

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ДЕФЛАГРИРУЮЩЕГО СОСТАВА ДЛЯ ДРОБЛЕНИЯ НЕГАБАРИТНЫХ КУСКОВ ПОРОДЫ ГОРНОЙ МАССЫ

И. В. Корнеев, Ал. А. Галимьянов, В. И. Мишнев, Е. Н. Казарина

Институт горного дела Дальневосточного отделения Российской академии наук,
обособленное подразделение ХФИЦ ДВО РАН, г. Хабаровск, Россия

Аннотация: В целях оценки эффективности газогенерирующих пиротехнических составов в настоящей статье приведено исследование качества дробления негабаритных кусков породы на карьере методом дефлаграции. Исследование направлено на совершенствование процесса вторичного дробления на горных предприятиях. В данной работе приводятся результаты экспериментальных исследований по дроблению негабаритных кусков породы с использованием дефлагрирующего состава «Энамат», когда для сравнительного анализа эффекта поршневого действия газообразных продуктов дефлаграции в шпуре в качестве забойки применялись различные параметры и материалы забойки. Результаты исследования могут быть полезными при вторичном дроблении негабаритных кусков пород на карьерах.

Ключевые слова: дефлагрирующий состав, негабаритные куски породы, забоечный материал, дробление, шпуровой метод

Для цитирования: Корнеев И. В., Галимьянов Ал. А., Мишнев В. И., Казарина Е. Н. Эффективность применения дефлагрирующего состава для дробления негабаритных кусков породы горной массы. *Маркшейдерия и недропользование*. 2024. №5. С. 75-80. https://doi.org/10.56195/20793332_2024_5_75_80.

THE EFFECTIVENESS OF USING A DEFLAGRATING COMPOUND FOR CRUSHING OVERSIZED PIECES OF ROCK

I. V. Korneev, Al. A. Galimyanov, V. I. Mishnev, E. N. Kazarina

Institute of Mining of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, a separate division
of the KHFIC FEB RAS, Khabarovsk, Russian Federation

Abstract: In order to evaluate the effectiveness of gas-generating pyrotechnic compositions, this article presents a study of the quality of crushing oversized pieces of rock in a quarry by deflagration. The research is aimed at improving the process of secondary crushing in mining enterprises. This paper presents the results of experiments on crushing oversized pieces of rock using the deflagrating composition «Enamat», when various parameters and materials of the slaughtering were used for a comparative analysis of the piston effect of gaseous deflagration products in the hole. The results of the study may be useful in the secondary crushing of oversized pieces of rocks in quarries.

Keywords: deflagrating composition, oversized pieces of rock, face material, crushing, borehole method

For citation: Korneev I. V., Galimyanov Al. A., Mishnev V. I., Kazarina E. N. The effectiveness of using a deflagrating compound for crushing oversized pieces of rock. *Mine Surveying and Subsurface Use*. 2024;(5):75-80. (In Russ.). https://doi.org/10.56195/20793332_2024_5_75_80.

Введение

Современные технологии ведения буровзрывных работ обеспечивают эффективное разрушение горного массива при соблюдении определенных условий, однако не обходится без выхода негабаритных кусков горной массы, которые далее необходимо подвергать вторичному дроблению. Существуют разные способы вторичного дробления горной породы, такие как метод накладных (наружных), шпуровых и кумулятивных зарядов [1]; технология разрушения негабаритных кусков породы путем бурения одиночных шпуров с заполнением их пластичным веществом и размещением

в них металлических цилиндрических штанг с оголовками, по которым наносятся одиночные удары [2]; дробление негабаритов методом электроразрядного эффекта, заключающимся в направленном действии ударных волн и высоком импульсном давлении, создаваемом при мощных электрических разрядах жидкости [3]; импульсный механический способ с использованием гидроударников [4] и др. [5–8].

