

XÁC ĐỊNH PHÂN BỐ TỪ TRƯỜNG TRONG MÁY TUYỂN TỪ TANG QUAY NAM CHÂM ĐIỆN BẰNG PHƯƠNG PHÁP PHẦN TỬ HỮU HẠN

LÊ VĂN TUẤN, NGUYỄN DUY TUẤN
 Trường Đại học Mở-Địa chất
 Email: levantuan@humg.edu.vn

Máy tuyển từ tang quay nam châm điện rất phù hợp với đặc điểm của các mỏ khai thác khoáng vật do loại trừ được khả năng bám dính của khoáng vật, linh hoạt khi cần thay đổi cường độ từ trường và chi phí chế tạo thấp hơn máy tuyển từ nam châm vĩnh cửu. Vì thế, chúng đang được sử dụng rộng rãi ở các xí nghiệp mỏ.

Trong [1] các tác giả đã giới thiệu phương pháp thiết kế giải tích cho nam châm điện của máy tuyển từ tang quay. Để tính toán cường độ từ trường cho các máy tuyển từ nam châm vĩnh cửu, J. Svoboda đã sử dụng phương pháp mạch từ tương đương [2].

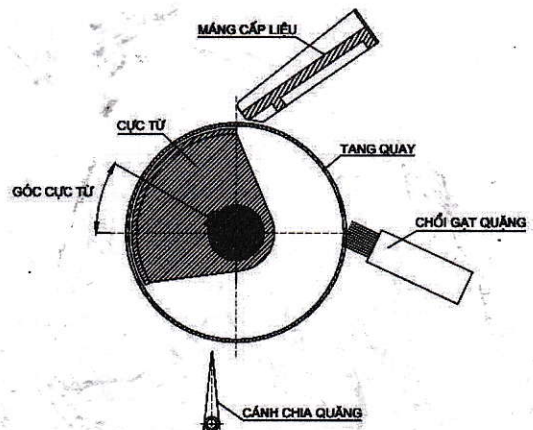
Nhìn chung, các phương pháp tính toán nói trên còn nhiều điểm hạn chế như: Phụ thuộc nhiều vào các hệ số kinh nghiệm mà nó chỉ đúng với các kiểu mạch từ nhất định, bỏ qua hiện tượng bão hòa mạch từ, chỉ thuận tiện khi dạng hình học của thiết bị đơn giản và đặc biệt là không thể hiện trực quan sự phân bố cường độ từ trường trên các bộ phận của máy tuyển từ và vùng không gian xung quanh.

Để khắc phục những hạn chế trên, trong [3], [4] các tác giả đã sử dụng phương pháp phần tử hữu hạn (Finite Element Method - FEM) kết hợp với mô phỏng số để xác định phân bố cường độ từ trường cho các máy tuyển từ nam châm vĩnh cửu với nhiều kiểu kết cấu khác nhau. Trong [5], các tác giả đã sử dụng phần mềm ANSYS Maxwell để mô phỏng phân bố từ trường của máy tuyển từ nam châm vĩnh cửu dạng băng tải.

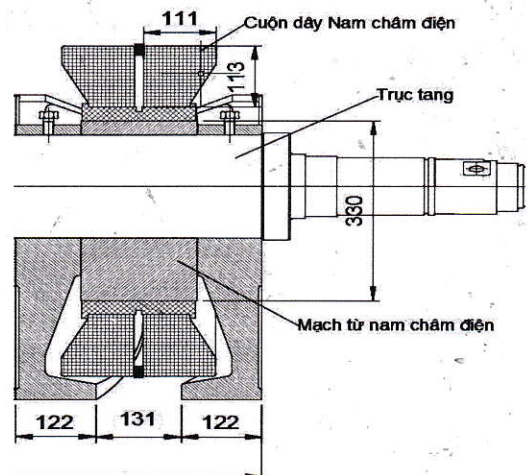
Tuy vậy, việc ứng dụng phương pháp FEM và mô phỏng số để xác định phân bố cường độ từ trường cho máy tuyển từ tang quay sử dụng nam châm điện chưa có tác giả nào thực hiện và đây là nội dung của bài báo này.

