



NGHIÊN CỨU XÂY DỰNG CHƯƠNG TRÌNH DỰ BÁO SÓNG CHẤN ĐỘNG NỔ Mìn CHO CÁC MỎ THAN LỘ THIÊN VIỆT NAM

KS. Đỗ Văn Triều, KS. Hoàng Mạnh Thắng
Viện Khoa học Công nghệ Mỏ-Vinacomin
TS. Trần Đình Bảo, TS. Nguyễn Tuấn Thành
Trường Đại học mỏ - địa chất Hà Nội

Biên tập: TS. Lưu Văn Thực

Tóm tắt:

Mô hình trí tuệ nhân tạo (AI) là một trong những thành tựu khoa học công nghệ vượt trội của cách mạng công nghiệp 4.0. Đối với ngành khai khoáng, việc áp dụng AI phục vụ nghiên cứu, sản xuất còn rất hạn chế, đặc biệt trong dự báo các công việc có tính quy luật. Dựa trên việc đánh giá, so sánh mức độ chính xác của 08 mô hình AI từ cơ sở dữ liệu nổ mìn của mỏ than lộ thiên Na Dương, Khánh Hòa và Cao Sơn, đã lựa chọn mô hình dự báo sóng chấn động phù hợp cho từng mỏ. Để thuận tiện trong việc áp dụng mô hình AI trong thực tế sản xuất, chương trình dự báo sóng chấn động được xây dựng dựa trên ngôn ngữ lập trình mở Python theo hướng đơn giản hóa trong cách tiếp cận và sử dụng.

1. Đặt vấn đề

Sóng chấn động là một trong những tác nhân ảnh hưởng lớn đến an toàn, ổn định và hiệu quả sản xuất tại các mỏ than lộ thiên. Trong giai đoạn khai thác xuống sâu và mở rộng về biên giới kết thúc trên mặt thì nguy cơ ảnh hưởng của sóng chấn động đến các công trình cần bảo vệ càng tăng cao. Theo QCVN 01:2019/BCT về an toàn trong sản xuất, thử nghiệm, nghiệm thu, bảo quản, vận chuyển, sử dụng, tiêu hủy vật liệu nổ công nghiệp và bảo quản tiền chất thuốc nổ có quy định rõ giới hạn biên độ dao động phần tử đất đá cho phép theo khoảng cách từ vị trí nổ mìn đến công trình cần bảo vệ: Từ 0 ÷ 91,4 m là 31,75 mm/s; từ 92 ÷ 1.524 m là 25,4 mm/s và từ 1.524 m trở lên là 19 mm/s [2].

Hiện nay, để xác định giá trị sóng chấn động sinh ra từ nổ mìn trên mỏ than lộ thiên, các phương pháp phổ biến là sử dụng thiết bị đo sóng chấn động, phương trình thực nghiệm. Với mỗi một phương pháp đều có lợi thế và hạn chế riêng như: Sử dụng thiết bị đo sóng chấn động cung cấp kết quả đo với độ chính xác cao nhưng chỉ cung cấp kết quả sau khi vụ nổ xảy ra, mang tính chất giám sát; sử dụng phương trình thực nghiệm dựa trên quan hệ giữa khoảng cách đo (R) và khối lượng thuốc nổ tức thời lớn nhất (Q), để dàng tiếp cận và tính toán giá trị sóng chấn động nhưng kết quả đưa ra với độ chính xác chưa cao do chưa phản ánh đầy đủ các yếu tố ảnh hưởng đến sóng chấn

động trong phương trình. Do đó, việc nghiên cứu xây dựng chương trình dự báo sóng chấn động nổ mìn cho các mỏ than lộ thiên Việt Nam là cần thiết.

