

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.152.44>

## О СОХРАНЕНИИ КРИСТАЛЛОВ В КИМБЕРЛИТОВОЙ РУДЕ ПРИ ОТБОЙКЕ

Научная статья

Гутник В.Ф.<sup>1\*</sup>, Никульшеев А.М.<sup>2</sup>, Анушенков А.Н.<sup>3</sup><sup>1</sup>АО «Бамтоннельстрой-Мост», Москва, Российская Федерация<sup>2</sup>АК «Алроса» (ПАО), Красноярск, Российская Федерация<sup>3</sup>Сибирский Федеральный Университет, Красноярск, Российская Федерация

\* Корреспондирующий автор (gutnik.vf[at]yandex.ru)

**Аннотация**

Эффективность добычи полезных ископаемых, в части разработки рудного тела, определяется такими параметрами, как потери и разубоживание [1], которые относят к числу важнейших плановых, отчётных и контрольных показателей оценки качества работы горнодобывающих предприятий, комплексно учитывающих экономические, геологические, технологические и организационные условия на рудниках и карьерах. На примере рудника «Удачный» рассмотрена технология добычи алмазов с применением буровзрывных работ (БВР). Выявлены факторы, влияющие на выход негабарита и разрушение добываемых кристаллов. Произведён расчёт необходимых параметров, позволяющих уменьшить выход негабарита и обеспечить сохранность добываемых кристаллов. На основании этого расчёта произведена корректировка паспорта БВР, предложен метод совершенствования отбойки алмазосодержащих кимберлитов [2]. Выполнен экономический анализ, по итогам которого подтверждена эффективность предложенного метода, относительно существующего.

**Ключевые слова:** кимберлит, кристалл, БВР, руда, линия наименьшего сопротивления.

## ON THE PRESERVATION OF CRYSTALS IN KIMBERLITE ORE DURING BREAKAGE

Research article

Gutnik V.F.<sup>1\*</sup>, Nikulsheev A.M.<sup>2</sup>, Anushenkov A.N.<sup>3</sup><sup>1</sup>Bamtonnelstroy-Most JSC, Moscow, Russian Federation<sup>2</sup>Alrosa JSC (PJSC), Krasnoyarsk, Russian Federation<sup>3</sup>Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russian Federation

\* Corresponding author (gutnik.vf[at]yandex.ru)

**Abstract**

The efficiency of mineral extraction, in terms of ore body development, is determined by such parameters as losses and dilution [1], which are among the most important planning, reporting and control indicators for assessing the quality of work of mining enterprises, taking into account economic, geological, technological and organizational conditions at mines and open pits. On the example of the 'Udachny' mine, the technology of diamond mining with the use of drilling and blasting operations (DBO) was reviewed. The factors influencing the output of oversize and destruction of extracted crystals are identified. The necessary parameters were calculated to reduce the oversize output and ensure the safety of mined crystals. On the basis of this calculation, the DBO passport was adjusted and a method of improving the diamond-bearing kimberlite stripping was proposed [2]. An economic analysis was performed, which confirmed the effectiveness of the proposed method relative to the existing one.

**Keywords:** kimberlite, crystal, DB, ore, line of least resistance.

**Введение**

Основным направлением экономического и социального развития нашего общества предусматривается интенсификация производства на базе научно-технического прогресса. При этом важная роль отводится горнодобывающей промышленности.

Развитие промышленного производства обуславливает повышенную потребность в основных видах минерального сырья и продуктов его переработки. Для чего необходимо значительное наращивание объемов добычи полезных ископаемых с сохранением качества добываемого сырья [1]. Важную роль в процессе добычи полезного ископаемого отводят отбойке руд. Для этого широко применяются буровзрывные работы. Причем, в зависимости от степени оптимизации параметров буровзрывных работ, могут существенно изменяться технико-экономические показатели всего процесса очистной выемки.

Однако до настоящего времени не предложено общепризнанной теории разрушения горных пород взрывом. В связи с этим имеются самые различные, а иногда совершенно противоположные концепции механизма разрушения горных пород.

Важное место в комплексе научно-технических мероприятий занимает разработка технологий, направленных на полное извлечение из недр качественного кристаллосодержащего сырья [2], основанных на щадящем режиме динамического воздействия взрыва, обеспечивающего сохранность добываемых кристаллов.

