

НАУКИ О ЗЕМЛЕ

УДК 622.026.3.5

О СПОСОБАХ ИЗУЧЕНИЯ СВОЙСТВ ГРУНТОВ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ БУРОВЗРЫВНЫХ РАБОТ

ABOUT HOW TO STUDY THE PROPERTIES OF SOIL TO IMPROVE THE EFFICIENCY OF DRILLING AND BLASTING

Жариков Сергей Николаевич,
канд. техн. наук, ст.научн.сотр., e-mail: 333vista@mail.ru
Zharikov Sergey N., C. Sc.in Engineering, senior researcher

Институт горного дела УрО РАН, 620075, г. Екатеринбург, ул. Мамина-Сибиряка, 58
The Institute of mining UB RAS, 620075, Yekaterinburg, street Mamyna-Sibirjaka, 58

Аннотация: В статье приведены сведения о способах изучения прочностных характеристик горных пород в естественном залегании для определения рациональных параметров буровзрывных работ. Показано, что уточнение свойств горных пород при производстве буровзрывных работ имеет большую научно-практическую значимость. Приведены результаты исследования взаимосвязей между процессами шарошечного бурения и взрывного разрушения горных пород. Показано, что учёт параметров процесса бурения технологических скважин позволяет моделировать изменение прочностных характеристик горных пород в выемочных блоках и уточнять параметры скважинных зарядов ВВ. На основании полученных результатов разработана методика определения величины удельного расхода ВВ по данным бурения технологических скважин, которая позволяет строить модели изменения крепости пород по высоте уступа, определять пропорциональность между энергетическими характеристиками процессов шарошечного бурения и взрывного разрушения массива горных пород, а также уточнять массу зарядов ВВ по каждой скважине выемочного блока. Также разработан способ экспрессного исследования свойств грунтов, который заключается в моделировании крепости горных пород на основе данных получаемых в процессе бурения технологических скважин. Получаемая модель служит основой для уточнения параметров зарядов в скважинах выемочного блока. С применением моделирования крепости горных пород по трудности и энергоёмкости бурения, возможно, уточнять трещиноватость массива, что особенно важно при выборе рациональной схемы инициирования зарядов ВВ.

Abstract: The article provides information about how to study the strength characteristics of rocks *in situ* to determine the rational parameters of drilling and blasting. It is shown that the specification of rock properties in the manufacture of blasting is of great scientific and practical importance. The results of the study of the relationships between the processes of rolling cutter drilling and explosive destruction of rocks. It is demonstrated that the parameters of the process of drilling production wells allows to simulate the change of the strength characteristics of rocks in the excavation blocks and clarify the parameters of the down hole explosive charge. On the basis of obtained results the methodology of determining the value of specific consumption of explosives according to drilling production wells, which allows to build models of changes in the fortress of rocks on the height of the ledge, to determine the proportionality between the energy characteristics of processes of rolling cutter drilling and explosive destruction of rocks, as well as to clarify the mass of explosive charges in each well of an excavation unit. Also developed a method for rapid investigation of soil, which is to model the fortress of rocks on the basis of the data obtained in the process of drilling production wells. The resulting model serves as the basis for specification parameters of the charges in the wells of an excavation unit. With the use of simulations of rocks according to their difficulty and intensity of drilling may clarify a fracture of the array, which is especially important when the choice of a rational scheme of initiation of explosive charges.

Ключевые слова: физико-механические свойства горных пород, шарошечное бурение, буровзрывные работы, взрыв, параметры буровзрывных работ.

Key words: physic-mechanical properties of rocks, rock drilling, blasting, blast, drilling and blasting parameters.

Буровзрывные работы на карьерах в значительной мере определяют себестоимость добычи полезных ископаемых. При этом качество взрыв-

ной подготовки горной массы к выемке существенным образом зависит от правильного выбора параметров буровзрывных работ в соответствии

со свойствами пород в границах выемочного блока [1]. В этой связи большую научно-практическую значимость имеет разработка способов экспрессного исследования свойств грунтов.

