

В. П. Потапов¹, Е. Л. Счастливец¹, Н. И. Юкина^{1}*

Геоэкологический мониторинг угольных предприятий – принципы и технология создания

¹Федеральный исследовательский центр информационных и вычислительных технологий,
г. Новосибирск, Российская Федерация
*e-mail: leonakler@mail.ru

Аннотация. В работе приведены основные принципы создания системы геоэкологического мониторинга на угольных предприятиях. Основой системы являются цифровые двойники третьего типа, которые создаются на основе сбора и анализа большого количества данных. Рассматриваются основные блоки системы, такие как мониторинг загрязнения атмосферного воздуха, водных ресурсов, растительного и почвенного покрова. Описывается информационное наполнение каждого блока и приводятся примеры работы системы на угольных предприятиях. Система геоэкологического мониторинга позволяет решать задачи по оценке экологической ситуации в горнодобывающих районах. В статье также рассматриваются примеры использования системы геоэкологического мониторинга для решения задач по контролю за выбросами вредных веществ, а также прогнозированию возможных экологических рисков и разработке мер по их предотвращению. Результаты применения системы геоэкологического мониторинга значительно повышают уровень экологической безопасности. В целом, статья может быть полезной для специалистов горнодобывающей отрасли, экологии, а также для руководителей угольных предприятий, которые стремятся улучшить экологическую ситуацию в своих регионах.

Ключевые слова: мониторинг, цифровые двойники, данные дистанционного зондирования, интернет вещей, большие данные

V. P. Potapov¹, E. L. Schastlivtsev¹, N. I. Yukina^{1}*

Geoecological monitoring of coal enterprises – principles and technology of creation

¹Federal Research Center for Information and Computing Technologies, Novosibirsk,
Russian Federation
*e-mail: leonakler@mail.ru

Abstract. The article outlines the main principles of creating a geoenvironmental monitoring system at coal enterprises. The basis of the system is third type digital twins, which are created based on collecting and analyzing a large amount of data. The article discusses the main blocks of the system, such as monitoring of atmospheric air pollution, water resources, vegetation and soil cover. The information content of each block is described and examples of the system's operation at coal enterprises are given. The geoenvironmental monitoring system allows solving problems related to assessing the environmental situation in mining regions. The article also examines examples of using the geoenvironmental monitoring system to monitor emissions of harmful substances, as well as predicting possible environmental risks and developing measures to prevent them. The results of applying the geoenvironmental monitoring system significantly improve the level of environmental safety. Overall, the article can be useful for specialists in the mining industry, ecology, as well as for managers of coal enterprises who are striving to improve the environmental situation in their regions.

Keywords: monitoring, digital twins, remote sensing data, internet of things, big data

Современные системы мониторинга привлекают все больше данных о состоянии исследуемого объекта. При этом, сами данные мультимодальны по своей природе и получаются из разных источников различной природы. Можно выделить несколько групп таких данных:

– глобальные данные, характеризующие состояния объекта с учетом больших площадей им занимаемых (например, разрез «Бачатский» имеет протяженность 12 км (обычно используются данные ДЗЗ));

– локальные данные, получаемые точечными замерами с последующей пространственной аппроксимацией в площади объекта. Сегодня для этих целей, чаще всего, используются БПЛА, оснащенные специализированными сенсорами, либо стационарные или передвижные системы на основе технологии «интернета вещей».

Достаточно гибкая система мониторинга должна уметь собирать такие данные и соответствующим образом их обрабатывать. Наиболее адекватным подходом к созданию системы геоэкологического мониторинга является использование, так называемых, цифровых двойников. На основе архитектуры которых можно разрабатывать различные системы мониторинга, использующие на входе мультимодальную информацию. В настоящее время, очень много информации про цифровые двойники [1-5], но в этой работе речь пойдет о цифровых двойниках третьего типа (ДТА).

Цифровые двойники третьего типа (ДТА) представляют собой комплексные модели, которые могут объединять данные различных типов и источников в единую информационную систему. Они используются для создания виртуальной копии реального объекта, что позволяет проводить анализ и моделирование его состояния в различных условиях.

ДТА включают в себя данные о географическом положении объекта, информацию и физических, гидрохимических и других параметрах объекта, данные датчиков и другие показатели.

Используя основное свойство цифровых двойников- принцип обратной связи, позволяющий за счет взаимодействия с объектом мониторинга, появляется возможность оперативной реакции на происходящие с ним изменения прогнозировать будущие состояния, предотвращая тем самым возможные аварийные ситуации.

Таким образом, цифровые двойники представляют собой достаточно универсальную платформу, для создания на их основе современных систем мониторинга. Исходя из этого, нами была разработана и практически реализована цифровая система геоэкологического мониторинга (рис.1), которая представляет собой объектно-ориентированный цифровой двойник. Его реализация представляется совокупностью технологий и инструментов, позволяющих осуществлять сбор, хранение и обработку мультимодальных данных о состоянии окружающей среды с анализом процессов в ней происходящих на основе современных средств математического моделирования и систем искусственного интеллекта.

