

THÔNG TIN TÓM TẮT VỀ NHỮNG KẾT LUẬN MỚI CỦA LUẬN ÁN TIẾN SĨ

Tên đề tài luận án: *”Nghiên cứu phát triển mô hình trí tuệ nhân tạo dự báo ô nhiễm không khí theo thời gian thực trong quá trình khai thác mỏ đồng Sin Quyền, Lào Cai “*

Ngành: Khai thác mỏ. Mã số: 9520603

Họ và tên nghiên cứu sinh: Lê Tuấn Ngọc. Khóa đào tạo: 2023 - 2026

Họ và tên cán bộ hướng dẫn: 1. GVC.TS. Nguyễn Hoàng; 2. GS.TS. Bùi Xuân Nam

Tên cơ sở đào tạo: Trường Đại học Mỏ - Địa chất

TÓM TẮT NHỮNG KẾT LUẬN MỚI CỦA LUẬN ÁN (về mặt học thuật, lý luận, luận điểm mới về khoa học và thực tiễn)

Luận án sử dụng các phương pháp nghiên cứu ứng dụng hiện đại, đi từ việc thu thập dữ liệu chất lượng không khí tại mỏ theo thời gian thực, đến việc ứng dụng các kỹ thuật xử lý dữ liệu tiên tiến, phát triển các mô hình lai (hybrid models) dựa trên các thuật toán học máy và các giải thuật tối ưu để dự báo chất lượng không khí trên mỏ lộ thiên (tính toán thử nghiệm cho mỏ đồng Sin Quyền). Các kết quả nghiên cứu của Luận án cho thấy:

- Quy trình quan trắc phân tầng theo ba cao độ và quy trình xử lý chuỗi dữ liệu $PM_{2.5}$, CO, khí tượng và hoạt động sản xuất cần phải được thiết lập một cách phù hợp, có khả năng đại diện cho các khu vực có mức độ ô nhiễm cao trong mỏ.
- Kỹ thuật CEEMDAN, biến tương tác và các biến trễ đã được sử dụng để giảm ảnh hưởng của nhiễu cục bộ và biểu diễn đặc điểm tích tụ ô nhiễm theo thời gian tại mỏ lộ thiên sâu.
- 8 mô hình học máy tiên tiến đã được nghiên cứu và phát triển trong luận án để dự báo chất lượng không khí cho mỏ đồng Sin Quyền, tập trung cụ thể vào $PM_{2.5}$ và CO, bao gồm: RF, XGBoost, LSTM, TCN, AttnLSTM, MPA-RF, MPA-XGBoost và stacking. Trong đó, mô hình XGBoost được tối ưu hoá bằng giải thuật Tối ưu hoá kẻ săn mồi đại dương (Marine Predators Algorithm - MPA) đã cho thấy hiệu suất vượt trội nhất với sai số RMSE, MAE thấp và hệ số xác định R^2 cao hơn các mô hình đối chứng được khảo sát, đồng thời cải thiện khả năng bám sát các đỉnh nồng độ tại các khâu sản xuất đột biến (ví dụ: khâu nổ mìn) so với mô hình còn lại.
- Mối liên hệ theo thời gian giữa chu kỳ của công tác khoan - nổ mìn, xúc bốc - vận tải, điều kiện vi khí hậu và sự biến thiên $PM_{2.5}$, CO cũng đã được làm rõ thông qua phân tích chuỗi thời gian, biến trễ và cơ chế chú ý. Kết quả cho thấy việc đưa thông tin các khâu dây chuyền công nghệ khai thác mỏ vào tập đặc trưng dữ liệu giúp cho dữ liệu tăng mức độ chi tiết hơn, mô hình phản ánh tốt hơn các giai đoạn phát thải đột biến và tích tụ kéo dài.
- Nghiên cứu cũng đã đề xuất quy trình chuyển đổi kết quả dự báo trước 1 đến 3 giờ thành các mức theo dõi, cảnh báo và khuyến nghị điều hành có sự phê duyệt của cán bộ quản lý mỏ, qua

đó góp phần chuyển phương thức quản lý môi trường từ hậu kiểm sang phòng ngừa trong phạm vi nghiên cứu điển hình tại mỏ đồng Sin Quyền.

SUMMARY OF THE NEW FINDINGS OF THE PhD THESIS

Thesis title: *“Development of artificial intelligence models for real-time air pollution forecasting during mining operations at the Sin Quyen Copper Mine, Lao Cai”*

Major: Mining Engineering. Code: 9520603

PhD candidate: Le Tuan Ngoc. Training period: 2023 - 2026

Supervisors: 1. Dr. Nguyen Hoang, Senior Lecturer; 2. Prof. Dr. Xuan-Nam Bui

Training institution: Hanoi University of Mining and Geology

SUMMARY OF THE NEW FINDINGS OF THE THESIS (in terms of academic and theoretical contributions, as well as new scientific and practical findings)

The thesis employs modern applied research methods, beginning with the real-time collection of air-quality data at the mine, followed by the application of advanced data-processing techniques and the development of hybrid models based on machine-learning algorithms and optimization algorithms for forecasting air quality in open-pit mines (with experimental calculations conducted for the Sin Quyen Copper Mine). The main research findings are as follows:

- A three-elevation stratified monitoring procedure and a workflow for processing time-series data on PM_{2.5}, CO, meteorological conditions, and production activities should be appropriately established so that they can adequately represent areas with high pollution levels within the mine.
- CEEMDAN, interaction variables, and lagged variables were used to reduce the effects of local noise and represent the temporal characteristics of pollutant accumulation in a deep open-pit mine.
- Eight advanced machine-learning models were investigated and developed in the thesis for forecasting air quality at the Sin Quyen Copper Mine, with a specific focus on PM_{2.5} and CO, including RF, XGBoost, LSTM, TCN, AttnLSTM, MPA-RF, MPA-XGBoost, and Stacking. Among them, the XGBoost model optimized using the Marine Predators Algorithm (MPA) demonstrated the best performance, with lower RMSE and MAE values and a higher coefficient of determination (R^2) than the benchmark models investigated. It also showed an improved ability to capture concentration peaks during abrupt production activities (e.g., blasting) compared with the other models.
- The temporal relationships among drilling-blasting cycles, loading-hauling operations, microclimatic conditions, and variations in PM_{2.5} and CO were also clarified through time-series analysis, lagged variables, and attention mechanisms. The results show that incorporating

information from the stages of the mining production process into the data feature set increases the level of detail in the data and enables the model to better represent periods of sudden emissions and prolonged pollutant accumulation.

- The study also proposed a procedure for converting 1- to 3-hour-ahead forecast results into monitoring levels, warning levels, and operational recommendations subject to approval by mine management personnel, thereby contributing to a shift in environmental management from ex-post control toward preventive management within the case study at the Sin Quyen Copper Mine.