К одному из альтернативных и перспективных направлений осуществления вторичного дробления горных пород и строительных неметаллических конструкций следует отнести метод дробления с использованием дефлаграционных

составов типа «Энамат» [9], относящихся к пиротехническим составам (конкретнее термитным). Как известно, дефлаграция [10] — это процесс дозвукового горения, при котором образуется быстро перемещающаяся зона (фронт) химических превращений. Передача энергии от зоны реакции в направлении движения фронта происходит преимущественно за счет конвективной теплопередачи. Принципиально отличается от детонации, при которой зона превращений распространяется со сверхзвуковой скоростью и передача энергии происходит за счет разогрева от внутреннего трения в веществе при прохождении через него продольной волны (ударная волна в детонационном процессе). Следует отметить, что без качественной забойки заряда с дефлаграционным материалом дробление чего-либо не произойдет в отличие от работы заряда со взрывчатым веществом (ВВ) [11, 12].

Цель исследований: определение эффективности применения дефлагрирующего состава для дробления негабаритных кусков породы горной массы.

Материал и методы исследования

В 2022 году на базе ИГД ДВО РАН были проведены исследования дробления бетонных конструкций [13] с применением дефлагрирующего патрона «Энамат». Опытным путем подтверждено, что наилучшее дробление с применяемым составом «Энамат» происходит при использовании забоечного материала, обеспечивающего наибольшее сцепление забойки со стенками шпура.

Для оценки дробления негабаритных кусков горной породы на карьерах общераспространенных полезных ископаемых Хабаровского края в 2023 году специально подготовленными (аттестованными, имеющими право производства и руководства взрывными работами) сотрудниками ИГД продолжено экспериментальное исследование эффективности применения дефлагрирующего состава типа «Энамат» (рис. 1). В качестве забоечного материала для одних зарядов использовалась жирная глина, а для других зарядов специальный материал «Пенетрон» — проникающая гидроизоляция, представляющая собой сухие смеси на основе специальных цементов, кварцевого песка определенной granulometрии и активных химических добавок (рис. 2).

На карьере «Краснореченский» на начальном этапе осуществлялось производство бурения шпуров диаметром 45 мм глубиной от 300 до 800 мм с использованием перфоратора BOSCH (рис. 3, 4) таким образом, чтобы забой (дно) шпура располагался примерно по центру негабаритных кусков горной породы (рис. 5, 6), похожих по габаритам — $2,5 \times 1,5 \times 1$ м (рис. 6), из расчета один шпуровой заряд на один негабарит.



Рис. 1. Патрон «Энамата» и электроспичка
Fig. 1. The «Enamata» cartridge and the electric match



Рис. 2. Материал для забойки «Пенетрон»
Fig. 2. The material for the face Penetron



Рис. 3. Процесс бурения шпура
Fig. 3. The process of drilling a hole



Рис. 4. Панорама негабаритов
Fig. 4. Panorama of oversized

Вслед за бурением формировался шпуровой заряд (рис. 5). При этом для оценки наилучшего запирающего эффекта продуктов дозвукового горения активная часть всех зарядов была одинаковой по высоте – 0,2 м и массе патрона «Энамата» – 50 г, а неактивная часть представляла собой забойку, отличную по высоте и применяемому материалу («Пенетрон», жирная глина) для разных зарядов.