Với cách tiếp cận sử dụng mô hình AI là một cách tiếp cận mới, kế thừa và khắc phục được các hạn chế của phương pháp truyền thống. Mô hình AI sử dụng các dải thuật hồi quy để xác định quy luật lan truyền và suy giảm sóng chấn động trong môi trường đất đá trên cơ sở dữ liệu thu thập trên 03 mỏ Na Dương, Khánh Hòa và Cao Sơn. Tuy nhiên, việc áp dụng mô hình dự báo sóng chấn động trong thực tế sản xuất cần chương trình máy tính dễ dàng sử dụng và khai báo dữ liệu. Kết quả nghiên cứu là cơ sở khoa học để triển khai và ứng dụng chương trình dự báo sóng chấn động vào thực tế sản xuất tại các mỏ than lộ thiên có điều kiện tương tự như mỏ Na Dương, Khánh Hòa và Cao Sơn.

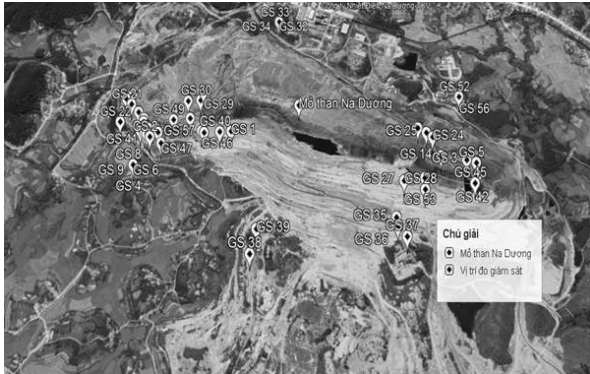
2. Xây dựng cơ sở dữ liệu sóng chấn động tại 03 mỏ Na Dương, Khánh Hòa và Cao Sơn

2.1. Mỏ than Na Dương

Mỏ than Na Dương đang khai thác tại khai trường vỉa 4, cốt cao đáy mỏ thấp nhất ở mức + 150 m. Khu vực phía trên mặt, cách bờ trụ khu Trung tâm khoảng 150 m, tại cốt cao + 285 m có các công trình: Nhà máy nhiệt điện Na Dương 1 đang hoạt động, Nhà máy nhiệt điện Na Dương 2 đang đầu tư xây dựng, khu Xưởng sàng (mỏ Na Dương).

Để xây dựng CSDL sóng chấn động cho mỏ

Na Dương, nhóm thực hiện thiết lập 70 vị trí đo với thiết bị Blastmate III (hình 1) với các thông số thu thập như sau: Khối lượng thuốc nổ tức thời lớn nhất (Qtt); Chiều dài lỗ khoan (L); chiều dài cột bua (Lb); khoảng cách giữa các hàng (a); khoảng cách giữa các hàng lỗ khoan (b); chỉ tiêu thuốc nổ (q), khoảng cách đặt máy đo sóng chấn động (R) và tốc độ dao động nền (PVS). Kết quả đo được tóm tắt trong bảng 1.

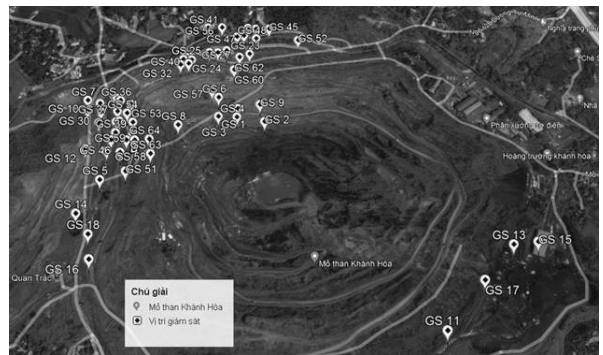


Hình 1. Vị trí đo sóng chấn động tại mỏ than Na Dương

2.2. Mỏ than Khánh Hòa

Khai trường lộ thiên mỏ Khánh Hoà có địa hình cao nhất hiện tại là các đỉnh đồi nhỏ mức + 45 m ở phía Tây khai trường, địa hình thấp nhất hiện tại là đáy moong lộ thiên dưới mức - 235 m.

CSDL đo sóng chấn động của mỏ Khánh hóa với các biến tương tự như mỏ than Na Dương.