В настоящее время свойства массива горных пород можно уточнять с применением физических полей [2] или на основе данных о трудности бурения взрывных скважин [3 - 5].

Определение свойств горных пород с применением физических полей [2] основано на исследовании процесса распространения искусственно вызываемых упругих колебаний. В качестве основных источников информации являются параметры распространения в массиве искусственно вызываемых волн. В работе [2] рассматриваются сейсмические волны. Скорость прохождения продольных волн по массиву горных пород позволяет оценить пространственное распределение их прочностных характеристик глубину до 15 - 20 м от свободной поверхности. Область применения указанного метода – локальные горные массивы на карьерах, подготавливаемые к разрушению буровзрывным способом.

Метод сейсмометрии позволяет уточнить свойства пород и зоны техногенной нарушенности от предыдущих взрывов. Недостатком метода является то, что он не даёт количественной характеристики трещиноватости горных пород, поэтому его целесообразно применять совместно с другими методами определения свойств горных массивов при проектировании взрывов. Совершенствование метода заключается в уточнении зависимо-

стей между скоростью прохождения сейсмических волн и физико-механическими свойствами горных пород.

Наиболее точно свойства горных пород характеризуются трудностью и энергоёмкостью бурения технологических скважин [3-5]. Если буримость и крепость пород по хронометражу бурения может быть определена достаточно точно, то взрываемость [6 - 9] без учёта среднего размера отдельности в массиве не может быть определена. В данном случае различия между трещинной структурой пород в забое скважины и в отбивающем скважиной объёме имеют принципиальное значение. Если по данным бурения нельзя установить, какое количество ВВ заложить в скважины, то такая информация в значительной мере теряет свою ценность, так как расход ВВ не может быть изменён. Этим и обусловлено то, что при производстве БВР параметры процесса бурения скважин не измеряются и не учитываются при корректировочных расчётах.

С другой стороны, следует обратить внимание на формулы В.В. Ржевского [10 - 12] по расчёту эталонного удельного расхода ВВ и показателя трудности бурения в зависимости от физико-механических свойств горных пород.

$$q_{\mathcal{E}} = k(\sigma_{\text{сж}} + \sigma_{\text{сд}} + \sigma_p + 10\gamma), \quad (1)$$

$$\Pi_0 = 0,07(\sigma_{\text{сж}} + \sigma_{\text{сд}} + 10\gamma). \quad (2)$$

Получается, что показатель буримости и эталонный удельный расход ВВ связаны через физико-механические свойства горных пород. Следовательно, эталонный расход ВВ можно выразить с

Порядок определения массы заряда ВВ



Цифровая модель крепости горных пород

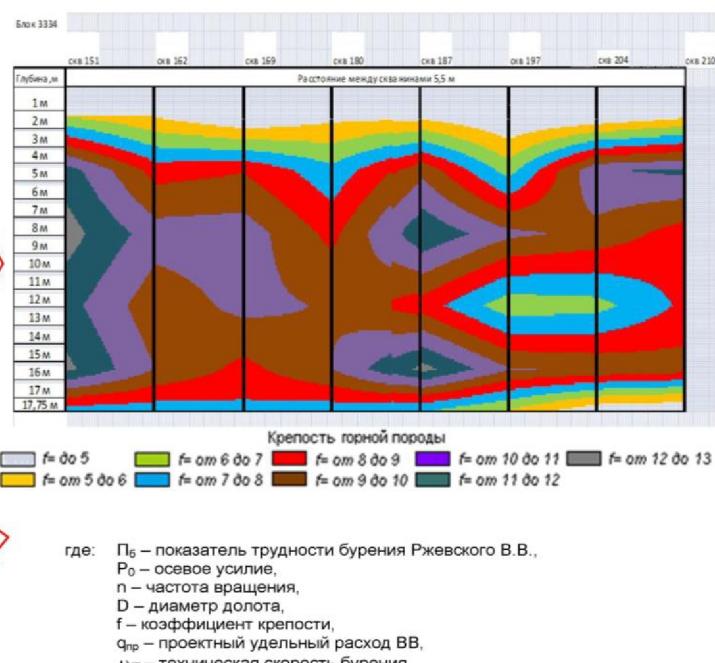


Рис. 1. Схема построения цифровой модели крепости горных пород
Fig. 1. The scheme of constructing a digital model of the fortress of rocks

