Journal of Mining and Earth Sciences
Website: http://jmes.humg.edu.vn

Research to establish the equation of the principle of claystone breaking under the seabed

Thang Trong Dam [1,*], Bang Xuan Vu [2]

[1] *Le Quy Don Technical University, Hanoi, Vietnam*
[2] *Institute of Technical Engineering, Hanoi, Vietnam*

ARTICLE INFO

Article history:
Received 02nd June 2023
Revised 04th Sept. 2023
Accepted 29th Sept. 2023

Keywords:
Blasting work,
Breaking rock,
Particle size distribution,
Underwater explosion.

ABSTRACT

The rule of breaking rock has practical significance in the process of controlling the blasting for the optimization of mine production or construction of blasting works. The equations describing the particle size distribution after the explosion are established in an experimental form corresponding to the specific conditions of the blasting work. It only has the meaning of a mathematical regression function and does not reflect the characteristics of the rock type, explosive conditions and explosive results. This research has exploited the theory of rock breaking from the point of view of probabilistic energy to establish the equation of rock breaking of claystone in water. This is a form of semi-empirical equation, which contains 4 empirical coefficients reflecting rock characteristics, explosive conditions, explosive energy absorption characteristics of rocks and actual destruction volume, determined for each type of rock. Through conducting experiments, processing experimental data and solving a system of four equations, four coefficients of the equations that characterize the breaking properties of claystone under the seabed have been found. The error of the average particle size between the actual and calculated values from the equations is less than 7% to 10%. Tt is possible to confirm the accuracy of the semi-empirical equation describing the particle size distribution rule when the claystone is exploded underwater.

Copyright © 2023 Hanoi University of Mining and Geology. All rights reserved.

[*]*Corresponding author*
E - mail: thangdt@lqdtu.edu.vn
DOI: 10.46326/JMES.2023.64(5).10

Tạp chí Khoa học Kỹ thuật Mỏ - Địa chất

Trang điện tử: http://tapchi.humg.edu.vn

Nghiên cứu thiết lập phương trình qui luật đập vỡ đá sét kết dưới đáy biển

Đàm Trọng Thắng [1,*], Vũ Xuân Bảng [2]

[1] *Đại học Kỹ thuật Lê Quý Đôn, Hà Nội, Việt Nam*
[2] *Viện Kỹ thuật Công binh, Hà Nội, Việt Nam*

THÔNG TIN BÀI BÁO

Quá trình:
Nhận bài 02/6/2023
Sửa xong 04/9/2023
Chấp nhận đăng 29/9/2023

Từ khóa:
Công tác nổ,
Đập vỡ đất đá,
Nổ dưới nước,
Phân bố cỡ hạt.

TÓM TẮT

Qui luật đập vỡ đất đá khi nổ rất có ý nghĩa thực tế trong quá trình thành lập các hộ chiếu nổ mìn phục vụ việc tối ưu hóa quá trình sản xuất mỏ hay thi công công trình nổ phá. Các phương trình mô tả qui luật phân bố cỡ hạt sau nổ đều được thiết lập dạng thực nghiệm tương ứng với điều kiện cụ thể của công trình nổ phá. Nó chỉ mang ý nghĩa của một hàm toán học hồi qui và không phản ánh được đặc tính của loại đất đá, điều kiện nổ và kết quả nổ. Bài báo đã tiến hành nghiên cứu lý thuyết qui luật đập vỡ đất đá theo quan điểm năng lượng xác suất để thiết lập phương trình đập vỡ đất đá trong đá sét kết dưới nước. Đây là một dạng phương trình bán thực nghiệm, trong đó chứa 4 hệ số thực nghiệm phản ánh đặc tính đất đá, điều kiện nổ, đặc tính hấp thu năng lượng nổ của đá và thể tích phá hủy thực tế, được xác định cho từng loại đất đá. Thông qua tiến hành thí nghiệm, xử lý bộ số liệu thí nghiệm và giải hệ bốn phương trình, tìm được bốn hệ số của phương trình đặc trưng cho đặc tính đập vỡ đá sét kết dưới đáy biển. Sai số của kích thước trung bình cục đá phá ra thực tế với trị số được tính toán từ phương trình tìm được nhỏ hơn 7% đến 10%. Kết quả này cho phép khẳng định độ chính xác của phương trình bán thực nghiệm mô tả qui luật phân bố cỡ hạt khi nổ đá sét kết dưới nước.

© 2023 Trường Đại học Mỏ - Địa chất. Tất cả các quyền được bảo đảm.

1. Mở đầu

Trên thế giới, việc nghiên cứu mức độ đập vỡ đất đá khi nổ mìn và kỹ thuật điều khiển đập vỡ đất đá bằng nổ đã được nhiều nước như Nga, Mỹ, Đức quan tâm nghiên cứu một cách toàn diện từ những năm giữa thế kỷ XX, đến nay kết quả tương đối hoàn thiện (Hồ và nnk., 2010; Lê, 2009; Nhữ, 2003; Baron & Kantor, 1989; Vlasov & Smirnov, 1963; Drukovany, 1973; Kutuzov & Rubtsov, 1970; Kutuzov, 1994; Khanukaev, 1962). Trong công tác nổ mìn thường sử dụng phổ biến hai dạng phương trình mô tả quy luật phân bố thành phần cỡ hạt dưới dạng toán học đơn giản hồi qui dưới đây.

- Dạng 1, theo Rosin-Rammler, qui luật phân bố thành phần cỡ hạt đá sau nổ mìn được mô tả dưới dạng hàm xác suất có dạng (Dam và nnk., 2021; Hồ và nnk., 2010; Lê, 2009; Nhữ, 2003;

*Tác giả liên hệ
E - mail: thangdt@lqdtu.edu.vn
DOI: 10.46326/JMES.2023.64(5).10

Kutuzov & Rubtsov, 1970; Kutuzov, 1994; Oksanich & Mironov , 1982):

$$P_{(x)} = 1 - e^{-ax^n} \quad (1)$$

Trong đó: $P(x)$- tỉ lệ cỡ hạt có kích thước ≤ x; x - kích thước cỡ hạt; a, n – hệ số thực nghiệm phụ thuộc vào chi phí năng lượng và tính chất của đất đá.

