный процесс производства питьевой воды содержит массив данных параметров технологических процессов.

При разработке системы интеллектуального управления технологическими процессами водоподготовки необходимо сделать выбор параметров, которые необходимо регулировать, контролировать и анализировать, по значениям которых можно контролировать качество питьевой воды.

В разработанном Методе 2 (разд. 2) определена архитектура взаимосвязи сбора данных для выбора значимых технических параметров технологических процессов. Сформирована классификация параметров СИУ.

Представлен алгоритм выбора значимых технических параметров для базовых технологических и смежных процессов производственного процесса на предприятии.

Разработанный Метод 2 (разд. 2) является неотъемлемой частью для формирования базы данных производства питьевой воды с иными технологическими процессами.

Производственный процесс управляется и контролируется на всем периоде жизненного цикла продукта, в нашем случае методы применены к основным процессам технологии водоподготовки – процесс осветления, процесс обесцвечивания, процесс обеззараживания и процесс сорбционной очистки. Измерение и анализ ключевых параметров процесса осуществляются средствами, позволяющими находить пути улучшения процессов и их оптимизации. На основе структурированной базы данных применена методология построения реляционных структур и зависимостей процесса водоподготовки питьевой воды, представленных в виде графического набора взаимосвязанных функций.

Процесс производства формируют несколько групп показателей:

- технологические показатели процесса;
- качественные и количественные показатели готового продукта;
- показатели эффективности процесса (стоимостные показатели процесса).

Используя результаты моделирования технологического процесса производства питьевой воды, применяя нейронные сети и методологию искусственного интеллекта в реальном времени, можно осуществлять анализ входных параметров и рассчитывать оптимальные режимы работы сооружений, реагентной обработки, энергоемкого оборудования для соблюдения заданных требований и экономических критериев.

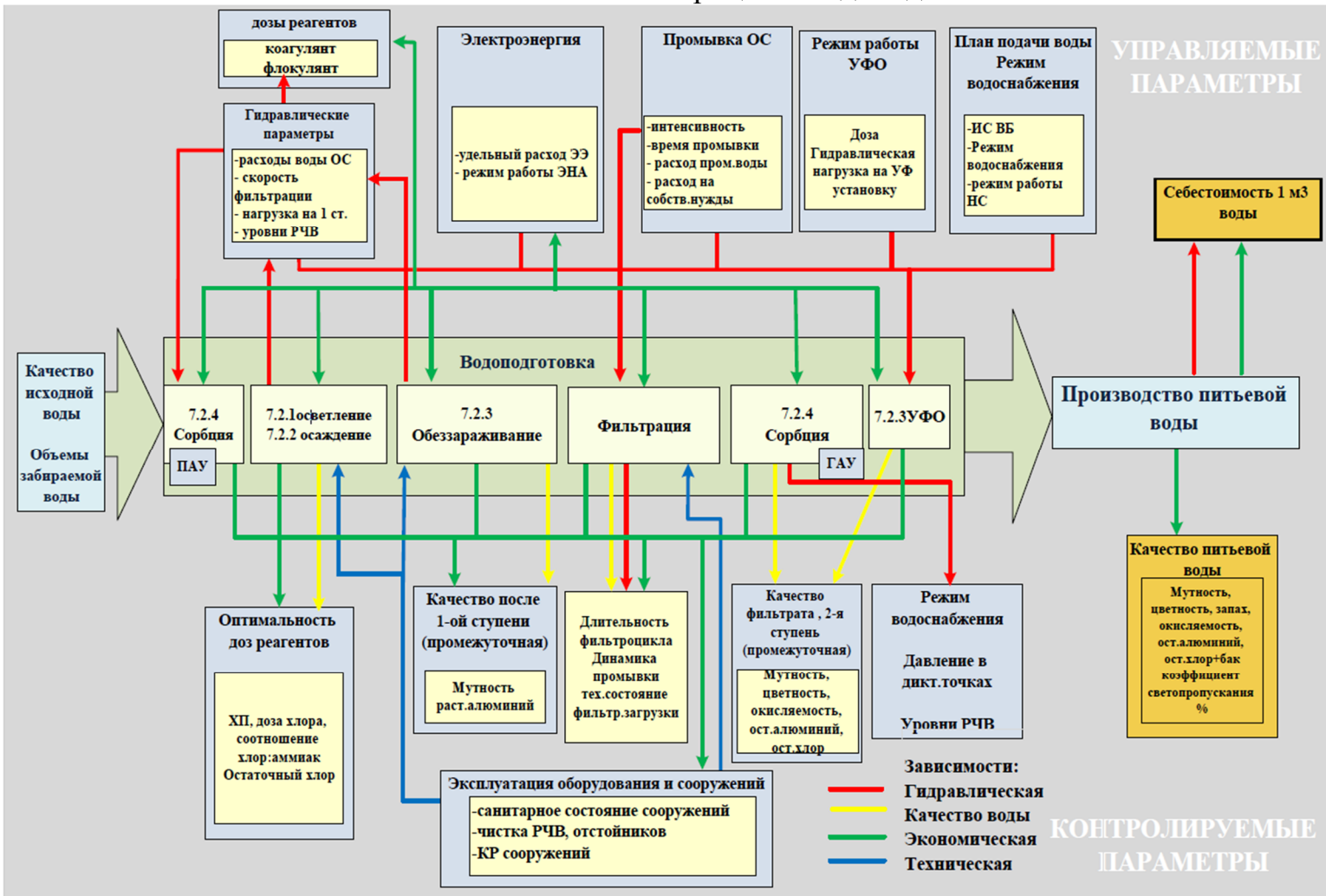
Разработан алгоритм построения и управления материальным ресурсным балансом водопроводной станции и модели базы данных технологического процесса водоподготовки, используя базу данных (БД), которая обеспечивает надежную защиту данных с механизмами поиска информации, удовлетворяющими требованиям к производительности.

