

**PROCEEDINGS OF THE INTERNATIONAL WORKSHOP ON ADVANCES IN
SURFACE MINING FOR ENVIRONMENTAL PROTECTION AND SUSTAINABLE
DEVELOPMENT 17 OCTOBER 2025, HA NOI, VIET NAM**



**THE 60th ANNIVERSARY
OF SURFACE MINING EDUCATION**

ADVANCES IN SURFACE MINING FOR ENVIRONMENTAL PROTECTION AND SUSTAINABLE DEVELOPMENT-2025 (ASMES - 2025)



TRANSPORT PUBLISHING HOUSE, HA NOI, VIET NAM

TABLE OF CONTENTS

No.	AUTHORS	PAPER	PAGES
1.	Xuan-Nam Bui, Tran Quang Hieu, Nguyen Anh Tuan, Do Ngoc Hoan, Nguyen Phu Vu, Le Van Quyen	Training and Scientific Research Orientation in Surface Mining: Steadfast Integration, Reaching New Heights in the Modern Era	1-14
• 2.	Nguyen Anh Tuan, Pham Van Viet, Pham Van Hoa, Do Ngoc Hoan, Tran Dinh Bao	Stone in Vietnam: Building stone, rock fill and armourstone in construction for Sustainable Development	15-23
3.	Xuan-Nam Bui, Carsten Drebenstedt, Nguyen Hoang, Nguyen Van Duc, Tran Quang Hieu, Nguyen Quoc Long, Le Ngoc Ninh	Smart Mining - Opportunities and Challenges for Vietnam's Mining Industry	24-41
4.	Lai Hong Thanh, Mai The Toan, Le Ngoc Ninh, Xuan-Nam Bui	Vietnam's 2024 Law on Geology and Minerals: Opportunities and Challenges for the Mining Industry	42-55
• 5.	Le Thi Thu Hoa, Nguyen Hoang, Tran Quang Hieu, Tran Dinh Bao, Le Qui Thao, Nguyen Truc Anh, Atrushkevich Victor, Xuan-Nam Bui	Some Technological Approaches, Optimization Strategies, and Sustainable Development Directions for Selective Mining in Vietnam's Open-Pit Coal Mines	56-66
6.	Le Qui Thao, Do Ngoc Le Dung, Nguyen Thi Thuc Anh, Do Ngoc Hoan, Xuan-Nam Bui	Some Technological Orientations for Safe and Environmentally Friendly Mining Technology of Coastal Placer Titanium Deposits in Vietnam	67-83
7.	Tran Quang Hieu, Nguyen Van Duc, Xuan-Nam Bui, Trinh Hai Son, Bui Hoang Bac	Sustainable Rare Earth Mining Technologies: Global Trends and a Tailored Model for Vietnam's Development	84-98
8.	Tran Quang Hieu, Xuan-Nam Bui, Le Ngoc Ninh, Bui Hong Quang, Nguyen Van Hai	The management and utilization of industrial explosives in Vietnam: Achievements, opportunities, challenges, and future development orientations.	99-110
9.	Thang Dam Trong, Duc Ngo The	Experimental investigation on the influence of water saturation on the propagation velocity of blasting stress waves	111-123
• 10.	Nguyen Dinh An, Tran Dinh Bao	Controlling Harmful Impacts of Rock Blasting for Construction Site Preparation in Ha Giang Province, Vietnam	124-136
11.	Ngo Ngoc Thuy, Dam Trong Thang	A Study on Mitigating Air Shock Wave Intensity in Surface Blasting for Rock Fragmentation Using Sand Cover Layers	137-148
12.	Van-Viet Pham, Pirat Jaroonpattanapong, Nguyen Anh Tuan, Van -Hoa Pham	Prediction of an appropriated powder factor used for blasting under the consideration of blast direction and rock mass quality	149-163
13.	Tung Lam Vu, Quang Hieu Tran, Trong Hieu Vu	Investigation and Analysis for the Selection of an Appropriate Method to determine Rock fragmentation from Experimental Data	164-175
• 14.	Do Ngoc Hoan, Tran Quang Hieu, Tran Dinh Bao	Achievements and Challenges in Occupational Safety and Health Management in the Mineral Mining industry in Vietnam	176-189
15.	Lam Kieu Anh, Tran Quang Hieu, Do Ngoc Hoan, Nguyen Anh Tho, Do Thi Lan Chi	Assessment and Control of Fire and Explosion Risks in Industrial Explosives Storage Facilities	190-209

• 16.	Do Van Trieu, Tran Dinh Bao, Dang Tien Anh, Dinh Ba Lam, Nguyen Van Hoang	Overview of Carbon Storage Technologies in Mine Waste Rock: Opportunities and Challenges for TKV Open-Pit Mines	210-223
17.	Do Thi Lan Chi, Vu Van Thu, Do Ngoc Hoan	Safety Culture In Enterprises: An Assessment And Intervention Framework Based On A Multi-Model Approach	224-233
18.	Xuan-Nam Bui, Thi-Tam Nguyen, Ngoc-Ninh Le, Duc-Tin Quach, Quang-Hieu Tran, Chang-Woo Lee, Van-Trieu Do, Van-Duc Nguyen	Decarbonizing Vietnam's Open-Pit Coal Mining: A Life Cycle Case Study of Emissions and Mitigation Pathways	234-248
19.	Tuan-Ngoc Le, Nguyen Truc Anh, Hoang Nguyen, Xuan-Nam Bui	Predicting PM2.5 Concentrations in an Open-Pit Copper Mine Using Advanced AI Techniques: Insights from the Sin Quyen Copper Mine, Vietnam	249-268
20.	Léopold Dupuy, Nguyen Mai Anh, Hoang Nguyen	Soil Organic Carbon Assessment and Prediction in Rehabilitated Open-Pit Mining Areas Using GIS and Machine Learning: Insights from France	269-290
• 21.	Tran Dinh Bao, Vu Van Thu	Analysis, evaluation, and proposal of solutions to enhance the effectiveness of occupational safety and health practices in Vietnam in the current period	291-312
22.	Do Duc Thanh, Ngo Thanh Tuan	Impact of large capacity solar power sources when connected near high-voltage power system supplying electricity to mining areas	315-320
23.	Nguyen Hoang Long, Xuan-Nam Bui, Tran Thi Hai Van, Dinh Bao Ngoc, Tran Truong Giang	Development of a Management and Monitoring System for Production Activities in Open-Pit Quarries in Vietnam	321-328
24.	Dam Trong Thang, Nguyen Chi Ta, Vu Chong Hieu, Le Hong Hai	Improvement of the Method for Determining the Specific Explosive Consumption for Rock Destruction under Water by a Charge in a Borehole, Based on the Rock Failure Mechanism Induced by Reflected Stress Waves	329-342
25.	Nguyen Van Tinh, Dam Trong Thang, Le Sy Thuong, Tran Quang Hieu	Study of the calculation, design, and fabrication of rational small explosive charges for experimental research on soil and rock blasting using miniature models	343-358
26.	Nguyen V.H, Dam T.T, Nguyen V.I, Tatarinov V.V, Tran V.L	Experimental Study of Noise Reduction Solutions in an Electric Explosion Device Model	359-374
27.	Nguyen Manh Thuong, Dam Trong Thang, Ta Quang Yen	Esearch, Fabrication and Testing of an Assembled Floating Working Platform for Underwater Drilling of Blast Holes in Marine Conditions in Quang Ninh Province	375-385
28.	Nguyen Anh Tuan, Do Ngoc Hoan, Pham Van Viet, Tran Quang Hieu	Proposing fundamental criteria for open-pit mining to ensure efficiency, sustainability, and climate change adaptation in Vietnam	386-395
29.	Tran Quang Hieu, Nguyen Anh Tuan, Do Ngoc Hoan, Xuan -Nam Bui, Nguyen Van Duc	The future of open-pit mining in Vietnam: opportunities, challenges, and pathways to sustainability	396-412
30.	Le Duc Phuong , Do Ngoc Hoan, Phi Trung Kien	Methodology for rational determination of ultimate pit limits for monometallic and polymetallic mines managed by TKV	413-422
• 31.	Nguyen Anh Tuan, Pham Van Viet, Tran Trung Anh, Nguyen Van Tinh, Tran Dinh Bao, Pham Minh Tu, Noelle Escutenaire	Run-of-mine ore quality homogenization: Application for mining conditions of block 24-122, Tan Rai bauxite mine, Tay Nguyen	423-431