Phân tích qui luật chỉ ra rằng xác suất để tỉ lệ cỡ hạt có kích thước dưới x bằng 1 khi kích thước hạt x tiến đến vô cùng. Điều này là bất hợp lý, tuy nhiên khi x đạt đến giá trị x^* nào đó gần với giá trị kích thước lớn nhất của đá quá cỡ, thì đa số xác suất đạt trên 0,95. Vì vậy, quan điểm này vẫn được rất nhiều tác giả sử dụng trong thực tế (Baron & Kantor, 1989; Oksanich & Mironov , 1982).

- Dạng 2, theo Gođen-Anđrep qui luật phân bố thành phần cỡ hạt đá sau nổ mìn được mô tả dưới dạng hàm xác suất có dạng (Dam và nnk., 2021; Hồ và nnk., 2010; Lê, 2009; Nhữ, 2003; Drukovany, 1973; Kutuzov & Rubtsov, 1970; Kutuzov, 1994):

$$P_{(x)} = \left(\frac{x}{x_{max}}\right)^m \quad (2)$$

Trong đó: m – hệ số thực nghiệm; x – kích thước cục đá khảo sát, m; x_{max} – kích thước cục lớn nhất trong đống đá nổ ra, m.

Qui luật Golden-Andrep khắc phục nhược điểm của qui luật Rosin-Rammler khi đạt kích thước cục lớn nhất thì xác suất bằng 1. Quan điểm này được nhiều tác giả trong và ngoài nước áp dụng (Kutuzov, 1994; Lê, 2009; Nhữ, 2003).

Hai dạng hàm trên có ưu điểm là đơn giản, dễ thiết lập hàm hồi qui. Chỉ cần dựa vào hai lần nổ với dạng 1 và một lần nổ với dạng 2 có thể xác định được hàm hồi qui mô tả qui luật phân bố cỡ hạt sau nổ mìn. Tuy nhiên, nhược điểm chung của cả hai phương pháp này là có sai số lớn, không phản ánh được toàn diện đặc tính cơ lý đá, điều kiện địa chất, điều kiện nổ, kết quả nổ phá thực tế. Đặc biệt hàm hồi qui chỉ phù hợp với hộ chiếu nổ phân tích. Hai dạng này phù hợp với điều kiện cần tính toán nhanh mà không yêu cầu độ chính xác cao về thành phần cỡ hạt đá sau nổ.

Để giải quyết các tồn tại trên, Oksanich & Mironov (1982) đã đề xuất phương pháp năng lượng xác suất để thiết lập hàm dự báo thành phần cỡ hạt sau nổ mìn. Tuy nhiên, cho đến nay việc nghiên cứu khai thác lý thuyết này để ứng dụng giải quyết các bài toán nổ phá đá trong điều kiện Việt Nam còn rất hạn chế. Đặc biệt chưa có các nghiên cứu xác định các hệ số thực nghiệm đặc trưng cho đặc tính đất đá, điều kiện địa chất thủy văn của các mỏ, để làm cơ sở ứng dụng lý thuyết vào thực tế.

Việt Nam có hơn 3.200 km bờ biển, chiến lược phát triển kinh tế của đất nước ta là hướng tới khai thác các tiềm năng của biển, trong đó có việc khai thác khoáng sản và xây dựng công trình dưới đáy biển. Quá trình đào sâu đá ở đáy biển hầu hết phải sử dụng năng lượng nổ, kết hợp với xúc bốc và vận chuyển. Việc lấy số liệu về thành phần cỡ hạt đá sau nổ dưới đáy biển là một việc khó khăn. Do đó, việc thiết lập các hàm hồi qui về phân bố cỡ hạt sau nổ của các hộ chiếu nổ phá đất đá, để phục vụ tối ưu hóa quá trình thi công là một việc khó khả thi. Tuy nhiên, cho đến nay cũng chưa có một công trình nghiên cứu về đập vỡ đất đá dưới nước. Các công trình nghiên cứu mới chỉ đề cập đến các vấn đề về tác dụng cơ học nổ, kỹ thuật và công nghệ nổ phá đất đá dưới nước (Đàm, 2001, 2007; Dam, 2008; Đàm & Trần, 2012; Đàm & Vũ, 2017; Dam & Belin, 2006; Nguyễn & Đàm, 2007, 2013; Dam và nnk., 2021; Belin & Dam, 2007; Borodzia, 1938; Gorodilov, 1993; Korenistov, 1966; Kutuzov & Gilmanov, 1982; Tavrivov, 1949).

Chính vì vậy, nghiên cứu phân tích lý thuyết đập vỡ đất đá bằng nổ trên quan điểm năng lượng xác suất và tiến hành nghiên cứu thiết lập phương trình phân bố thành phần cỡ hạt sau nổ trong đá sét kết dưới đáy biển là một nhiệm vụ có tính cấp thiết và có ý nghĩa thực tiễn.

2. Phân tích cơ sở lý thuyết đập vỡ đất đá theo quan điểm năng lượng xác suất, đề xuất phương pháp thực nghiệm

Hiệu quả đập vỡ đất đá bằng phương pháp nổ phụ thuộc vào năng lượng, tính chất môi trường và sự có mặt của bề mặt tự do. Các yếu tố quan trọng nhất là tính chất môi trường, độ nứt nẻ của khối đá, đặc trưng thế nằm của vỉa đá. Những yếu tố đó là ngẫu nhiên và không được biết trước. Bởi vậy, hợp lý hơn cả là sử dụng đại lượng tích hợp, cụ thể là các chỉ tiêu năng lượng phá hủy, để tính tới các đặc trưng ngẫu nhiên của quá trình đập vỡ. Vì vậy, việc tìm ra mối liên hệ giữa năng lượng tiêu hao cho việc đập vỡ và quy luật phân bố các cục đá trong địa khối chính là phương pháp năng lượng xác suất.