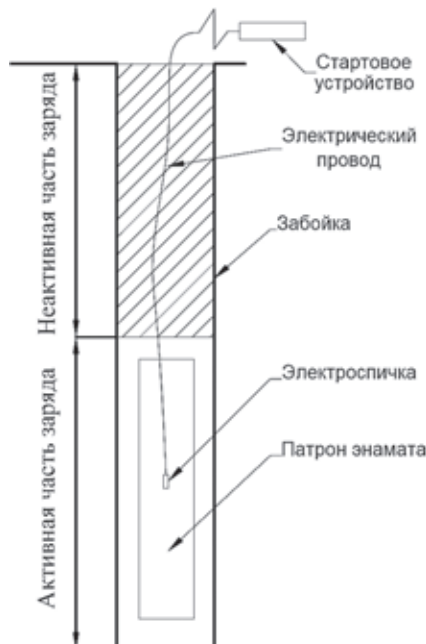


Рис. 5. Конструкция шпурового заряда
Fig. 5. The design of the core charge

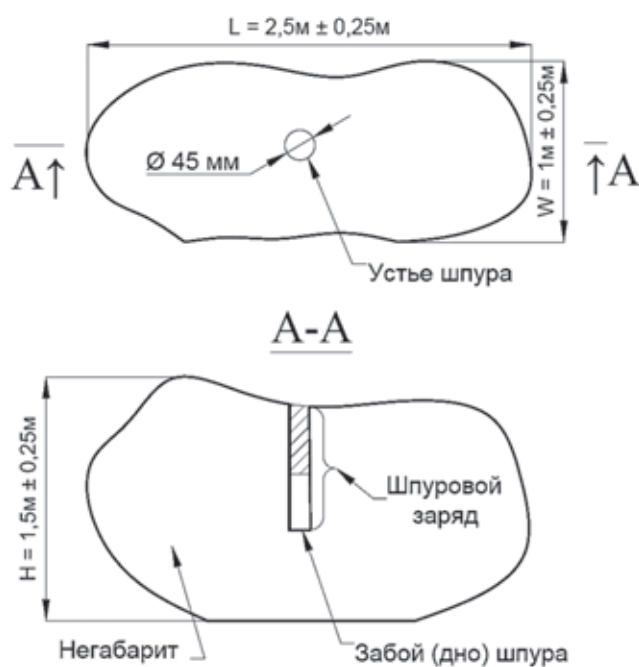


Рис. 6. Расположение шпура в негабарите
Fig. 6. The location of the hole in the oversized

По факту формирования шпурового заряда производилось его иницирование из укрытия. Далее осуществлялась оценка гранулометрического состава раздробленного негабарита линейным методом (рис. 7). После чего отбирались образцы для определения на крепость по шкале проф. Протодяконова [14] в лаборатории ИГД.

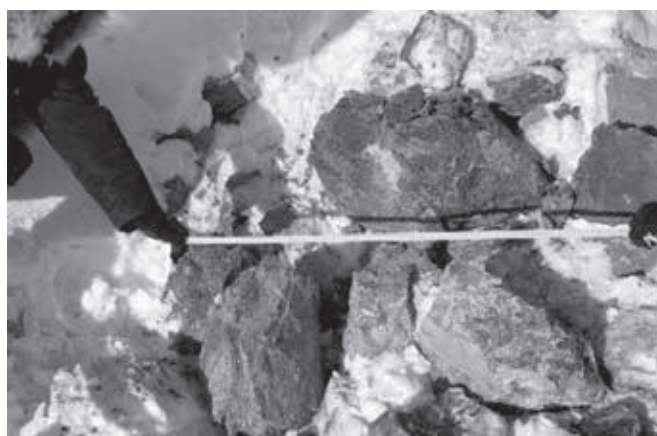


Рис. 7. Измерение гранулометрического состава раздробленного негабарита
Fig. 7. Measurement of the granulometric composition of the fragmented oversized

Результаты дробления негабаритов на карьере «Красно-реченский» представлены в таблице и на рисунке 8.

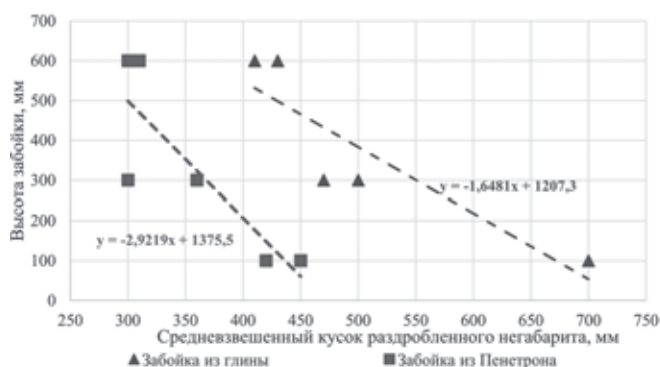


Рис. 8. График зависимости средневзвешенного куска раздробленного негабарита от высоты столба забойки

Fig. 8. Graph of the dependence of the weighted average piece of fragmented oversized on the height of the face post

Средневзвешенный кусок раздробленного негабарита определялся по формуле

$$\frac{c_1 d_{cp1} + c_2 d_{cp2} + c_3 d_{cp3} + \dots + c_n}{c_1 + c_2 + c_3 + \dots + c_n}$$

где $d_{cp1}, d_{cp2}, d_{cp3}, \dots, d_{cpn}$ – средние размеры кусков каждой фракции;

$c_1, c_2, c_3, \dots, c_n$ – процентное содержание каждой фракции негабарита.