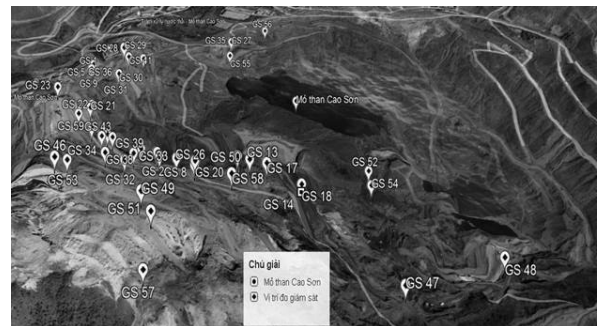


Hình 2. Vị trí đo sóng chấn động tại mỏ than Khánh Hòa

Nhóm thực thi thiết lập 115 vị trí đo (hình 2). Kết quả đo được tóm tắt trong bảng 1.

2.3. Mỏ than Cao Sơn

Mỏ than Cao Sơn là một mỏ than lớn của tập đoàn TKV. Hiện nay, địa hình cao nhất ku mỏ



Hình 3. Vị trí đo sóng chấn động tại mỏ than Cao Sơn

Bảng 1. Giá trị đặc trưng của các biến trong CSDL đo sóng chấn động tại mỏ Na Dương, Khánh Hòa và Cao Sơn

Stt	Giá trị	Qtt, kg	Lt, m	Lb, m	a, m	b, m	q, kg/m ³	R, m	PVS, mm/s
I Mỏ than Na Dương									
1.1	Nhỏ nhất	36	6,2	3,9	0	0	0,15	28	1,86
1.2	Lớn nhất	145	14,4	5,2	7,6	6,8	0,21	441	191,7
1.3	Trung bình	118,72	13,05	4,24	4,50	3,53	0,19	149,47	40,81
II Mỏ than Khánh Hòa									
2.1	Nhỏ nhất	12	3,6	0,29	2,5	2,5	0,18	57	0,08
2.2	Lớn nhất	158	16,9	9,6	5,5	5,2	0,37	632	59,71
2.3	Trung bình	79,71	10,14	5,72	4,79	4,54	0,31	242,25	7,93
III Mỏ than Cao Sơn									
3.1	Nhỏ nhất	108	4,63	4,00	5,50	5,00	0,35	89,0	2,22
3.2	Lớn nhất	644	18,9	9,0	8,3	8,0	0,57	780	74,6
3.3	Trung bình	410,61	13,09	7,02	7,18	6,53	0,47	267,87	14,69

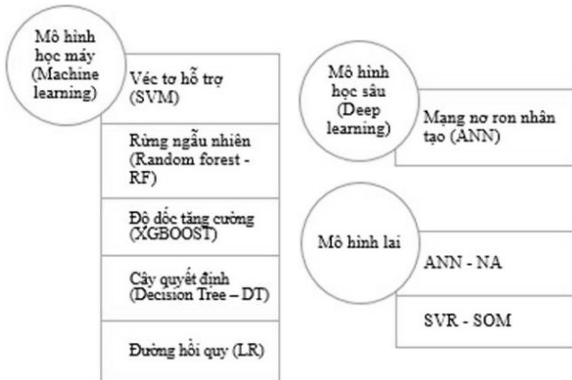
thuộc về khu Nam Cao Sơn mức + 400, địa hình thấp nhất thuộc về đáy mỏ khu vực Tây Cao Sơn mức - 145.

CSDL đo sóng chấn động của mỏ Cao Sơn với các biến tương tự như mỏ than Na Dương. Nhóm thực thiết lập 60 vị trí đo (hình 3). Kết quả đo được tóm tắt trong bảng 1.

3. Lựa chọn thuật toán AI cho 03 mỏ Na Dương, Khánh Hòa và Cao Sơn

Hiện nay, việc ứng dụng các thuật toán AI để giải quyết vấn đề kỹ thuật ngày càng trở nên phổ biến. Trên thế giới, các nhà khoa học đã rất thành công trong việc phát triển các mô hình AI dự báo chấn động nổ mìn cho các mỏ lộ thiên với mức độ chính xác cao. Một số mô hình trí tuệ nhân tạo điển hình phải kể đến như: Mô hình máy học: Véc-tơ hỗ trợ (SVR), rừng ngẫu nhiên (RF),...; mô hình học sâu: Mạng nơ-ron nhân tạo (ANN), mô hình LSTM,...; mô hình lai: kỹ thuật phân cụm phân tầng và toán lập thể (HKM-CA), mô hình SVR - SOM,...