1. Kết cấu của máy tuyển từ tang quay nam châm điện

Máy tuyển từ tang quay sử dụng nam châm điện có kết cấu được mô tả như H.1.



H.1. Kết cấu cơ bản của máy tuyển từ tang quay sử dụng nam châm điện



H.2. Kết cấu nam châm điện của máy tuyển từ

Các thông số, kích thước hình học của máy tuyến từ tang quay được cho trong Bảng 1.

Bảng 1. Thông số, kích thước hình học của máy tuyến từ tang quay

Thông số	Đơn vị	Giá trị
Cường độ từ trường trên mặt tang (theo thiết kế)	kA/m	55-95
Đường kính trong của tang	mm	790
Chiều dài tang	mm	1500
Khe hở lớn nhất giữa mạch từ với tang	mm	6.5
Chiều dày vỏ tang	mm	16
Góc cực từ	độ	180
Đường kính trục quay tang	mm	380

Nam châm điện của máy tuyến từ được cấp nguồn điện một chiều từ một bộ chỉnh lưu có điều khiển và có các thông số chế tạo dây quấn như Bảng 2. Kích thước và hình dạng mặt cắt của mạch từ nam châm điện được thể hiện trên H.2.

Bảng 2. Thông số dây quấn nam châm điện

Thông số	Đơn vị	Giá trị
Kiểu quấn dây		(1)
Số vòng dây	vòng	650
Bề dày cuộn dây	mm	113
Chiều cao cuộn dây	mm	110
Dòng điện cấp cho một cuộn dây, I	A	19
Điện áp cấp cho một cuộn dây, U	VDC	72
Điện trở một chiều của cuộn dây, R _{dc}	Ω	3.8
Công suất tiêu thụ của một cuộn dây	kW	1.375
Công suất điện tiêu thụ của cả máy (4 cuộn dây nam châm điện)	kW	5.5

Ghi chú: 1 - Quấn tròn, hướng kính

Khi được cấp nguồn một chiều, cuộn dây nam châm điện trong máy tuyến từ sẽ tạo ra từ trường. Từ trường này được khép kín mạch qua lõi từ, hai vành dẫn dẫn từ và khe hở không khí giữa hai vành dẫn từ. Từ trường khi đi qua khe hở không khí sẽ bị tản ra ngoài không khí, do đó làm xuất hiện trên bề mặt tang một từ trường với cường độ phù hợp để làm việc. Trong kỹ thuật tuyến từ, để tuyến các khoáng vật có từ tính mạnh, máy tuyến từ cần có cường độ từ trường làm việc trên bề mặt tang vào khoảng 50 đến 120 kA/m [1], [8].

2. Phương pháp nghiên cứu

2.1. Mô hình trường điện từ cho kết cấu nam châm điện trong máy tuyến từ

Phương trình Maxwell-Faraday viết cho trường điện từ tạo bởi nam châm điện một chiều ở trạng thái xác lập như sau:

$$\nabla \times \vec{H} = \vec{J} \quad (1)$$

Trong đó: \vec{J} - Mật độ dòng điện một chiều trong cuộn dây nam châm điện, A/m²; \vec{H} - Cường độ từ trường, H/m.

Cường độ từ trường \vec{H} có liên hệ với mật độ từ thông \vec{B} như biểu thức (2).

$$\vec{B} = \mu_0 \mu_r \vec{H} \quad (2)$$

Trong đó: μ_0 - Độ từ thẩm của chân không, $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ T.m/A; μ_r - Độ từ thẩm tương đối của môi trường dẫn từ.

