

ПРИМЕНЕНИЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В СИСТЕМАХ ВОДООЧИСТКИ: ОПЫТ АЛЕКСАНДРА ВЛАДИМИРОВИЧА СОКОЛОВА Клопотной В.А.

*Клопотной Василий Анатольевич – Главный инженер
ООО «Прогресс»
г. Санкт-Петербург*

Аннотация: материал рассматривает подход Александра Владимировича Соколова к созданию технологических решений в области водоочистки, ориентированных на дальнейшую интеграцию искусственного интеллекта. Анализируются инженерные методы подготовки жидких сред, применение резонансной диагностики, структурирование потока и организация многоступенчатых процессов обработки. Показано, что предложенная Соколовым архитектура позволяет формировать устойчивые физические условия, необходимые для корректной работы интеллектуальных алгоритмов.

Ключевые слова: водоочистка; искусственный интеллект; резонансная диагностика; структура потока; инженерные методы; сточные воды.

APPLYING ARTIFICIAL INTELLIGENCE TO HOME WATER TREATMENT: ALEXANDER VLADIMIROVICH SOKOLOV'S EXPERIENCE Klopotnoy V.A.

*Klopotnoy Vasily Anatolyevich – Chief Engineer,
PROGRESS LLC,
ST. PETERSBURG*

Abstract: this article examines Alexander Vladimirovich Sokolov's approach to creating technological solutions in water treatment focused on the further integration of artificial intelligence. Engineering methods for preparing liquid media, applying resonance diagnostics, structuring flow, and organizing multi-stage treatment processes are analyzed. It is shown that Sokolov's proposed architecture enables the formation of stable physical states necessary for the correct operation of intelligent algorithms.

Keywords: water treatment; artificial intelligence; resonance diagnostics; flow structure; engineering methods; wastewater.

УДК 628.16

Применение искусственного интеллекта в инженерных системах водоочистки на практике ограничено свойствами самой среды. Процессы очистки зависят от динамики потока, концентрации примесей, распределения фаз и поведения раствора под воздействием внешних факторов [2]. Если параметры жидкости меняются непредсказуемо, алгоритмические методы управления становятся менее эффективными, так как цифровые модели не получают стабильных входных данных [5].

Интерес к работам Александра Владимировича Соколова связан с тем, что он предлагает инженерный подход, где цифровые методы рассматриваются не как обособленный уровень управления, а как часть общей технологической логики. Он проектирует физические процессы так, чтобы качество данных становилось достаточным для машинного анализа. Эта последовательность — сначала стабилизация среды, затем её диагностика, и только после этого алгоритмическое управление — формирует характерную черту его инженерной методологии.

В его статьях, посвящённых обработке жидкостей и инженерным системам зданий, прослеживается единая линия: изменение физического состояния среды рассматривается как основа для точного контроля. В патентной разработке по очистке сточных вод эта линия получает завершённую технологическую форму. Система объединяет вихревые процессы, газодинамику, электроэкстракцию и резонансные методы контроля в единый технологический контур, пригодный для цифровизации.

Задача данной статьи — описать, как инженерные решения Соколова формируют предпосылки для применения искусственного интеллекта в водоочистке, и показать характер его личного вклада в развитие таких систем.

В работах Соколова управление состоянием жидкости рассматривается не как вспомогательная задача, а как базовый инженерный блок, определяющий последующее качество всех процессов обработки. Такой подход отличается от традиционных схем, где параметры потока считаются внешним фактором, требующим компенсации средствами химии или дополнительного оборудования. В статье «Современные комплексные методы безреагентной обработки жидкостей» он анализирует свойства

жидких сред как динамических систем. Соколов показывает, что многие эксплуатационные отклонения обусловлены не характером загрязнений, а нестабильной структурой потока. Жидкая среда постоянно меняет распределение примесей, плотность, газонасыщение и вязкость. Эти изменения формируют погрешности контроля и усложняют управление процессом.

Для устранения нестабильности он предлагает методы гидродинамического воздействия. Вихревые структуры, кавитационные зоны и газожидкостные процессы используются не только для механического разрушения включений или отделения примесей. Их функция шире: создание устойчивого состояния среды. В такой конфигурации поток сохраняет однородность, даже если на входе условия менялись. Этот подход имеет значение для цифровых систем. Алгоритмы машинного анализа нуждаются в данных, отражающих закономерную динамику, а не случайные колебания. Стабилизированный поток позволяет получить более чистую картину изменений.