В настоящее время разработаны технологии буровзрывных работ с использованием мало плотных взрывчатых веществ местного приготовления, снижающих интенсивность напряжений в ближайшей зоне почти на два порядка, обуславливая тем самым повышение выхода крупных классов на 30-40%, чем при использовании обычных

взрывчатых веществ заводского приготовления. Однако авторы разработанной технологии определяют параметры взрывания и характеристики взрывчатого вещества экспериментально, без каких-либо научно-технических обоснований этих характеристик.

Отдельные положения данной статьи написаны с помощью нейросети Яндекс.

### Принцип исследования

Известно, что разрушение массива происходит:

1. В зоне смятия – за счет критических напряжений на сжатие.
2. В зоне трещинообразования – за счет критических напряжений на срез.

Учитывая эти обстоятельства, представляется возможным провести научное обоснование необходимых технических характеристик применяемого ВВ, в зависимости от конкретных горно-геологических и горнотехнических условий, при которых будет обеспечена сохранность добываемых кристаллов:

1. Напряжение в зоне смятия, возникающее при взрыве ВВ, должно быть ниже предела прочности на сжатие добываемых кристаллов, то есть:

$$\sigma_{сж} < [\sigma_{к}]$$

Где  $\sigma_{сж}$  – напряжение, возникающее в зоне смятия, МПа;  $[\sigma_{к}]$  – предел прочности на сжатие добываемых кристаллов, МПа

2. Напряжение в зоне трещинообразования, возникающее при взрыве ВВ, должно быть ниже предела прочности на срез добываемых кристаллов, то есть:

$$\tau_{тр} < [\tau_{к}]$$

Где  $\tau_{тр}$  – напряжение, возникающее в зоне трещинообразования, МПа;  $[\tau_{к}]$  – предел прочности на срез добываемых кристаллов, МПа

Учитывая вышеизложенное, определяем предельно допустимую нагрузку на параметры взрывания массива, для обеспечения сохранности добываемых кристаллов:

1. В зоне смятия (максимальная нагрузка возникает на контакте заряд-массив):

$$P_1 = 0,5 \cdot [\sigma_{к}] \quad (1)$$

Где  $P_1$  – взрывная нагрузка на заряд-массив, МПа;  $[\sigma_{к}]$  – предельно допустимая нагрузка на кристалл при сжатии, МПа

2. В зоне трещинообразования (максимальная нагрузка возникает на контакте: зона смятия-зона трещинообразования):

$$P_2 = \frac{[\tau_{к}]^2}{\sigma_{м}} \quad (2)$$

Где  $P_2$  – предельно допустимая нагрузка на контакте зон смятия – трещинообразования, МПа;  $[\tau_{к}]$  – предельно допустимая нагрузка на кристалл при срезе, МПа;  $\sigma_{м}$  – предел прочности вмещающих пород на сжатие, МПа.

Из двух полученных значений определяем предельно допустимую взрывную нагрузку  $P$ , обеспечивающую сохранность добываемых кристаллов:  $P = \min\{P_1, P_2\}$

$$\text{Зная } P \text{ и то, что } P = 0,125gD^2 \quad (3)$$

(где  $g$  – плотность заряжения, кг/м<sup>3</sup>;  $D$  – скорость детонации применяемого ВВ, м/с) которое создаст при взрыве расчётное давление.

На примере рудника «Удачный» приведём пример расчёта параметров БВР, при отбойке алмазосодержащих кимберлитов [3], [4]. Крепость кимберлитов – 60 МПа, предел прочности на срез – 18 МПа, предельно допустимая нагрузка на алмаз при сжатии – 1961 МПа, предельно допустимая нагрузка на алмаз при срезе – 588 МПа, диаметр скважин – 102 мм, Заряжание скважин производится ВВ Граммонит М 21, плотность заряжения 1200 кг/м<sup>3</sup>.