Lý thuyết đập vỡ đất đá theo quan điểm năng lượng xác suất của Oksanich và Mironov (1982) đã đưa ra hệ phương trình mô tả định luật bảo toàn

năng lượng khi đập vỡ, phương trình phân bố các cục đá và phương trình biểu thị mối liên hệ của bề mặt các cục đá với chỉ số của quy luật phân bố:

$$\begin{cases} k_1 W_0 = \alpha_1 S + q_1 V + \frac{\omega}{V} - b\,; & (a) \\ P_{(x)} = 1 - e^{-\alpha x^{\gamma}}\,; & (b) \\ \frac{S}{V} = k_{\gamma}\alpha^{\frac{1}{\gamma}} & (c) \end{cases} \quad (3)$$

Giải hệ phương trình trên, nhận được:

$$\alpha = (\frac{k_1 W_0}{\alpha_1 k_{\gamma} V} + \frac{b}{\alpha_1 k_{\gamma} V} - \frac{\omega}{\alpha_1 k_{\gamma} V^2} - \frac{q_1}{\alpha_1 k_{\gamma}})^{\gamma} \quad (4)$$

Trong đó: W_0 - năng lượng của lượng nổ, J; k_1 - hệ số truyền năng lượng nổ từ chất nổ vào đất đá; α_1 - mật độ năng lượng bề mặt của vật liệu, được xác định bằng thực nghiệm, J/m^2; k_{γ} - hệ số phụ thuộc vào độ khó đập vỡ đá khi nổ với đá dễ đập vỡ k = 387, đá có độ khó đập vỡ bình thường k = 34, đá khó đập vỡ k = 12,5, đá đặc biệt khó đập vỡ k = 10,64 (Hồ và nnk., 2010; Oksanich & Mironov, 1982); S - diện tích bề mặt mới hình thành, m^2; V – thể tích của khối nổ, m^3; q_1 – đại lượng phụ thuộc vào đặc trưng cơ học của vật liệu và dạng của trạng thái ứng suất; $b = \omega V^*$, ω - hằng số phụ thuộc vào tính chất vật liệu và công suất lượng nổ; V^* là thể tích không bị phá hủy ở công suất lượng nổ nhất định, m^3; γ – hệ số phụ thuộc tính chất đất đá, với đá dễ đập vỡ γ = 0,75, đá có độ khó đập vỡ bình thường γ = 1, đá khó đập vỡ γ = 1,5, đá đặc biệt khó đập vỡ γ = 2.

Ký hiệu: $\phi = \frac{k_1}{\alpha_1 k_{\gamma}}$; $\lambda = \frac{b}{\alpha_1 k_{\gamma}}$;$\mu = -\frac{\omega}{\alpha_1 k_{\gamma}}$; $\beta = -\frac{q_1}{\alpha_1 k_{\gamma}}$; $E = \frac{W_0}{V}$ là lượng tiêu hao năng lượng nổ đơn vị, là năng lượng cần thiết để phá vỡ một đơn vị thể tích đất đá, J/m^3). Thay các ký hiệu này vào phương trình (b) của hệ phương trình (3) nhận được phương trình tổng quát mô tả xác suất phân bố cỡ hạt sau nổ có dạng (Oksanich & Mironov, 1982):

$$P_{(x)} = 1 - e^{-(\phi E + \beta + \frac{\lambda}{V} + \frac{\mu}{V^2})x^{\gamma}} \quad (5)$$

Biểu thức (5) là phương trình tổng quát mô tả qui luật phân bố cỡ hạt đất đá sau nổ. Phương trình này biểu thị xác suất đập vỡ đất đá phụ thuộc vào tính chất bền của địa khối, năng lượng biểu kiến, tiêu hao năng lượng để làm bay các cục đá, thế năng biến dạng được thể hiện qua 4 hằng số ϕ, β, λ, μ chưa biết.

Bộ các hằng số này đặc trưng cho đặc tính đất đá và tổng hợp điều kiện nổ. Mỗi loại đất đá tương ứng với điều kiện địa chất, tự nhiên và điệu kiện nổ cụ thể, vì vậy để xác định được các hệ số này cần phải tiến hành tối thiểu 4 lần thí nghiệm trên một loại đất đá trong cùng một điều kiện nổ. Đất đá phá ra của mỗi lần thí nghiệm nổ sẽ đặc trưng bằng một phương trình mô tả qui luật phân bố cỡ hạt đất đá sau nổ theo dạng (5). Khi đó sẽ nhận được hệ phương trình mô tả qui luật phân bố cỡ hạt đất đá sau nổ đối với loại đất đá nghiên cứu dưới đây.

$$\begin{cases} \phi E_1 + \beta + \frac{\lambda}{V_1} + \frac{\mu}{V_1^2} = -\frac{1}{x_0} ln(1 - P_1(x_0)) \\ \phi E_2 + \beta + \frac{\lambda}{V_2} + \frac{\mu}{V_2^2} = -\frac{1}{x_0} ln(1 - P_2(x_0)) \\ \phi E_3 + \beta + \frac{\lambda}{V_3} + \frac{\mu}{V_3^2} = -\frac{1}{x_0} ln(1 - P_3(x_0)) \\ \phi E_4 + \beta + \frac{\lambda}{V_4} + \frac{\mu}{V_4^2} = -\frac{1}{x_0} ln(1 - P_4(x_0)) \end{cases} \quad (6)$$

Ký hiệu: $-\frac{1}{x_0} ln(1 - P_i(x_0)) = a_i$, trong đó i = 1÷4, chỉ số i là thứ tự của 4 lần thí nghiệm.

Hệ phương trình đại số tuyến tính nhận được dễ dàng giải nhờ định thức △ bằng:

$$\Delta = \begin{vmatrix} E_1 & 1 & \frac{1}{V_1} & \frac{1}{V_1^2} \\ E_2 & 1 & \frac{1}{V_2} & \frac{1}{V_2^2} \\ E_3 & 1 & \frac{1}{V_3} & \frac{1}{V_3^2} \\ E_4 & 1 & \frac{1}{V_4} & \frac{1}{V_4^2} \end{vmatrix} \quad (7a)$$

Giải hệ phương trình trên cho phép xác định được 4 hệ số thực nghiệm sau:

$$\phi = \frac{1}{\Delta}\begin{vmatrix} a_1 & 1 & V_1^{-1} & V_1^{-2} \\ a_2 & 1 & V_2^{-1} & V_2^{-2} \\ a_3 & 1 & V_3^{-1} & V_3^{-2} \\ a_4 & 1 & V_4^{-1} & V_4^{-2} \end{vmatrix};$$

$$\beta = \frac{1}{\Delta}\begin{vmatrix} E_1 & a_1 & V_1^{-1} & V_1^{-2} \\ E_2 & a_2 & V_2^{-1} & V_2^{-2} \\ E_3 & a_3 & V_3^{-1} & V_3^{-2} \\ E_4 & a_4 & V_4^{-1} & V_4^{-2} \end{vmatrix} \quad (7b)$$

$$\lambda = \frac{1}{\Delta}\begin{vmatrix} E_1 & 1 & a_1 & V_1^{-2} \\ E_2 & 1 & a_2 & V_2^{-2} \\ E_3 & 1 & a_3 & V_3^{-2} \\ E_4 & 1 & a_4 & V_4^{-2} \end{vmatrix}$$

$$\mu = \frac{1}{\Delta}\begin{vmatrix} E_1 & 1 & V_1^{-1} & a_1 \\ E_2 & 1 & V_2^{-1} & a_2 \\ E_3 & 1 & V_3^{-1} & a_3 \\ E_4 & 1 & V_4^{-1} & a_4 \end{vmatrix}$$

Như vậy, để tìm được phương trình qui luật tổng quát đập vỡ đá sét kết dưới biển, cần phải tiến hành nghiên cứu thực nghiệm.

