

Уточненная формула для определения радиуса опасной зоны по разлету отдельных кусков горной массы при взрывании скважинных зарядов*

DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2023-5-50-54>



ЧЕРСКИХ О.И.

Канд. техн. наук,
директор ООО «Солнцевский
угольный разрез»,
694910, г. Шахтерск, Россия,
e-mail: cherskikhoi@eastmining.ru



ГАЛИМЬЯНОВ А.А.

Канд. техн. наук,
ведущий научный сотрудник,
руководитель сектора
разрушения горных пород
Института горного дела ДВО РАН,
680000, Хабаровск, Россия,
e-mail: azot-1977@mail.ru



КОРНЕЕВА С.И.

Канд. тех. наук,
ведущий научный сотрудник
Института горного дела ДВО РАН,
680000, Хабаровск, Россия,
e-mail: s_korneeva@mail.ru



МИШНЕВ В.И.

Инженер сектора
разрушения горных пород
Института горного дела ДВО РАН,
680000, Хабаровск, Россия,
e-mail: mishnev.vl@mail.ru

В целях повышения уровня эффективности ведения работ по подготовке горной массы к выемке буровзрывным способом эмпирически уточнена формула расчета радиуса опасной зоны по разлету кусков горной массы для механизмов при производстве массовых взрывов на примере Солнцевского угольного разреза. Применение данной формулы позволило с приемлемым риском снизить радиус опасной зоны в два и более раза на примере отдельного предприятия, повысив при этом экономический эффект. В статье обоснована актуальность применения индивидуального подхода к расчету перемещения породы при взрыве.

Ключевые слова: коэффициент удаления заряда ВВ от устья скважины, формула по определению радиуса, опасная зона для механизмов, разлет отдельных кусков породы, безопасные расстояния, взрывные работы.

Для цитирования: Уточненная формула для определения радиуса опасной зоны по разлету отдельных кусков горной массы при взрывании скважинных зарядов / О.И. Черских, А.А. Галимьянов, С.И. Корнеева и др. // Уголь. 2023. № 5. С. 50-54. DOI: 10.18796/0041-5790-2023-5-50-54.

ВВЕДЕНИЕ

При подготовке горной массы к выемке буровзрывным способом важная роль отводится определению радиуса опасных зон по разным поражающим факторам, так как это напрямую оказывает влияние на уро-

* Исследования проведены с использованием ресурсов Центра коллективного пользования научным оборудованием «Центр обработки и хранения научных данных ДВО РАН», финансируемого Российской Федерацией в лице Минобрнауки России по соглашению № 075-15-2021-663.

вень безопасности и эффективности взрывных работ. Особенно актуален данный вопрос для крупных горнодобывающих предприятий с применением горного оборудования на электроприводном ходу в связи со сложностью отвода оборудования от взрыва в сравнении с перемещением техники на дизельном приводе. В данной статье приведен пример решения проблемы безопасного расстояния по разлету отдельных кусков горной массы для механизмов на примере Солнцевского угольного разреза (СУР), где в 2021 г. проводились исследования в этом направлении при содействии института горного дела ДВО РАН [1].

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Безопасные расстояния по разлету кусков горной массы ($r_{\text{разл}}$) от места взрыва до механизмов определяются в проектах буровзрывных работ с учетом конкретных условий (горно-геологических, горнотехнических и других) [2]. Как правило, в отсутствие общепринятой формулы расстояние, безопасное для механизмов по разлету отдельных кусков породы при взрывании скважинных зарядов, рассчитанных на разрыхляющее действие, определяется согласно Правилам безопасности при производстве, хранении и применении взрывчатых материалов промышленного назначения по формуле:

$$r_{\text{разл}} = 1250 \times \eta_3 \sqrt{\frac{f}{1 + \eta_{\text{заб}}} \times \frac{d}{a}}, \quad (1)$$

где η_3 – коэффициент заполнения скважины взрывчатым веществом; $\eta_{\text{заб}}$ – коэффициент заполнения скважин забойкой; f – коэффициент крепости пород по шкале проф. М.М. Протождяконова; d – диаметр взрывающей скважины, м; a – расстояние между скважинами в ряду, м.