В статье «Отопительная система в инфраструктуре умного дома» аналогичный принцип применяется к топливным смесям, но инженерная логика остаётся той же [4]. Соколов рассматривает жидкость как объект, поведение которого можно упорядочить физически, а не только измерять. Фактически он делает подготовку среды не предварительным, а ключевым элементом технологической схемы. Это и формирует отличие его решений от распространённых инженерных моделей, где стабилизация выполняется эпизодически или не является обязательной.

Следующим элементом авторского подхода является способ контроля. В своих публикациях Соколов описывает резонансную диагностику как метод оценки состояния среды, способный отслеживать изменения без отбора проб и в режиме реального времени. Принцип заключается в том, что жидкость включается в резонансный контур. Параметры поля меняются в зависимости от свойств раствора, что позволяет регистрировать отклонения структуры, проводимости, концентрации ионов и ряда других характеристик.

Метод интересен не только как инструмент измерений. Он создаёт полноценный информационный слой, встроенный в технологическую линию. Данные возникают там же, где происходят физические преобразования среды. Это отличие от многих схем, где анализ выполняется отдельно от процесса, что снижает скорость реагирования. Соколов использует резонансную диагностику как постоянный источник параметров, отражающих состояние среды внутри установки. Алгоритмические системы могут опираться на такие данные, поскольку они формируются непрерывно, обладают высокой чувствительностью и выявляют изменения раньше, чем это становится заметно на химическом уровне.

Для разработки интеллектуальных систем это создаёт фундамент: данные имеют физическую природу, привязаны к конкретным стадиям процесса и могут быть использованы для построения прогностических моделей.

Технологическая линия водоочистки, которую описывает Соколов в патентных материалах, строится как система, где состояние среды меняется последовательно и поддается измерению на каждом этапе [3]. В отличие от схем, где отдельные модули работают независимо, здесь этапы взаимосвязаны и образуют единый контур. Вода проходит подготовку, отделение примесей, электрохимическую обработку и контроль. На всех участках формируются параметры, которые могут служить входом для цифровых методов.

Соколов проектирует последовательность стадий так, чтобы каждый этап создавал условия для следующего. Это инженерная логика, где поток не только проходит обработку, но и изменяется в направлении повышения своей предсказуемости. Для искусственного интеллекта такая структура представляет интерес, поскольку алгоритмы способны анализировать не только текущее состояние, но и последствия действий, выполненных ранее. Если технологическая линия построена последовательно, цифровой модуль получает данные, позволяющие оценивать процесс как единую систему.

В патентной схеме важную роль играет баланс между физическими воздействиями и возможностью корректировать режим. Кавитационные зоны, вихревые модули и газонасыщение создают состояние среды с определёнными характеристиками. Электроэкстракционные блоки работают при заданной проводимости и составе раствора. Резонансные датчики фиксируют изменения. Эти элементы выстроены в одну логику, и интеллектуальная система получает доступ к параметрам, отражающим ход процесса без задержек. Вклад Соколова проявляется в том, что структура процесса формируется не вокруг оборудования, а вокруг управляемых параметров. Он рассматривает состояние среды как основной объект регулирования. Такой подход создаёт технические условия для применения алгоритмов, не меняя базовой физической инфраструктуры. Интеллектуальная система получает доступ к параметрам, которые сохраняют стабильность и отражают реальную динамику потока.

В большинстве инженерных объектов состав сточных вод изменяется под влиянием производственных процессов, сезонных факторов и нерегулярных сбросов. Это усложняет цифровой анализ, поскольку даже при наличии датчиков данные могут не отражать устойчивых закономерностей. Для интеллектуальных систем недостаточная повторяемость входных данных снижает точность моделей и увеличивает вероятность ложных решений. В работах Соколова проблема изменчивости

рассматривается как инженерная, а не только как аналитическая. Он моделирует процесс так, чтобы вариативность на входе не приводила к случайному поведению установки. Вихревые и кавитационные воздействия используются как механизм сглаживания разницы между разовыми изменениями состава и параметрами, которые влияют на ход основного процесса. Это создаёт состояние потока, которое фиксируется на всем технологическом протяжении и сохраняет устойчивые характеристики.

Такая организация позволяет интеллектуальным алгоритмам работать не на случайных величинах, а на данных, которые отражают физическую структуру процесса [6]. Поток формируется так, что изменения, связанные с внешними факторами, становятся плавными и поддаются обнаружению. Это важно для прогностических моделей, поскольку они работают лучше, когда параметрам присуща внутренняя последовательность. Именно эта внутренняя последовательность и является результатом инженерного проектирования. Вклад Соколова в том, что он рассматривает поток воды как управляемую среду, характеристики которой могут быть стабилизированы физическими методами, а не только учтены в цифровой модели.