3. Nghiên cứu thực nghiệm

3.1. Mô tả mô hình thí nghiệm và phương pháp lấy số liệu thí nghiệm

Mô hình thí nghiệm: Tiến hành thí nghiệm trên bãi đá sét kết (cấp IV) thuộc khu vực biển Quảng Ninh (Bảng 1). Điều kiện thủy triều dao động 0÷4 m. Sử dụng phương pháp nổ mìn trong lỗ khoan, các lỗ mìn được khoan theo hộ chiếu như Bảng 3. Thuốc nổ sử dụng trong thí nghiệm là thuốc nổ nhũ tương TNP-1E (Bảng 2), gây nổ bằng kíp nổ phi điện. Thiết bị gây nổ là máy điểm hỏa phi điện.

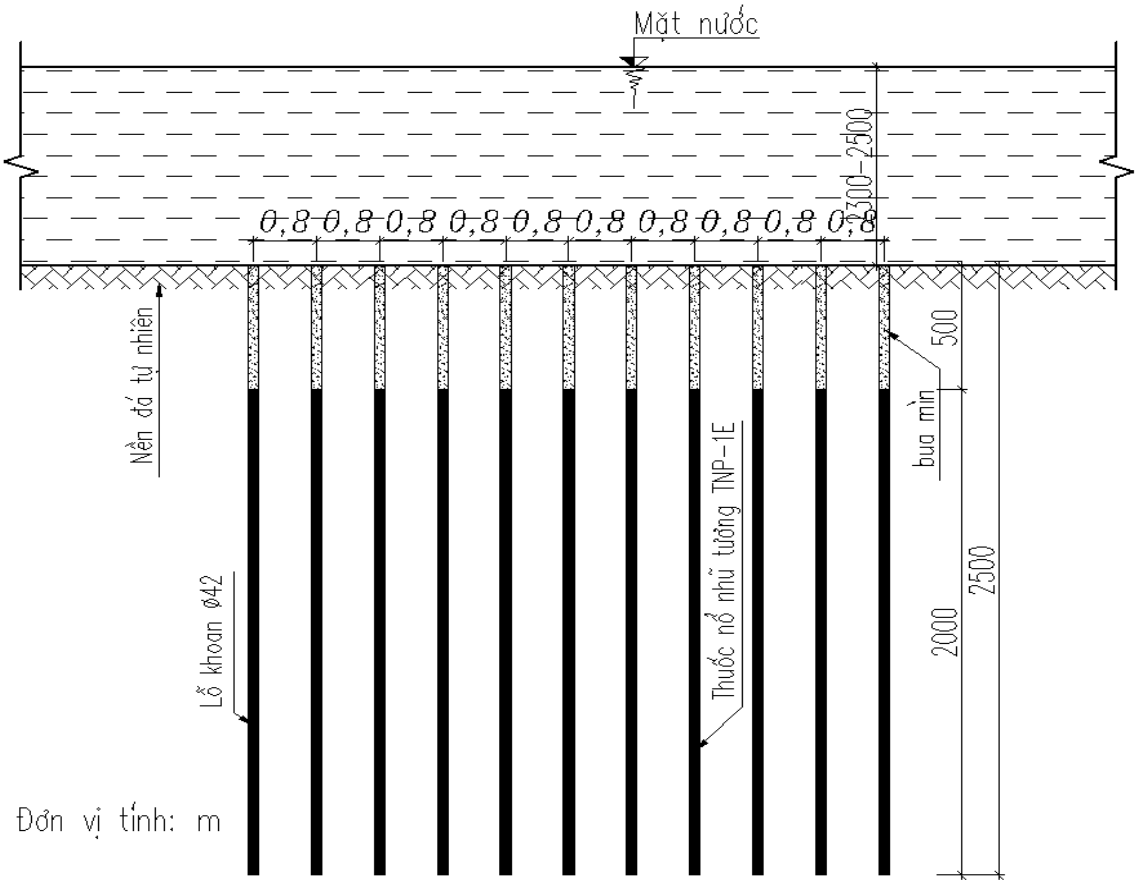
Bộ thông số khoan nổ được tính toán lựa chọn đối với điều kiện nổ om tơi dưới nước. Bộ thông số này đã được lựa chọn dựa trên kết quả nghiên cứu thực nghiệm khi thay đổi khoảng cách giữa các lỗ mìn (Dam và nnk., 2021).

Tiến hành thí nghiệm 4 lần, tương ứng với 4 mã số thí nghiệm (Bảng 4). Các thông số bãi mìn sử dụng trong thí nghiệm mô tả ở Bảng 3 và Hình 1.

Phương pháp lấy số liệu sau khi hoàn thành nổ mìn được kế thừa từ tài liệu tham khảo trên thế giới (Hồ và nnk., 2010; Kutuzov, 1990; Kutuzov, 1994). Khi thủy triều cạn, bãi đá sau nổ nổi trên mặt nước, tiến hành lấy số liệu về thành phần cỡ hạt sau nổ và thể tích vùng phá hủy như sau:

+ Xác định kích thước các cục đá sau nổ: sử dụng máy ảnh chụp lại các bãi đá sau nổ. Trên bãi đá nổ để một đoạn thước dài 40 cm làm vật kích thước chuẩn để phục vụ phân tích, xác định kích thước của các cục đá còn lại (xem hình 2). Các bức ảnh chụp tại hiện trường sẽ được đưa vào xử lý bằng phần mềm Split-Desktop để phân tích thành phần cỡ hạt của đống đá sau nổ;

+ Thể tích vùng phá hủy được tính toán thông qua việc đo kích thước vùng phá hủy bằng thước mét sau khi xúc bốc.