учётом показателя трудности бурения

$$q_{\mathcal{E}} = k \left(\frac{\Pi_6}{0,07} + \sigma_p \right). \quad (3)$$

Анализ формул В.В. Ржевского подтверждает то, что разрушение горных пород при бурении и взрывании имеет связь. При этом эталонный расход ВВ находится в зависимости от показателя трудности бурения. Из практики известно, что показатель трудности бурения В.В. Ржевского связан с коэффициентом крепости М.М. Протодьяконова ($\Pi_6 \approx 0,95 f$) Следовательно, если по данным технологического бурения моделировать крепость горных пород, то на основе этих результатов вполне можно определять (уточнять) параметры буровзрывных работ (БВР). Показатель трудности бурения связан с параметрами процесса шарошечного бурения следующим образом [5]:

$$\Pi_6 = \left(\frac{P_o n^{0,8}}{v_T D} \right)^{0,625}, \quad (4)$$

где P_o – осевое усилие, кН; n – частота вращения, мин⁻¹; v_T – техническая скорость бурения, м/ч; D – диаметр долота, см.

На рис.1 представлена разработанная схема построения цифровой модели крепости горных пород на основе данных хронометража бурения.

На основании полученных результатов разработана методика определения величины удельного расхода ВВ по данным бурения технологических скважин, которая позволяет строить модели изменения крепости пород по высоте уступа, определять пропорциональность между энергетическими характеристиками процессов шарошечного бурения и взрывного разрушения массива горных пород, а также уточнять массу зарядов ВВ по каждой скважине выемочного блока.

Представленная на рис. 1 модель позволяет разбить взываемый блок на ячейки и для каждой ячейки установить необходимый удельный расход ВВ, а впоследствии скорректировать его значение по слоям уступа.

Схема определения удельного расхода ВВ по данным рис. 1 представлена на рис. 2.

$$N = 2\pi 10^{-3} M_{kp} n \eta^{-1}, \quad (5)$$

где M_{kp} – момент вращения долота, Н·м; n – частота вращения, с⁻¹; η – КПД трансмиссии вращателя.

$$M_{kp} = 2,84 \cdot 10^{-3} k_1 D (0,22 P_o)^m, \quad (6)$$

где: k_1 – эмпирический коэффициент, зависящий от крепости породы [11]; D – диаметр долота, мм; P_o – осевое усилие, кН; m – показатель качества очистки скважины (1,25 – для очень хорошей, 1,5 –