Обработка мультимодальных потоков данных, таких как спутниковые мультиспектральные и радарные снимки, аэрофотосъемка, потоки данных, получаемых с помощью Интернета вещей, интегрируемых на единой цифровой платформе, представляет широкие возможности для комплексного анализа информации.

Архитектура цифровой системы геоэкологического мониторинга позволяет осуществлять взаимодействие с пользователем через веб-интерфейс, отображение данных осуществляется через GeoServer, PostgreSQL служит для хранения данных вызов модулей выполняется через REST API и WebSocket, протоколы OGC использованы для обмена информацией, управление GeoServer обрабатывается через REST API.



Рис.1. Структура цифровой системы геоэкологического мониторинга

Система хранения состоит из нескольких баз, включающих данные о компонентах природной среды, такие как атмосфера, водные ресурсы, растительность и почва.

База данных мониторинга загрязнения атмосферного воздуха содержит информацию о составе атмосферного воздуха. С использованием программно-аппаратного комплекса «Эра-воздух» [6] осуществляется мониторинг распространения атмосферных загрязнений в режиме реального времени с помощью датчи-

ков и расчетного модуля. Система оценивает вклад источников выброса в общее загрязнение и обеспечивает необходимые протоколы сбора, обработки и передачи данных.

Программно-аппаратный комплекс состоит из:

- средств инструментального измерения (контроля) пылевого загрязнения и метеорологических параметров атмосферного воздуха на основе технологии «интернета вещей»;

- расчетного модуля распространения загрязняющих веществ на основе программного комплекса «Эра» 3.0, имеющего соответствующую Государственную регистрацию (Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды № 140-09213/20и от 30.11. 2020);

- базы данных производственного контроля и инструментального мониторинга загрязнения атмосферного воздуха;

- системы оценки распространения загрязняющих веществ, сейсмического и акустического воздействия при массовых взрывах (на каждый взрыв).

Программно-аппаратный комплекс в режиме текущего времени (рис.2) обеспечивает связь между расчетным модулем, пылегазовыми датчиками и мобильным метеокomплексом с заданной периодичностью. Расчетный модуль отображает распределение загрязнения атмосферного воздуха и определяет вклад источников выбросов в общую степень загрязнения в районе горных работ.



Рис. 2. Пример работы программно-аппаратного комплекса мониторинга загрязнения атмосферного воздуха в режиме текущего (реального) времени

База данных мониторинга водных ресурсов, содержит информацию о физических, гидрохимических, паразитологических и микробиологических показателях состава техно-природных вод. Данные поступают в базу, как от аккредитованных лабораторий, определяющих гидрохимическое загрязнение в точках сброса, так и с датчиков (например, работающих по технологии «интернета вещей»).

База данных мониторинга растительного покрова, содержит информацию о влиянии горных работ на состояние растительного покрова, которое производится на основании расчета индекса концентрации видового богатства и индекса редких видов.

База данных мониторинга почвенного покрова, содержит информацию о нарушенных, рекультивированных землях, земель с самозаращением нарушенных площадей, качество рекультивации и эффективность самозаращения, которая определяется на основании комплексного почвенно-экологического индекса (ПЭи) состояния почв на территориях, прилегающих к техногенно нарушенным участкам, который позволяет выявить степень нарушения почв и зоны влияния техногенных объектов на прилегающие территории.

Таким образом, разработанная нами система геоэкологического мониторинга с использованием технологии цифровых двойников третьего типа является важным инструментом для оценки воздействия угольных предприятий на окружающую среду и разработки мер по ее защите. Предложенный подход может быть использован для создания аналогичных цифровых систем мониторинга.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Guoliang Zhang, Xiao Liu, Yan Wang, and Zhigang Li. Digital Twins of Cyber-Physical Systems: A Survey. IEEE Access, 2019.
2. T. Herrmann, S. Thiede, and R. Wagner. Digital twin: Manufacturing excellence through virtual factory replication. Procedia CIRP, 2016.
3. Guanyu Zheng, Jianbin Xiong, and Wei Wang. Digital Twin Driven Prognostics and Health Management: A Review. Journal of Manufacturing Science and Engineering, 2020.
4. Jun Wang, Wenwen Zhang, Pengcheng Gao, Hongbo Fu, and Yuhong Wang. Digital Twins and Cyber-Physical Systems Toward Smart Manufacturing and Industry 4.0: Correlation and Comparison. IEEE Access, 2019.
5. Huaiyu Wu, Xiaotian Liu, and Xiaoyan Liu. Digital twin-driven product design: A survey. Computers in Industry, 2020.
6. Счастливец Е. Л., Быков А. А., Юкина Н. И., Харлампенков И. Е. Программно аппаратный комплекс для мониторинга загрязнения атмосферы// Сборник тезисов докладов Всероссийской научно-технической конференции «Цифровые технологии в горном деле», 16-18 июня 2021 г. — Апатиты: Издательство ФИЦ КНЦ РАН, 2021. С.62-63.

© В. П. Потанов, Е. Л. Счастливец, Н. И. Юкина, 2023