Однако формула (1) предназначена для расчета $r_{\text{разл}}$ относительно людей. В связи с чем, Б.Н. Кутузов [3] полученное значение $r_{\text{разл}}$ для горнотранспортного оборудования рекомендует принимать примерно в два раза меньшим, чем для людей.

Радиусы опасных зон по разлету кусков взорванного грунта в зависимости от показателя действия взрыва и ЛНС приводятся в таблице Технических правил ведения взрывных работ (ВР) на дневной поверхности [4] относительно зарядов на выброс и сброс, поэтому во многих случаях к определению безопасных расстояний при взрывании скважинных зарядов рыхления привлекают специализированные организации (научные, экспертные).

Расчет по формуле (1) показывает, что при сохранении удельного расхода ВМ радиус разлета кусков ($r_{\text{разл}}$) увеличивается с увеличением глубины скважин, коэффициента заполнения скважины ВВ и с увеличением длины забойки (при коэффициенте заполнения скважины забойкой, равным 1), что часто не подтверждается многолетней практикой ведения ВР. Соответственно, вопрос определения безопасных расстояний необходимо решать с учетом конкретных условий на основании проведения систематических опытно-промышленных испытаний в разных условиях (технологических и горно-геологических).

В работе В.К. Рубцова [5] говорится о том, что при больших или меньших углах воронки взрыва сосредоточенного заряда выброса горизонтальная дальность разлета будет меньше за счет влияния силы тяжести, и для получения заданного показателя взрыва необходимо увеличить массу заряда. Однако при применении метода скважинных зарядов масса зарядов традиционно увеличивается по мере увеличения глубины скважин и одновременном увеличении расстояния от устья скважины до верхней части заряда. Поэтому увеличение коэффициента заполнения скважины ВВ далеко не всегда сопровождается увеличением дальности разлета породы, особенно если принимать во внимание современный подход к взрывной подготовке горной массы с применением больших междускажинных замедлений [6], позволяющих минимизировать развал и разлет горной массы.

В работе Я.М. Пучкова [7] подробно описаны методики натуральных наблюдений за величиной максимального радиуса разлета осколков породы и приведены частные и общий законы изменения соответствующего радиуса в зависимости от параметров скважинных зарядов и физико-механических свойств взрывааемых пород и руд. Соответствующий анализ позволил установить, что при взрыве серии скважинных зарядов в породе или руде радиус максимального разлета осколков прямо пропорционален средней массе заряда в скважине и обратно пропорционален разрушаемому объему массива, находящемуся выше уровня заряда. При этом начальная скорость вылета, следовательно, и максимальная дальность полета осколков зависят от величины неактивной (верхней) части скважины. Однако в указанной работе также не учитывался эффект больших интервалов замедлений [8]. А именно, при увеличенных интервалах замедлений создается необходимый запас времени для прорастания трещин на полную глубину и их слияния, вследствие чего продукты взрыва проникают в образованные трещины с раскливающим эффектом, что приводит к снижению выброса породных кусков.

В целях уточнения формулы определения безопасного расстояния по разлету кусков для механизмов в 2022 г. сотрудниками Института горного дела ДВО РАН совместно со специалистами Солнцевского угольного разреза проведены натурные измерения дальности разлета кусков горной массы при разных параметрах БВР в разных горно-геологических условиях. На *рис. 1* представлены фото производства измерений дальности разлета отдельных кусков горной массы при помощи маркшейдерской службы СУР.

В ходе измерений были получены фактические результаты разлета отдельных кусков горной массы. В *таблице* частично представлены соответствующие результаты.