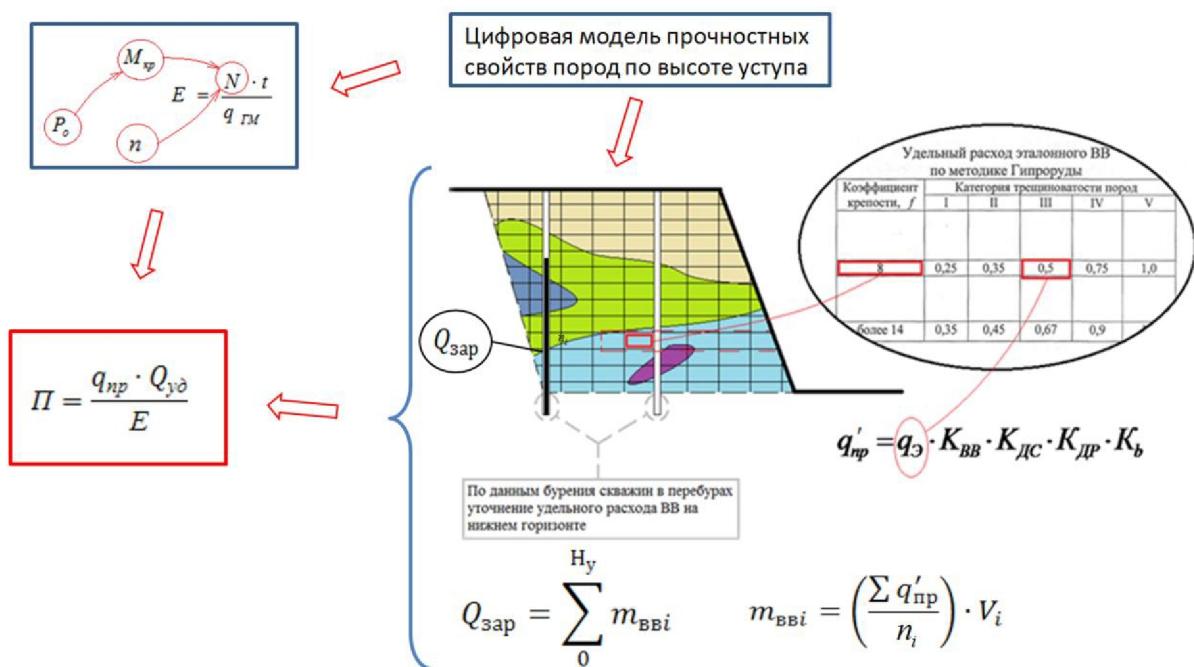


Рис. 2. Схема определения удельного расхода ВВ на основании модели изменения крепости пород по высоте уступа: Q_{zap} – вес заряда в скважине, m_{BVi} – масса ВВ на слой, n_i – число элементов слоя, V_i – объём слоя, N – мощность двигателя вращателя, M_{kp} – момент вращения долота, n – частота вращения долота, t – среднее время бурения 1 м, P_o – осевое усилие, Q_{yd} – удельная теплота взрыва, q_{np} – проектный удельный расход ВВ по методике Гипроруды, q_{fm} – выход горной массы с 1 м скважины, E – энергия на обуривание 1 м³ горной породы, Π – коэффициент пропорциональности между энергиями на обуривание и взрывное разрушение

Fig. 2. The scheme of determination of specific consumption of explosives on the basis of the model of the fortress of rocks on the height of the ledge

для удовлетворительной, 1,75 - для плохой).

Таким образом, в ИГД УрО РАН разработан способ экспрессного исследования свойств грунтов, который заключается в моделировании крепости горных пород на основе данных, получаемых в процессе бурения технологических скважин. Получаемая модель служит основой для

