

ВЛИЯНИЕ ВЗРЫВА СКВАЖИННОГО ЗАРЯДА С РАДИАЛЬНЫМ ЗАЗОРОМ НА КАЧЕСТВО РАЗРУШЕНИЯ АЛМАЗОНОСНОЙ РУДЫ

И. В. Зырянов¹, И. Ф. Бондаренко¹, С. В. Ковалевич¹, С. И. Ким¹

¹ Институт «Якутнипроалмаз» АК «АЛРОСА» (ПАО), institut-yna@alrosa.ru, Мирный,
Республика Саха (Якутия), Россия

Аннотация: современный подход к эффективности производства алмазодобывающих предприятий все больше ориентирован на качество добываемой товарной продукции ввиду высокой стоимости кристаллов и необратимости их повреждаемости. При этом техногенная повреждаемость алмазной продукции зависит от многих факторов производства. Учитывая высокую динамику процесса взрыва с одной стороны и повышенную хрупкость кристаллов алмаза с другой, вполне уместно предположить, что при попадании в определённую область взрывного разрушения в массиве горных пород кристаллы алмазов могут повреждаться. Повысить сохранность добываемых алмазов возможно за счет использования колонковых зарядов взрывчатого вещества с радиальным зазором, применение которых позволит управлять напряженным состоянием массива, обеспечивая сокращение размера зон повышенного риска повреждений кристаллов с сохранением общего объёма разрушения вмещающей породы. Целью исследования явилась разработка кристаллосберегающей технологии с использованием скважинных зарядов с радиальным зазором. В статье рассматривается влияние взрывов скважинных зарядов на качество разрушения массива горных пород и сохранность содержащихся в нём кристаллов, рассматриваются существующие способы по сохранению алмазного сырья, предлагается кристаллосберегающая технология при ведении БВР, а также приведены результаты промышленной апробации предлагаемой технологии, с применением разработанного специального устройства для формирования заряда с радиальным зазором.

Ключевые слова: взрывное разрушение, кимберлитовая руда, сохранность алмазов, формирование зарядов, затухание ударной волны, активные методы управления взрывом, радиальный зазор, удерживающее приспособление.

Для цитирования: Зырянов И. В., Бондаренко И. Ф., Ковалевич С. В., Ким С. И. Влияние взрыва скважинного заряда с радиальным зазором на качество разрушения алмазодобываемой руды // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2022. – № 5–2. – С. 58–71. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_52_0_58.

Influence of the explosion of a borehole charge with a radial gap on the quality of destruction of diamond-bearing ore

I. V. Ziryaynov¹, I. F. Bondarenko¹, S. V. Kovalevich¹, S. I. Kim¹

¹ «Yakutnioproalmaz» Institute of ALROSA, Mirny, Republic of Sakha (Yakutia), Russia,
e-mail: institut-yna@alrosa.ru

Abstract: The modern approach to the production efficiency of diamond mining enterprises is increasingly focused on the quality of the produced marketable products due to the high cost of crystals and the irreversibility of their damage. At the same time, the technogenic damage of diamond products depends on many factors of production. Given the high dynamics of the explosion process, on the one hand, and the increased fragility of diamond crystals, on the other hand, it is quite appropriate to assume that diamond crystals can be damaged when they enter a certain area of explosive destruction in a rock mass. It is possible to increase the safety of mined diamonds through the use of core explosive charges with a radial gap, the use of which will allow controlling the stressed state of the massif, reducing the size of zones with an increased risk of crystal damage while maintaining the total volume of destruction of the host rock. Purpose of the study, was the development of crystal-saving technology using borehole charges with a radial gap. The article discusses the impact of borehole charge explosions on the quality of the destruction of a rock mass and the safety of the crystals contained in it, considers the existing methods for the preservation of rough diamonds, proposes a crystal-saving technology for drilling and blasting, and also presents the results of industrial testing of the proposed technology, using the developed special device for formation of a charge with a radial gap.

Key words: Explosive destruction, kimberlite ore, safety of diamonds, charge formation, shock wave attenuation, active blast control methods, radial gap, holding device.

