

**РАЗРАБОТКА И ВНЕДРЕНИЕ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ  
ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ И ДИСПЕТЧЕРИЗАЦИИ ПРОМЫШЛЕННЫХ  
УСТАНОВОК РЕГЕНЕРАЦИИ КАТАЛИЗАТОРОВ  
И ЦЕОЛИТОВ ДЛЯ НЕФТЕПЕРЕРАБОТКИ**

© 2024 Е. С. Пискайкин<sup>1</sup>, А. А. Макаров<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> Самарский университет государственного управления  
«Международный институт рынка», г. Самара, Россия

Статья посвящена вопросам автоматизации процессов восстановления цеолитов, необходимым для повышения эффективности их использования в нефтегазовой сфере. Рассматриваются аспекты автоматизации и диспетчеризации оборудования и их влияние на снижение экологической нагрузки и затрат на сырье. Анализируются ключевые компоненты автоматизации и диспетчеризации установки, включая оборудование, программное обеспечение и интеграцию систем, что позволяет оптимизировать процессы восстановления промышленного сырья для нефтепереработки.

**Ключевые слова:** техника, мониторинг, сбор данных, архитектура, базы данных, датчики, интерфейс.

Согласно данным, в нефтегазовой переработке в России используются цеолиты различных марок для осушки и очистки природного газа. Цеолит представляет собой гранулы, длиной 3–6 мм и диаметром 1–2 мм. При эксплуатации цеолита на установках очистки или осушки в течение нескольких лет на нем накапливаются сера и углерод, которые не могут быть удалены при регенерации в процессе и снижают его емкость. Старый цеолит выгружают из адсорберов и заменяют на новый. Отработанный цеолит направляется на утилизацию. Срок службы цеолита – от 6 месяцев до 4 лет. Со временем на цеолитах накапливаются углерод и сера, что ограничивает их эффективность и требует замены. Введение процесса восстановления цеолитов не только снижает экологическую нагрузку, но и экономит средства предприятий [1].

Регенерация цеолитов позволяет восстанавливать их сорбционные свойства, что увеличивает срок службы материала и снижает затраты на его замену. Это особенно актуально в условиях растущих требований к экологии и экономической эффективности.

Регенерация цеолитов способствует оптимизации производственных процессов, снижая затраты на сырье и минимизируя

отходы. Это, в свою очередь, повышает конкурентоспособность предприятий и способствует устойчивому развитию нефтегазовой отрасли.

Для стабильного обеспечения качества результатов производства и эффективности производства работ по восстановлению требуется автоматизация и диспетчеризация установки, производящей вышеуказанные работы. [2]

Научно-производственное предприятие «РеоКат» (резидент Сколково) разработало уникальное импортозамещающее оборудование, модель которого представлен на рисунке 1, способствующее эффективному восстановлению цеолитов, используемых в нефтегазовой сфере [5]. Целями проекта по созданию данной установки стали существенное снижение транспортных расходов нефтегазовых предприятий, в том числе затраты на доставку цеолита до труднодоступных районов и вывоз отходов, снижение затрат на закупку адсорбентов за счет использования восстановленных партий и снижение зависимости от импортного сырья.