### Расчёт параметров БВР

После выбора подходящего заводского ВВ с нужными характеристиками [5] вычислим параметры взрывания для конкретных горно-геологических и горнотехнических условий [6], [7], [9], [10]:

1. Вычислим допустимую взрывную нагрузку на массив в зоне смятия по формуле 1:

$$P_1 = 0,5 \cdot [\sigma_{к}] = 0,5 \cdot 1961 = 980 \text{ МПа}$$

2. Вычислим допустимую взрывчатую нагрузку на массив в зоне трещинообразования по формуле 2:

$$P_2 = \frac{[\tau_{к}]^2}{\sigma_{м}} = \frac{588^2}{60} = 5762 \text{ МПа}$$

3. Определим предельно допустимую нагрузку на массив:

$$P = 980 \text{ МПа}$$

4. Вычислим взрывную нагрузку на массив в зоне смятия по формуле 3:

$$P = \frac{gD^2}{8} = \frac{1200 \cdot 3,3^2}{8} = 1633,5 \text{ МПа}$$

Как мы видим, давление, развиваемое продуктами детонации ВВ на предприятии, превышает предельно допустимую нагрузку на алмаз, что приводит его к сильному разрушению.

Для того чтобы получить предельно допустимую нагрузку (980 МПа) – уменьшим плотность заряжения ВВ (на руднике «Удачный» она составляет 1200 кг/м<sup>3</sup>) т.к. скорость детонации изменить мы не можем

$$P = \frac{gD^2}{8} \Rightarrow g = \frac{980 \cdot 8^2}{3,3^2} = 719 \text{ кг/м}^3$$

5. Вычислим радиус образующейся взрывной воронки для монолита:

$$R'_p = d_{см} \cdot p^{0,75} \cdot \sigma_{сж}^{-0,25} \cdot \tau_{ср}^{-0,5} = 0,102 \cdot 980^{0,75} \cdot 60^{-0,25} \cdot 18^{-0,5} = 1,5 \text{ м} \quad (4)$$

Где  $d_{см}$  – диаметр скважины, м;  $p$  – предельно допустимая нагрузка;  $\sigma_{ск}^{-0,25}$  – предел прочности на сжатие;  $\tau_{ср}$  – предел прочности на срез.

6. Вычисляем коэффициент структурного ослабления:

$$K_c = \frac{1}{0,97 + 0,13 \frac{R_p}{T}} = [0,97 + 0,13 \frac{1,5}{0,5}]^{-1} = 0,7 \quad (5)$$

7. Вычислим радиус взрывной воронки для условий отбойки кимберлитов:

$$R_p = R'_p \cdot K_C^{-0,5} = 1,5 \cdot 0,7^{-0,5} = 1,8 \text{ м} \quad (6)$$

8. Вычисляем линию наименьшего сопротивления:

$$W = 1,8 \cdot \cos 30^\circ = 1,6 \text{ м.}$$

Таким образом, использование полученных закономерностей по определению зон смятия и трещинообразования в горном массиве позволяет с большой степенью точности определить параметры отбойки кристаллосодержащих руд, обеспечивая при этом сохранность добываемых кристаллов.

На основе вышперечисленного построим схему бурения вееров при отбойке основного массива на подэтажных горизонтах, с диаметром скважин 102 мм. (рис.2), также сделаем расчет параметров буровзрывных работ (табл. 2) и сравним уже с имеющимися данными с рудника «Удачный» (рис. 1) и (табл. 1).

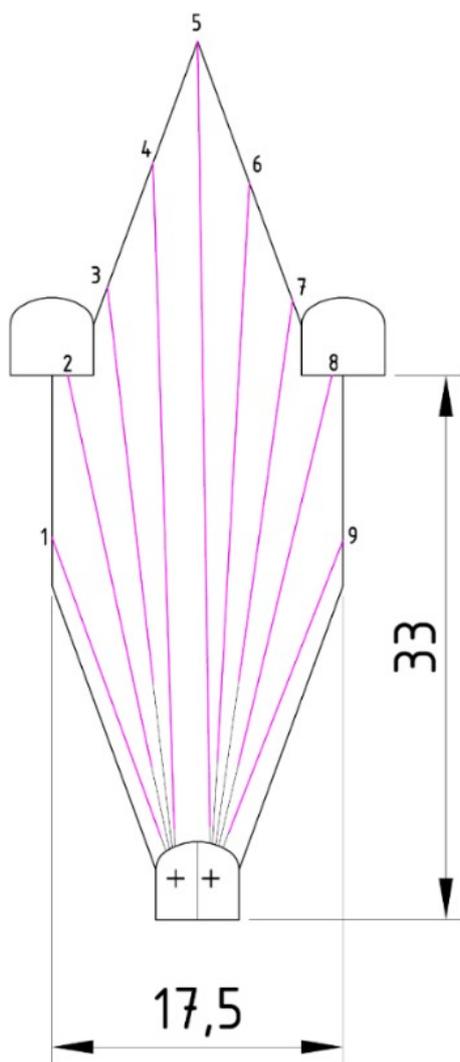


Рисунок 1 - Схема разбуривания вееров при отбойке основного массива на подэтажных горизонтах