Резонансный метод диагностики, который Соколов применяет в своих публикациях, даёт возможность получать измерения, отражающие параметры среды не косвенно, а непосредственно через электрические характеристики. Такая методика отличается тем, что изменения состава и структуры фиксируются на уровне колебательных процессов, а не через параметры химического анализа. Это создаёт информационный массив, где данные возникают в той же точке, где происходят технологические изменения. Такой набор данных подходит для применения методов машинного обучения. Алгоритмы получают доступ к частотно-временным сигнатурам процесса, которые отражают его динамику. Здесь вклад Соколова заключается в том, что он внедряет измерительную технологию, совместимую с физической логикой процесса. Данные, которые формируются на основе резонансных методов, соответствуют тем же свойствам среды, которые заданы конструкцией технологической линии.

Функции алгоритмов в системе, построенной по модели Соколова, не сводятся к мониторингу. Они ориентированы на выбор режимов работы в зависимости от динамики среды. Такие функции становятся возможными в тех случаях, когда технологический контур позволяет корректировать параметры внутри процесса. У Соколова архитектура линий водоочистки включает участки, где скорость потока, интенсивность газонасыщения, параметры кавитации и электрические режимы являются регулируемыми.

Интеллектуальная система, принимающая данные от резонансных датчиков, может сравнивать состояние потока с желаемыми параметрами. Если отклонения сохраняются, алгоритм определяет, какой участок требует корректировки. Это не означает автоматического вмешательства на каждом этапе. Логика лежит в том, что изменения вводятся только там, где параметры выходят за тот диапазон, который необходим для дальнейшей обработки. Поскольку процесс выстроен последовательно, интеллектуальная система может учитывать влияние ранее выполненных операций. Это отличает схему Соколова от тех, где алгоритмы работают с данными локальных участков. Его подход позволяет формировать модель, в которой состояние среды рассматривается как результат прохода через несколько уровней подготовки. Для инженерных задач это важно: цифровое управление становится частью общей логики процесса, а не отдельным элементом.

Применение резонансных данных в системах Соколова позволяет алгоритмам не только фиксировать отклонения, но и определять характер изменений внутри среды. Такой набор параметров обеспечивает алгоритмам возможность сопоставлять состояние потока с прогнозируемыми моделями и выбирать режимы воздействия ещё до появления нежелательных эффектов. Это делает модели более устойчивыми и снижает вероятность ложных срабатываний.

Прогнозирование является одним из ключевых направлений использования искусственного интеллекта в водоочистке. Но для построения моделей необходимо, чтобы данные обладали внутренней связностью. В системах Соколова эта связность создаётся физическими методами подготовки среды. Изменения в параметрах становятся последовательными, что делает возможным выделение повторяющихся закономерностей. На основе данных резонансной диагностики алгоритмы могут определять тенденции изменения концентраций, направление динамики органических примесей, возможные изменения проводимости или уровня металлов в растворе. Прогнозы позволяют изменять режимы работы технологических блоков до того, как параметры достигнут критических значений.

Особенность подхода Соколова в том, что он рассматривает прогнозирование как свойство системы, а не как отдельную цифровую функцию. Архитектура технологии построена так, что данные формируются в режиме, подходящем для анализа. Это определяет характер его вклада: он создает условия, где алгоритмы не компенсируют недостатки процесса, а работают на основе физически устойчивой среды.

В публикации «Современные комплексные методы безреагентной обработки жидкостей» Соколов показывает, что физическое состояние жидкости может быть целенаправленно стабилизировано за счёт регулирования гидродинамических режимов. В работе «Отопительная система в инфраструктуре умного дома» эта логика переносится на другую область, но сохраняет те же опорные элементы:

предварительная физическая подготовка среды, затем контроль, затем управление. Такое последовательное применение одинакового принципа в разных инженерных контекстах говорит о сформировавшейся авторской модели. Патентная схема комплексной водоочистки с использованием электрохимических и резонансных методов демонстрирует, как эта модель реализуется на уровне законченного технологического решения. Система включает блоки подготовки, обработки и контроля, причём каждый из них спроектирован с пониманием того, какие параметры должны быть доступны для измерений и регулирования. В результате создаётся технологическая архитектура, которая допускает подключение интеллектуальных алгоритмов без пересмотра её физических основ.

