

ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЕ ДЛЯ МОНИТОРИНГА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ГОРНОДОБЫВАЮЩЕГО ОБОРУДОВАНИЯ

Жарский Е.А.

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,
г. Минск, Республика Беларусь*

Научный руководитель: Телеш И.А. – к. г. н., доцент кафедры ИПиЭ

Аннотация. Разработано веб-приложение для автоматизированного мониторинга технического состояния горнодобывающего оборудования. Реализованы модули сбора и визуализации телеметрических данных в режиме реального времени, автоматического оповещения при превышении пороговых значений параметров, планирования технического обслуживания по моточасам, а также журналирования событий и аналитики показателей надёжности. Серверная часть построена на основе FastAPI и PostgreSQL, клиентская – на React с применением протокола WebSocket.

Ключевые слова: мониторинг оборудования, горнодобывающая промышленность, FastAPI, React, WebSocket.

Введение. Горнодобывающая промышленность относится к числу отраслей с высокой капиталоемкостью парка технологического оборудования. На предприятиях ОАО «Беларуськалий» эксплуатируются сотни единиц горной техники – комбайны, конвейеры, буровые установки, самосвалы, – суммарная стоимость которых исчисляется миллиардами рублей. Незапланированный простой даже одной единицы оборудования влечёт за собой ощутимые производственные и финансовые потери. Согласно отраслевой статистике, до 40% внеплановых остановок технологических процессов в горнодобывающей промышленности обусловлены отказами оборудования, которые при своевременной диагностике могли быть предотвращены [1].

Традиционные подходы к техническому обслуживанию, основанные на плановых периодических осмотрах и субъективной оценке состояния оборудования персоналом, не позволяют оперативно реагировать на аномальные отклонения параметров в режиме реального времени. Отсутствие централизованного инструмента мониторинга приводит к тому, что критические события фиксируются с запозданием, журналы технического обслуживания ведутся разрозненно, а аналитика по надёжности оборудования практически недоступна для принятия управленческих решений [2].

Существующие коммерческие системы мониторинга, как правило, ориентированы на оборудование конкретного производителя и не обеспечивают интеграцию разнородного парка техники в единое информационное пространство. Кроме того, высокая стоимость внедрения и лицензирования подобных решений делает их малодоступными для средних предприятий. Разработка универсальной открытой платформы, адаптированной под нужды горнодобывающего предприятия, представляет собой актуальную инженерную задачу.

Основная часть. Разрабатываемая система построена на принципе разделения ответственности: сбор данных с датчиков оборудования (температура, вибрация, моточасы) выполняется внешними шлюзами, которые взаимодействуют с приложением через предоставляемый REST API. Такой подход позволяет абстрагироваться от протоколов конкретных устройств и сосредоточиться на логике обработки и визуализации данных. Архитектура системы организована по клиент-серверной модели с чётким разграничением слоёв представления, бизнес-логики и хранения данных.

При проектировании схемы базы данных выделены следующие основные сущности: оборудование (Equipment), датчик (Sensor), телеметрическое измерение (Measurement), событие технического обслуживания (MaintenanceEvent), уведомление (Notification) и пользователь (User). Связь «один ко многим» между оборудованием и датчиками позволяет гибко настраивать набор контролируемых параметров для каждой единицы техники без изменения структуры данных. Индексирование таблицы измерений по полям device_id и

timestamp обеспечивает высокую скорость выборки при построении временных графиков.

Серверная часть реализована на базе фреймворка FastAPI, что обеспечивает высокую производительность асинхронной обработки входящих потоков телеметрии [3]. В качестве основной СУБД выбрана PostgreSQL. Клиентская часть построена на React с использованием WebSocket-соединений для отображения актуальных статусов оборудования с интервалом обновления 5 секунд. Развёртывание системы производится посредством Docker-контейнеризации с балансировкой нагрузки через Nginx, что обеспечивает горизонтальную масштабируемость при подключении до 1000 единиц техники одновременно [4].

Безопасность доступа обеспечивается JWT-аутентификацией с разграничением ролей: администраторы системы, инженеры технического обслуживания и операторы обладают различными правами на просмотр и редактирование данных. Все действия пользователей фиксируются в журнале аудита. Транспортный уровень защищён протоколом HTTPS.

Для приёма телеметрии от внешних шлюзов предусмотрены специализированные REST-эндпоинты: POST /sensors/{device_id}/data принимает пакеты измерений, POST /alerts регистрирует события от сторонних систем. Версионирование API через префикс /api/v1/ обеспечивает обратную совместимость при развитии платформы. Автоматически генерируемая интерактивная документация на основе OpenAPI-спецификации (Swagger UI) упрощает подключение новых источников данных и интеграцию с корпоративными ERP-системами.

Центральным элементом пользовательского интерфейса является главный дашборд, отображающий сводную картину состояния всего парка техники: количество единиц в нормальном режиме работы, в состоянии предупреждения и в аварийном состоянии, а также ключевые показатели надёжности – в частности, среднее время наработки на отказ. Карточка каждой единицы оборудования содержит актуальный статус и временные графики измеряемых параметров.

Подсистема уведомлений функционирует в двух режимах. Аварийные оповещения формируются автоматически при превышении настраиваемых пороговых значений параметров и доставляются ответственным специалистам посредством электронной почты. Второй режим – плановые напоминания о техническом обслуживании: система рассчитывает сроки очередных регламентных работ по заданной периодичности (например, каждые 500 моточасов) и заблаговременно уведомляет исполнителей за 1 и 3 дня до наступления срока.