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.152.44.1>

Примечание:  $\varnothing$  скважин 102 мм

Таблица 1 - Параметры БВР в подэтаже -365/-398 м

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.152.44.2>

№ скважины	Длина скважины, м	Длина заряжаемой части, м	Величина недозаряда, м	Масса заряда взрывчатых веществ, кг
1	20,2	19,2	1	173
2	29,4	24,4	5	220
3	34,2	24,2	10	218
4	41,5	40,5	1	365
5	48,6	47,6	1	428
6	40,1	35,1	5	316
7	33,3	23,3	10	210
8	29,3	24,3	5	219
9	20	19,0	1	171
Всего	296,6	257,6	39	2320

Таблица 2 - Показатели взрыва единичного веера в подэтаже -365/-398 м

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.152.44.3>

№	Показатель	Единица измерения	Всего
1	Объем отбиваемой руды	мЗ	1943
		тн	4896
2	Линия наименьшего сопротивления (ЛНС)	м	3,5
3	Диаметр скважин	мм	102
4	Средняя глубина скважин	м.	33,0
5	Общая длина скважин	м.	296,6
6	Количество скважин	шт.	9
7	Заряжаемая длина скважин	м	257,6
8	Количество ВВ		
	Граммонит М 21	кг	2318
	ИСКРА-Ш (ИСКРА-Т)	шт.	18
9	Удельный расход ВВ	кг/мЗ	1,2
10	Выход руды с 1 п. м. скважины	т/м	16,5

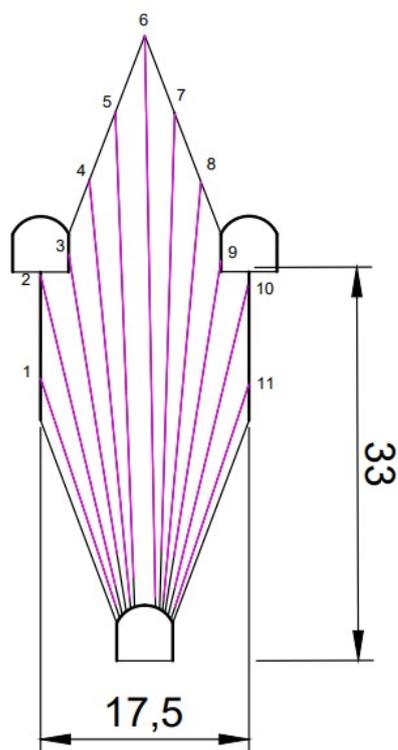


Рисунок 2 - Схема разбуривания вееров при отбойке основного массива на подэтажных горизонтах, с диаметром скважин 102 мм при совершенствовании буровзрывных работ  
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.152.44.4>

Таблица 3 - Параметры буровзрывных работ при совершенствовании буровзрывных работ  
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.152.44.5>

№ скважины	Длина скважины, м	Длина заряжаемой части, м	Величина недозаряда, м	Масса заряда взрывчатых веществ, кг
1	21,3	20,5	0,8	120,4
2	29,4	27	2,4	158,5
3	30,5	25,7	4,8	150,9
4	36,4	35,6	0,8	209
5	41,9	39,5	2,4	231,9
6	48,4	47,6	0,8	279,5
7	41,9	37,1	4,8	217,8
8	36,7	35,9	0,8	210,8
9	30,2	25,4	4,8	149,1
10	28,7	26,3	2,4	154,4
11	21	20,2	0,8	118,6
Всего	366,4	304,9	25,6	2000,9

Таблица 4 - Показатели взрыва при совершенствовании буровзрывных работ  
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.152.44.6>

№№ п/п	Показатель	Единица измерения	Всего
1	Объем отбиваемой руды	м <sup>3</sup>	1285
		тн	3238