- 32. Nguyen Anh Tuan, Pham Van Viet, Tran Trung Anh, Tran Dinh Bao, Pham Van Hoa Hoa, Phạm Minh Tu, Noelle Escutenaire Bauxite ore grade model: construction of a resource and grade distribution map for block 24-122, Tan Rai bauxite mine 432-440
- 33. Khuong The Hung, Bui Hoang Bac Vu The Thu Sustainable development of apatite ore at the Coc mine, Lao Cai province based on a comprehensive assessment of geological conditions and mining status 441-447
- 34. Le Ba Phuc, Do Van Trieu, Dang Tien Anh, Tran Dinh Bao Study on developing a method for monitoring the load model on dump trucks transporting overburden at open-pit mines for digital transformation 448-459
- 35. Do Ngoc Tuoc, Nhu Viet Tuan, Trinh Thi Phuong Assessment of the Potential for Microbial Underground Coal Biogasification in the Red River Delta Coal Basin 460-469
- 36. Dam Quang Sang, Nguyen Van Tinh, Hoang Trung Huu, Nguyen Ngan, Tran Van Dung, Tran Quang Hieu Method for Determining Detonator Parameters for Blasting in Open-Pit Mines in Vietnam 470-479
- 37. Pham Van Hoa, Tran Van Dung, Hoang Anh Phong, Trinh Quang Trung, Le Van Quyen, Duong Thanh Trung, Tran Dinh Bao, Tran Quang Hieu, Nguyen Anh Tuan, Nguyen Dinh An, Pham Van Vie Drilling and blasting operations management system – designed to meet digital transformation requirements and adapted to practical conditions of Open-Pit coal mines in Quang Ninh region 480-490
- 38. Doan Van Thanh, Do Van Trieu, Dinh Ba Lam, Tran Dinh Bao Study on simulating the propagation of blasting stress waves in water-saturated rock and soil conditions at coal mines under TKV 491-500
- 39. Hoang Manh Thang, Doan Van Thanh, Dinh Ba Lam, Dang Tien Anh Research on Non-Explosive Rock Breaking Methods for Open-Pit Mines in Vietnam 501-510
- 40. Luu Van Thuc, Do Van Trieu, Le Ba Phuc, Le Thi Thu Hoa The necessity of researching and developing a monitoring database and a slope stability warning program for pit walls and waste dumps using digital models integrated with artificial intelligence (AI) for open-pit mines under TKV 511-520
- 41. Dao Van Chi , Vu Thai Tien Dung, Phan Mai Linh International experience in mainstreaming environmental protection into mineral resource development and implications for Vietnam 521-527
- 42. Phạm Anh Hai , Nguyen Anh Tuan, Trinh Van Hiep, Pham Hong Thai, Dang Anh Duc Application of CCUS Technology in TKV Thermal Power Plants: Potentials and Prospects (Part I) 528-538
- 43. Nguyen Anh Tuan, Nguyen Xuan Tu, Pham Van Viet, Do Anh Son, Ngo Thanh Tuan, Nguyen Tien Hung. Impact assessment of open-pit mining on underground mine structures: A case study of coking coal mining, Bac Lang Cam, Thai Nguyen provinc 539-556
- 44. Nguyen Dinh An , Nhu Van Bach, Tran Dinh Bao Real - Time Blasting Plans Generation Using Artificial Intelligence: Improving Efficiency and Safety in Mining Blasting Operations 557-564



ASMES - 2025

www.khaithaclathien.edu.vn



Methodology for rational determination of ultimate pit limits for monometallic and polymetallic mines managed by TKV

Le Duc Phuong ^{1*}, Do Ngoc Hoan ², Phi Trung Kien³

¹ Vietnam Institute of Creative Science and Technology

² Hanoi University of Mining and Geology, Hanoi, Vietnam

³ Vinacomin Industry Investment Consulting Joint Stock Company, Hanoi, Vietnam

ABSTRACT

The rational determination of the ultimate pit limit (UPL) plays a pivotal role in optimizing the economic, technical, and environmental efficiency of open-pit mining operations. For mono- and polymetallic ore mines under the management of the Vietnam National Coal and Mineral Industries Group (TKV), the geological complexity, mineral distribution characteristics, and post-mining land use planning highlight the urgent need for a systematic and adaptive method to define the UPL. In cases where the pit will not transition to underground mining after open-pit operations cease, the UPL should be determined by incorporating a normative profit margin into the stripping ratio limit and calculating it based on the final product, applying the equality $K_{gh} = K_o + K_{sx}$ along with graphical methods. Conversely, for pits intended to continue with underground mining, the use of the "Equal Profit" criterion is considered more objective and appropriate than the "Equal Cost" criterion. This paper proposes a set of recommendations to improve the UPL determination procedure for ore mines managed by TKV, contributing to enhanced resource utilization, investment efficiency, and sustainable development of both mono- and polymetallic open-pit mines.

Keywords:

Open-pit mining; Mono- and polymetallic ore; Equal profit criterion; Ultimate pit limit.

**Tác giả liên hệ*

E - mail: phuongled@gmail.com



ASMES - 2025

www.khaithaclothien.edu.vn



Phương pháp xác định biên giới kết thúc khai thác lộ thiên hợp lý cho các mỏ quặng đơn và đa khoáng thuộc TKV

Lê Đức Phương^{1,*}, Đỗ Ngọc Hoàn², Phí Trung Kiên³

¹ Viện Khoa học Công nghệ Sáng tạo Việt Nam, Hà Nội, Việt Nam

² Trường Đại học Mỏ - Địa chất, Hà Nội, Việt Nam

³ Công ty CP Tư vấn Đầu tư Mỏ và Công nghiệp – Vinacomin, Hà Nội, Việt Nam

TÓM TẮT

Xác định biên giới kết thúc khai thác (BGKTKT) hợp lý có vai trò then chốt trong việc tối ưu hóa hiệu quả kinh tế, kỹ thuật và môi trường trong khai thác lộ thiên. Đối với các mỏ quặng đơn và đa khoáng do Tập đoàn Công nghiệp Than - Khoáng sản Việt Nam (TKV) quản lý có sự đa dạng về cấu trúc địa chất, đặc điểm phân bố khoáng sản và quy hoạch sử dụng đất, điều này đặt ra nhu cầu cấp thiết về một phương pháp xác định BGKTKT mang tính hệ thống và thích ứng cao. Trong trường hợp khai trường sau khi kết thúc khai thác lộ thiên không tiếp tục khai thác bằng hầm lò, cần đưa lợi nhuận định mức vào hệ số bóc giới hạn và tính cho sản phẩm cuối cùng, sử dụng đẳng thức $K_{gh} = K_o + K_{sx}$ và phương pháp đồ thị để xác định biên giới khai trường. Còn đối với trường hợp khai trường sau khi kết thúc khai thác lộ thiên tiếp tục khai thác hầm lò cần sử dụng tiêu chí "Đăng lợi nhuận" thay thế cho "Đăng giá thành" là khách quan và phù hợp nhất. Bài báo đề xuất một số kiến nghị nhằm hoàn thiện quy trình xác định BGKTKT cho các mỏ quặng thuộc TKV, góp phần nâng cao hiệu quả sử dụng tài nguyên, đảm bảo hiệu quả đầu tư và hướng tới phát triển bền vững cho các mỏ quặng đơn và đa khoáng lộ thiên của TKV.