For citation: Ziryanov I. V., Bondarenko I. F., Kovalevich S. V., Kim S. I. Influence of the explosion of a borehole charge with a radial gap on the quality of destruction of diamond-bearing ore. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2022;(5–2):58–71. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_52_0_58.

Введение

Современный подход к эффективности добычи ценного минерального сырья должен ориентироваться на максимальную сохранность качества добываемой товарной продукции. Особенно важно обеспечить сохранение природного качества сырья при разработке месторождений кимберлитов. Проблема обеспечения сохранности алмазосодержащих кимберлитов чрезвычайно актуальна ввиду высокой стоимости алмазов, которая снижается в геометрической прогрессии с уменьшением размера и качества кристаллов, так при равном содержании по общему весу алмазов в руде её стоимость может различаться в десятки раз.

Существуют разные способы повысить сохранность добываемого кристаллосырья [1, 2], как например отказ от взрывного рыхления с переходом на механическую отбойку руды (бульдозерная отбойка, роторная экскавация и др.), или механическое извлечение

ослабленных руд путем предварительного разупрочнения массива активными жидкостно-газовыми смесями, полученных путем электрохимической обработки природного рассола, но эти альтернативные решения по подготовке горной массы к выемке широкого применения пока не получили по причине резкого возрастания себестоимости добычи.

В настоящее время подавляющий объем алмазов добывается традиционно — при помощи буровзрывных работ. Данная технология является самой распространенной и доступной, несмотря на тот факт, что некоторыми исследователями отмечаются значительные потери (до 15 и даже 20%) кристаллов [3].

В этой связи одной из основных задач БВР на добычных работах карьеров АК «АЛРОСА» (ПАО) — (далее Компания) является обеспечение обогащенного передела рудой оптимального качества при нанесении мини-

мальных техногенных повреждений кристаллам алмазов.

Общие положения

Известно [4, 5], что при детонации зарядов промышленных ВВ в горных породах образуется область сжатия, в которой уровень воздействия импульсных давлений значительно превосходит предел прочности среды. Наличие такой области (около 5–10 диаметров заряда ВВ) является одним из основных источников формирования потерь кристаллов при взрывной отбойке.

Теоретическими работами А. М. Лексовского и др. обосновывается еще один источник потерь кристаллов [6], обусловленный возникновением трещин в последних из-за концентрации напряжений на контакте «порода-кристалл». С учетом этого эффекта реализация критических для алмаза напряжений возможна на расстояниях до 30 диаметров заряда, соизмеримых с геометрическими параметрами расположения скважин с ВВ на эксплуатационных блоках. При этом установлено, что при динамическом нагружении на массив высокомодульные включения (кристаллы алмазов), в определенных условиях, могут повреждаться и/или разрушаться даже при сохранении целостности породы. Очевидно, что с учетом всех составляющих потерь кристаллов, значимость взрывной подготовки руд к выемке как элемента кристаллосберегающих технологий существенно возрастает.

Для улучшения качества извлекаемого сырья за счет сокращения радиуса негативного воздействия взрыва, достигаемом при эффективном управлении амплитудно-временными параметрами и формой взрывного импульса проф. В. А. Боровиков [7–10] предлагает использовать малоплотные взрывча-

тые вещества (ВВ), которые обеспечат более щадящую форму волны напряжений и в несколько раз уменьшат амплитуду при энергии заряда, эквивалентной стандартным ВВ. Проведенные при этом расчёты показали, что максимальный радиус потенциально опасной зоны отмечается при использовании наиболее мощных ВВ. С уменьшением плотности ВВ снижается значение приведенного радиуса заряда и, как следствие сокращается потенциально опасная зона нарушения кристаллов. Однако, учитывая гидрогеологические особенности кимберлитовых месторождений, наличия сухих, слабообводненных и сильнообводненных участков с одной стороны, нестабильность взрывчатых характеристик и чувствительность к неблагоприятным метеорологическим условиям малоплотных ВВ с другой — выбор этой технологии на рудных горизонтах пока требует надлежащего внимания как объекта исследований.