Kế thừa những kinh nghiệm trên, nhóm thực hiện đã lựa chọn mô hình phù hợp cho 03 mỏ Na Dương, Khánh Hòa và Cao Sơn trong 08 mô hình AI đề xuất như sơ đồ hình 4.



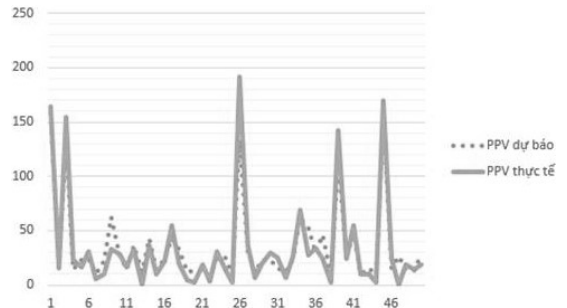
Hình 4. Các mô hình thuật toán AI sử dụng dự báo sóng chấn động nổ mìn

Từ CSDL sóng chấn động của 03 mỏ thu thập được, nhóm tác giả thực hiện dự báo và đánh giá hiệu suất đối với mô hình thuật toán AI [1]. Kết quả dự báo sóng chấn động cho 03 mỏ với dữ liệu huấn luyện và kiểm tra được phân chia theo tỉ lệ 80/20, chi tiết xem bảng 2.

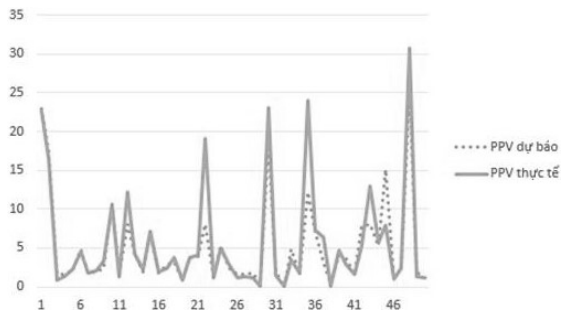
Bảng 2 cho thấy: Mức độ chính xác của các mô hình là khác nhau. Nguyên nhân là do quá trình xử lý của các thuật toán khác nhau. Mô hình thuật toán AI phù hợp cho các mỏ theo tập dữ liệu kiểm

tra như sau: Mỏ than Na Dương - Mạng nơ-ron nhân tạo 2 lớp ẩn (ANN), độ chính xác đạt 74 %; mỏ than Khánh Hòa - Mạng nơ-ron nhân tạo 2 lớp ẩn (ANN), độ chính xác đạt 83 %; mỏ than Cao Sơn - Mạng nơ-ron nhân tạo ANN - NA 2 lớp ẩn, độ chính xác đạt 85 %.

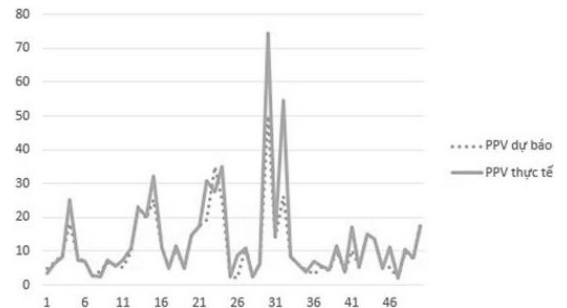
Kết quả so sánh giữa giá trị sóng chấn động thực tế và dự báo bằng mô hình AI được lựa chọn trên tập dữ liệu kiểm tra, xem hình 5.



a) Mỏ Na Dương Khánh Hòa



b) Mỏ Cao Sơn



c) Mỏ Khánh Hòa

Hình 5. So sánh sóng chấn động thực tế và dự báo trên mô hình được lựa chọn cho 03 mỏ than lộ thiên Na Dương, Khánh Hòa và Cao Sơn

4. Xây dựng chương trình dự báo sóng chấn động

Dựa trên kết quả lựa chọn mô hình thuật toán AI phù hợp cho 03 mỏ than lộ thiên Na Dương, Khánh Hòa và Cao Sơn. Với mục tiêu đơn giản