Устройства, описанные в патентной документации, позволяют варьировать интенсивность кавитации, скорость потока и уровень газонасыщения без остановки процесса. Для систем искусственного интеллекта такая структура удобна тем, что алгоритм может применять меры оперативного вмешательства по зафиксированным тенденциям, а не по уже наступившим нарушениям. Это переводит управление из реактивного в прогностический режим.

Вклад Соколова заключается в том, что он предлагает рассматривать искусственный интеллект как продолжение инженерной логики, а не как внешний слой, который накладывается на существующую установку. Это снимает типичное противоречие между «традиционной» и «цифровой» инженерией: его схемы изначально ориентированы на измеримость состояния среды и возможность алгоритмического анализа. Отдельного внимания заслуживает выбор методов диагностики. Использование резонансных принципов позволяет получать данные, непосредственно связанные с теми же параметрами, которые задаются в физической части процесса. Благодаря этому цифровая модель процесса не отрывается от реальной гидродинамики и электрохимии, а опирается на параметры, встроенные в технологический контур. В инженерной практике это снижает риск расхождений между расчётами и фактическим поведением установки.

С инженерной точки зрения опыт Соколова интересен ещё и тем, что он ориентирован на возможность модернизации действующих систем. Физические блоки подготовки и контроля, которые он описывает, могут быть внедрены поэтапно. Это открывает путь к постепенному включению интеллектуальных модулей: сначала создаётся стабильный поток и контур измерений, затем подключается аналитика, затем расширяются функции прогноза и регулирования. Такой поэтапный сценарий хорошо согласуется с реальными условиями работы очистных сооружений и инженерных систем зданий.

В инженерной практике это означает, что интеллектуальная система может выполнять функции поддержания качества очистки, раннего определения неблагоприятных сдвигов, управления расходом реагентов и выбора оптимального режима обработки. Такой набор функций отражает практическую направленность работ Соколова и показывает применение искусственного интеллекта в реальных технологических условиях, а не только в теоретической модели.

Опыт Александра Владимировича Соколова в области водоочистки демонстрирует инженерную модель, в которой применение искусственного интеллекта опирается на заранее подготовленную физическую основу. В разработанных им схемах состояние жидкости рассматривается как управляемый параметр, а не как внешняя данность. Вихревые, кавитационные и газожидкостные процессы используются для стабилизации структуры потока, резонансная диагностика обеспечивает непрерывную информацию о его состоянии, многоступенчатая архитектура очищающих блоков формирует логичный контур для регулирования. Такой подход создаёт условия, при которых интеллектуальные алгоритмы могут работать с данными, отражающими реальную динамику процесса, а не случайные колебания. Это касается как задач мониторинга, так и задач прогноза. Алгоритмы получают возможность оценивать изменения характеристик среды во времени, сопоставлять их с режимами работы отдельных блоков и предлагать решения, основанные на фактической структуре технологической линии.

Личный вклад Соколова заключается в том, что он последовательно связывает физическую, измерительную и цифровую составляющие процесса. Инженерная архитектура в его работах проектируется с учётом будущего использования искусственного интеллекта, а не адаптируется к нему задним числом. В результате водоочистка предстает не как набор разрозненных операций, а как управляемый контур, в котором физические процессы и алгоритмический анализ дополняют друг друга.

Такое сочетание инженерных и цифровых решений соответствует запросу отрасли на повышение устойчивости и прозрачности процессов водоочистки и показывает, каким образом опыт отдельного разработчика может использоваться как ориентир для построения интеллектуальных технологических систем.

Список литературы / References

1. Гаврилов Д.С. Новые умные технологии в инфраструктуре умного дома // Интернаука. 2025. № 15(379). С. 30–36.

2. *Миркин Л.Г.* Приемы и алгоритмы формирования инновационных технических решений // Интернаука. 2025. № 14(378). С. 22–28.
3. *Соколов А.В.* Отопительная система в инфраструктуре умного дома // Интернаука. 2025. № 15(379). С. 12–19.
4. *Соколов А.В.* Современные комплексные методы безреагентной обработки жидкостей // Интернаука. 2025. № 16(380). С. 8–15.
5. *Степанов С.Н.* Ресурсные эффекты внедрения безреагентных технологий. Экология и промышленность России. 2024. № 3. С. 44–51.
6. *Чесноков П.Н., Углов В.Е.* Моделирование динамики потоков в инженерных системах. Вестник МГТУ. 2023. Т. 25. № 4. С. 97–108.