Учитывая положение, выдвигаемое В. А. Боровиковым, и тот факт, что с увеличением плотности как правило возрастает бризантность то справедливо будет предположить, что повреждаемость кристаллов в не меньшей степени зависит от бризантного действия взрывчатого вещества, которую можно регулировать формой и конструкцией заряда [11].

В данной работе для обеспечения сохранности кристаллов авторами предлагается метод снижения разрушительного бризантного действия взрыва при помощи применения зарядов с радиальным зазором при помощи специального устройства (патент № 210477).

Устройство (рис. 1, а) содержит направляющую трубу 1, снабженную головкой 2, расположенной с одной стороны направляющей трубы 1, про-

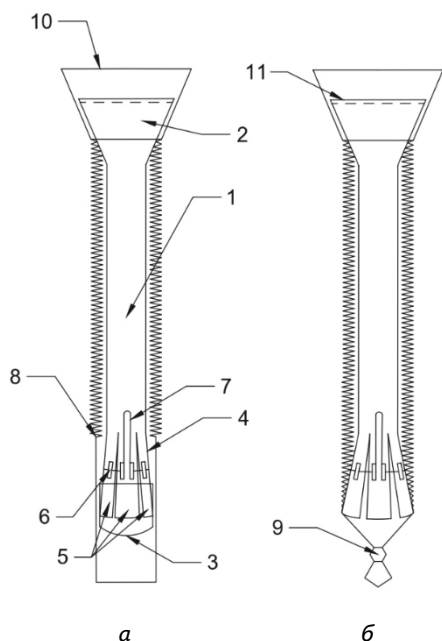


Рис. 1. Общий вид устройства
Fig. 1. General view of the device

тивоположный конец которой снабжен съемной насадкой 3 и выполнен в виде упругого расширителя 4, на внешней стороне лепестков 5 которого размещены проушины 6 с продетым в них шнуром 7. Рукав 8 собран в гофр на направляющей трубе 1, его нижняя часть завязана при помощи узла или завязок 9 (рис. 1, б), верхняя часть соединена с жестким фиксатором 10. Направляющая труба 1 с головкой 2, ручкой 11, упругим расширителем 4 с лепестками 5, проушинами 6 и шнуром 7, съемной насадкой 3 составляют съемное (многоразовое) удерживающее приспособление 12, выполненное из полимерного материала (рис. 2). Фиксатор 10 (рис. 3–4) состоит из имеющих форму усеченного конуса воронки 13 и стопорного элемента 14 с зубцами 15, расположенными по кромке большего и меньшего его оснований.

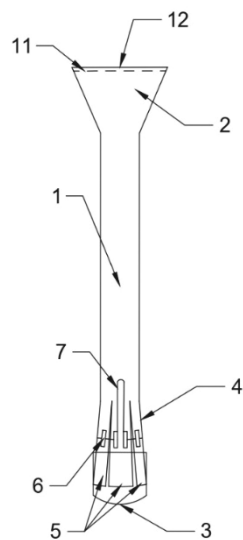


Рис. 2. общий вид съемного удерживающего приспособления
Fig. 2. General view of the removable holding device

Сборка предлагаемого устройства производится следующим образом.

Для соединения рукава 8 с фиксатором 10 край рукава 8 продевается через воронку 13, верх стопорного элемента 14 заворачивается в стопорный элемент 14 и подворачивается под него, затем затягивается вместе с ним в воронку 13 (рис. 5), отрезается необходимая длина рукава 8.

При загрузке рукава 8 ВВ под действием силы тяжести происходит затягивание стопорного элемента 14 в воронку 13, и зубцы 15 проникают в материал изготовления рукава, тем самым увеличивая надежность крепления рукава 8 к фиксатору 10.