Bảng 2. Kết quả dự báo sóng chấn động với các thuật toán AI cho 03 mỏ Na Dương, Khánh Hòa và Cao Sơn

I. Mỏ Na Dương											
TT	Mô hình	Dữ liệu huấn luyện					Dữ liệu kiểm tra				
		MAE	MSE	RMSE	MAPE	R2	MAE	MSE	RMSE	MAPE	R2
1	SVM	8,52	498,55	22,32	4,19	0,81	33,67	1194,21	44,65	1,82	0,60
2	RF	10,84	218,28	14,77	2,17	0,93	28,23	1879,31	43,35	0,51	0,61
3	XGboot	11,86	460,49	21,45	1,28	0,83	23,76	886,77	29,77	0,53	0,52
4	DT	11,71	304,12	17,43	3,3	0,89	37,21	3266,11	57,14	0,71	0,55
5	LR	29,29	1591,5	39,89	6,09	0,45	23,16	801,77	28,31	1,84	0,44
6	ANN	3,27	246,01	15,68	0,08	0,85	10,29	355,33	18,85	0,36	0,74
7	SVR-SOM	8,07	502,04	22,4	4,55	0,81	36,58	2213,62	47,04	1,89	0,57
8	ANN-NA	11,02	426,94	20,66	0,27	0,85	21,89	727,20	26,96	6,36	0,80
II. Mỏ Khánh Hòa											
TT	Mô hình	Dữ liệu huấn luyện					Dữ liệu kiểm tra				
		MAE	MSE	RMSE	MAPE	R2	MAE	MSE	RMSE	MAPE	R2
1	SVM	1,68	16,91	4,11	0,5	0,8	5,41	52,90	7,27	2,09	0,33
2	RF	2,73	19,94	4,46	1,45	0,84	2,48	11,69	3,41	0,39	0,73
3	XGboot	1,8	7,67	2,77	0,74	0,91	2,73	14,33	3,78	1,3	0,66
4	DT	2,51	14,2	3,77	2,03	0,83	4,42	86,32	9,29	0,68	0,32
5	LR	4,36	45,48	6,74	3,1	0,49	4,53	68,23	8,26	0,72	0,54
6	ANN	1,41	8,67	2,94	0,76	0,844	3,12	16,89	4,11	0,56	0,83
7	SVR-SOM	1,59	16,25	4,03	0,45	0,81	6,0	63,25	7,95	1,45	0,34
8	ANN-NA	1,36	17,66	4,2	0,25	0,85	2,94	15,17	0,66	3,89	0,47
III. Mỏ Cao Sơn											
TT	Mô hình	Dữ liệu huấn luyện					Dữ liệu kiểm tra				
		MAE	MSE	RMSE	MAPE	R2	MAE	MSE	RMSE	MAPE	R2
1	SVM	1,89	50,14	7,08	0,05	0,8	7,91	173,62	0,72	13,17	0,51
2	RF	4,71	38,63	6,21	0,52	0,84	11,73	313,89	17,71	0,82	0,48
3	XGboot	4,04	33,28	5,76	0,37	0,86	11,42	268,96	16,4	0,75	0,32
4	DT	2,45	29	5,38	0,13	0,877	10,88	240,68	15,51	1,01	0,35
5	LR	9,2	160,48	12,66	1,07	0,41	11,23	254,59	15,95	1,97	0,30
6	ANN	2,69	33,91	5,82	0,17	0,85	12,25	443,41	21,05	0,55	0,75
7	SVR-SOM	1,71	40,68	6,37	0,04	0,84	9,38	207,13	14,39	0,64	0,30
8	ANN-NA	1,32	19,49	4,41	0,06	0,92	9,17	321,22	17,92	0,36	0,85

trong cách tiếp cận và sử dụng thuật toán AI vào thực tế sản xuất. Nhóm thực hiện xây dựng chương trình dự báo sóng chấn động với ngôn ngữ lập trình mã nguồn mở Python.

