

УДК 628.16

**ПРИМЕНЕНИЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА ДЛЯ
ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ КОАГУЛЯЦИИ
И ФЛОКУЛЯЦИИ В СИСТЕМАХ ВОДОПОДГОТОВКИ НА ТЭС
THE USE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE TO PREDICT THE
EFFECTIVENESS OF COAGULATION AND FLOCCULATION IN WATER
TREATMENT SYSTEMS AT THERMAL POWER PLANTS**

Д.В. Данилович, Д.В. Чуйко

Научный руководитель – В.А. Романко, старший преподаватель
Белорусский национальный технический университет, г. Минск

D. Danilovich, D. Chuiko

Supervisor – V. Romanko, Senior Lecturer
Belarusian national technical university, Minsk

Аннотация: В статье рассматриваются современные цифровые методы, применяемые для прогнозирования эффективности коагуляции и флокуляции на тепловых электростанциях. Описаны модели, позволяющие оценивать качество исходной воды и подбирать оптимальные дозировки реагентов. Отмечены актуальные тенденции 2023–2025 годов – внедрение онлайн-моделирования, цифровых двойников и интеллектуальных систем управления. Особое внимание уделено адаптивным алгоритмам, которые повышают стабильность работы водоподготовительных установок, сокращают затраты и снижают воздействие на окружающую среду.

Abstract: The paper considers modern digital methods used to predict the efficiency of coagulation and flocculation in thermal power plants. Models are described that make it possible to evaluate the quality of the source water and select optimal dosages of reagents. The current trends of 2023–2025 are noted – the introduction of online modeling, digital twins and intelligent control systems. Special attention is paid to adaptive algorithms that increase the stability of water treatment plants, reduce costs and reduce environmental impact.

Ключевые слова: машинное обучение, коагуляция, флокуляция, водоподготовка, тепловая электростанция, цифровой двойник, прогнозирование эффективности, нейронные сети.

Keywords: machine learning, coagulation, flocculation, water treatment, thermal power plant, digital twin, efficiency prediction, neural networks.

Введение

Водоподготовка играет решающую роль в работе тепловых электростанций, обеспечивая нужное качество воды для котлов и турбин. Если параметры воды нарушены, появляются накипь, коррозия и падает эффективность оборудования. Основу очистки составляют процессы коагуляции и флокуляции, которые удаляют из воды взвешенные и коллоидные примеси.

Раньше подбор доз реагентов проводился в основном лабораторно – через серию проб и ошибок. Это занимало много времени и требовало больших затрат. Сегодня, когда энергетика движется в сторону цифровизации, экологичности и

оптимизации расходов, появляется потребность в более точных и гибких инструментах управления.

Основная часть

Процессы коагуляции и флокуляции – основа эффективной очистки воды на тепловых электростанциях. Всё начинается с коагуляции: в воду добавляют реагенты, которые нейтрализуют заряд коллоидных частиц и заставляют их объединяться в более крупные образования. Затем вступает в действие флокуляция – из этих частиц формируются хлопья (флокулы), которые потом легко удалить отстаиванием или фильтрацией. На эффективность очистки влияет масса факторов: температура воды, уровень pH , щёлочность, состав органических и неорганических веществ, скорость перемешивания и время осаждения. Раньше дозу реагентов подбирали вручную, через лабораторные пробы. Это было долго, дорого и не всегда точно. Сейчас, когда качество исходной воды часто меняется, а требования к очистке становятся всё строже, на помощь приходят цифровые методы прогнозирования.

Цифровые методы анализируют исторические данные, текущие параметры воды и режим работы оборудования, чтобы заранее понять, насколько эффективно пройдут процессы коагуляции и флокуляции, и подобрать оптимальную дозировку реагентов.