Упругий расширитель 4 сжимается при помощи шнура 7, продетого через расположенные на лепестках упругого расширителя 5 проушины 6 путем его стяжки, верх упругого расширителя 4 устанавливается съемная насадка 3

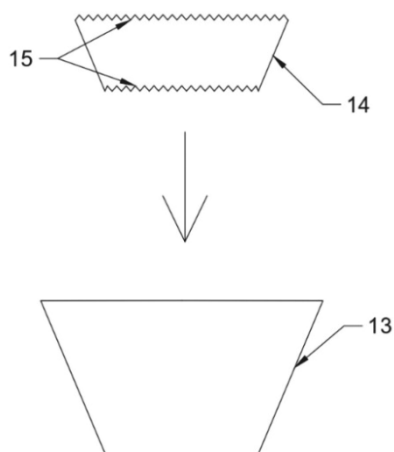


Рис. 3. Воронка и стопорный элемент съемного фиксатора
 Fig. 3. Funnel and locking element of the removable retainer

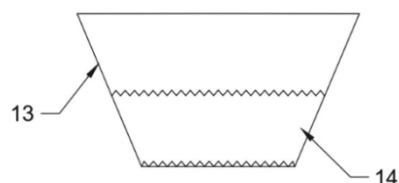


Рис. 4. Съемный фиксатор в сборе
 Fig. 4. Removable lock assembly

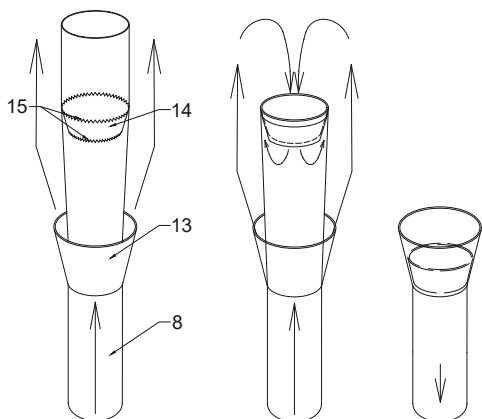


Рис. 5. Способ крепления рукава со съемным фиксатором
 Fig. 5. The method of fastening the sleeve with a removable retainer

(рис. 6, а), поверх которой протягивается фиксатор 10 с закрепленным рукавом 8 и фиксируется на головке 2 (рис. 6, б). Рукав 8 собирается в гофр на направляющую трубу 1 упором в жесткий фиксатор 10 (рис. 6, в) и фиксируется упругим расширителем 4 после снятия съемной насадки 3. Нижнюю часть рукава 8 завя-

зывают при помощи узла или завязок 9 (рис. 6, з).

По разработанным чертежам института «Якутнипроалмаз» было изготовлено два опытных образца данного устройства, которые были испытаны в условиях карьеров Компании. На рис. 7 приведены фотографии опытного образца и его сборки согласно схеме, представленной на рис. 6.

Практическое применение разработанного устройства осуществляется следующим образом: в устье скважины 16 устанавливают устройство в сборе 17 (рис. 8) и при помощи зарядного шланга 18 подают взрывчатое вещество (ВВ) 19 при этом, расширяющая сила упругого расширителя обеспечивает плавное стягивание рукава с направляющей трубой под действием силы тяжести заряжаемого ВВ и исключает закручивание рукава. После заряжения необходимого количества ВВ в рукав опускают промежуточный детонатор 20 подсоединенный к средству инициирования 21 и продолжают зарядку. После заряжения

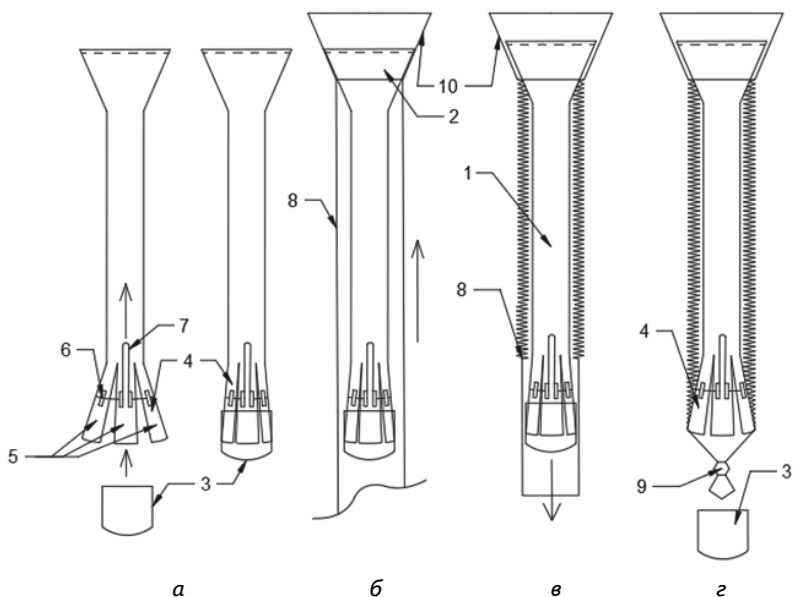


Рис. 6. Способ крепления рукава со съёмным фиксатором
 Fig. 6. The method of fastening the sleeve with a removable retainer