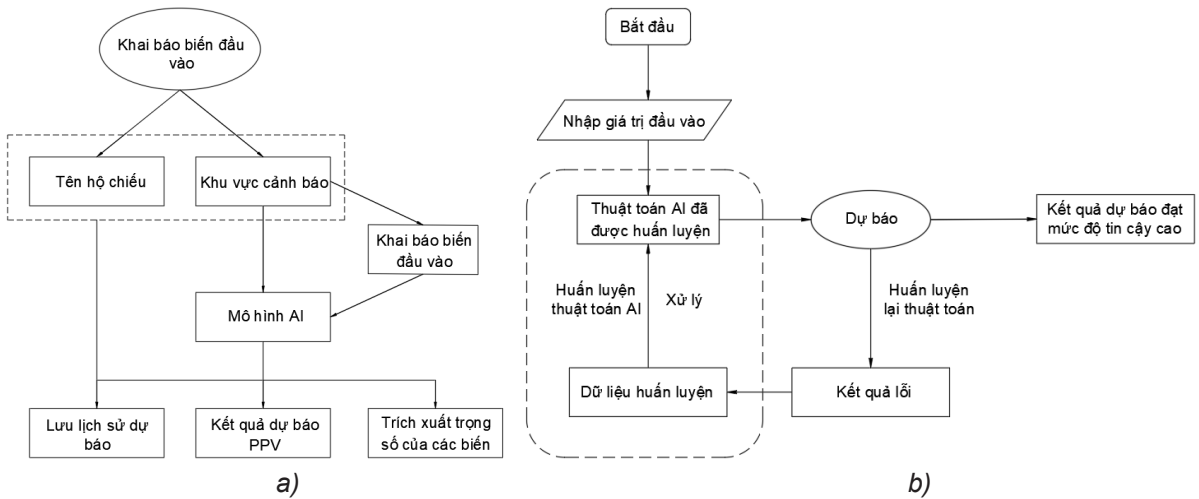
Sơ đồ kết nối hiển thị và sơ đồ thuật toán của chương trình dự báo sóng chấn động xem hình 6.

Trong sơ đồ kết nối hiển thị: Sử dụng thư viện Tkinter và matplotlib của Python để khai báo biến đầu vào và hiển thị kết quả dự báo. Các chức năng

được khai thác trong 02 thư viện xem bảng 3.

Bên cạnh đó, để liên kết giữa chức năng dự báo với thuật toán AI và giao diện của chương trình dự báo sóng chấn động. Hệ thống các câu lệnh được xây dựng thành từng khối chung và riêng theo sơ đồ tổng quát hình 7.

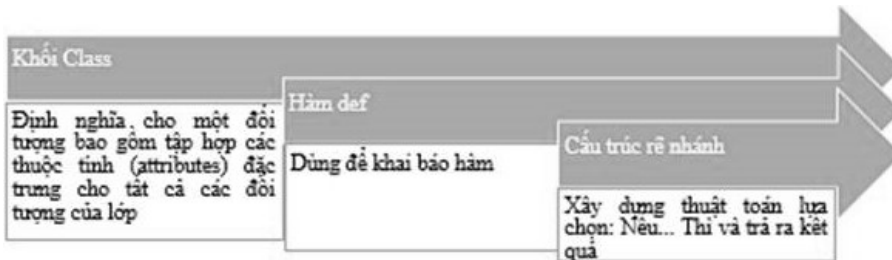
Từ sơ đồ kết nối hiển thị, sơ đồ thuật toán AI, chương trình dự báo sóng chấn động nỗ mình với giao diện như hình 8.