Trong trường điện từ, \vec{B} được tính toán qua đại lượng vector từ thế \vec{A} , như sau:

$$\vec{B} = \nabla \times \vec{A} \quad (3)$$

Thay (2) và (3) vào (1), ta thu được phương trình (4).

$$\nabla \times \left(\frac{1}{\mu_0 \mu_r} \nabla \times \vec{A} \right) = \vec{J} \quad (4)$$

Phương trình (4) có dạng tổng quát của phương trình Poisson. Đây là phương trình vi phân bậc 2 có ẩn là vector từ thế \vec{A} , được diễn giải trong hệ tọa độ Oxyz như sau:

$$\frac{1}{\mu_0 \mu_r} \left(\frac{\partial^2 A_x}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 A_y}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 A_z}{\partial z^2} \right) + J = 0 \quad (5)$$

Giải (5) tìm được \vec{A} , sau đó dựa vào (2) và (3) để tính được mật độ từ thông B như sau:

$$\begin{aligned} \vec{B} &= B_x \vec{i} + B_y \vec{j} + B_z \vec{k} = \\ &= \left(\frac{\partial A_z}{\partial y} - \frac{\partial A_y}{\partial z} \right) \vec{i} + \left(\frac{\partial A_x}{\partial z} - \frac{\partial A_z}{\partial x} \right) \vec{j} + \left(\frac{\partial A_y}{\partial x} - \frac{\partial A_x}{\partial y} \right) \vec{k} \quad (6) \end{aligned}$$

Trong trường hợp chưa biết giá trị mật độ dòng điện J chạy trong dây dẫn nhưng đã biết các đại lượng như điện áp đặt vào hai cực cuộn dây và điện trở một chiều của cuộn dây, có thể xác định được mật độ dòng điện từ các phương trình (7)-(9):

$$U = R_{dc} i + L \frac{di}{dt} \quad (7)$$

$$I_{dc} = \frac{U}{R_{dc}} \quad (8)$$

$$J = \frac{I_{dc}}{S_{dq}} \quad (9)$$

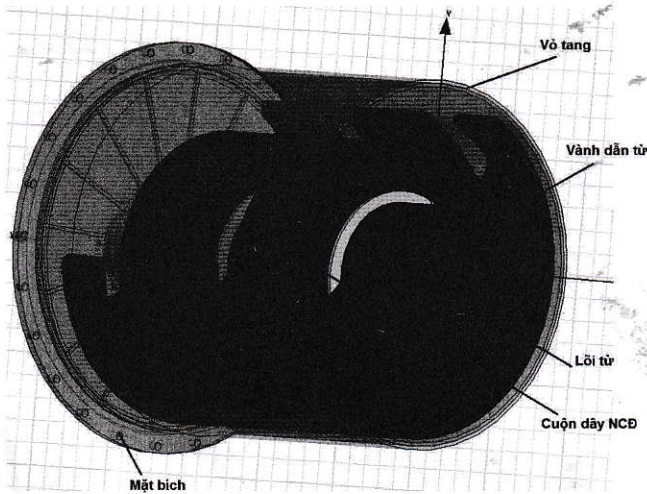
Trong đó: U - Điện áp một chiều đặt vào 2 cực cuộn dây, V; R_{dc} - Điện trở một chiều của cuộn dây,

Ω ; L - Điện cảm tản của cuộn dây, H; I_{dc} - Dòng điện một chiều xác lập trong cuộn dây nam châm điện, A; S_{dq} - Tiết diện dây quấn dùng để chế tạo cuộn dây nam châm điện, m^2 .

2.2. Ứng dụng phương pháp phần tử hữu hạn trong bài toán xác định phân bố từ trường của máy tuyến từ

Phương pháp phần tử hữu hạn (FEM) là phương pháp tính toán được sử dụng phổ biến trong các bài toán phân tích ở nhiều lĩnh vực kỹ thuật như điện tử, cơ học, nhiệt học [5], [6]. Trong bài báo này, tác giả sử dụng FEM để giải gần đúng phương trình Poisson (4), nhằm xác định được giá trị và phân bố từ trường cho kết cấu máy tuyến từ.