Từ khóa: Khai thác lộ thiên; quặng đơn và đa khoáng; Đăng lợi nhuận; Biên giới mỏ.

1. Mở đầu

Hiện nay TKV có mỏ quặng gốc đơn khoáng là mỏ sắt Nà Rua, tỉnh Cao Bằng và các mỏ quặng gốc đa khoáng là mỏ Đồng Sin Quyền và mỏ đồng Tả Phời đều ở tỉnh Lào Cai. Qua việc nghiên cứu phương pháp xác định biên giới kết thúc khai thác của các mỏ này cho thấy:

- Các dự án đều xác định biên giới mỏ theo nguyên tắc $k_{tb} \leq k_{gh}$, riêng dự án điều chỉnh khai thác mở rộng và nâng công suất khu mỏ - tuyến đồng Sin Quyền kèm theo nguyên tắc $k_{bg} \leq k_{gh}$. Để tận thu tối đa tài nguyên bằng phương pháp KTLT, sử dụng nguyên tắc $k_{tb} \leq k_{gh}$ khi không có khối lượng đất bóc xây dựng cơ bản (XDCB) là chấp nhận được. Tuy nhiên, kèm theo nguyên tắc $k_{bg} \leq k_{gh}$ là không hợp lý.

- Về phương pháp, các dự án xây dựng từ 2÷3 phương án về biên giới mỏ, sau đó chọn phương án có hệ số bóc k_{tb} và k_{bg} nhỏ hơn và gần hệ số bóc giới hạn k_{gh} nhất. Phương pháp này có độ chính xác không cao và chỉ tồn tại trong các dự án do các đơn vị tư vấn thực hiện mà không tồn tại trong bất cứ một tài liệu nào ở trong và ngoài nước. Ngoài ra, các dự án đều xác định giới hạn chuyển từ công tác KTLT sang KTHL theo tiêu chí “Giá thành lộ thiên” bằng “Giá thành hầm lò” là không hợp lý.

- Chính phủ giao mỏ cho TKV quản lý, khai thác, tuyển, luyện, tiêu thụ sản phẩm và thu lợi nhuận về TKV. Đồng thời TKV phân bổ định mức sản xuất và yêu cầu tất cả các doanh nghiệp phải đảm bảo luôn luôn có lãi trong suốt thời kỳ hoạt động, trừ thời kỳ XD CB. Tuy nhiên, việc xác định hệ số bóc giới hạn chỉ đối với công tác khai thác và tuyển quặng mà chưa tính đến công tác luyện ra sản phẩm cuối cùng. Điều này đã làm thu hẹp biên giới mỏ lộ thiên, gây tổn thất và lãng phí tài nguyên không tái tạo.

Chính vì vậy, cần phải nghiên cứu hoàn thiện phương pháp xác định biên giới mỏ lộ thiên hợp lý cho các mỏ quặng gốc đơn và đa khoáng của TKV.

2. Phương pháp xác định biên giới mỏ lộ thiên khi không tiếp tục khai thác hầm lò

2.1. Hệ số bóc giới hạn

Việc xác định biên giới mỏ lộ thiên khi khai thác mỏ đa khoáng hiện nay song hành hai quan điểm:

1) Chính xác hóa hệ số bóc giới hạn và sử dụng các nguyên tắc đã biết về xác định biên giới mỏ áp dụng cho mỏ đơn khoáng;

2) Sử dụng khái niệm mới – hệ số khai thác giới hạn và các nguyên tắc mới về xác định biên giới mỏ lộ thiên.

Để thuận lợi và phù hợp với các phương pháp xác định trong các dự án và trong thực tế sản xuất từ trước tới nay, ta sử dụng quan điểm thứ nhất. Tức là chính xác hóa hệ số bóc giới hạn và sử dụng các nguyên tắc đã biết về xác định biên giới mỏ áp dụng cho mỏ đơn khoáng.

Trong trường hợp này, ta sử dụng công thức xác định hệ số bóc giới hạn tính tới sản phẩm cuối cùng do GS. Trần Mạnh Xuân [1, 8] đề xuất. Tuy nhiên, cần bổ sung các chi phí khác như: thuế và phí bảo vệ môi trường trong các khâu khai thác, tuyển, luyện; chi phí giải phóng mặt bằng; thuế tài nguyên; chi phí cấp quyền khai thác; phí tài liệu thăm dò; chi phí mở mỏ và xây dựng cơ sở hạ tầng tính trực tiếp cho quặng; chi phí đóng cửa mỏ; v.v...

Ngoài ra, để tăng độ chính xác hơn, ta đưa chỉ tiêu định mức lợi nhuận vào công thức xác định hệ số bóc giới hạn và chọn dấu bằng (=) trong nguyên tắc được sử dụng.

Khi đó công thức xác định hệ số bóc giới hạn k_{gh} đối với khoáng sàng quặng đa khoáng chỉ có thể tiến hành KTLT vì phía dưới không còn đủ trữ lượng để đầu tư KTHL như sau:

$$k_{gh} = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{\alpha_i (100 - r_i) \varepsilon_i p_i}{100^2 \delta_i} (1 - l) - \left[a + C_t + \sum_{i=1}^k \gamma_{ki} (C_{li} + C_{vi}) + C_o \right]}{b}, \text{ m}^3/\text{t} \quad (1)$$

Trong đó α_i – hàm lượng kim loại thứ i trong quặng địa chất, %; r_i – hệ số làm nghèo quặng khi khai thác, %; ε_i – mức thu hoạch kim loại tổng quát gồm cả tuyển và luyện thứ i , %; p_i – giá bán kim loại thứ i , đ/t; δ_i – hàm lượng kim loại thứ i trong sản phẩm cuối cùng, %; l – định mức lợi nhuận, %; a – giá thành khai thác và vận tải 1 tấn quặng nguyên khai từ mỏ đến xưởng tuyển, đ/t; C_t – giá thành tuyển 1 tấn quặng nguyên khai bao gồm cả chi phí thải quặng đuôi, đ/t; γ_{ki} – suất thu hồi quặng tinh thứ i từ quặng nguyên khai; C_{li} – chi phí luyện 1 tấn quặng tinh thứ i , đ/t; C_v – chi phí vận tải 1 tấn quặng tinh thứ i từ xưởng tuyển đến nhà

máy luyện, đ/t; C_o – các loại phí và lệ phí, đ/t; b – chi phí bóc 1 m³ đất đá, đ/m³; n – số loại quặng và kim loại có trong mỏ; k – số kim loại được luyện.