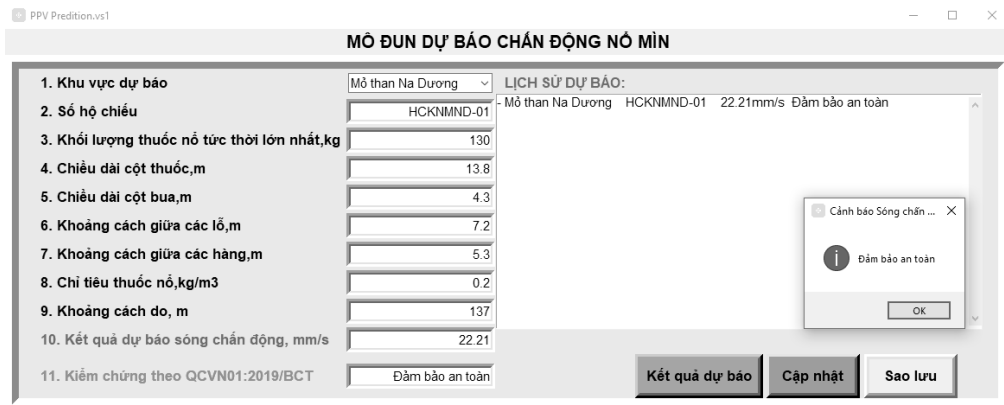
Hình 6. Sơ đồ kết nối hiển thị (a) và sơ đồ thuật toán AI (b) chạy trong chương trình dự báo sóng chấn động

Bảng 3. Các chức năng được sử dụng để xây dựng giao diện chương trình dự báo sóng chấn động

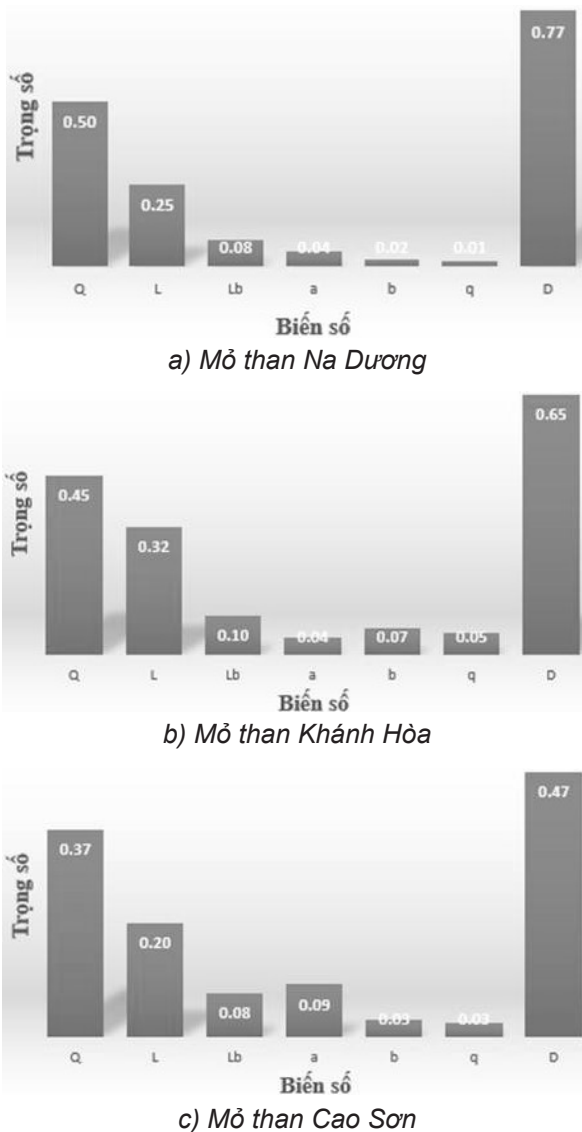
TT	Chức năng	Vai trò	TT	Chức năng	Vai trò
1	Lớp Tk	Tạo cửa sổ hiển thị	6	Frame	Quản lý tác vụ
2	Title	Hiển thị tên	7	Grid	Vị trí hiển thị
3	Geometry	Kích thước khung	8	Label	Tên chức năng
4	Entry	Ô nhập và hiển thị kết quả	9	Combobox	Lựa chọn thông tin từ CSDL
5	Button	Tạo nút chức năng	10	MessageBox	Hiển thị thông báo



Hình 7. Khối câu lệnh được sử dụng trong chương trình dự báo sóng chấn động



Hình 8. Chương trình dự báo sóng chấn động nổ mìn



Hình 9. Mức độ quan trọng của các biến đầu vào tới độ chính xác trong mô hình lựa chọn trong dự báo sóng chấn động nổ mìn

Có thể thấy, các thông số trong CSDL đều có tác động trực tiếp đến kết quả dự báo sóng chấn động với các mức độ khác nhau. Việc thay đổi giá trị các biến số sẽ làm tăng hoặc giảm giá trị của sóng chấn động.