Журнал событий формирует полную хронологию технического состояния каждой единицы техники: поломки, плановые и внеплановые ремонты, замены узлов с указанием ответственного специалиста. Предусмотрена фильтрация записей по оборудованию, периоду и типу события, а также экспорт выборок в форматы PDF и Excel для последующей передачи в службы технического контроля или интеграции с корпоративными ERP-системами.

Через мобильный интерфейс техник может выбрать нужную единицу оборудования из списка, просмотреть историю обслуживания и зафиксировать выполненные работы с указанием времени, типа работ и ответственного исполнителя – без установки отдельного мобильного приложения.

Аналитический модуль позволяет отслеживать тренды отказов в разрезе типов оборудования за произвольный период. В качестве перспективного направления рассматривается внедрение предиктивной аналитики на основе алгоритмов машинного обучения: прогнозирование вероятности отказа по динамике вибрационных характеристик позволит перейти от планово-предупредительной к предиктивной модели технического обслуживания [5].

Заключение. Разработанное веб-приложение ориентировано на практическое применение в условиях реального горнодобывающего предприятия. Централизация данных о состоянии оборудования в едином информационном пространстве и переход от реактивного к проактивному управлению техническим обслуживанием способны существенно сократить количество внеплановых простоев и снизить затраты на эксплуатацию техники. Система спроектирована с учётом специфики работы ОАО «Беларуськалий» и может быть адаптирована для иных объектов горнодобывающей отрасли. Практическая апробация системы запланирована на базе одного из рудоуправлений ОАО «Беларуськалий», что позволит оценить реальную эффективность предложенных решений и скорректировать

функциональные требования по итогам опытной эксплуатации. Практическая апробация системы запланирована на базе одного из рудоуправлений ОАО «Беларуськалий», что позволит оценить реальную эффективность предложенных решений и скорректировать функциональные требования по итогам опытной эксплуатации. Ожидается, что внедрение системы сократит среднее время реакции на аварийные события не менее чем в два раза по сравнению с существующей практикой ручного контроля.

Таким образом, предлагаемое решение закрывает актуальный технологический пробел в управлении жизненным циклом горнодобывающего оборудования, предоставляя инженерно-техническому персоналу и руководству предприятия полноценный инструмент для оперативного мониторинга, планирования технического обслуживания и анализа надёжности парка техники. Открытый API и модульная архитектура системы обеспечивают её расширяемость и возможность интеграции с существующими корпоративными информационными системами. Дальнейшее развитие системы предполагает реализацию модуля предиктивной аналитики на основе машинного обучения, расширение перечня поддерживаемых типов оборудования, а также интеграцию с системами автоматизированного управления производством (АСУП) для обеспечения сквозного цифрового контроля производственных процессов.

Список литературы

1. Храмовских, В. А. Адаптивный интеллектуальный анализ данных как инструмент для прогнозирования ресурса узлов горных машин и оборудования / В. А. Храмовских, А. Н. Шевченко, К. А. Непомнящих // *Науки о Земле и недропользование*. – 2023. – Т. 46, №2. – С. 212–225. – URL: <https://www.nznj.ru/jour/article/view/290>
2. Королев, В. И. Методы прогнозного мониторинга технического состояния электрических машин / В. И. Королев // *Электротехнические и информационные комплексы и системы*. – 2023. – Т. 19, №2. – С. 62–72. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/metody-prognoznogo-monitoringa-tehnicheskogo-sostoyaniya-elektricheskikh-mashin>
3. Савостин, П. А. Практическое применение асинхронного программирования на языке Python при помощи пакета Asyncio / П. А. Савостин, Н. Э. Ефремова // *NB: Кибернетика и программирование*. – 2018. – №4. – URL: https://nbpublish.com/library_read_article.php?id=25851
4. Топалов, Н. К. Контейнеризация приложений: преимущества Docker и Kubernetes / Н. К. Топалов // *Молодой ученый*. – 2024. – №51 (550). – С. 22–24. – URL: <https://moluch.ru/archive/550/120711>
5. Сай Ван Квонг. Архитектура системы предсказательного технического обслуживания сложных многообъектных систем в концепции Индустрии 4.0 / Сай Ван Квонг, М. В. Щербаков // *Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии*. – 2020. – №2. – С. 45–59. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/arhitektura-sistemy-predskazatel'nogo-tehnicheskogo-obsluzhivaniya-slozhnykh-mnogoobektnykh-sistem-v-kontseptsii-industrii-4-0>

UDC 004.9:622

WEB APPLICATION FOR MONITORING THE TECHNICAL CONDITION OF MINING EQUIPMENT

Zharski Y.A.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Telesh I.A. – Cand. of Sci., Associate Professor of the Department of IPiE

Annotation. A web application for automated monitoring of the technical condition of mining equipment has been developed. Modules for real-time collection and visualization of telemetry data, automatic alerting upon exceeding threshold parameter values, maintenance scheduling by engine hours, as well as event logging and reliability metrics analytics have been implemented. The server side is built on FastAPI and PostgreSQL, the client side – on React using the WebSocket protocol.

Keywords: equipment monitoring, mining industry, FastAPI, React, WebSocket.