№№ п/п	Показатель	Единица измерения	Всего
2	Линия наименьшего сопротивления (ЛНС)	м	1,6
3	Диаметр скважин	мм	102
4	Средняя глубина скважин	м.	31,4
5	Общая длина скважин	м.	345,4
6	Количество скважин	шт.	11
7	Заряжаемая длина скважин	м	304,9
8	Количество ВВ		
	ВВ	кг	2009,7
	ИСКРА-Ш (ИСКРА-Т)	шт.	22
9	Удельный расход ВВ	кг/м <sup>3</sup>	1,56
10	Выход руды с 1 п. м.	т/м	9,38

Как мы видим, после совершенствования буровзрывных работ, количество скважин в веере увеличилось на 2, соответственно общая длина скважин увеличилась на 48,5 м., но за счет того, что мы уменьшили плотность заряжения, масса заряда ВВ уменьшилась на 318 кг.

#### Расчёт и сравнение экономических показателей

Зная параметры буровзрывных работ, стоимость ВВ и бурения скважин на 1 пог. м., рассчитаем и сравним затраты на ВВ и бурения для исходного веера и веера при совершенствовании буровзрывных работ.

Затраты на бурение:

$$Z_6 = l_{\text{общ}} \cdot C_6, \text{ руб} \quad (7)$$

где  $l_{\text{общ}}$  – общая длина всех скважин, м.;  $C_6$  – стоимость бурения скважины диаметром 102 мм на, 1 погонный метр, руб.

Затраты на бурение до совершенствования буровзрывных работ:

$$Z_{61} = 296,6 \cdot 1\,220 = 361\,852 \text{ руб}$$

Затраты на бурение после совершенствования буровзрывных работ:

$$Z_{62} = 345,1 \cdot 1\,220 = 421\,022 \text{ руб}$$

Затраты на взрывчатое вещество:

$$Z_{\text{ВВ}} = m_{\text{ВВ}} \cdot C, \text{ руб} \quad (8)$$

Затраты на ВВ (Граммонит М21) до совершенствования буровзрывных работ:

$$Z_{\text{ВВ1}} = 2\,328 \cdot 150 = 349\,200 \text{ руб}$$

Затраты на ВВ (Граммонит М21) после совершенствования буровзрывных работ:

$$Z_{\text{ВВ2}} = 2\,009,7 \cdot 150 = 301\,455 \text{ руб}$$

Из расчетов видно, что затраты на бурение увеличились, а на ВВ уменьшились.

Одним из недостатков скважинной отбойки с веерным расположением является повышенный выход негабарита. Дробление негабарита производится взрывным способом, накладными зарядами, также стационарными и передвижными бутобоями. На руднике Удачный для этого выделяется целая смена. При этом затраты на вторичное дробление в процентном соотношении к затратам на отбойку могут составлять скважинами ~ 50–60%. Один из главных недостатков – необходимость в людских ресурсах, которые будут подвергаться риску. Также дробление негабаритов вызывают простои в работе, связанные с необходимостью перерывов на производство взрывных работ и проветривание забоя после взрыва.

Рассчитаем выход негабарита, %

По формуле А.О. Баранова [11] рассчитаем выход негабарита, до и после совершенствования буровзрывных работ, на руднике Удачный:

$$k_{\text{н}} = \frac{151}{(45 - \frac{W}{d})}, \% \quad (9)$$

где  $W$  – линия наименьшего сопротивления, м;  $d$  – диаметр скважины, м.

До уменьшения плотности заряда:

$$k_{\text{н}} = \frac{151}{(45 - \frac{3,6}{0,102})} = 14\%$$

После уменьшения плотности заряда:

$$k_{\text{н}} = \frac{151}{(45 - \frac{1,6}{0,102})} = 5\%$$

Как мы видим выход негабарита уменьшился почти в 3 раза, что уменьшает затраты на его дробление.

В среднем на один забой затрачивается около 24 тыс. руб. для дробления негабарита, после совершенствования буровзрывных работ, этот показатель может уменьшиться до 8 тыс. руб. что, несомненно, в объемах всего рудника, значительно снизит лишние затраты и простои.