Như vậy, để xác định được mức độ ảnh hưởng của các biến đến kết quả dự báo, tiến hành phân tích độ nhạy của các biến đầu vào bằng phương pháp “đánh giá phân phối độ nhạy cục bộ” [3]. Kết quả thu được đối với từng mỏ xem hình 9.

Từ kết quả phân tích độ nhạy hình 9 cho thấy: Với các mô hình AI lựa chọn cho 03 mỏ Na Dương,

Khánh Hòa và Cao Sơn đánh giá cao mức độ ảnh hưởng của các biến Qtt, L và D. Trong khi đó, các biến Lb, a, b và q ít ảnh hưởng tới độ chính xác trong kết quả dự báo.

Do đó, công tác nổ mìn trên 3 mỏ có thể được tối ưu hóa dựa vào việc điều chỉnh giá trị của các thông số ảnh hưởng đến chấn động nổ mìn (Qtt, L và D). Các giá trị sau khi điều chỉnh được đưa vào chương trình dự báo chấn động nổ mìn trước khi tiến hành ngoài thực địa nhằm kiểm soát tốt hơn các tác động tiêu cực của chấn động nổ mìn tới môi trường xung quanh.

5. Kết luận

Quá trình lựa chọn thuật toán AI từ CSDL đo sóng chấn động nổ mìn và chương trình dự báo sóng chấn động cho 03 mỏ Na Dương, Khánh Hòa và Cao Sơn, cho thấy:

- Thuật toán AI lựa chọn cung cấp giải pháp công nghệ dự báo sóng chấn động với độ chính xác cao. Qua phân tích độ nhạy trong các biến đầu vào theo thuật toán AI lựa chọn, có thể điều chỉnh các biến khối lượng thuốc nổ tức thời (Qtt), chiều sâu lỗ khoan (L) và khoảng cách từ bãi nổ đến công trình bảo vệ (D) để kiểm soát tốt hơn tác động của sóng chấn động;

- Chương trình dự báo sóng chấn động đáp ứng được mục tiêu đề ra trong việc đơn giản hóa cách thức tiếp cận, sử dụng và dễ dàng điều chỉnh tham số. Kết quả đưa ra nhanh chóng, đảm bảo mức độ tin cậy.

Tài liệu tham khảo:

[1]. Đỗ Ngọc Tường, *Phương pháp dự báo sóng chấn động nổ mìn tại mỏ than Na Dương*, số 6/2022 bản tin Thông tin Khoa học Công nghệ mỏ - Viện Khoa học Công nghệ Mỏ - Vinacomin, trang 23 - 29.

[2]. QCVN 01:2019/BCT, *Quy chuẩn kỹ thuật Quốc gia về an toàn trong sản xuất, thử nghiệm, nghiệm thu, bảo quản, vận chuyển, sử dụng, tiêu hủy vật liệu nổ công nghiệp và bảo quản tiền chất thuốc nổ*.

[3]. O Rakovec et al, *Distributed Evaluation of Local Sensitivity Analysis (DELSA) with application to hydrologic models*, Water Resources Reseach, Volume 50 (1), Pages 409 - 426.



Research on and development of a program to predict blasting seismic waves for opencast coal mines of Vietnam

Eng. Do Van Trieu, Eng. Hoang Manh Thang

Vinacomin - Institute of Mining Science and Technology

Dr. Tran Dinh Bao, Dr. Nguyen Tuan Thanh - Hanoi University of Mining and Geology

Abstract:

Artificial intelligence (AI) model is one of the outstanding scientific and technological achievements of the 4.0 industrial revolution. For the mining industry, the application of AI for research and production is still very limited, especially in forecasting regular work. Based on the evaluation and comparison of the accuracy of 08 AI models from the blasting database of Na Duong, Khanh Hoa and Cao Son open-pit coal mines, an appropriate seismic wave prediction model was selected for each mine. In order to facilitate the application of AI models in production practice, the shock wave forecasting program is built based on the Python open programming language in the direction of simplification in approach and use.