Hình 1. Mô hình thí nghiệm.

Bảng 1. Đặc tính cơ lý của đá sét kết.

TT	Thông số	Đơn vị tính	Giá trị
1	Độ bền nén	kG/cm^2	230÷330
2	Mật độ tự nhiên	kg/m^3	2600÷2750
3	Tốc độ truyền sóng âm	m/s	4520÷4820

Bảng 2. Đặc tính kỹ thuật của thuốc nổ nhũ tương TNP-1E.

TT	Đặc tính kỹ thuật	Đơn vị tính	Chỉ tiêu
1	Mật độ đóng gói	g/cm^3	1,05÷1,25
2	Tốc độ nổ	m/s	5000 ± 400
3	Khả năng sinh công (so sánh với TNT tiêu chuẩn)	%	105÷120
4	Độ nén trụ trì (trong ống giấy)	mm	16÷22
5	Khoảng cách truyền nổ	cm	4÷6
6	Phương tiện kích nổ		Kíp số 8
7	Khả năng chịu nước	giờ	16÷22

Bảng 3. Thông số khoan nổ trong bài thí nghiệm.

TT	Thông số	Đơn vị	Giá trị
1	Đường kính lỗ khoan	mm	42
2	Đường kích lượng nổ	mm	32
3	Chiều sâu khoan	m	2,5
4	Chiều dài lượng nổ trong lỗ khoan	m	2,0
5	Chiều dài cột bua nước	m	0,5
6	Khoảng cách giữa hai lỗ khoan trong hàng	m	0,8
7	Số hàng lỗ khoan	hàng	01
8	Số lỗ mìn trong một hàng	Lỗ	11
9	Khối lượng thuốc nổ trong lỗ khoan	kg	1,8
10	Tổng khối lượng thuốc nổ	kg	19,8
11	Độ sâu nước tại thời điểm nổ	m	2,3÷2,5

Hình 2. Kết quả nổ thí nghiệm.

3.2. Kết quả thí nghiệm

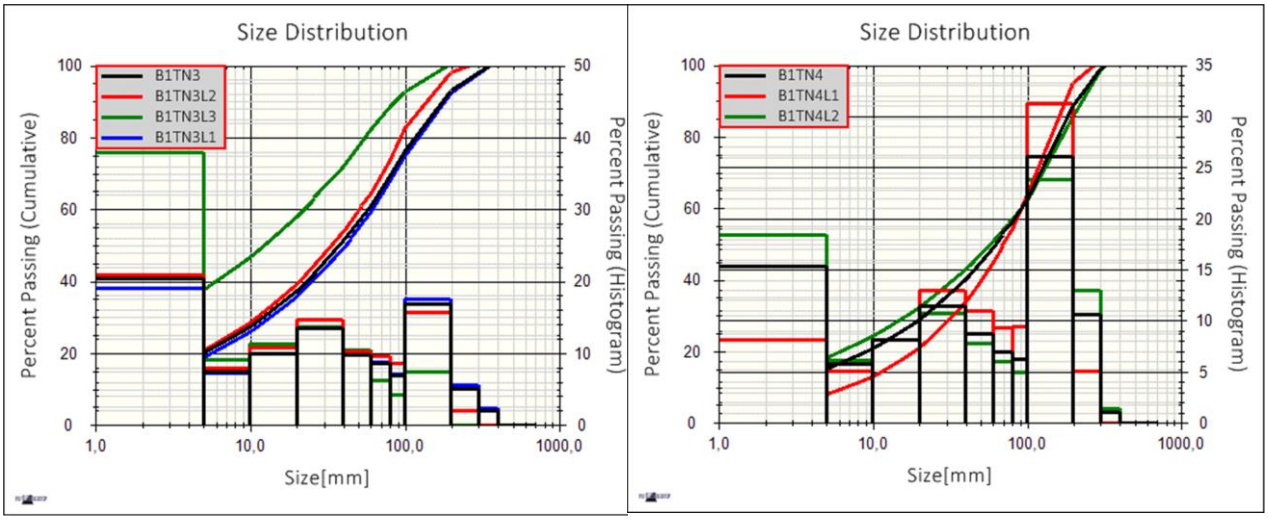
Kết quả thí nghiệm nhận được bộ số liệu về thể tích phá hủy và chỉ tiêu thuốc nổ được phản ánh trong Bảng 4. Sử dụng phần mềm Split-Desktop phân tích số liệu từ các ảnh chụp đống đá sau nổ thu được kết quả như đồ thị Hình 3.

4. Xác định các hệ số thực nghiệm và phương trình thực nghiệm đập vỡ đất đá

Dựa trên biểu đồ kết quả phân tích thành phần cỡ hạt sau nổ mìn, xác định được tỷ lệ phần trăm cỡ hạt hay xác suất cỡ hạt có kích thước nhỏ hơn x_0 là ($P_i(x_0)$. Thuốc nổ dùng trong thí nghiệm có năng lượng riêng Q_0 = 4.231.900 J/kg. Chọn x_0 = 0,06 m, từ biểu đồ kết quả thí nghiệm Hình 3 xác định được các giá trị $P_i(x_0)$, sau đó tính được ai theo phương trình (6) với kết quả nhận được trong Bảng 5.

Thay các giá trị E_i, V_i, a_i trong các Bảng 4, 5 vào các biểu thức (7a), (7b) nhận được hệ số của phương trình (5) như sau:

$$\Delta = \begin{vmatrix} 2539140 & 1 & 32{,}91^{-1} & 32{,}91^{-2} \\ 2623778 & 1 & 31{,}95^{-1} & 31{,}95^{-2} \\ 2666097 & 1 & 31{,}28^{-1} & 31{,}28^{-2} \\ 2835373 & 1 & 29{,}52^{-1} & 29{,}52^{-2} \end{vmatrix} = -136{,}4 \times 10^{-6};$$



Hình 3. Quy luật phân bố thành phần cỡ hạt đá sau nổ nhận được từ phần mềm Split-Desktop với mã số thí nghiệm B1TN3L2, B1TN3, B1TN3L1 (hình 3a), B1TN4L2 (hình 3b).

Bảng 4. Kết quả thí nghiệm.