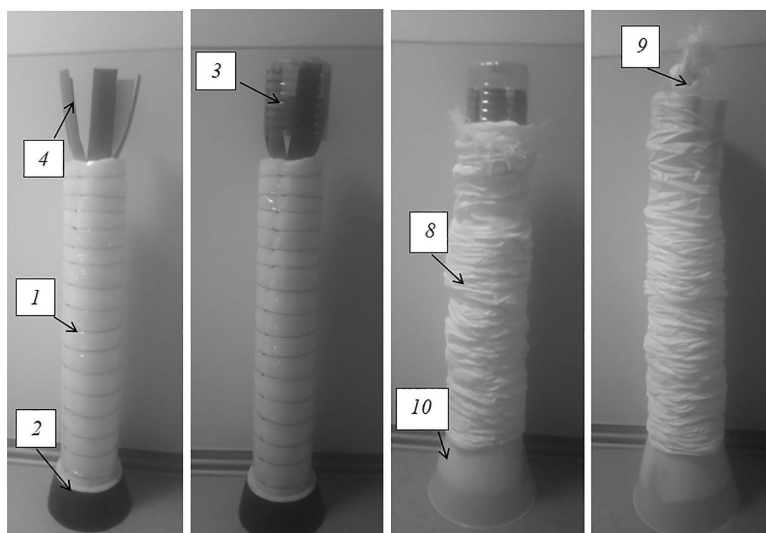


Рис. 7. Внешний вид опытного образца
 Fig. 7. Appearance of the prototype

скважины устройство за ручку вынимается из скважины.

На рис. 9 представлена конструкция заряда с радиальным зазором, при этом диаметр скважины составляет 230 мм, диаметр заряда — 200 мм.

В процессе заряжания было выявлено, что формирование заряда с радиальным зазором в сухих скважинах по вышеописанному способу, при подготовке устройства непосредственно на блоке, характеризуется повышен-

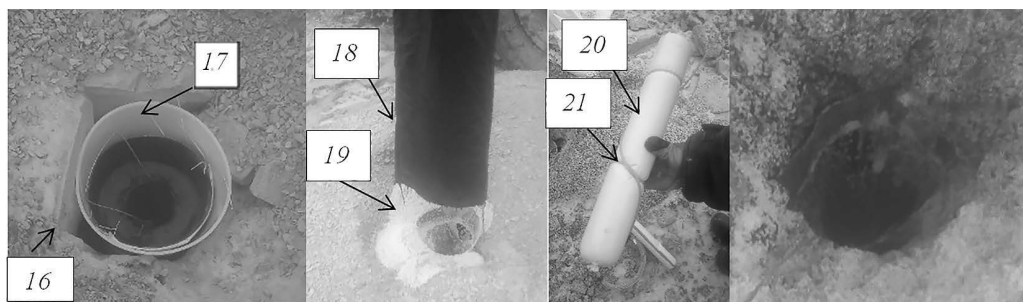


Рис. 8. Установка рукава с фиксатором в скважине
 Fig. 8. Installation of a sleeve with a lock in the well

ной трудоемкостью, обусловленной необходимостью отмерять необходимую длину рукава, собирать его в гофр и натягивать на направляющую трубу. Согласно проведенному хронометражу, среднее время сбора устройства при длине рукава 13,5 м. составило 3,8 мин.

Поэтому, для заряжания сухих скважин был использован способ без применения съемного многоразового удерживающего приспособления, с использованием жесткого фиксатора и рукава, который заключается в следующем.