Khi $n = k = 1$ thì trở về trường hợp mỏ đơn khoáng, tức là:

$$k_{gh} = \frac{\frac{\alpha(100-r)\varepsilon p}{100^2 \delta} (1-l) - [a + C_l + \gamma(C_l + C_v) + C_o]}{b}, \text{ m}^3/\text{t} \quad (2)$$

Để làm rõ tính ưu việt của việc tính k_{gh} đến sản phẩm cuối cùng so với trường hợp chỉ tính tới công đoạn tuyển, nhóm nghiên cứu đã tính toán trong điều kiện mỏ đồng Tả Phời cho thấy, khi định mức lợi nhuận thay đổi từ 3÷10%, k_{gh} tính đến sản phẩm cuối cùng lớn gấp từ 2,17÷2,29 lần so với trường hợp chỉ tính tới công đoạn tuyển.

2.2. Nguyên tắc xác định

Độ chính xác cao đạt được khi áp dụng nguyên tắc $k_{gh} \geq k_o + k_{sx}$ của GS. A.I. Arxenchev mà theo đó đã được áp dụng rộng rãi nhất cả trong thực tế sản xuất cũng như trong nghiên cứu khoa học trên thế giới. Đặc biệt, đây là nguyên tắc chung của tất cả các nguyên tắc truyền thống đã được đề xuất. Nói cách khác, các nguyên tắc khác chỉ là trường hợp riêng của nguyên tắc này. Với nguyên tắc này đảm bảo công tác mỏ lộ thiên có giá thành khoáng sản thực tế trong toàn bộ thời gian khai thác mỏ không vượt giá thành cho phép [2, 4]. Cơ sở khoa học của nguyên tắc này như sau:

Để công tác mỏ có hiệu quả, cần phải đảm bảo sao cho giá thành khoáng sản thực tế trong tất cả các thời kỳ công tác mỏ không vượt giá thành cho phép C_{cp} , có nghĩa là:

$$C_{cp} \geq a + b(k_o + k_{sx})$$

Trong đó a – giá thành khai thác khoáng sản không bao gồm công tác bóc đất đá và khấu hao XDCB, đồng/tấn; b – giá thành bóc đất đá trong giai đoạn sản xuất bình thường, đồng/m³; k_o – hệ số bóc ban đầu là tỷ lệ giữa khối lượng đất đá XDCB và tổng trữ lượng khoáng sản khai thác được trong biên giới mỏ, m³/tấn; k_{sx} – hệ số bóc sản xuất, tính trung bình theo các thời kỳ công tác mỏ, m³/tấn.

Từ đó ta có:

$$\frac{C_{cp} - a}{b} = k_o + k_{sx}$$

Vế trái của công thức trên là hệ số bóc giới hạn.

Như vậy, điều kiện cơ bản phù hợp kinh tế công tác mỏ lộ thiên là:

$$k_{gh} \geq k_o + k_{sx} \quad (3)$$

Điều kiện này tương ứng với công tác mỏ mà ở đó giá thành thực tế trong sản xuất không bao giờ vượt giá thành cho phép.

Ta thực hiện một số biến đổi công thức (3).

Bởi vì $k = \lambda(k_{tb} - k_o)$, trong đó λ – hệ số không đồng đều của công tác bóc đất đá nên khi $k'_o \approx k_o$ ta có:

$$k_{gh} \geq \lambda k_{tb} - k_o(\lambda - 1)$$

Đưa vào hệ số:

$$\mu = \frac{k_o}{k_{tb}} = \frac{V_o}{V} \frac{b_o}{b} \quad (4)$$

$$\text{Khi đó:} \quad k_{gh} \geq k_{tb}[\lambda - \mu(\lambda - 1)] \quad (5)$$

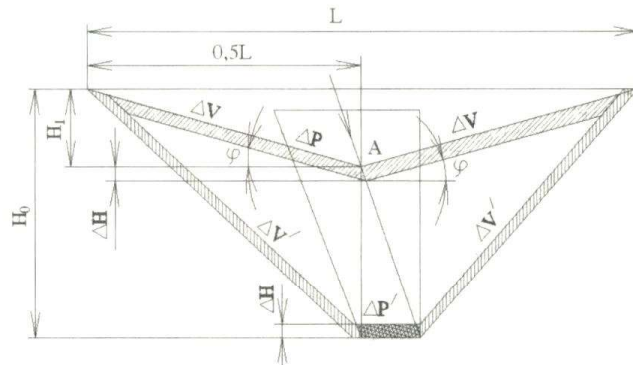
Tức là giữa k_{gh} và k_{tb} có mối liên hệ nhất định.

Trường hợp khối lượng công tác XD CB mở không đáng kể và có thể bỏ qua ($k_0 = 0$), khi đó $\mu = 0$ và ta có:

$$k_{gh} \geq \lambda k_{tb} \quad (6)$$

Về phải của bất đẳng thức (6) là hệ số bóc sản xuất trung bình của một thời kỳ công tác mỏ. Nếu hệ số này không trung bình ta nhận được nguyên tắc $k_{gh} \geq k_t$ theo đề xuất của Viện sỹ V.V. Rjevski.

Trường hợp khai thác các khoáng sản có dạng vỉa dốc thoải, khi một trong các bờ mỏ kết thúc bám trụ vỉa, cũng như ở các vỉa dốc đứng và thẳng đứng khi mở vỉa bằng các hào tạm thời bám vách vỉa có thể tạo ra các điều kiện như ở hình 1 (các bờ công tác bên vách và trụ đồng thời đạt đến biên giới cuối cùng trên bề mặt), giá trị hệ số bóc “thời gian” cực đại trở thành bằng hệ số bóc biên giới, có nghĩa là (hình 1):



Hình 1. Sơ đồ trường hợp khi $k_t = k_{bg}$

$$k_t = \frac{\Delta V}{\Delta P} = \frac{\Delta V'}{\Delta P'} = k_{bg}$$

Trong trường hợp này, nguyên tắc (3) trở thành nguyên tắc $k_{gh} \geq k_{bg}$.

Nếu lập được lịch biểu công tác mở sao cho mở trong cả một thời kỳ có thể làm việc với hệ số bóc sản xuất trung bình ($k_{tb} - k_0$), có nghĩa là khi hệ số không đồng đều của công tác bóc đất đá $\lambda = 1$ thì nguyên tắc (3) trở thành nguyên tắc $k_{gh} \geq k_{tb}$. Nguyên tắc này có thể hoàn toàn phù hợp ngay cả trong trường hợp thời gian sản xuất mở rất ngắn.

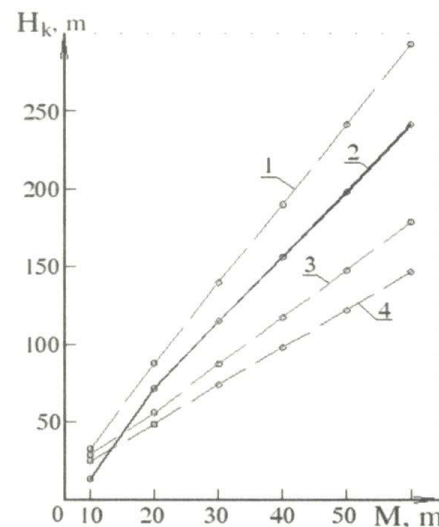
Để làm rõ sự khác nhau trong kết quả tính toán độ sâu kết thúc mở lộ thiên theo các nguyên tắc khác nhau, GS. A.I. Arxenchev đã đưa ra tính toán so sánh.

Để đơn giản, tác giả tính giá thành bóc đất đá phủ, đá gốc bên vách và trụ thân quặng giống nhau. Tác giả đã khảo sát sự phụ thuộc của độ sâu

kết thúc mô lộ thiên H_k vào chiều dày thân quặng M với số liệu ban đầu như sau: $h_0 = 10 \text{ m}$, $\gamma = 40^\circ$; $\beta = 60^\circ$, $\varphi = 15^\circ$; $k_{gh} = 6 \text{ m}^3/\text{m}^3$. Kết quả tính toán theo tất cả các nguyên tắc đã xem xét và thành lập đồ thi được thể hiện ở hình 2.