В ходе проведения теоретических и практических исследований подтверждена гипотеза о существенном влиянии расстояния от заряда ВВ до устья скважины (*рис. 2*) на дальность разлета отдельных кусков породы.

И в результате корректировки базовой формулы (1) по определению радиуса безопасного расстояния по разле-



Рис. 1. Измерения дальности разлета отдельных кусков породы на СУР
 Fig. 1. Measurements of the fly ranges of individual rock pieces at the Solntsevsky Coal Mine

Результаты фактического разлета отдельных кусков породы
 Measurement results of the actual fly ranges of individual rock pieces

Параметры БВР	Скважина №		
	1	2	3
Глубина скважины, м	11		
Удельный расход ВВ, кг/м ³	0,33	0,3	0,25
Длина заряда, м	7,4	6,7	5,6
Длина верхней части скважины, свободной от заряда ВВ, м	3,6	4,3	5,4
Фактический разлет отдельных кусков, м	45-120	31-90	11-50

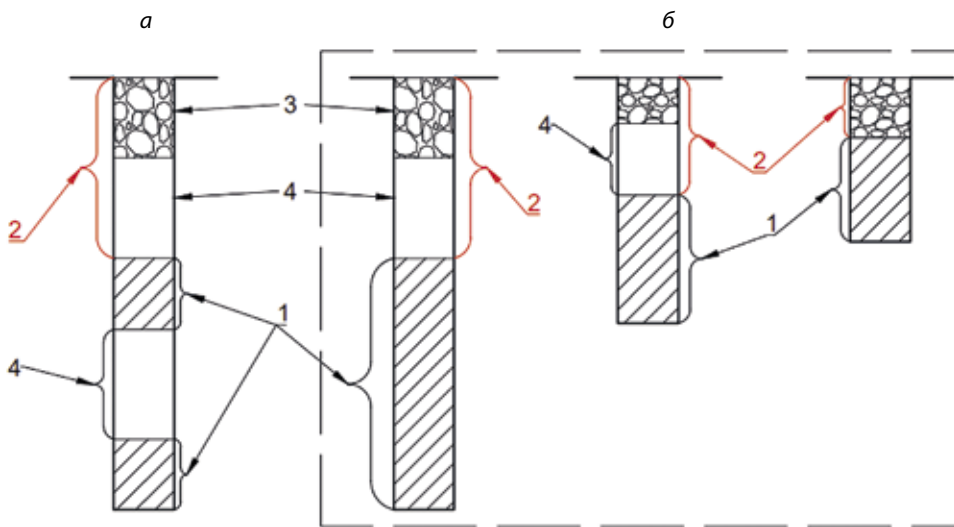


Рис. 2. Конструкция заряда (а – рассредоточенный, б – сплошной): 1 – заряд ВВ, 2 – расстояние от заряда ВВ до устья скважины, 3 – забойка, 4 – инертный промежуток
 Fig. 2. Charge design (a – decked, б – continuous): 1 – explosive charge; 2 – distance from explosive charge to the borehole head; 3 – stemming; 4 – inert gap

ту отдельных кусков породы до механизмов при взрывании скважинных зарядов рыхления относительно условий СУР эмпирическим способом получена уточненная формула:

$$r_{\text{разл}} = 1250 \times \eta_{\text{з}} \sqrt{\frac{f}{1 + \eta_{\text{заб}}} \times \frac{d}{a}} \times \eta_{\text{уз}} \quad (2)$$

где $\eta_{\text{з}}$ – коэффициент удаления заряда ВВ от устья скважины.

Коэффициент удаления заряда ВВ от устья скважины $\eta_{\text{з}}$ рассчитывается по формуле:

$$\eta_{\text{з}} = \frac{2}{L_{\text{нз}}}, \quad (3)$$

где $L_{\text{нз}}$ – расстояние от заряда ВВ до устья скважины (м), сокращенно – длина недозаряда (м).