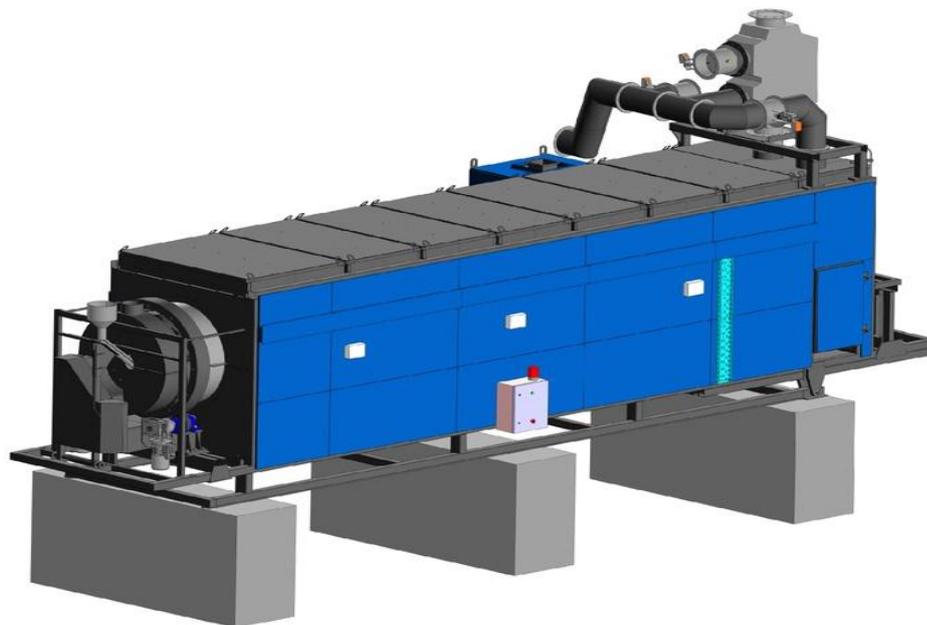


Рисунок 1 – Модель оборудования для восстановления цеолитов

В настоящей работе рассматриваются разработка и внедрение системы автоматизации и диспетчеризации для вращающейся печи косвенного электрического нагрева, предназначенной для регенерации цеолитов. Данный процесс, критически важный для различных отраслей промышленности (нефтехимия, химическая промышленность, катализ), включает в себя несколько стадий, требующих точного контроля таких параметров, как обезвоживание (сушка), окислительная регенерация, обжиг. На начальном этапе происходит удаление влаги из цеолитов при температурах 350–400°C. Скорость сушки и равномерность нагрева напрямую влияют на качество конечного продукта и предотвращают образование трещин или деформаций в структуре цеолита. Недостаточная сушка может привести к снижению эффективности регенерации, а пересушка – к необратимым изменениям структуры. На этапе окислительной регенерации, при температурах 550–650°C в воздушной среде, происходит удаление углеводородов, кокса и серы, которые накапливаются в порах цеолита в процессе эксплуатации. Контроль температуры и газового состава в печи играет ключевую роль в эффективности удаления загрязнений и предотвра-

щении образования новых нежелательных соединений. Неполное удаление загрязнений снижает каталитическую активность цеолита. В некоторых случаях данная установка может быть использована для обжига порошкообразных руд с целью получения оксидных форм при температурах до 1000°C. Этот процесс требует еще более точного контроля температуры и времени выдержки, поскольку результат сильно зависит от термической обработки.

Вращающаяся печь косвенного электрического нагрева обладает такими преимуществами, как равномерность нагрева, высокая температурная стабильность и высокая производительность. Косвенный нагрев, в отличие от прямого, обеспечивает более равномерное распределение температуры по всему объему обрабатываемого материала, минимизируя температурные градиенты и обеспечивая однородность продукта. Возможность работы в диапазоне температур до 1000°C с высокой точностью позволяет проводить обжиг и регенерацию с требуемыми параметрами. Вращающийся механизм обеспечивает непрерывный процесс обработки больших объемов сыпучих материалов [3].

Для обеспечения оптимального управления процессом регенерации и повышения

его эффективности разработана система автоматизации на базе клиент-серверной архитектуры. Эта система включает в себя систему сбора данных, серверную часть, клиентскую часть, интеграцию с ERP-системой, анализ данных для оптимизации технологических процессов. Сеть датчиков, размещенных внутри печи, обеспечивает непрерывный мониторинг температуры в разных зонах, давления, расхода газа и других параметров. Серверная часть обрабатывает потоки данных, осуществляет контроль параметров, выполняет алгоритмы управления и хранения исторических данных. Применение микросервисной архитектуры обеспечивает модульность и масштабируемость системы. Клиентская часть предоставляет пользователям интуитивный интерфейс для мониторинга параметров процесса, управления исполнительными механизмами (клапаны, приводы) и формирования отчетов. Визуализация данных в режиме реального времени, с использованием графиков, таблиц и сигнализации об отклонениях от заданных параметров, позволяет операторам принимать своевременные решения. Интеграция с ERP-системой

обеспечивает автоматизацию планирования закупок и управления запасами цеолитов на основе данных о производительности установки. Обработка больших массивов данных с применением методов машинного обучения позволяет выявлять закономерности и разрабатывать рекомендации по оптимизации режимов работы печи для каждого типа цеолитов, что ведет к увеличению срока службы регенерированных цеолитов, снижению затрат на регенерацию и повышению общей эффективности установки.

Рассматриваемая далее система обеспечивает высокую степень контроля, визуализации и аналитики, что способствует улучшению производительности и устойчивости процесса регенерации цеолитов. Дальнейшие исследования будут направлены на совершенствование алгоритмов управления, включение предиктивного моделирования и расширение функциональности системы.

Под научным руководством автора данной статьи создана система автоматизации и диспетчеризации установки, представленной на рисунке 2.