Các kết quả trên cho thấy việc tính toán dựa trên các nguyên tắc $k_{gh} \geq k_{bg}$ và $k_{gh} \geq k_t$ trong phần lớn các trường hợp (với giá trị h_0 không lớn) cho giá trị độ sâu kết thúc mở lộ thiên giảm đáng kể [5, 10].

Vì điều đó mà giá thành khoáng sản ở mỏ thiết kế thấp hay khả năng khai thác bằng phương pháp lộ thiên không được sử dụng hoàn toàn. Trong trường hợp chiều dày lớp phủ



Hình 2. Sự phụ thuộc của chiều sâu H_k vào chiều dày thân quặng M theo các nguyên tắc: 1 - $k_{gh} \geq k_{tb}$; 2 - $k_{gh} \geq k_o + k_{sx}$; 3 - $k_{gh} \geq k_t$; 4 - $k_{gh} \geq k_{bg}$.

h_0 đáng kể, việc tính toán theo các nguyên tắc này có thể dẫn đến kết quả hoàn toàn không thể chấp nhận được. Khi đó giá thành khoáng sản thực tế có thể vượt giá thành cho phép, bởi vì các nguyên tắc này không kể đến chiều dày lớp đất đá phủ nằm phía trên.

Từ kết quả tính toán còn cho thấy, tại sao nguyên tắc $k_{gh} \geq k_{bg}$ trong một thời gian dài đáp ứng các nhà thiết kế, mặc dù không chính xác, trong phần lớn các trường hợp cho giá trị độ sâu kết thúc mỏ lộ thiên bị thu hẹp khá nhiều. Vì vậy mà mỏ có giá thành khoáng sản nhỏ hơn so với giá thành cho phép. Điều này giải thích ưu điểm công tác lộ thiên so với hầm lò mà không phải do sự không chính xác của các nguyên tắc tính toán xác định biên giới mỏ. Ngoài ra, việc tiến hành khai thác với k_{bg} , tức là khai thác với góc bờ công tác bằng góc bờ kết thúc chỉ phù hợp khi khai thác thủ công mà không phù hợp với việc áp dụng dây chuyền đồng bộ thiết bị hiện đại trên mỏ lộ thiên.

Khi khai thác các khoáng sản dạng vỉa cắm dốc, tính toán theo nguyên tắc $k_{gh} \geq k_{tb}$ luôn cho giá trị độ sâu kết thúc mỏ lộ thiên tăng, tức là khả năng KTLT được tăng lên tối đa.

Khi tính toán theo nguyên tắc (3), giá thành khoáng sản thực tế không bao giờ vượt giá thành cho phép. Vì vậy biên giới mỏ lộ thiên có độ tin cậy cao hơn.

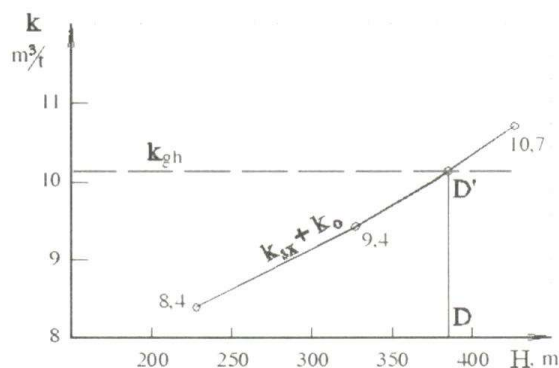
Như vậy, để xác định biên giới kết thúc mỏ lộ thiên trong điều kiện các mỏ quặng của TKV khi phía dưới không còn tiến hành KTHL và phù hợp với Luật Địa chất và Khoáng sản 2024 (đảm bảo hiệu quả kinh tế-xã hội, môi trường và tận thu tối đa tài nguyên trong lòng đất), đồng thời có độ chính xác cao nhất với việc đưa lợi nhuận vào hệ số bóc giới hạn, ta cần áp dụng theo nguyên tắc với đẳng thức $k_{gh} = k_0 + k_{sx}$, trong đó k_{sx} là hệ số bóc sản xuất giai đoạn lớn nhất của các giai đoạn khai thác và thực hiện theo phương pháp đồ thị như sau:

Chọn một số phương án biên giới mỏ dự kiến. Đối với mỗi phương án, trên cơ sở vị trí mỏ vỉa, hướng phát triển công trình và trình tự khai thác đã xác định, các thông số của hệ thống khai thác (HTKT) đã tính toán, tiến hành khảo sát khối lượng đất bóc (V) và quặng khai thác (Q) theo đợt xuống sâu. Sau đó xây dựng biểu đồ chế độ công tác (CĐCT) $V = f(Q)$ với góc bờ công tác $\varphi = \varphi_{max}$. Mỗi phương án biên giới mỏ xây dựng 1 biểu đồ CĐCT mỏ $V = f(Q)$ tương ứng. Trên biểu đồ $V = f(Q)$ ta xác định được hệ số bóc ban đầu k_0 và hệ số bóc sản xuất k_{sx} lớn nhất của giai đoạn khai thác.

Trường hợp vị trí mỏ vỉa, hướng phát triển công trình và trình tự khai thác mỏ chưa được xác định, ta cần khảo sát khối lượng vận tải đất đá tính bằng tkm (M) và tổng kim loại nguyên khai quy đổi (K) theo đợt xuống sâu của các phương án dự kiến rồi xây dựng biểu đồ CĐCT mỏ $M = f(K)$ của các phương án có vị trí mỏ vỉa, hướng phát triển công trình và trình tự khai thác khác nhau để lựa chọn.

Trên cơ sở k_0 và k_{sx} của các phương án dự kiến, ta vẽ hệ trục tọa độ với trục tung là giá trị của hệ số bóc, trục hoành là chiều sâu của mỏ. Ứng với biên giới kết thúc (chiều sâu) của các phương án dự kiến đưa các kết quả tính toán $k_0 + k_{sx}$ lên đồ thị. Hoành độ điểm gặp nhau của 2 đường biểu diễn $k_0 + k_{sx} = f(H)$ và $k_{gh} = \text{const}$ xác định biên giới kết thúc (chiều sâu) của mỏ lộ thiên (xem hình 3).

Từ kết quả nghiên cứu ở trên cho phép sử dụng nguyên tắc $k_{tbcp} = k_{tb}$ để xác định biên giới kết thúc mỏ lộ thiên.



Hình 3. Biểu đồ xác định biên giới kết thúc mỏ lộ thiên theo nguyên tắc $k_{gh} = k_0 + k_{sx}$

Trước hết ta xác định hệ số bóc trung bình cho phép theo công thức:

$$k_{tbcp} = \frac{k_{gh}}{\lambda - \mu(\lambda - 1)}, m^3/t$$

Khi hệ số không đồng đều của công tác bóc đất đá $\lambda = 1$ thì $k_{tbcp} = k_{gh}$.

Sau đó tính toán và vẽ lên đồ thị đường biểu diễn hệ số bóc trung bình phụ thuộc vào chiều sâu của mỏ $k_{tb} = f(H)$.

Hoàn chỉnh của điểm giao nhau của nhánh ra của đường $k_{tb} = f(H)$ và đường k_{tbcp} xác định biên giới kết thúc (chiều sâu) cần tìm của mỏ (xem hình 4).