Зависимость качества дробления негабаритных кусков от параметров заряда
Dependence of the crushing quality of oversized pieces on the charge parameters

№ негабарита / № oversized	Параметры негабарита L/W/H, м (±0,25м) / Oversized parameters L/W/H, m (±0,25 m)	Глубина шпура, мм / Hole depth, mm	Высота столба активной части заряда, мм / Height of the column of the active part of the charge, mm	Высота столба забойки, мм / The height of the face post, mm	Средне-взвешенный кусок раздробленного негабарита, мм / Weighted average piece of fragmented oversized, mm	Крепость породы по Протодяконову / The fortress of the breed according to Protodyakonov
С применением забойки из жирной глины / With the use of a fat clay face						
1	2,5/1,0/1,5	300	200	100	–	7
2	2,5/1,0/1,5	300	200	100	700	8
3	2,5/1,0/1,5	500	200	300	500	8
4	2,5/1,0/1,5	500	200	300	470	7
5	2,5/1,0/1,5	800	200	600	430	7
6	2,5/1,0/1,5	800	200	600	420	7
С применением забойки из «Пенетрона» / With the use of a punch from the "Penetron"						
1	2,5/1,0/1,5	300	200	100	450	7
2	2,5/1,0/1,5	300	200	100	430	7
3	2,5/1,0/1,5	500	200	300	360	8
4	2,5/1,0/1,5	500	200	300	330	7
5	2,5/1,0/1,5	800	200	600	300	7
6	2,5/1,0/1,5	800	200	600	310	8

Результаты исследований

Анализ проведенных исследований подтвердил возможность применения и совершенствования альтернативного – дефлаграционного способа дробления негабаритных кусков относительно традиционного взрывного метода.

Основное преимущество представленного в данной работе метода заключается в том, что дефлаграционный состав не является взрывчатым веществом, потому что скорость горения данного состава не превышает скорость звука в соответствующей среде. Поэтому к «Энамату» предъявляются менее жесткие бюрократические требования, чем к ВВ.

В результате проведения экспериментов зафиксировано, что на улучшение качества дробления негабарита влияют следующие основные факторы:

- увеличение высоты столба забойки;
- применение забоечного материала типа «Пенетрон», создающего наибольший запирающий эффект продуктов дефлаграции в шпуре и обладающего возможностью быстро (до 5 минут) застывать, создавая максимальное сцепление забойки со стенками шпура.

Однако считаем важным и необходимым рекомендовать осуществлять обращение с дефлаграционным составом только обученному персоналу с оформлением соответствующей документации (проект и т. п.), по аналогии с пунктами федеральных норм и правил [15].

Целесообразно продолжить уточняющие исследования в

данном направлении по обоснованию актуальности приведенного метода, а именно в части:

- анализа качества дробления негабаритных кусков при изменении параметров (диаметр и глубина шпура, конструкция заряда, количества шпуров, сетки бурения, материал для забойки и т. д.), при разных физико-механических свойствах горных пород;
- проведения технико-экономического обоснования при сопоставлении альтернативного способа дробления и взрывного и механического способов;
- определения разлета отдельных кусков;
- уточнения других фактов, не предусмотренных текущим исследованием.

Выводы

1. В статье приведено исследование качества дробления негабаритных кусков породы на карьере методом дефлаграции.
2. В работе приводятся результаты экспериментов по дроблению негабаритных кусков породы с использованием дефлагирующего состава «Энамат», когда для сравнительного анализа эффекта поршневого действия газообразных продуктов дефлаграции в шпуре в качестве забойки применялись различные параметры и материалы забойки.
3. Результаты исследования могут быть полезными при вторичном дроблении негабаритных кусков пород на карьерах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Кутузов БН. Методы ведения взрывных работ. М.: Горная книга, 2009. С. 388. [Kutuzov BN. Methods of conducting blasting operations. Moscow, 2009 (In Russ.).]
2. Цыганков ДА. Новая технология дробления негабаритов крепких горных пород на карьере. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2006;(1):357–362. [Tsygankov DA. A new technology for crushing oversized hard rocks at a quarry. *Mining information and analytical bulletin*. 2006;(1):357-62 (In Russ.).]