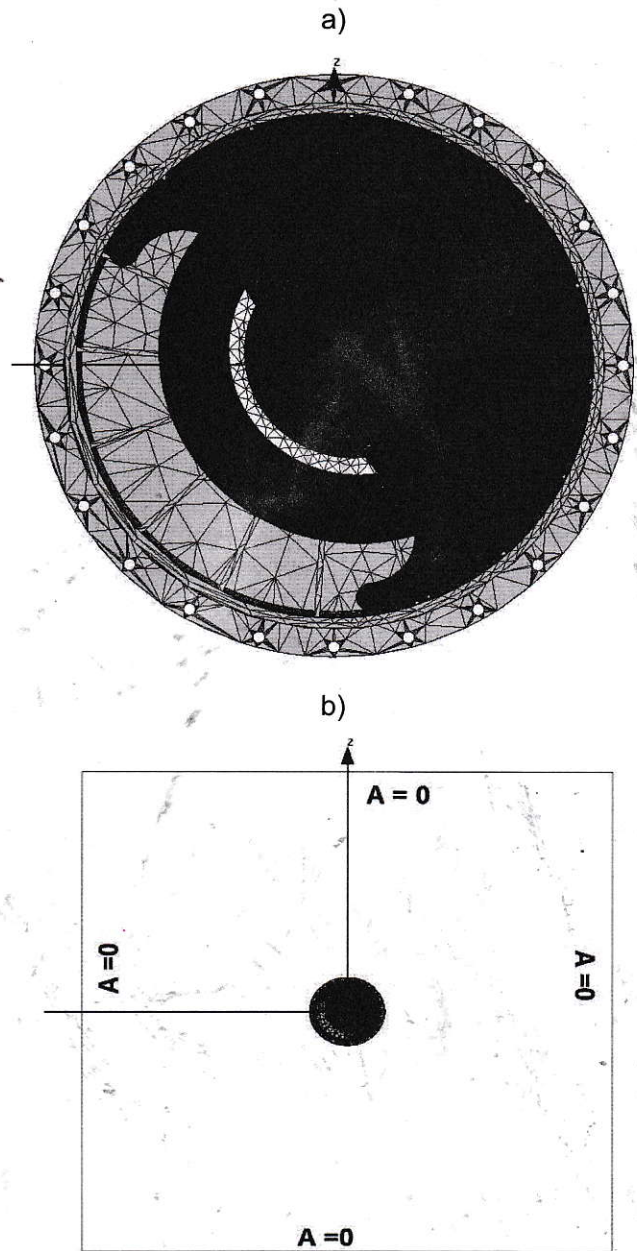
Để thực hiện các phân tích điện từ, trước tiên cần tạo lập mô hình hình học 3D cho máy tuyến từ như mô tả trên H.3. Mặt khác, do tính phức tạp của bài toán phân tích điện từ trên mô hình 3D nên cần sử dụng các công cụ tính toán, mô phỏng hỗ trợ. Ở đây, các tính toán và mô phỏng sẽ được thực hiện trên phần mềm ANSYS Maxwell [7].



H.3. Mô hình 3D của máy tuyến từ tang quay nam châm điện

Mô hình hình học 3D của máy tuyến từ xây dựng dựa trên các kích thước thiết kế sơ bộ của nam châm điện. Các chi tiết trong máy tuyến từ được gán vật liệu theo thiết kế. Cụ thể: Lõi từ và vành dẫn từ bằng thép kỹ thuật điện M15, dây quấn bằng đồng, cách điện bằng bakelit, trục tang bằng thép CT45, vỏ tang bằng thép không gỉ không dẫn từ, mặt bích của tang bằng nhôm không dẫn từ. Mô hình được chia lưới với số phần tử là 503844 (H.4.a). Dạng phần tử chia lưới trong mô hình 3D là dạng tứ diện. Hàm liên thuộc sử dụng trong bộ giải của ANSYS Maxwell là hàm đa thức bậc hai. Điều kiện biên cho mô hình phân tích được thiết lập trên biên dạng của một vùng đủ lớn

để trên biên dạng đó vectơ từ thế có giá trị $A=0$ (H.4.b).