Рисунок 2 – Установка регенерации цеолитов

Для достижения поставленной цели был использован комплексный подход, включающий выбор оптимальных протоколов

связи и реализацию надежной клиент-серверной архитектуры с использованием облачных технологий, что позволило обес-

печить высокую степень контроля, визуализации и аналитики для улучшения производительности и устойчивости систем.

Подробно рассмотрим разработанную систему автоматизации и диспетчеризации установки регенерации цеолитов (рис. 2). Данная система основана на клиент-серверной архитектуре с применением микросервисов. Этот архитектурный выбор обеспечивает масштабируемость, высокую доступность и гибкость системы.

Серверная часть, реализованная с использованием Python с фреймворком Django, отвечает за сбор, обработку и хранение данных, а также за реализацию алгоритмов управления процессом регенерации. Данные поступают от датчиков, измеряющих температуру, давление, расход газов и уровень жидкости, посредством протоколов связи Modbus TCP (для обеспечения надежности, скорости и совместимости с используемым оборудованием).

Микросервисная архитектура позволяет организовать модульную структуру системы, обеспечивая независимую разработку, развертывание и масштабирование отдельных компонентов. Например, модуль управления реализован на языке программирования «C++» и обеспечивает высокую производительность и быстрое реагирование на события. Интеграция с программируемыми логическими контроллерами (ПЛК) осуществляется через стандартные протоколы связи, такие как Modbus TCP, для управления исполнительными механизмами. Модуль визуализации, разработанный на языке программирования «C#» с WPF, предоставляет интерактивный пользовательский интерфейс для мониторинга параметров процесса и управления установкой.

Данные хранятся в PostgreSQL, что обеспечивает эффективную обработку запросов и анализ данных. Система поддерживает формирование отчетов в различных форматах (PDF, CSV, XLSX) с использованием библиотек Pandas, позволяющих анализировать эффективность процесса регенерации цеолитов, выявлять тенденции и оптимизировать параметры работы установки. Интеграция с системой управления предприятием (ERP) осуществляется через

RESTful API, обеспечивая автоматизированный обмен данными о запасах и потреблении цеолитов.

В рассматриваемом проекте ключевая роль в мониторинге и управлении процессом регенерации цеолитов отводится системам сбора и обработки данных SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition). Эти системы предоставляют операторам необходимую информацию для принятия обоснованных решений и оптимизации технологического процесса.

Основные функции SCADA-системы в данном проекте включают:

- мониторинг параметров в режиме реального времени;
- сбор, хранение и анализ данных;
- визуализацию данных;
- управление процессами.

Система отслеживает и отображает ключевые параметры процесса, такие как температура, давление, уровень жидкости и расход газа. Это позволяет оперативно реагировать на отклонения от заданных параметров. Все данные, получаемые от датчиков, хранятся в базе данных, что позволяет проводить анализ производственных показателей за любые временные промежутки. Это способствует выявлению технологических трендов и аномалий. SCADA-система предоставляет удобный графический интерфейс для отображения данных в виде графиков, таблиц и диаграмм, обеспечивая наглядное представление текущего состояния процесса. На основе полученных данных операторы могут управлять технологическим процессом в реальном времени, изменяя настройки исполнительных механизмов (клапанов, насосов и т.д.).

В проекте используется SCADA-система Wonderware, которая обеспечивает интегрированное решение для автоматизации. Система обладает мощными средствами визуализации данных, позволяет создавать кастомизированные интерфейсы и обеспечивает отображение информации в режиме реального времени. Wonderware поддерживает интеграцию с различными протоколами связи, например Modbus, и совместима с широким спектром промышленного оборудования. Для долгосрочного хранения и

анализа данных используется реляционная база данных PostgreSQL.

Интеграция SCADA-системы с системами управления предприятием (ERP) обеспечивает комплексный подход к управлению ресурсами и поставками. Внедрение SCADA в процесс регенерации цеолитов повышает эффективность и стабильность производства, обеспечивая необходимый уровень контроля и аналитики. Для реализации интеграции системы автоматизации установки восстановления цеолитов выбраны оптимальные протоколы связи: Modbus и RESTful API. Это обеспечило высокий уровень совместимости, гибкости и эффективности управления промышленными процессами, так как преимуществами Modbus являются простота, высокая совместимость с различным оборудованием и открытые спецификации, а RESTful API интегрируется с внешними системами (такими как ERP) для обеспечения эффективного обмена данными и управления процессами.

Система автоматизации и диспетчеризации установки регенерации цеолитов включает три основных модуля (управления, визуализации и отчетности). Все три модуля образуют ядро данной системы. Их эффективная интеграция обеспечивает надежное и оптимизированное функционирование.