3. Гриник АВ. Выбор рациональной технологии дробления негабаритов в условиях железорудного карьера. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2000;(2):68–69. [Grinik AV. The choice of rational technology for crushing oversized rocks in an iron ore quarry. *Mining information and analytical bulletin*. 2000;(2):68-9 (In Russ.)].
4. Назаров ПИ, Левковский ГЛ. Технология направленного раскола крупных отдельностей и дробления негабаритов электроразрядным методом на карьерах природного камня. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2000;(9):129. [Nazarov PI, Levkovski GL. Technology of directional splitting of large separations and crushing of oversized rocks by the electric discharge method in natural stone quarries. *Mining information and analytical bulletin*. 2000;(9):129 (In Russ.)].
5. Иванов СЛ, Шешукова ЕИ, Недашковская ЕС. Классификация средств разрушения негабарита при ведении открытых горных работ. *Транспортное, горное и строительное машиностроение: наука и производство*. 2023;19:138–143. [Ivanov SL, Sheshukova EI, Nedashkovskaya ES. Classification of oversized destruction tools in open-pit mining. *Transport, mining and construction engineering: science and production*. 2023;19:138-43 (In Russ.)]. <https://doi.org/10.26160/2658-3305-2023-19-138-143>.
6. Плащинский ВА. Обоснование и выбор схемных и конструктивных решений устройства дробления негабаритов с увеличенной энергией удара: дис. ... канд. техн. наук. СПб., 2022. – 140 с. [Plaschinsky VA. Justification and choice of schematic and constructive solutions for crushing oversized rocks with increased impact energy: dissertation for the degree of candidate of Technical Sciences. Saint Petersburg, 2022 (In Russ.)].
7. Baranov EG, Klochko II, Oberemok ON. Crushing oversize fragments by means of external charges. *Soviet Mining Science*. 1980;16(1):22-6.
8. Тарасов СП, Тарасов ПИ, Хазин МЛ. Мобильный локализатор для разрушения негабаритов. *Горная промышленность*. 2021;(1):105–109. [Tarasov SP, Tarasov PI, Khazin ML. Mobile localizer for the destruction of oversized objects. *Mining industry*. 2021;(1):105-9 (In Russ.)]. <http://dx.doi.org/10.30686/1609-9192-2021-1-105-109>.
9. Пат. № 2660862 С1 Российская Федерация, МПК C06B 29/04, C06B 33/06. Термитный состав для разрушения негабаритных кусков горных пород и неметаллических строительных конструкций / И. Г. Березин, П. А. Брагин, С. А. Горинов, И. Ю. Маслов. № 2017146202; заявл. 27.12.2017; опубл. 10.07.2018 [Patent No. 2660862 C1 Russian Federation, IPC C06B 29/04, C06B 33/06. Thermite composition for the destruction of oversized pieces of rocks and non-metallic building structures: No. 2017146202: application. 27.12.2017: publ. 10.07.2018 / I. G. Berezin, P. A. Bragin, S. A. Gorinov, I. Y. Maslov (In Russ.)].
10. Дефлаграция [Электронный ресурс]. URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/> (дата обращения: 07.03.2024). [Deflagration. Available from: URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/> (In Russ.)].
11. Казарина ЕН, Галимьянов АА, Мишнев ВИ, Плотников АЮ. Обоснование эффективности применения забойки на карьере «Маломырский рудник». *Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле*. 2023;(4):413–423. [Kazarina EN, Galimyanov AA, Mishnev VI, et al. Justification of the effectiveness of the use of a face at the Malomyrsky mine quarry. *Izvestiya Tula State University. Earth Sciences*. 2023;(4):413-23 (In Russ.)].
12. Галимьянов АА, Плотников АЮ, Казарина ЕН, Мишнев ВИ. Эффективность применения забойки на карьере «Маломырский рудник». *Горный журнал*. 2024;(6):61–64. [Galimyanov AA, Plotnikov AYU, Kazarina EN. Effectiveness of the application of the face at the Malomyrsky mine quarry. *Mining Journal*. 2024;6:61-4 (In Russ.)]. <https://doi.org/10.17580/gzh.2024.06.09>.
13. Казарина ЕН, Галимьянов АА, Рассказова АВ, Мишнев ВИ. Эффективность применения забойки на примере разрушения бетонных конструкций методом дефлаграции. *Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле*. 2023;(1):456–462. [Kazarina EN, Galimyanov AA, Rasskazova AV. Effectiveness of the face on the example of the destruction of concrete structures by deflagration. *Izvestiya Tula State University. Earth Sciences*. 2023;(1):456-62 (In Russ.)].
14. ГОСТ 21153.1-75 Породы горные. Метод определения коэффициента крепости по Протодюкову [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200023972> (дата обращения: 01.03.2024). [GOST 21153.1-75 Mountain rocks Method for determining the strength coefficient according to Protodyakonov. It was put into effect by the resolution of the State Committee of Standards of the Council of Ministers of the USSR dated September 25, 1975 N 2491: date of introduction 1976-07-01. Available from: <https://docs.cntd.ru/document/1200023972> (In Russ.)].
15. Об утверждении Федеральных норм и правил в области промышленной безопасности «Правила безопасности при производстве, хранении и применении взрывчатых материалов промышленного назначения [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/573219717> (дата обращения: 16.03.2024). [Federal norms and rules in the field of industrial safety "Safety rules for the production, storage and use of explosive materials for industrial purposes." item 779. As amended by Rostekhnadzor Order No. 171 dated 05/25/2022. Available from: <https://docs.cntd.ru/document/573219717> (In Russ.)].