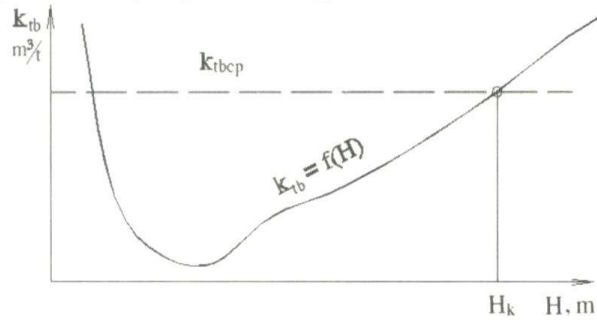
Chính xác hơn, hệ số bóc trung bình cho phép k_{tbcp} cũng thay đổi theo chiều sâu, vì trong biểu thức tính k_{tbcp} có các tham số:

$$\mu = \frac{k_o}{k_{tb}} \text{ và } \lambda = \frac{Q}{Q - Q_o}$$

cũng thay đổi do trị số Q (trữ lượng quặng nguyên khai quy đổi trong biên giới khai trường, Q_o - trữ lượng quặng nguyên khai quy đổi khai thác được trong thời kỳ XD CB) và k_{tb} thay đổi theo độ sâu. Tuy nhiên, hệ số bóc trung bình cho phép k_{tbcp} thay đổi không đáng kể khi μ và λ thay đổi, sai số đó nằm trong phạm vi cho phép nên k_{tbcp} có thể coi là một hằng số.

Như vậy, khi xác định biên giới kết thúc mỏ lộ thiên theo phương pháp đồ thị mà vị trí mở vỉa, hướng phát triển công trình và trình tự khai thác mỏ đã được xác định là hợp lý thì cần phải thực hiện theo các bước như sau:

1. Dự kiến một số phương án có biên giới mỏ khác nhau trên mặt cắt địa chất.
2. Trên cơ sở tính chất cơ lý của đất đá, cấu tạo địa chất và địa chất thủy văn của khoáng sàng, chiều cao bờ mỏ của phương án dự kiến, xác định góc nghiêng bờ kết thúc theo điều kiện ổn định (β_d) (chọn sơ bộ, tính kiểm tra và điều chỉnh nếu cần).
3. Kiểm tra góc nghiêng bờ kết thúc theo điều kiện bố trí các tuyến đường vận chuyển và hệ thống mương rãnh thoát nước trên các tầng kết thúc tùy thuộc vào sơ đồ mở vỉa đã chọn (β_{vc}). Trường hợp không thỏa mãn thì phải điều chỉnh cho góc bờ kết thúc khu vực bố trí tuyến đường vận chuyển và hệ thống mương rãnh thoát nước giảm xuống cho phù hợp.
4. Xác định vị trí đổ thải, dự kiến cung độ vận tải đất đá và xác định sơ bộ hệ số bóc giới hạn k_{gh} hoặc dự kiến k_{gh} theo mỏ có điều kiện tương tự.
5. Trên cơ sở các phương án dự kiến trên mặt cắt, xác định trên bình đồ, thiết kế và tính toán xác định hệ số bóc trung bình k_{bt} theo các phương án.
6. Khảo sát khối lượng mỏ:
 - Trường hợp vị trí mở vỉa, hướng phát triển công trình và trình tự khai thác mỏ đã được xác định: Trên cơ sở các thông số của HTKT đã tính toán, tiến hành khảo sát khối lượng đất đá bóc V , trữ lượng quặng nguyên khai quy đổi Q theo đợt xuống sâu của các phương án biên giới mỏ dự kiến.
 - Trường hợp vị trí mở vỉa, hướng phát triển công trình mỏ và trình tự khai thác chưa được xác định: Trên cơ sở các thông số của HTKT và vị trí đổ thải đất đá đã chọn, tiến hành khảo sát khối lượng đất đá bóc V , trữ lượng quặng Q và tổng kim loại nguyên khai K quy đổi, cung độ vận tải đất đá L_d theo đợt xuống sâu của các phương án vị trí mở vỉa, hướng phát



Hình 4. Biểu đồ xác định biên giới kết thúc mỏ lộ thiên theo nguyên tắc $k_{tbcp} = k_{tb}$

triển công trình mỏ và trình tự khai thác khác nhau và xây dựng biểu đồ CĐCT mỏ theo khối lượng vận tải tính bằng tkm $M = f(K)$ với $\varphi = \varphi_{\max}$ của các phương án đã khảo sát để lựa chọn phương án có vị trí mỏ vừa, hướng phát triển công trình và trình tự khai thác mỏ hợp lý.

7. Xây dựng và phân tích biểu đồ CĐCT mỏ $V = f(Q)$ với $\varphi = \varphi_{\max}$ để xác định hệ số bóc ban đầu k_0 và hệ số bóc sản xuất k_{sx} (tính theo giai đoạn lớn nhất) theo các phương án biên giới mỏ đã dự kiến.

8. Tính toán xác định hệ số bóc giới hạn k_{gh} .

9. Xây dựng biểu đồ xác định biên giới kết thúc mỏ lộ thiên theo nguyên tắc $k_{gh} = k_0 + k_{sx}$. Trường hợp khi $\lambda = 1$, tức là không có đất bóc XDCB ta tính hệ số bóc trung bình của các phương án dự kiến và hệ số bóc trung bình cho phép rồi xây dựng biểu đồ xác định biên giới kết thúc mỏ lộ thiên theo nguyên tắc $k_{tbcp} = k_{tb}$ [7, 9].

Phương pháp này có độ chính xác cao, khoa học và sử dụng thuận lợi cho những người làm công tác thiết kế mỏ.

Ngoài ra, do tác động của yếu tố thời gian và tiến bộ khoa học công nghệ đối với các chỉ tiêu kinh tế, độ tin cậy của tài nguyên phần sâu chưa cao, giá bán sản phẩm trên thị trường có xu hướng tăng dần nhưng không ổn định, nên việc xác định biên giới mỏ hợp lý cho những mỏ lộ thiên có trữ lượng lớn và thời gian tồn tại lâu sẽ thiếu chính xác. Vì vậy, đối với những mỏ lộ thiên này ta cần xác định cả biên giới triển vọng với hệ số bóc giới hạn không có lợi nhuận hoặc lợi nhuận âm.

3. Phương pháp xác định biên giới mỏ lộ thiên khi tiếp tục khai thác hầm lò

Giới hạn chuyển từ công tác KTLT sang KTHL khi giá thành lộ thiên bằng giá thành hầm lò chỉ hợp lý khi tỷ lệ tổn thất và làm nghèo của 2 phương pháp giống nhau. Tuy nhiên, tỷ lệ tổn thất và làm nghèo của 2 phương pháp không bao giờ giống nhau.

Tiêu chí khách quan và hợp lý hơn trong so sánh phương pháp KTLT và KTHL là đẳng lợi nhuận [2, 3, 6]. Tức là biên giới KTLT đến khi khai thác một khối trữ lượng khoáng sản thì lợi nhuận của 2 phương pháp lộ thiên và hầm lò là như nhau. Cơ sở khoa học của tiêu chí này như sau:

Khi khai thác khối lượng Q (m^3) thuộc trữ lượng khoáng sản bằng phương pháp hầm lò, trữ lượng khoáng sản nguyên khai quy đổi là:

$$Q_{hl} = \frac{\gamma Q(1 - \eta_{hl})}{1 - \rho_{hl}} = \gamma Q \Delta_{hl}, \text{ tấn} \quad (7)$$

Trong đó: η_{hl} và ρ_{hl} - hệ số tổn thất và làm nghèo khoáng sản khi khai thác hầm lò;
 Δ_{hl} - hệ số chuyển đổi từ trữ lượng địa chất sang trữ lượng nguyên khai quy đổi trong KTHL;

γ - tỷ trọng khoáng sản, tấn/ m^3 .