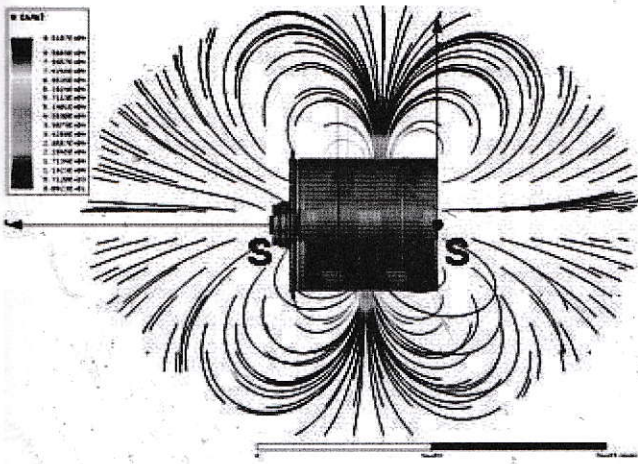


H.4. Kết quả chia lưới và đặt điều kiện biên cho mô hình phân tích: a - Kết quả chia lưới; b - Đặt điều kiện biên

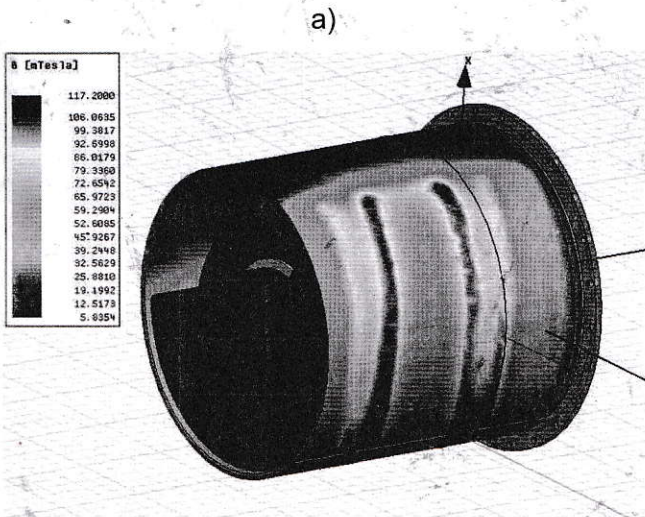
3. Kết quả mô phỏng

Sau khi chạy mô phỏng và đảm bảo điều kiện hội tụ của lời giải, ta sẽ thu được những kết quả như sau:

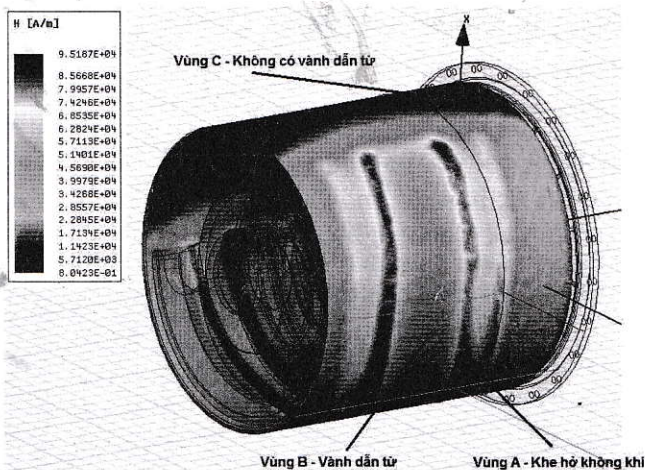
➤ Đường đi của các đường sức từ trường trong kết cấu của máy tuyến từ được thể hiện trên H.5. Các cặp cực từ (N-S) được hình thành liên tiếp nhau theo chiều dọc của máy;



H.5. Đường đi của từ trường trong mặt cắt đi qua trục tang của máy tuyến từ



a)