TT	Mã số vụ nổ thí nghiệm	Tổng khối lượng thuốc nổ	Thể tích phá đá, V_i *(i=1, 2, 3, 4)*	Chỉ tiêu thuốc nổ tương ứng, *q*
		kg	m^3	kg/m^3
1	B1TN3L2	19,8	32,91	0,60
2	B1TN3	19,8	31,95	0,62
3	B1TN3L1	19,8	31,28	0,63
4	B1TN4L2	19,8	29,52	0,67

Bảng 5. Xác định các giá trị $P_i(x_0)$ và a_i (i là chỉ số tương ứng với thứ tự thí nghiệm).

TT	Mã số thí nghiệm	Tiêu tốn năng lượng riêng E_i (J/m^3)	$P_i(x_0)$	a_i
1	B1TN3L2	2.539.140	0,64	17,03
2	B1TN3	2.623.778	0,61	15,69
3	B1TN3L1	2.666.097	0,59	14,86
4	B1TN4L2	2.835.373	0,51	11,89

$$\phi = \frac{1}{-136{,}4\times10^{-6}}\begin{vmatrix} 17{,}03 & 1 & 32{,}91^{-1} & 32{,}91^{-2} \\ 15{,}69 & 1 & 31{,}95^{-1} & 31{,}95^{-2} \\ 14{,}86 & 1 & 31{,}28^{-1} & 31{,}28^{-2} \\ 11{,}89 & 1 & 29{,}52^{-1} & 29{,}52^{-2} \end{vmatrix} = -9{,}1.10^{-6};$$

$$\beta = \frac{1}{-136{,}4\times10^{-6}}\begin{vmatrix} 2539140 & 17{,}03 & 32{,}91^{-1} & 32{,}91^{-2} \\ 2623778 & 15{,}69 & 31{,}95^{-1} & 31{,}95^{-2} \\ 2666097 & 14{,}86 & 31{,}28^{-1} & 31{,}28^{-2} \\ 2835373 & 11{,}89 & 29{,}52^{-1} & 29{,}52^{-2} \end{vmatrix} = 28{,}55$$

$$\lambda = \frac{1}{-136{,}4\times10^{-6}}\begin{vmatrix} 2539140 & 1 & 17{,}03 & 32{,}91^{-2} \\ 2623778 & 1 & 15{,}69 & 31{,}95^{-2} \\ 2666097 & 1 & 14{,}86 & 31{,}28^{-2} \\ 2835373 & 1 & 11{,}89 & 29{,}52^{-2} \end{vmatrix} = 1349;$$

$$\mu = \frac{1}{-136{,}4\times10^{-6}}\begin{vmatrix} 2539140 & 1 & 32{,}91^{-1} & 17{,}03 \\ 2623778 & 1 & 31{,}95^{-1} & 15{,}69 \\ 2666097 & 1 & 31{,}28^{-1} & 14{,}86 \\ 2835373 & 1 & 29{,}52^{-1} & 11{,}89 \end{vmatrix} = -31.923$$

Thay các giá trị ϕ = -9,1.10-6, β = 28,55, λ = 1.349, μ = -31.923 và thay $E_i = \frac{W_0}{V}$ vào phương trình (5) nhận được phương trình về quy luật phân bố thành phần cỡ hạt khi nổ trong đá sét kết dưới nước như sau:

$$P_{(x)} = 1 - e^{-(-9{,}1.10^{-6}\frac{W_0}{V}+\frac{1349}{V}-\frac{31923}{V^2}+28{,}55)x} \quad (8)$$

Phương trình này có thể coi là phương trình lý thuyết hóa hay phương trình bán thực nghiệm mô tả qui luật phân bố cỡ hạt sau nổ trong đá sét kết dưới nước.

5. Kết quả và thảo luận

Để đánh giá độ chính xác của phương trình bán thực nghiệm về phân bố cỡ hạt sau nổ (8), chọn ra hai mã số vụ nổ thí nghiệm (B1TN3L2, B1TN3L1) tiến hành so sánh đồ thị hàm phân bố cỡ hạt sau nổ và kích thước cỡ hạt trung bình sau nổ của thực tế và lý thuyết.

Bộ số liệu thực tế về thành phần cỡ hạt được xử lý bằng phần mềm Split-Desktop tương ứng với hai mã thí nghiệm B1TN3L2, B1TN3L1 được chỉ ra trong Bảng 6.

Sử dụng phương trình (8) và các thông số nổ mìn trong Bảng 4 để tính tỉ lệ phần trăm cỡ hạt có kích thước nhỏ hơn x tương ứng với hai mã thí nghiệm B1TN3L2, B1TN3L1 trong Bảng 7.

Dựa trên kết quả trong các Bảng 6, 7 cho phép xây dựng đồ thị phân bố cỡ hạt đá sau nổ của bộ số liệu thực tế và đường lý thuyết hóa trong đá sét kết dưới nước (Hình 4).

Dựa trên kết quả phân tích thành phần cỡ hạt của hai mã thí nghiệm sẽ tính được kích thước trung bình (d_{tb}) cỡ hạt của mẫu thí nghiệm trong Bảng 8.

Bảng 6. Tỉ lệ phần trăm cỡ hạt $P_{(x)}$ được đo đạc thực tế và xử lý bằng phần mềm Split-Desktop.