Таблица 5 - Сравнение экономических показателей схем до и после совершенствования БВР

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.152.44.7>

Показатель	Затраты, руб.	
	До совершенствования БВР	После совершенствования БВР
Бурение	361 852	421 022
Граммонит М21	349 200	301 455
Выход негабарита	24 000	8 000
Итого	735 052	730 477

**Заключение**

При сравнении вариантов отбойки, алмазосодержащей руды – кимберлит, при системе разработки подэтажным обрушением с торцовым выпуском, проектного варианта и предложенного, при теоретическом анализе, были получены следующие результаты: после совершенствования буровзрывных работ, за счет изменения скважинной сетки, улучшились экономические показатели, общая стоимость затрачиваемых средств снизилась на 5 тыс. руб. в среднем на один забой. Также была достигнута главная цель – это сохранение целостности кристаллов, которая при продаже будет напрямую влиять на стоимость продукта.

**Конфликт интересов**

Не указан.

**Conflict of Interest**

None declared.

**Рецензия**

Все статьи проходят рецензирование. Но рецензент или автор статьи предпочли не публиковать рецензию к этой статье в открытом доступе. Рецензия может быть предоставлена компетентным органам по запросу.

**Review**

All articles are peer-reviewed. But the reviewer or the author of the article chose not to publish a review of this article in the public domain. The review can be provided to the competent authorities upon request.

**Список литературы / References**

- Пути снижения потерь и разубоживания руды при отработке приконтурных запасов системами разработки с обрушением руды и вмещающих пород // Вестник МГТУ им. Г.И. Носова. — 2007. — № 1 (17). — С. 14–18.
- Доусон Дж. Кимберлиты и ксенолиты в них / Дж. Доусон. — М.: Мир, 1983. — 300 с.
- Харьков А.Д. Коренные месторождения алмазов мира / А.Д. Харьков, Н.Н. Зинчук, А.И. Крючков. — М.: Недра, 1998. — 554 с.
- Горячев Б.Е. Технология алмазосодержащих руд. Алмазы, кимберлиты, минералы кимберлитов. Минерально-сырьевая база алмазодобывающей промышленности мира: Учебник / Б.Е. Горячев. — М.: Издательский Дом МИСиС, 2010. — 326 с.
- Эквист Б.В. Технология и безопасность взрывных работ: учебник / Б.В. Эквист. — М.: Издательский Дом МИСиС, 2021. — 175 с.
- Кирсанов А.К. Методика расчёта параметров буровзрывных работ при проходке горизонтальных и наклонных выработок / А.К. Кирсанов, С.А. Вохмин, Г.С. Курчин [и др.] // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им Г. И. Носова. — 2014. — № 4 (48). — С. 5–9.
- Кирсанов А.К. Обзор существующих методик расчёта параметров зон разрушения породного массива / А.К. Кирсанов, С.А. Вохмин, Г.С. Курчин [и др.] // Современные проблемы науки и образования. — 2015. — № 1-1. — URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=19369> (дата обращения: 18.10.2024)
- Кирсанов А.К. Совершенствование методики расчета параметров буровзрывных работ при строительстве горизонтальных и наклонных горных выработок на примере рудников ЗФ ОАО «ГМК «Норильский никель» / А.К. Кирсанов С.А. Вохмин, Г.С. Курчин // Журнал Сибирского федерального университета. Техника и Технологии. — 2015. — Т. 8. — № 4. — С. 396–405.
- Kirsanov A.K. Destruction of rock upon blasting of explosive agent / A.K. Kirsanov, S.A. Vokhmin, G.S. Kurchin [et al.] // ARP Journal of Engineering and Applied Sciences. — 2017. — Vol. 12. — № 13. — P. 3978–3986.
- Меркулов А.В. Проектирование паспортов буровзрывных работ при проходке горных выработок: Учебное пособие / А.В. Меркулов, Ю.А. Сильченко, В.А. Скориков; Шахтинский институт ЮРГТУ. — Новочеркасск: ЮРГТУ, 2002. — 70 с.
- Баранов А.О. Расчет параметров технологических процессов подземной добычи руд / А.О. Баранов. — Москва : Недра, 1985. — 224 с.