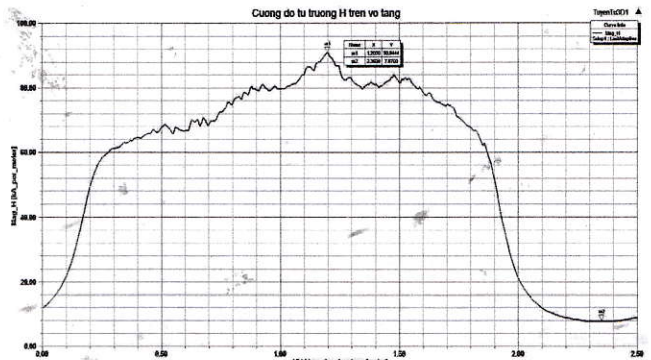
b)

H.6. Phân bố của mật độ từ thông và cường độ từ trường trên vỏ tang của máy tuyến từ: a - Phân bố của mật độ từ thông B; b - Phân bố của cường độ từ trường H

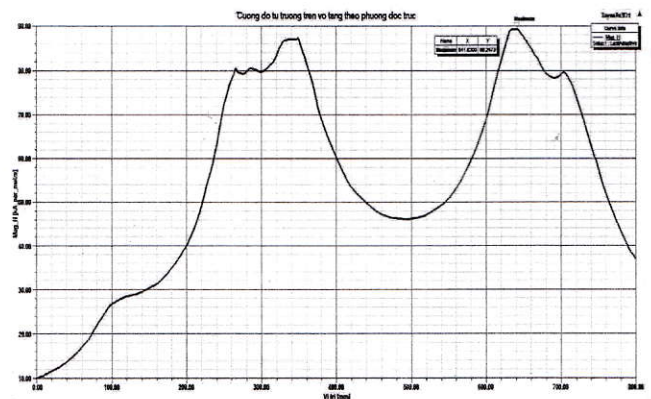
➤ Phân bố của mật độ từ thông và cường độ từ trường trên vỏ tang của máy tuyến từ được thể hiện trên H.6.a và H.6.b.

Kết quả phân tích cho thấy cường độ từ trường và mật độ từ thông phân bố không đồng đều trên toàn bộ bề mặt tang. Vùng có cường độ từ trường lớn nhất là vùng khe hở không khí giữa các vành dẫn từ (vùng A). Vùng có cường độ từ trường trung bình là vùng có các vành dẫn từ (vùng B). Phần lớn các đường sức từ trong vùng B đi trong vành dẫn từ, chỉ có phần nhỏ các đường sức từ đi ra ngoài không khí trên bề mặt tang. Vùng C là vùng có cường độ từ trường thấp nhất do vùng này không có các vành dẫn từ. Do đó, khi khoáng vật có từ tính vào vùng C sẽ bị suy giảm lực từ, dưới tác dụng của lực cơ học sẽ bị rơi khỏi bề mặt tang.

Biên dạng của cường độ từ trường dọc theo chu vi vỏ tang tại vị trí cách mặt bích của tang 240 mm thể hiện trên H.7.



H.7. Biên dạng của cường độ từ trường dọc theo chu vi mặt tang



H.8. Biên dạng cường độ từ trên vỏ tang theo phương dọc trục tang tại vị trí có gắn vành dẫn từ

Giá trị cường độ từ trường cực đại trên bề mặt tang $H_{max}=90.844$ kA/m; cường độ từ trường tại vùng có vành dẫn từ dao động từ 60 kA/m đến H_{max} . Trên mặt tang, tại vùng không có vành dẫn

từ, cường độ từ trường suy giảm nhanh đến giá trị cực tiểu là 7.78 kA/m.