При использовании формулы (2) в любом случае рекомендуется принимать безопасное расстояние по разлету отдельных кусков для механизмов распорядком массового взрыва не менее 100 м в связи со сложностью исключить локальный пересып заряда ВВ при механизированном зарядании скважин.

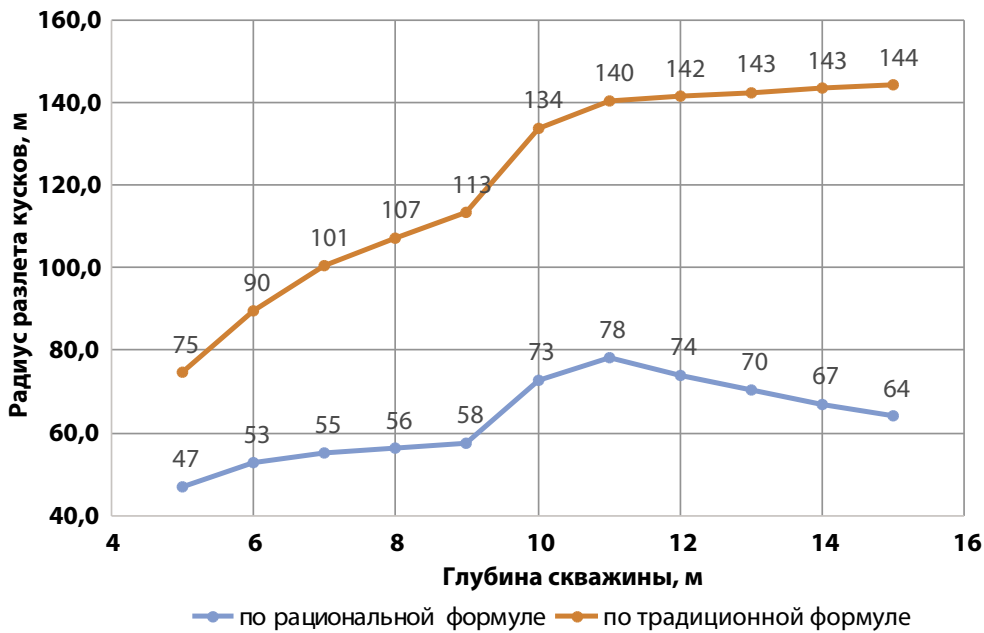


Рис. 3. Графики зависимости $r_{\text{разл}}$ от глубины скважины при применении базовой (традиционной) и уточненной (рациональной) формул

Fig. 3. Dependence graphs of $r_{\text{разл}}$ versus borehole depth when applying basic (traditional) and refined (rational) equations

На рис. 3 приведены графики зависимости безопасного расстояния по разлету отдельных кусков горной массы от глубины скважины при применении базовой (1) и уточненной формул (2).

Из графиков следует, что при уточненной формуле $r_{\text{разл}}$ уменьшается примерно в два раза.

ВЫВОДЫ

Горные породы являются многокомпонентными средами, состоящими из различных твердых частиц. В зависимости от количества воды, воздуха и твердых частиц, и связей между ними свойства грунтов и горных пород сильно меняются. При естественном залегании грунт и горная порода в каждом месте, как правило, представляют собой слоистую среду разной толщины, свойства каждого слоя определяются составом твердых частиц, воздуха и жидкости [9]. Все это делает задачу изучения движения горной породы при взрыве крайне трудной и неопределенной, поскольку каждый участок естественной среды требует, по существу, индивидуальных подходов.

Применение уточненной формулы с приемлемым риском [10] позволило в 2022 г. относительно 2021 г. принимать распорядком массового взрыва радиус опасной зоны по разлету отдельных кусков горной массы для механизмов на СУР в два и более раза меньше относительно традиционного расчета, что повлияло на повышение экономического эффекта за счет уменьшения расстояния отгона техники и механизмов от места взрыва, увеличения среднего объема взрывного блока в 1,35 раза и снижения на 24% количества массовых взрывов в среднем за месяц.