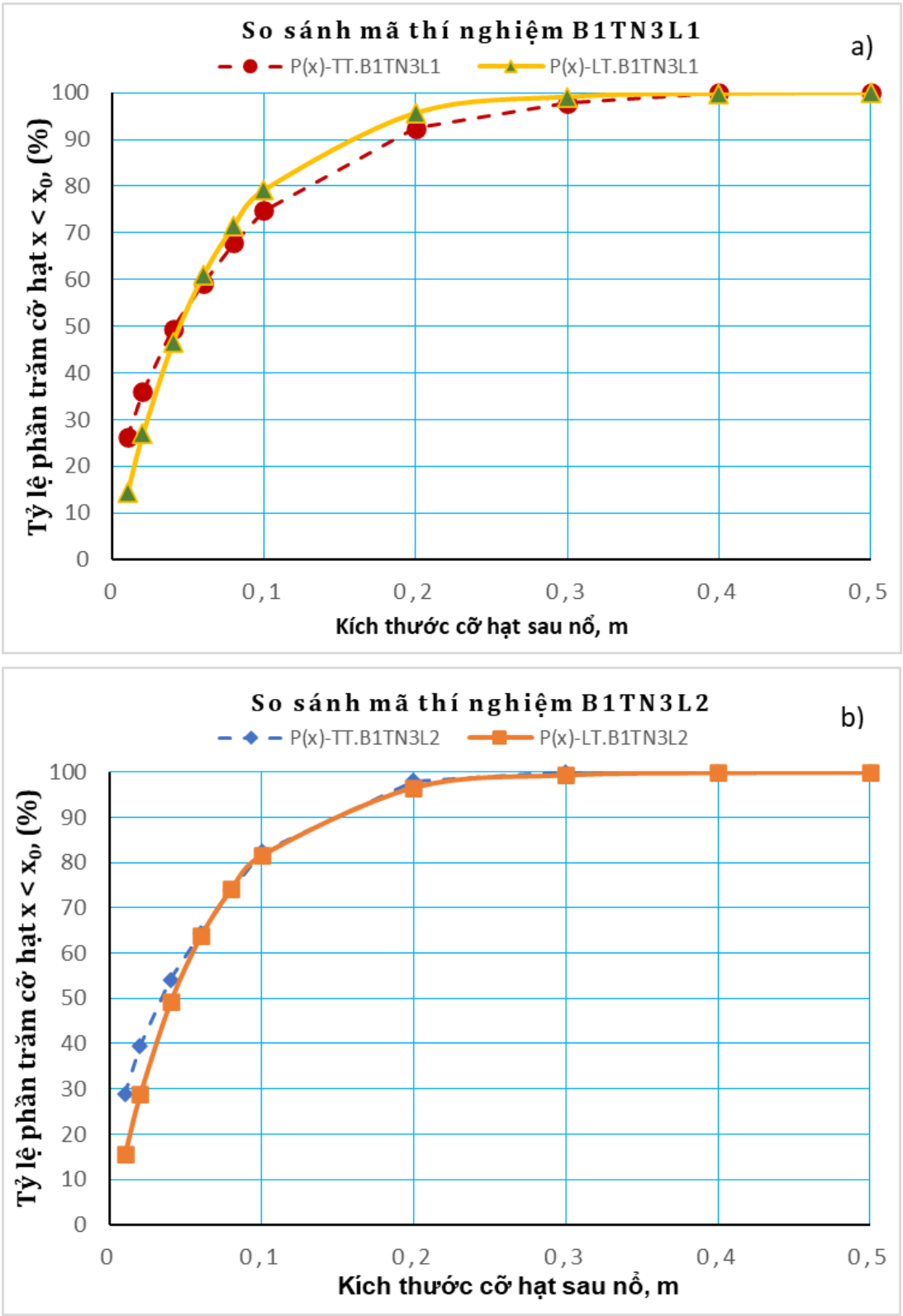
Mã số thí nghiệm	Cỡ hạt trung bình (m)										
	0,005	0,01	0,02	0,04	0,06	0,08	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
B1TN3L2	20,9	28,75	39,48	54,12	64,39	73,88	82,38	97,98	100	100	100
B1TN3L1	19,02	26,19	36,01	49,42	59,11	67,84	74,82	92,34	97,77	100	100

Bảng 7. Tỉ lệ phần trăm $P_{(x)}$ với $x<x_0$ xác định theo lý thuyết với đá sét kết.

Mã số thí nghiệm	Cỡ hạt trung bình (m)									
	0,01	0,02	0,04	0,06	0,08	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
B1TN3L2	15,60	28,77	49,27	63,86	74,26	81,67	96,64	99,38	99,89	99,98
B1TN3L1	14,53	26,95	46,64	61,03	71,53	79,20	95,68	99,10	99,81	99,96

Bảng 8. So sánh d_{tb} mẫu thí nghiệm của 2 phương pháp xác định.

TT	Mã số thí nghiệm	d_{tb} thực tế (đo đạc xử lý bằng phần mềm Split-Desktop) (m)	d_{tb} theo lý thuyết tương ứng với hằng số thực nghiệm của đá sét kết (m)	Sai số d_{tb} của lý thuyết so với thực tế
1	TN3L2	0,068	0,061	10,29%
2	TN3L1	0,071	0,066	7,04%



Hình 4. So sánh kết quả phân tích thành phần cỡ hạt giữa thực tế và lý thuyết với mẫu B1TN3L1 (a) và B1TN3L2 (b).

Nhận xét: So sánh kết quả phân tích thành phần cỡ hạt giữa bộ số liệu thực tế và phương pháp lý thuyết (bán thực nghiệm) trên biểu đồ Hình 4 nhận thấy đồ thị thành phần cỡ hạt của 2 phương pháp này có cùng xu hướng và biến thiên tương đối gần nhau. Độ chênh lệch lớn nhất về tỉ lệ phần trăm cỡ hạt giữa thực tế và lý thuyết nhỏ hơn 13% đến 15% với cả hai mã số thí nghiệm, còn kích thước cỡ hạt trung bình nhỏ dưới 7% đến 10% với cả hai mã số thí nghiệm.

Điều này chứng tỏ tính hợp lý của phương pháp lý thuyết hóa hay bán thực nghiệm.

6. Kết luận và kiến nghị

Phương trình tổng quát mô tả qui luật phân bố cỡ hạt đất đá sau nổ biểu thị xác suất đập vỡ đất đá phụ thuộc vào mức độ khó đập vỡ đất đá (γ), lượng tiêu hao năng lượng nổ đơn vị (E), thể tích khối đá phá ra của bãi mìn (V) và tính chất bền của địa khối, năng lượng biểu kiến, tiêu hao năng lượng để làm bay các cục đá, thế năng biến dạng được thể hiện qua 4 hằng số ϕ, β, λ, μ. Bốn hằng số thực nghiệm này phụ thuộc vào loại đất đá, điều kiện địa chất thủy văn và điều kiện nổ.

Phương trình mô tả qui luật phân bố cỡ hạt khi nổ phá đá sét kết có độ bền cấp IV đào sâu dưới nước có dạng (8) với các hệ số thực nghiệm đặc trưng cho điều kiện tự nhiên và điều kiện nổ ϕ = -9,1.10-6, β = 28,55, λ = 1.349, μ = -31.923. Phương trình này phản ánh qui luật đập vỡ đất đá sét kết dưới nước ngoài phụ thuộc vào điều kiện tự nhiên và điều kiện nổ thông qua bốn hệ số thực nghiệm cố định và hai chỉ số động là tổng năng lượng của vụ nổ và tổng thể tích đá phá ra. Chỉ số động này phản ánh sự biến đổi ngẫu nhiên của mỗi lần nổ với cùng một bộ thông số khoan nổ.