H.8 thể hiện biên dạng của cường độ từ trường theo phương dọc trục tang, tại vùng có gắn vành dẫn từ. Phần đầu máy tuyển từ (có vị trí từ 0 đến 100 mm) có cường độ từ trường yếu. Tại phần thân của máy tuyển từ, cường độ từ trường có giá trị dao động từ 46 kA/m đến 98.25 kA/m. Như vậy, giá trị cường độ từ trường thu được từ mô hình FEM tương đối phù hợp với các giá trị thiết kế sơ bộ.

4. Kết luận

Các kết quả nghiên cứu cho thấy những ưu điểm vượt trội của việc ứng dụng phương pháp phần tử hữu hạn và mô phỏng số để xác định phân bố từ trường trong kết cấu của các máy tuyển từ tang quay nam châm điện. Những dữ liệu về biên dạng và giá trị cường độ từ trường tại bề mặt tang của máy tuyển từ có thể giúp người thiết kế đưa ra những hiệu chỉnh và tối ưu về mặt hình học, vật liệu và hiệu suất trong công nghệ thiết kế máy tuyển từ. Việc sử dụng hiệu quả các công cụ phân tích, mô phỏng sẽ góp phần giảm chi phí, rủi ro trong thiết kế các mẫu máy tuyển từ mới, đồng thời từng bước làm chủ và hoàn thiện công nghệ thiết kế máy tuyển từ. □

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Viện Khoa học và Công Nghệ Mỏ-Luyện Kim, Đề tài cấp Bộ "Nghiên cứu thiết kế, chế tạo máy tuyển từ yếu 2 trục phục vụ chế biến xỉ titan", Bộ Công Thương, 2008.
2. Jan Svoboda, Magnetic Techniques for the Treatment of Materials, Springer Science Business Media, Inc, 2004.
3. Daniel Norrgran, Jaisen N. Kohmuench, Separation magnetism - examine new developments in coal preparation equipment, www.worldcoal.com, 2007.
4. E.B. Park, S.D. Choi, C.J. Yang, Design Optimization and Fabrication of an Advanced High Gradient Magnetic Separator, Journal of Magnetic, 2000.
5. Lu Dong-fang, Wang Yu-hua, He Ping-bo, Sun Wei, Hu Yue-hua, Simulation of magnetic field on tracked permanent magnetic separator based on ANSYS, The Chinese Journal of Nonferrous Metals, August 2014.
6. Nicola Bianchi, Electrical Machine Analysis using Finite Elements, CRC Press, 2005.
7. ANSYS Maxwell Manual Version 17.
8. Magnetic Separators, www.kanetec.co.jp/en/pdf/120_138.pdf.

Ngày nhận bài: 14/02/2017.

Ngày gửi phản biện: 01/03/2017

Ngày nhận phản biện: 16/04/2017

Ngày chấp nhận đăng bài: 15/06/2017

Từ khóa: máy tuyển từ, nam châm điện; phần tử hữu hạn (FEM); cường độ từ trường

SUMMARY

Drum electromagnetic separator widely used for extraction and processing of minerals, such as iron ore, magnetite, ilmenite having a strong and medium magnetism. The paper presents the finite element method to determine the magnetic field distribution generated by electromagnet system in magnetic separators. The method will improve the precision of calculations in separator's designing.

PHÂN TÍCH ĐỘ NHẠY...

(Tiếp theo trang 18)

Краснянский, В.В. Хронин. М.: Изд-во Академии горных наук, 2001. Т.1. 519 с.

10. Фомин С.И. Производительность карьеров и спрос на минеральное сырье. СПб: Изд-во «Тема», 1999. 169 с.

Ngày nhận bài: 26/02/2017.

Ngày gửi phản biện: 11/03/2017

Ngày nhận phản biện: 16/04/2017

Ngày chấp nhận đăng bài: 15/06/2017

Từ khóa: thiết kế; mỏ lộ thiên; các thông số của hệ thống khai thác mỏ; hệ số đàn hồi;

SUMMARY

The paper analyzes the sensitivity of production parameters and determines the effect zone of production parameters in open pit mines using the elastic factor. The result is to build the table of effect zone of production parameters for mining production.