Уточненная локальная формула определения радиуса опасной зоны по разлету отдельных кусков горной массы для механизмов при взрывании скважинных зарядов актуальна для условий СУР при примене-

нии интервалов замедлений между скважинными зарядами ВВ 100 мс и более.

Список литературы

1. Черских О.И., Галимьянов А.А., Гевало К.В. Совершенствование буровзрывных работ на Солнцевском угольном разрезе // Уголь. 2022. № 7. С. 44-51. DOI: 10.18796/0041-5790-2022-7-45-52.
2. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Правила безопасности при производстве, хранении и применении взрывчатых материалов промышленного назначения». п. 779. В редакции Приказа Ростехнадзора от 25.05.2022 № 171.
3. Кутузов Б.Н. Методы ведения взрывных работ. М.: Горная книга, 2009. С. 388.
4. Технические правила ведения взрывных работ на дневной поверхности. М.: Недра, 1972. С. 340.
5. Рубцов В.К. Уточненная формула для расчета сосредоточенных зарядов выброса // Горный журнал. 1974. № 7. С. 44-46.
6. Шевкун Е.Б., Плотников А.Ю. Влияние схем взрывания на процессы в зоне предварительного разрушения // Маркшейдерия и недропользование. 2021. № 4 (114). С. 23-34.
7. Пучков Я.М. Кинематика и динамика осколков при массовых взрывах в карьерах. Екатеринбург: УрО РАН, 2007. 416 с.
8. Костюнина О.А., Шевкун Е.Б., Лещинский А.В. Влияние интервалов замедлений на разлет осколков горных пород // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2021. № 12-1. С. 107-120.
9. Физика взрыва / Ф.А. Баум, Л.П. Орленко, К.П. Станюкович и др. М., 1975. С. 704.
10. Карта боя с опасными производственными ситуациями. Приложение 1 к практическому пособию «Безопасность производства» / В.Б. Артемьев, В.А. Галкин, И.Л. Кравчук и др. // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). Отдельная статья. 2015. № 5. (Спец. вып. 21). 40 с.

Original Paper

UDC 622.233.016.25 © O.I. Cherskikh, A.A. Galimyanov, S.I. Korneeva, V.I. Mishnev, 2023
 ISSN 0041-5790 (Print) • ISSN 2412-8333 (Online) • Ugol' – Russian Coal Journal, 2023, № 5, pp. 50-54
 DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2023-5-50-54>

Title

REFINED FORMULA FOR DETERMINING THE RADIUS DANGEROUS ZONE FOR THE SCATTERING OF INDIVIDUAL PIECES OF ROCK MASS DURING THE EXPLOSION OF BOREHOLE CHARGES

Authors

Cherskikh O.I.¹, Galimyanov A.A.², Korneeva S.I.², Mishnev V.I.²

¹ Solntsevsky Coal Mine LLC, Shakhtersk, 694910, Russian Federation

² Mining Institute of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, Khabarovsk, 680000, Russian Federation

Authors information

Cherskikh O.I., PhD (Engineering), Director,
 e-mail: cherskikhoi@eastmining.ru

Galimyanov A.A., PhD (Engineering), Leading Researcher,
 Head of the Rock Destruction Sector, e-mail: azot-1977@mail.ru

Korneeva S.I., PhD (Engineering), Chief Scientific Secretary,
 Leading Researcher, e-mail: s_korneeva@mail.ru

Mishnev V.I., Engineer of the Rock Destruction sector,
 e-mail: mishnev.vl@mail.ru

Abstract

In order to increase the level of efficiency of work on the preparation of rock mass for excavation by drilling and blasting, the formula for calculating the radius of the danger zone for the scattering of pieces of rock mass for mechanisms in the production of mass explosions was empirically clarified on the example of the Solntsevskiy coal mine. The use of this formula made it possible to reduce the radius of the danger zone by two or more times with an acceptable risk on the example of an individual enterprise, while increasing the economic effect. The article substantiates the relevance of applying an

individual approach to the calculation of rock movement during an explosion. It is taken into account that the range of expansion is proportional to the kinetic energy of the rock, which is a certain fraction of the charge energy. This article attempts to fill a significant gap in the literature on the physics of explosion and the processes that occur when an explosion affects the environment.