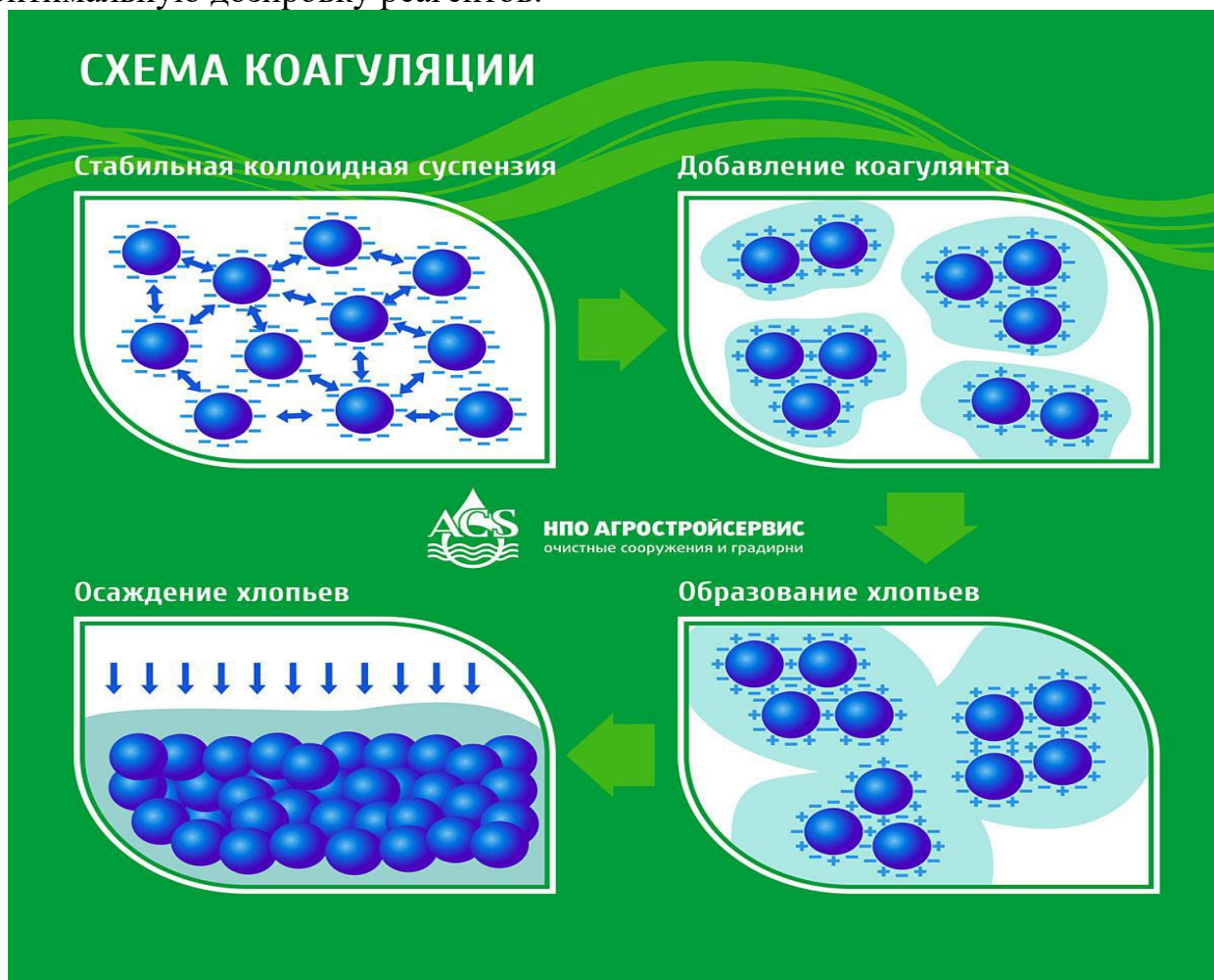


Рисунок 1 – Схематическое изображение процессов коагуляции и флокуляции в системе водоподготовки [1]

Современные алгоритмы анализа данных – случайные леса, градиентный бустинг, нейросети – позволяют предсказывать остаточную мутность, содержание органики и скорость осаждения флоккул. Исследования показывают, что такие подходы дают высокую точность и снижают потребность в лабораторных испытаниях. Особенно интересны гибридные модели, где физико-химические закономерности сочетаются с машинными методами анализа. Они делают прогнозы устойчивыми даже при неполных данных. А цифровые двойники систем водоподготовки дают возможность моделировать процессы в реальном времени: прогнозировать эффективность очистки, корректировать дозировку реагентов и отслеживать влияние ключевых факторов – pH , температуры, содержания органики или концентрации коагулянта. Когда цифровые модели связаны с онлайн-мониторингом, от датчиков мутности, pH и других показателей постоянно поступают свежие данные [2]. Они анализируются на лету, и система может тут же подстроить процесс. Благодаря облачным и периферийным вычислениям такие решения можно внедрять на действующих ТЭС без серьёзной модернизации. Эффект от цифровизации очевиден: снижается расход реагентов, растёт стабильность работы очистных сооружений, сокращаются лабораторные испытания и нагрузка на окружающую среду. Особенно хорошо себя показывают комбинированные подходы, где математические модели работают вместе с анализом данных. Такие системы умеют адаптироваться к изменениям состава воды – будь то сезонные колебания, смена источника водоснабжения или особенности работы станции. Автоматическая корректировка прогнозов помогает избежать перерасхода реагентов и ухудшения качества осветления.

Применение прогнозных моделей становится важной частью цифровизации энергетики. Данные о водоподготовке можно объединять с другими технологическими процессами станции, чтобы повысить общую эффективность и предупредить возможные сбои. Моделирование различных стратегий управления позволяет заранее увидеть, как изменения дозировки или режима работы скажутся на качестве воды и расходе реагентов. Это помогает принимать решения на основе фактов, а не интуиции. В будущем такие системы станут самообучающимися: они смогут самостоятельно подстраиваться под изменения состава воды и параметров оборудования. Это обеспечит стабильную, экономичную и экологически безопасную работу систем водоподготовки на тепловых электростанциях.

Заключение

Цифровые и прогнозные методы сегодня помогают гораздо точнее оценивать, как проходят процессы коагуляции и флокуляции на ТЭС. С их помощью можно заранее предсказать качество очистки воды, подобрать оптимальные дозировки реагентов, сократить количество лабораторных испытаний и повысить надёжность работы оборудования. Когда такие системы связаны с онлайн-мониторингом, процесс можно контролировать в реальном времени. А объединение физических моделей с анализом данных делает прогнозы точнее и стабильнее. В итоге снижается нагрузка на окружающую

среду, уменьшается расход реагентов, а сама водоподготовка становится более устойчивой и готовой к внедрению самообучающихся решений.

Литература

1. Использование флокулянта и коагулянта при очистке сточных вод : [сайт]. – Москва, 2003–2024. – URL: <https://acs-nnov.ru/ispolzovanie-flokulyanta-i-koagulyanta-pri-ochistke-stochnyh-vod.html> (дата обращения: 25.09.2025).
2. Коагуляция и флокуляция сточных вод : [сайт]. – Москва, 2004–2024. – URL: <https://watertreatmentsuppliers.com/ru/self-cleaning-water-filter/> (дата обращения: 26.09.2025).