Trữ lượng khoáng sản nguyên khai quy đổi khai thác được bằng phương pháp lộ thiên là:

$$Q_{lt} = \frac{\gamma Q(1 - \eta_{lt})}{1 - \rho_{lt}} = \gamma Q \Delta_{lt}, \text{ tấn} \quad (8)$$

Trong đó: η_{lt} và ρ_{lt} - hệ số tổn thất và làm nghèo khoáng sản khi khai thác lộ thiên;
 Δ_{lt} - hệ số chuyển đổi từ trữ lượng địa chất sang trữ lượng nguyên khai quy đổi trong KTLT.

Giá thành khoáng sản sau khi chế biến từ khoáng sản được KTLT:

$$G_{lt} = Q_{lt}(a + d_{lt}) + V_{bb} + k_0 b Q_{lt}, \text{ đồng} \quad (9)$$

Và từ khoáng sản được khai thác hầm lò:

$$G_{hl} = Q_{hl}(C_{hl} + d_{hl}), \text{ đồng} \quad (10)$$

Trong đó: d_{lt} và d_{hl} – giá thành vận chuyển và chế biến khoáng sản, tương ứng trong KTLT và KTHL, đồng/tấn;

a – giá thành khai thác riêng khoáng sản lộ thiên, đồng/tấn;

V_b – khối lượng đất đá bóc, m^3 ;

b – giá thành bóc đất đá, đồng/ m^3 ;

k_o – hệ số bóc ban đầu, quy đổi theo giá của hệ số bóc sản xuất, m^3 /tấn.

Giá kim loại trong tinh quặng từ quặng KTLT:

$$P_{lt} = Q_{lt}Z_{lt}\varepsilon_{lt}\alpha(1 - \rho'_{lt}) \quad (11)$$

Và từ quặng KTHL:

$$P_{hl} = Q_{hl}Z_{hl}\varepsilon_{hl}\alpha(1 - \rho'_{hl}) \quad (12)$$

Trong đó ρ'_{lt} và ρ'_{hl} – hệ số làm nghèo quặng, tương ứng KTLT và KTHL:

$$\rho' = \frac{\alpha - \alpha'}{\alpha} \quad (13)$$

α – hàm lượng theo trọng lượng thành phần có ích trong quặng đầu; α' – hàm lượng trong quặng sản phẩm; ε_{lt} và ε_{hl} – thực thu kim loại trong tinh quặng từ quặng tương ứng KTLT và KTHL; Z_{lt} và Z_{hl} – giá bán buôn kim loại trong tinh quặng, tương ứng KTLT và KTHL, đồng/tấn.

Trong kết quả tiêu thụ sẽ nhận được lợi nhuận. Trong trường hợp chung KTLT có thể lấy, nếu lợi nhuận từ KTLT bằng hoặc lớn hơn lợi nhuận từ KTHL:

$$P_{lt} - G_{lt} \geq P_{hl} - G_{hl} \quad (14)$$

Sau khi thay thế và biến đổi ta có:

$$\frac{1}{b} \left\{ \left[\alpha(1 - \rho'_{lt})\varepsilon_{lt}Z_{lt} - (a + d_{lt}) \right] - \frac{\Delta_{hl}}{\Delta_{lt}} \left[\alpha(1 - \rho'_{hl})\varepsilon_{hl}Z_{hl} - (C_{hl} + d_{hl}) \right] \right\} \geq \frac{k_o + k}{\Delta_{lt}} + \frac{1 - \Delta_{lt}}{\Delta_{lt}} \quad (15)$$

Vế trái của bất đẳng thức (15) là hệ số bóc giới hạn:

$$k_{gh} \geq \frac{1}{b} \left\{ \left[\alpha(1 - \rho'_{lt})\varepsilon_{lt}Z_{lt} - (a + d_{lt}) \right] - \frac{\Delta_{hl}}{\Delta_{lt}} \left[\alpha(1 - \rho'_{hl})\varepsilon_{hl}Z_{hl} - (C_{hl} + d_{hl}) \right] \right\} \quad (16)$$

Số hạng trong ngoặc vuông đầu tiên của phương trình (16) là lợi nhuận từ KTLT chưa tính chi phí bóc đất đá L'_{lt} , còn số hạng trong ngoặc vuông thứ hai là lợi nhuận từ KTHL là L_{hl} , tức là hệ số bóc giới hạn đối với khai trường lộ thiên khi phía dưới còn tiếp tục KTHL được xác định bởi công thức:

$$k_{gh} = \frac{1}{b} (L'_{lt} - \frac{\Delta_{hl}L_{hl}}{\Delta_{lt}}), m^3/t \quad (17)$$

4. Kết luận và kiến nghị

Từ kết quả nghiên cứu ở trên, cho phép đưa ra các kết luận và kiến nghị cơ bản sau:

- Phương pháp xác định biên giới kết thúc khai thác của các mỏ quặng gốc đơn và đa khoáng lộ thiên thuộc TKV hiện đang được sử dụng là chưa hợp lý, có độ chính xác không cao và làm thu hẹp biên giới khai thác mỏ lộ thiên.

- Đối với khai trường sau khi kết thúc KTLT không tiếp tục KTHL cần đưa chỉ tiêu lợi nhuận định mức vào hệ số bóc giới hạn và tính cho sản phẩm cuối cùng, sử dụng đẳng thức $k_{gh} = k_o + k_{sx}$ hoặc $k_{gh} = k_{bt}$ (khi không có khối lượng XDCB) và phương pháp đồ thị để xác định biên giới khai trường lộ thiên là chính xác, khoa học và thuận lợi nhất.

- Đối với khai trường sau khi kết thúc KTLT tiếp tục KTHL cần sử dụng tiêu chí “Đẳng lợi nhuận” thay thế cho “Đẳng giá thành” là khách quan, chính xác và phù hợp nhất khi xác định ranh giới chuyển từ KTLT sang KTHL.

- Việc sử dụng phương pháp trên để xác định biên giới kết thúc KTLT cho các mỏ quặng đơn và đa khoáng sẽ tận thu tối đa về tài nguyên, giảm thiểu ô nhiễm môi trường, đảm bảo doanh nghiệp luôn có lãi trong quá trình khai thác, góp phần đem lại hiệu quả kinh tế cao nhất và phát triển bền vững.

- Kính đề nghị lãnh đạo TKV chỉ đạo các đơn vị tư vấn áp dụng kết quả nghiên cứu trên cho việc lập dự án đầu tư KTLT các mỏ quặng đơn và đa khoáng, và nghiên cứu áp dụng cho việc xác định biên giới kết thúc khai thác cho cả các mỏ than lộ thiên.

Lời cảm ơn: Nhóm tác giả xin chân thành cảm ơn Tập đoàn Công nghiệp Than – Khoáng sản Việt Nam (TKV) đã tạo điều kiện và cung cấp các tài liệu cần thiết trong quá trình nghiên cứu. Đặc biệt, chúng tôi xin gửi lời cảm ơn đến các đơn vị trực thuộc TKV: mỏ sắt Nà Rua (tỉnh Cao Bằng), mỏ đồng Sin Quyền và mỏ đồng Tả Phời (tỉnh Lào Cai) đã hỗ trợ số liệu thực tế và thông tin kỹ thuật quý báu, góp phần quan trọng vào việc hoàn thành bài báo này.