Keywords

The coefficient of removal of the explosive charge from the wellhead; The formula for determining the radius, the danger zone for mechanisms; The scattering of individual pieces of rock, Safe distances, Blasting.

References

- Cherskikh O.I., Galimyanov A.A. & Gevalo K.V. Enhancing drilling and blasting operations at the Solntsevo coal strip mine. *Ugol'*, 2022, (7), pp. 45-52. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2022-7-45-52.
- 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. (In Russ.).
- Kutuzov B.N. Methods of conducting blasting operations. *M/ Mining Book*, 2009. p. 388.
- Technical rules for conducting blasting operations on the daytime surface. Moscow, Nedra Publ., 1972, p. 340. (In Russ.).
- Rubtsov V.K. A refined formula for calculating concentrated ejection charges. *Gornyj zhurnal*, 1974, (7), pp. 44-46. (In Russ.).
- Shevkun E.B. & Plotnikov A.Yu. The influence of blasting schemes on processes in the zone of preliminary destruction. *Markshejderiya i nedropolzovanie*, 2021, 4 (114), pp. 23-34. (In Russ.).
- Puchkov Ya.M. Kinematics and dynamics of fragments during mass explosions in quarries. Yekaterinburg, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 2007, 416 p. (In Russ.).
- Kostyunina O.A., Shevkun E.B. & Leshchinsky A.V. The influence of deceleration intervals on the scattering of rock fragments. *Gornyj informatsionno-analyticheskij bulletin*, 2021, (12-1), pp. 107-120. (In Russ.).
- Baum F.A., Orlenko L.P., Stanyukovich K.P., Chelyshev V.P. & Shechter B.I. Physics of Explosion. Moscow, 1975, p. 704. (In Russ.).
- Artemyev V.B., Galkin V.A., Kravchuk I.L., Makarov A.M. & Galkin A.V. Battle map with dangerous industrial situations. Appendix 1 to the practical manual "Production safety". A separate article by *Gornyj informatsionno-analyticheskij bulletin*, 2015, (5). (Special issue 21), 40 p. (In Russ.).

Acknowledgements

The studies were carried out using the resources of the Center for Shared Use of Scientific Equipment "Center for Processing and Storage of Scientific Data of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences", funded by the Russian Federation represented by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation under project No. 075-15-2021-663.

For citation

Cherskikh O.I., Galimyanov A.A., Korneeva S.I. & Mishnev V.I. Refined formula for determining the radius dangerous zone for the scattering of individual pieces of rock mass during the explosion of borehole charges. *Ugol'*, 2023, (5), pp. 50-54. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2023-5-50-54.

Paper info

Received January 30, 2023

Reviewed March 15, 2023

Accepted April 27, 2023

РЕКЛАМА

НПП ЗАВОД МДУ

ООО НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ
 «ЗАВОД МОДУЛЬНЫХ
 ДЕГАЗАЦИОННЫХ УСТАНОВОК»

ОБОРУДОВАНИЕ
 ДЛЯ ДЕГАЗАЦИИ И УТИЛИЗАЦИИ
 МЕТАНА

МЕТАН ПОД КОНТРОЛЕМ!

РОССИЯ
 Г. НОВОКУЗНЕЦК
 ШОССЕ СЕВЕРНОЕ, 8

WWW.ZAVODMDU.RU
 INFO@ZAVODMDU.RU
 ТЕЛ.: +7 (3843) 991-991