уточнения параметров зарядов в скважинах выемочного блока. Применяя моделирование крепости горных пород по трудности и энергоёмкости бурения, можно уточнять трещиноватость массива, что особенно важно при выборе рациональной схемы инициирования зарядов ВВ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Трубецкой К.Н., Захаров В.Н., Викторов С.Д. и др. Взрывное разрушение массивов горных пород при освоении недр // Проблемы недропользования. 2014. № 3. С. 80 - 95.
2. Воронцов И.В. Многоволновая сейсмометрия при решении горно-геологических задач. Екатеринбург: Изд. УрО РАН, 1998. 112 с.
3. Тангаев И.А. Буримость и взрываемость горных пород. М.: «Недра», 1978. 184 с.
4. Тангаев И.А. Энергоёмкость процессов добычи и переработки полезных ископаемых. М.: Недра, 1986. 231 с.
5. Жариков С.Н. Взаимосвязь удельных энергетических характеристик процессов шарошечного бурения и взрывного разрушения массива горных пород: дисс. канд. техн. наук / ИГД УрО РАН. Екатеринбург, 2011. 139 с.
6. Викторов С.Д., Казаков Н.Н., Лапиков И.Н., Шляпин А.В. Зона нерегулируемого дробления горных пород в карьерах // Устойчивое развитие горных территорий. Международный научный журнал. 2016. № 1. С. 81 - 85.
7. Sanchidrian, J.A., Segarra, P, Lopez, L.M., 2007. Энергетические составляющие взрывного разрушения горных пород (Energy components of rock blasting). International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 44(1):130 - 147.
8. Wang, J.A., Park, H.D. (2001). Комплексное предсказание дробления горной породы на основе анализа энергии напряжений в массиве (Comprehensive prediction of rockburst based on analysis of strain energy in rocks). Tunnelling and Underground Space Technology, 16(1), 49 - 57.
9. Hucka, V., & Das, B (1974). Классификация горных пород по хрупкости различными методами (Brittleness determination of rocks by different methods). Mining Sciences & Geomechanics Abstracts, 11(10), 389 - 392.
10. Жариков С.Н. Определение крепости горных пород по параметрам шарошечного бурения технологических скважин в карьерах // Горный журнал. 2010. № 7. С. 50 - 51.
11. Корнилов С.В., Стенин Ю.В., Стариков А.Д. Расчёт параметров буровзрывных работ при скважинной отбойке на карьерах [Текст]: учебное пособие. Екатеринбург: Изд-во УГГГА, 1997. 112 с.
12. Трубецкой К.Н. и др. Открытые горные работы [Текст]: справочник М.: Горное бюро, 1994. 590 с.

REFERENCES

1. Trubetskoy K.N., Zaharov V.N., Viktorov S.D. etc. Explosive destruction of rocks in the mineral resource exploitation. *Problems of subsoil use*. 2014. No. 3. Pp. 80 - 95. (in Russian)
2. Voroncov I.V. Broadband seismometry in the solution of geological problems. Ekaterinburg: Publishing of Ural branch of RAS, 1998. 112 p. (in Russian)
3. Tangaev I.A. Drillability and blastability of rocks. M.: *Subsoil*, 1978. 184 p. (in Russian)
4. Tangaev I.A. The energy intensity of the processes of extraction and processing of minerals. M.: *Subsoil*, 1986. 231 p. (in Russian)
5. Zharikov S.N. The relationship of the specific energy characteristics of processes of rolling cutter drilling and explosive destruction of rocks: the dissertation ... Candidate of Technical Sciences. IGD UB RAS. Yekaterinburg, 2011. 139 p. (in Russian)
6. Viktorov S. D., Kazakov N. N., Lapikov I. N., Shlyapin A.V. The unregulated zone of rock crushing in quarries. *Sustainable Development of Mountain Territories*. International Journal № 1. 2016, pp. 81 - 85. (in Russian)
7. Sanchidrian, J.A., Segarra, P, Lopez, L.M., 2007. Energy components of rock blasting. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 44(1):130 - 147.
8. Wang, J.A., Park, H.D. (2001). Comprehensive prediction of rockburst based on analysis of strain energy in rocks. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 16(1), 49 - 57.
9. Hucka, V., & Das, B (1974). Brittleness determination of rocks by different methods. *Mining Sciences & Geomechanics Abstracts*, 11(10), 389 - 392.

10. Zharikov S.N. Definition of rocks in the parameters of the rotary drilling production wells in open pit. *Mining journal*. 2010. No. 7. Pp. 50 - 51. (in Russian)
11. Kornilkov S.V., Stenin Ju.V., Starikov A.D. Calculation of parameters of drilling and blasting in bore-hole blasting in open pits: lecture notes. *Ekaterinburg: Publishing Ural State Mining University*, 1997. 112 p. (in Russian)
12. Trubetskoy K.N. etc. Open pit mining: Handbook, M.: *Mining Bureau*, 1994. 590 p. (in Russian)

Поступило в редакцию 11.11.2016

Received 11 November 2016