**Список литературы на английском языке / References in English**

- Puti snizhenija poter' i razubozhivaniya rudy pri otrabotke prikonturnyh zapasov sistemami razrabotki s obrusheniem rudy i vmeshhajushih porod [Ways to reduce losses and dilution of ore during the development of short-circuit reserves by

mining systems with collapse of ore and host rocks] // Vestnik MGTU im. G.I. Nosova [Bulletin of the Moscow State Technical University named after G.I. Nosov]. — 2007. — № 1 (17). — P. 14–18. [in Russian]

2. Dawson J. Kimberlity i ksenolity v nih [Kimberlites and xenoliths in them] / J. Dawson. — M.: Mir, 1983. — 300 p. [in Russian]

3. Har'kiv A.D. Korennyye mestorozhdeniyaalmazov mira [The indigenous diamond deposits of the world] / A.D. Har'kiv, N.N. Zinchuk, A.I. Krjuchkov. — M.: Nedra, 1998. — 554 p. [in Russian]

4. Gorjachev B.E. Tehnologijaalmazosoderzhashhih rud. Almazы, kimberlity, mineraly kimberlitov. Mineral'no-syr'evaja bazaalmazodobyvajushhej promyshlennosti mira: Uchebnik [Technology of diamond-bearing ores. Diamonds, kimberlites, kimberlite minerals. The mineral resource base of the diamond mining industry of the world: Textbook] / B.E. Gorjachev. — M.: MISiS Publishing House, 2010. — 326 p. [in Russian]

5. Ekvist B.V. Tehnologija i bezopasnost' vzryvnyh работ: uchebnik [Technology and safety of blasting operations: textbook] / B.V. Ekvist. — M.: MISiS Publishing House, 2021. — 175 s. [in Russian]

6. Kirsanov A.K. Metodika raschjota parametrov burovzryvnyh работ pri prohodke gorizonta'nyh i naklonnyh vyrabotok [Methodology for calculating the parameters of drilling and blasting operations during the sinking of horizontal and inclined workings] / A.K. Kirsanov, S.A. Vohmin, G.S. Kurchin [et al.] // Vestnik Magnitogorskogo gosudarstvennogo tehničeskogo universiteta im G.I. Nosova [Bulletin of the Magnitogorsk State Technical University named after G.I. Nosov]. — 2014. — № 4 (48). — P. 5–9. [in Russian]

7. Kirsanov A.K. Obzor sushhestvujushhih metodik raschjota parametrov zon razrushenija porodnogo massiva [Review of existing methods for calculating parameters of rock mass destruction zones] / A.K. Kirsanov, S.A. Vohmin, G.S. Kurchin [et al.] // Sovremennyye problemy nauki i obrazovanija [Modern Problems of Science and Education]. — 2015. — № 1-1. — URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=19369> (accessed: 18.10.2024) [in Russian]

8. Kirsanov A.K. Sovershenstvovanie metodiki rascheta parametrov burovzryvnyh работ pri stroitel'stve gorizonta'nyh i naklonnyh gornyh vyrabotok na primere rudnikov ZF OAO «GMK «Noril'skij nikel'» [Improvement of the methodology for calculating the parameters of drilling and blasting operations during the construction of horizontal and inclined mine workings on the example of the mines of the ZF of OJSC MMC Norilsk Nickel] / A.K. Kirsanov S.A. Vohmin, G.S. Kurchin // Zhurnal Sibirskogo federal'nogo universiteta. Tehnika i Tehnologii [Journal Siberian Federal University. Engineering and Technology]. — 2015. — Vol. 8. — № 4. — P. 396–405. [in Russian]

9. Kirsanov A.K. Destruction of rock upon blasting of explosive agent / A.K. Kirsanov, S.A. Vokhmin, G.S. Kurchin [et al.] // ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. — 2017. — Vol. 12. — № 13. — P. 3978–3986.

10. Merkulov A.V. Proektirovanie pasportov burovzryvnyh работ pri prohodke gornyh vyrabotok: Uchebnoe posobie [Design of passports for drilling and blasting operations during mining: A textbook] / A.V. Merkulov, Ju.A. Sil'chenko, V.A. Skorikov; Shakhty Institute of YURSTU. — Novocherkassk: JuRGTU, 2002. — 70 p. [in Russian]

11. Baranov A.O. Raschet parametrov tehnologicheskikh processov podzemnoj dobychi rud [Calculation of parameters of technological processes of underground ore mining] / A.O. Baranov. — Moscow : Nedra, 1985. — 224 p. [in Russian]