Đóng góp của các tác giả: TS. Lê Đức Phương: Đề xuất ý tưởng nghiên cứu, viết phần cơ sở lý thuyết và phương pháp nghiên cứu, thực hiện tính toán. TS. Đỗ Ngọc Hoàn xử lý số liệu, viết phần kết quả và thảo luận, chỉnh sửa bản thảo cuối cùng và Ths. Phí Trung Kiên đã Thu thập, phân tích dữ liệu.

Tài liệu tham khảo:

1. Trần Mạnh Xuân, (1993), *Cơ sở thiết kế mỏ lộ thiên*, Trường Đại học Mỏ-Địa chất, Hà Nội.
2. Арсентьев А.И. (1995), *Конечные границы карьеров*, Санкт-Петербург.
3. Whittle, J. (1990). *Open pit optimization*. In Proceedings of the Large Open Pit Mining Conference. Australasian Institute of Mining and Metallurgy.
4. Hustrulid, W., Kuchta, M., & Martin, R. K. (2013). *Open pit mine planning and design* (2nd ed.). CRC Press.
5. Osanloo, M., Gholamnejad, J., & Karimi, B. (2008). *Long-term open pit mine production planning: a review of models and algorithms*. International Journal of Mining, Reclamation and Environment, 22(1), 3–35.
6. Chatterjee, S. (2019). *A review of ultimate pit limit determination algorithms*. Journal of Mining Science, 55(4), 646–659.
7. Alaphia Wright (1990). *Open Pit Mine Design Model*. Trans Tech Publications.
8. Hồ Sĩ giao, Bùi Xuân Nam, Nguyễn Anh Tuấn (2009). *Khai thác khoáng sản rắn bằng phương pháp lộ thiên*. Nhà xuất bản Khoa học kỹ thuật Hà Nội.
9. Mai Ngọc Luan (2017). *A new Mine Planning Methodology using Topcone Algorithm and Mathematical Programming*. PhD. Thesis of Curtin University, Australia.
10. William Hustrulid, Mark Kuchta (1995). *Open pit mine planning and design*. Balkema/ Rotterdam/Brookfield.

NHÀ XUẤT BẢN GIAO THÔNG VẬN TẢI

Số 08 Tầng Bạt Hồ, phường Cửa Nam, TP. Hà Nội

ĐT: 024.39424620 - 39423346 * Fax: 024.38224784

Website: www.nxbgtvt.vn * Email: nxbgtvt@fpt.vn

CHỊU TRÁCH NHIỆM XUẤT BẢN, NỘI DUNG:

Giám đốc - Tổng Biên tập: Nguyễn Minh Nhật

BIÊN TẬP: Trần Anh Thu

THIẾT KẾ: Phương Linh

Đối tác liên kết: Trường Đại học Mở - Địa chất

Địa chỉ: Số 18 phố Viên, phường Đông Ngạc, TP. Hà Nội

In 500 cuốn khổ 20,5 x 29,5cm, tại Công ty cổ phần in Bản Việt

Địa chỉ: Thôn Hậu Ái, xã Sơn Đồng, TP. Hà Nội.

Số xác nhận đăng ký xuất bản: 3108-2025/CXBIPH/2-57/GTVT.

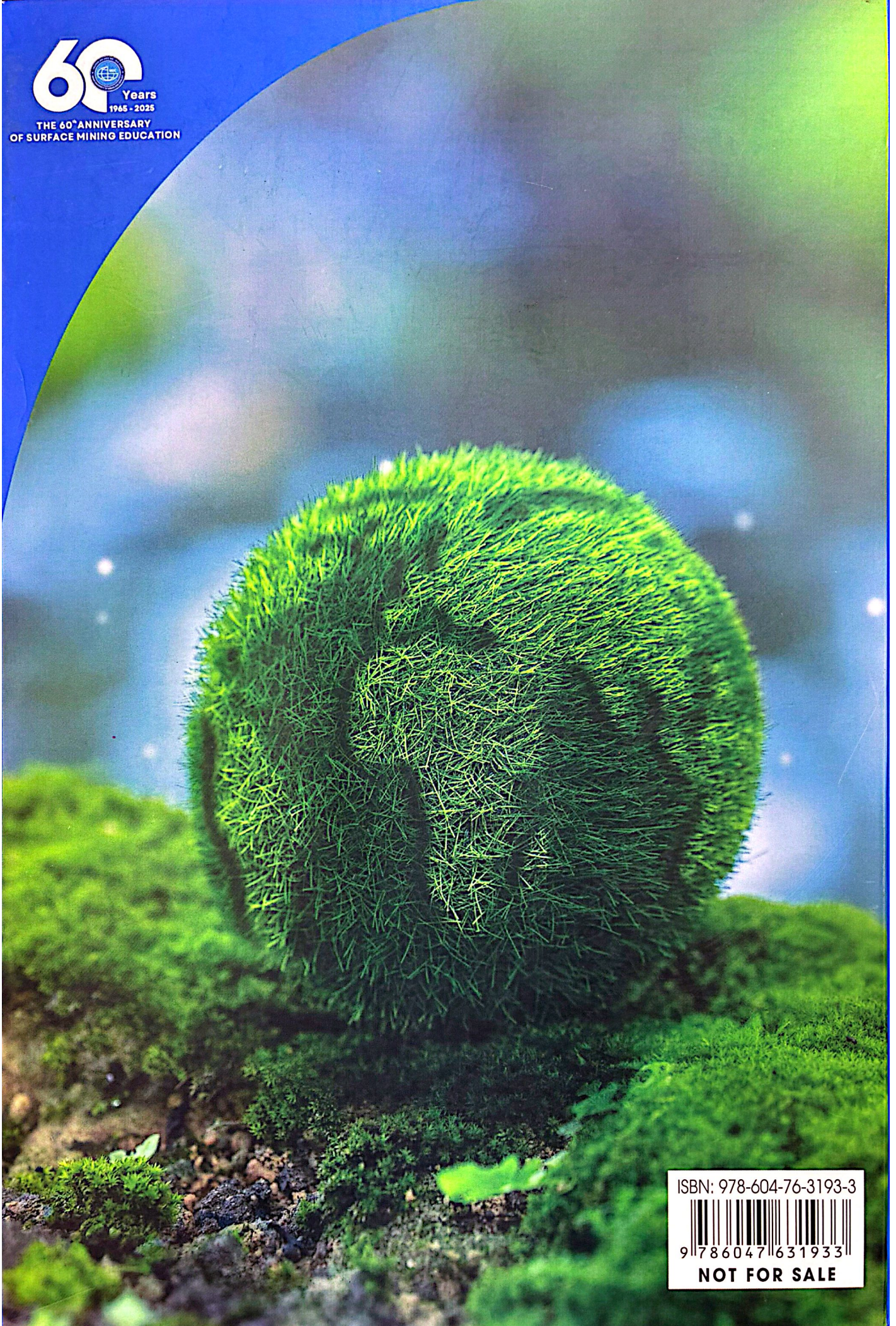
Mã số sách tiêu chuẩn quốc tế - ISBN: 978-604-76-3193-3.

Quyết định xuất bản số: 76 LK/QĐ-XBGT ngày 8/10/2025.

In xong và nộp lưu chiểu năm 2025.



THE 60th ANNIVERSARY
OF SURFACE MINING EDUCATION



ISBN: 978-604-76-3193-3



9 786047 631933

NOT FOR SALE