В качестве клиента разработанной базы данных (БД) будет выступать система интеллектуального управления технологическими процессами производства питьевой воды как аналитический инструмент работы с анализом архивов для идентификации причин производственных проблем и установления возможности предотвращения этих проблем в будущем. Пользователь получает возможность визуализации проблем процесса и их причин посредством моделирования и симуляции процесса с использованием доступных архивных производственных данных.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Материалы аттестационной работы: Разработка системы интеллектуального управления производством на примере процесса водоподготовки водопроводной станции филиала «Водоснабжение Санкт-Петербурга» / И. Л. Боброва, О. Д. Галактионова, В. В. Никонов, А. О. Быков. – Санкт-Петербург, 2018.
2. Кичигин, В. И. Моделирование процессов очистки воды: учебное пособие / В. И. Кичигин. – Санкт-Петербург: Издательство АСВ, 2003. – 230 с.
3. Программа разработки и внедрения пилотного проекта «Автоматизированная система управления качеством воды на водопроводных станциях ГУП «Водоканал Санкт-Петербурга». – Санкт-Петербург, ГУП «Водоканал Санкт-Петербурга», 2016.
4. Технологический регламент производства питьевой воды Южной водопроводной станции ГУП «Водоканал Санкт-Петербурга». – Санкт-Петербург, 2017.
5. Ушева, Н. В. Математическое моделирование химико-технологических процессов / Н. В. Ушева, О. Е. Мойзес, О. Е. Митянина, Е. А. Кузьменко. – Томск, Издательство Томского политехнического университета, 2014. – 135 с.
6. STATISTICA фирменное руководство. – Москва: Компания StatSoft, 1995. – 3756 с.

Блок-схема процесса водоподготовки



Научное издание

Витковская Раиса Федоровна
Портнова Татьяна Михайловна
Гусев Алексей Алексеевич

Автоматизация управления процессом водоподготовки

Монография

Издательский редактор Н. А. Ерина

Оригинал-макет подготовлен Н. Г. Смирновой

Научное электронное издание сетевого распространения

Системные требования:
электронное устройство с программным обеспечением
для воспроизведения файлов формата PDF

Режим доступа: http://publish.sutd.ru/tp_get_file.php?id=2024137, по паролю.
– Загл. с экрана.

Дата подписания к использованию 25.12.2024 г. Рег. № 137/24