Kết quả nghiên cứu cho phép ứng dụng trong điều khiển nổ phá đá sét kết dưới nước, theo hướng nâng cao chất lượng đập vỡ đất đá.

Trong thời gian tới cần tiếp tục nghiên cứu xác định các hằng số thực nghiệm của phương trình phân bố cỡ hạt sau nổ của các loại đất đá khác theo phương pháp năng lượng xác suất.

Lời cảm ơn

Bài báo này được hỗ trợ bởi đề tài KHCN cấp Quốc gia mã số: 32/18-C-ĐTĐL.CN.CNC.

Đóng góp của tác giả

Đàm Trọng Thắng - lên ý tưởng viết bản thảo bài báo, Vũ Xuân Bảng - chỉnh sửa nội dung và xử lý số liệu bài báo.

Tài liệu tham khảo

Baron, V. L., Kantor V. Kh. (1989). Blasting Technology and Equipment in USA. Moscow: Nedra, 376 p.

Belin, V. A., Dam, T. T. (2007). Experimental study of the influence of the length of the underwater bottom charge on the transverse dimensions of the blasted excavation and determination of the minimum length of bottom linear charges. Explosive business. *Publisher: World of Mining Books*, Moscow.

Borodzia, G. A. (1938). Explosive dredging of sandy rifts. Gostranstekhizdat, Moscow, 67 p.

Dam, T. T., Belin, V. A. (2006). Methodology for calculating the parameters of rational dredging using overhead linear charges during the construction of underwater structures (trench, channel) with water depth h = const. *United Scientific Journal - Moscow*, No. 13/2006.

Dam, T. T. (2008). Basic methods of technics and the organization for increase of efficiency of explosive works under with the contact chare application. Proceeding of the international conference on advances in mining and tunneling, 20-21 august 2008. *Publishing house for science and technology Hanoi*, Vietnam.

Dam, T. T., Nguyen, T. T., & Vu, X. B. (2021). Study on the reasonable spacing of flat charge in the form of long and parallel cylindrical charges for breaking rock. *Journal of Science and Technique-Section on Special Construction Engineering*, *4*(02).

Đàm, T. T. (2001). Xây dựng phương trình xung riêng truyền vào đất đá dọc theo thành lỗ khoan khi nổ mìn phá đá dưới nước. *Tạp chí Công nghiệp Mỏ*, số 2.

Đàm, T. T. (2007). *Nghiên cứu sự phụ thuộc của các thông số phễu phá huỷ nổ vào chiều sâu nước khi nổ lượng nổ tập trung ở đáy nước bằng phương pháp thực nghiệm*. Tuyển tập các công

trình khoa học - Hội nghị cơ học toàn quốc lần thứ 8. 12/2007.

Đàm, T. T., Trần, H. M. (2012) . *Nghiên cứu thực nghiệm hiệu ứng nổ ngầm trên mô hình trong đất sét ngập nước*. Tuyển tập Các công trình khoa học Hội nghị Cơ học toàn quốc lần thứ IX, 12/2012.

Đàm, T. T., Vũ, T. H. (2017). *Nghiên cứu ảnh hưởng của một số chỉ tiêu cơ lý chính đến mức độ đập vỡ đất đá khi nổ mìn*. Tuyển tập các công trình khoa học Hội nghị cơ học toàn quốc Hà nội tháng 12/2017.

Drukovany, M. F. (1973). Control methods explosion in the quarries. Nedra, Moscow.

Gorodilov, L. V. (1993). Study of the mechanical effect of the explosion of underwater overhead charges in soils and rocks. Abstract, Novosibirisk.

Hồ, S. G., Đàm, T. T., Lê, V. Q., Hoàng, T. C. (2010). Nổ hóa học lý thuyết và thực tiễn. *NXB Khoa học và Kỹ thuật*, Hà Nội.

Khanukaev, A. N. (1962). The energy of the stress waves in the destruction of rocks by explosion. Gosgortekhizdat, Moscow.

Korenistov, A. V. (1966). Drilling and blasting operations during the construction of a port bucket on leke Baikal. Blasting works №61/18. Nedra, Moscow. p 239-244.

Kutuzov, B. N., Rubtsov, V. K. (1970), Physics of the explosive destruction of rocks, MGGU, Moscow.

Kutuzov, B. N., Gilmanov, R. A. (1982). The prospect of blasting rocks during underwater mining. "Mining Journal" № 1.

Kutuzov, B. N. (1990). Laboratory work in the discipline “Destruction of rocks by explosion.” MGI, Moscow.

Kutuzov, B. N. (1994). Destruction of rocks by explosion. Explosive technologies in industry. MGGU, Moscow.

Lê, V. Q. (2009). *Nghiên cứu mức độ đập vỡ đất đá hợp lý cho các mỏ lộ thiên ở Việt Nam*. Luận án tiến sĩ kỹ thuật, Hà Nội.

Nguyễn, X. K., Đàm, T. T. (2007). Xác định chỉ tiêu thuốc nổ khi nổ mìn phá tơi đá dưới nước bằng lượng nổ đặt trong môi trường đất đá. *Tạp chí Nghiên cứu KHKT-CN quân sự*, số 21/2007.

Nguyễn, X. K., Đàm, T. T. (2013). Đánh giá ảnh hưởng của lớp nước đến mức độ phá huỷ đất đá bằng sóng phản xạ khi nổ mìn phá đá dưới nước. *Tạp chí Công nghiệp Mỏ*, số 2/2013.

Nhữ, V. B. (2003). Nâng cao hiệu quả phá vỡ đất đá bằng nổ mìn trong khai thác mỏ. *NXB Giao thông Vận tải*, Hà Nội.

Oksanich, I. F., Mironov, P. S. (1982). Laws of rocks crushing by explosion and predicting the granulometric composition. Nedra, Moscow.

Tavrivov, V. M. (1949). Blasting dredging. *Publishing house of the Ministry of River Fleet of the USSR*, Moscow.

Vlasov, O. E., Smirnov, S. A., & FOREIGN TECHNOLOGY DIV WRIGHT-PATTERSON AFB OH. (1963). *Bases for Calculating the Breaking of Rocks with an Explosion* (p. 0022). Wright-Patterson Air Force Base.