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Игорь Владимирович Корнеев – инженер, Институт горного дела Дальневосточного отделения Российской академии наук, обособленное подразделение ХФИЦ ДВО РАН, лаборатория дробления горных пород, г. Хабаровск, Россия

ABOUT THE AUTHORS

Igor V. Korneev – Engineer, Institute of Mining of the Far East Branch of the Russian Academy of Sciences, a separate division of the KHFIC FEB RAS, Rock crushing laboratory, Khabarovsk, Russian Federation

Алексей Алмазович Галимьянов —

кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник,
Институт горного дела Дальневосточного отделения
Российской академии наук, обособленное подразделение ХФИЦ
ДВО РАН, лаборатория дробления горных пород, г. Хабаровск,
Россия

Владимир Игоревич Мишнев —

младший научный сотрудник, Институт горного дела
Дальневосточного отделения Российской академии наук,
обособленное подразделение ХФИЦ ДВО РАН, лаборатория
дробления горных пород, г. Хабаровск, Россия, e-mail:
vovchenskiyef@gmail.com

Елизавета Николаевна Казарина —

младший научный сотрудник, Институт горного дела
Дальневосточного отделения Российской академии наук,
обособленное подразделение ХФИЦ ДВО РАН, лаборатория
дробления горных пород, г. Хабаровск, Россия

Alexey A. Galimyanov —

Cand. Sci. (Eng.), Leading Researcher, Institute of Mining of the
Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, a separate
division of the KHFIC FEB RAS, Rock crushing laboratory,
Khabarovsk, Russian Federation

Vladimir I. Mishnev —

Junior researcher, Institute of Mining of the Far East Branch
of the Russian Academy of Sciences, a separate division of the
KHFIC FEB RAS, Rock crushing laboratory, Khabarovsk, Russian
Federation, e-mail: vovchenskiyef@gmail.com

Elizaveta N. Kazarina —

Junior researcher, Institute of Mining of the Far Eastern Branch
of the Russian Academy of Sciences, a separate division of the
KHFIC FEB RAS, Rock crushing laboratory, Khabarovsk, Russian
Federation

Критерии авторства / Contribution:

Авторы заявляют о равном вкладе каждого в работу над статьей / The authors declare the equal contribution of every one of the work on the article.

Конфликт интересов / Conflict of interest:

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов / The authors declare no conflict of interest.