Модуль управления играет ключевую роль в обработке данных от датчиков и управлении исполнительными механизмами. Он получает данные (температура, давление, уровень и др.), выполняет их предварительную обработку и на основе полученных данных принимает решения о работе механизмов (например, открытие/закрытие электромагнитных клапанов) для поддержания оптимальных условий работы установки. Модуль реализует методы регулирования для тонкой настройки процессов в режиме реального времени. Как говорилось выше, он разработан с использованием языка программирования «C++». Интеграция с ПЛК осуществляется через стандартные протоколы связи, такие как Modbus, для управления исполнительными механизмами.

Модуль визуализации обеспечивает графический интерфейс для отображения те-

кущего состояния установки и удобного взаимодействия оператора с системой. Данные от датчиков представлены в наглядной форме: графики, таблицы, цветовая индикация (норма, предупреждение, авария). Операторы могут управлять настройками установки через интерактивные элементы (кнопки, ползунки). Модуль также генерирует и отображает сообщения об аварийных ситуациях. Разработка модуля выполнена на языке «C#», ориентированном на создание пользовательских интерфейсов для настольных приложений.

Модуль отчетности обеспечивает создание отчетов о работе установки для внутреннего анализа и соответствия нормативным требованиям. Он собирает и агрегирует данные о производительности, загрузке оборудования и уровне загрязнения цеолитов. Модуль генерирует автоматизированные отчеты в различных форматах (PDF, Excel), настраиваемые по времени и параметрам. Данные могут передаваться в системы ERP или базы данных для дальнейшего анализа. Для разработки использовались «Python» (обработка данных и создание отчетов), «SQL» (работа с базами данных), библиотека «Pandas» (анализ данных и генерация отчетов) и инструмент визуализации «Power BI».

Таким образом, внедрение системы автоматизации и диспетчеризации для вращающейся печи косвенного электрического нагрева, предназначенной для регенерации цеолитов, позволит предприятиям, имеющим такую установку, улучшить ее показатели. Внедрение SCADA-системы, использующей архитектуру «клиент-сервер», где серверная часть (Python) обрабатывает данные от датчиков (температуру, давление, уровень жидкости), применяя алгоритмы фильтрации и агрегации, а затем, отображая их в клиентском приложении (C#) с интуитивно понятным интерфейсом, позволит обеспечить операторам возможность мониторинга и управления процессом регенерации цеолитов, а именно:

- увеличить скорость реакции на изменения параметров процесса;
- сократить число ошибок благодаря эффективной визуализации данных;

- повысить эффективность работы установки за счет оперативного доступа к информации;
- выявить закономерности и разработать рекомендации по оптимизации процесса регенерации (например, оптимиза-

ции температурных режимов и времени регенерации), что приведет к увеличению срока службы восстановленных цеолитов и снижению затрат на их регенерацию.

### СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Технологии и аппаратное оформление осушки и очистки природного газа. URL: <https://magazine.neftegaz.ru/articles/gazopodgotovka/798588-tehnologii-i-apparaturnoe-oformlenie-osushki-i-ochistki-prirodnogo-gaza/>.
2. Масагутов Р. М., Морозов Б. Ф., Кутепов Б. И. Регенерация катализаторов в нефтепереработке и нефтехимии М.: Химия, 1987. 141 с.
3. Муштаев В. И., Ульянов В. М. Сушка дисперсных материалов. М.: Химия, 1988. 351 с.
4. Документация SCADA. URL: <https://docs.yandex.ru/docs/view?tm=1730205688&tld=ru&lang=ru&name=SCADA>.
5. Официальный сайт научно-производственного предприятия «РеоКат». URL: <https://reocat.ru/>.

### DEVELOPMENT AND IMPLEMENTATION OF SOFTWARE FOR AUTOMATION AND DISPATCHING OF INDUSTRIAL CATALYST AND ZEOLITE REGENERATION UNITS FOR OIL REFINING

© 2024 Egor S. Piskaykin<sup>1</sup>, Alexey A. Makarov<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> Samara University of Public Administration  
“International Market Institute”, Samara, Russia

The article addresses the automation of zeolite regeneration processes, which is essential for enhancing their efficiency in the oil and gas sector. It examines the aspects of automation and dispatching of equipment and their impact on reducing environmental burdens and raw material costs. The article analyzes the key components of the automation and dispatching system, including hardware, software, and system integration, which enable the optimization of industrial raw material recovery processes for oil refining.

**Keywords:** production, technology, monitoring, data collection, architecture, development, databases, sensors, interface, data gathering, machine learning, analytics, alerts, efficiency.