Рулон рукава располагают на специальном устройстве над заряжаемой скважиной (рис. 10), через открытый край рукава помещается кусок горной породы и завязывался двойной узел, затем рукав опускается до дна скважины, отрезается на 1,5 м выше устья и крепится к жесткому фиксатору, кото-

рый устанавливается в устье скважины. Далее по принятой технологии на пред-

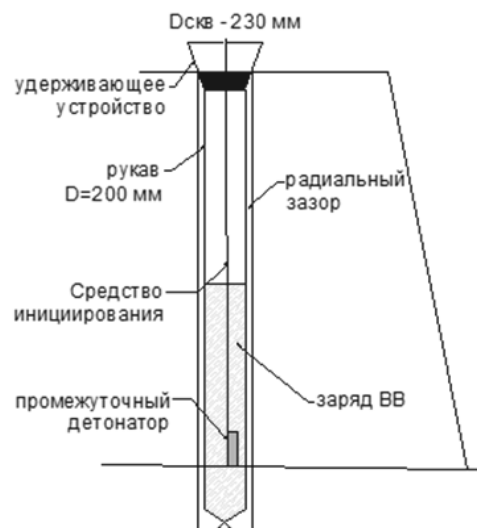


Рис. 9. Конструкция заряда с радиальным зазором
 Fig. 9. The design of the charge with a radial gap



Рис. 10. Формирование заряда с радиальным зазором в сухой скважине
 Fig. 10. Formation of a charge with a radial gap in a dry well

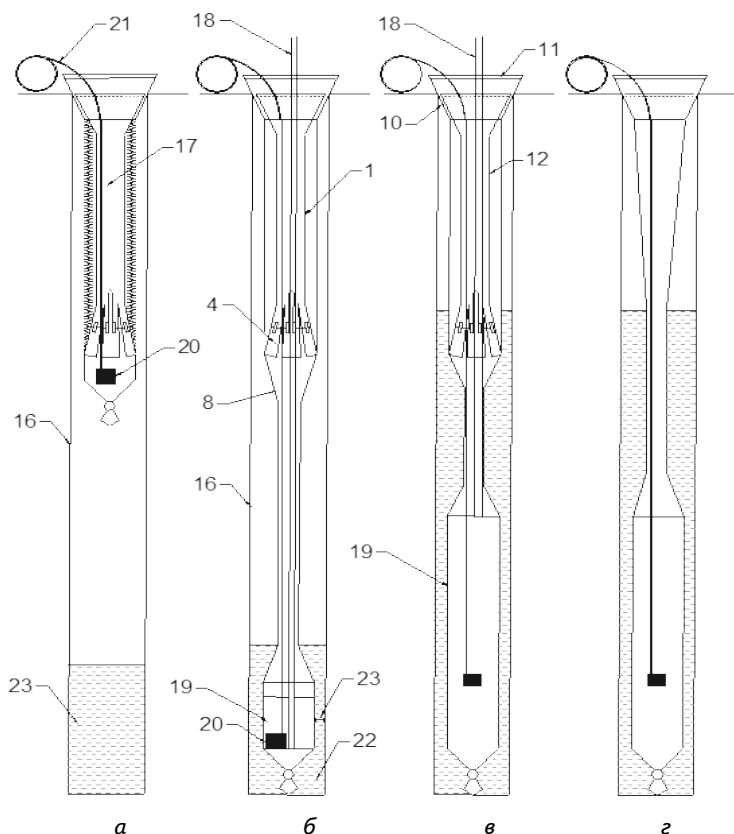


Рис. 11. Схема формирования скважинного заряда с радиальным зазором между зарядом и стенками скважины в обводненных условиях при помощи разработанного устройства
 Fig. 11. The scheme of formation of a borehole charge with a radial gap between the charge and the walls of the well in watered conditions using the developed device

приятии производилась зарядка скважины. Данный способ является менее трудоемким по сравнению с приведенным ранее и согласно проведенному хронометражу, среднее время формирования рукава с фиксатором в скважине при длине рукава 13,5 м. составило 45 сек.

Зарядка обводненных скважин данным способом сложно осуществима, поэтому для обводненных скважин применяется разработанное устройство следующим образом (рис. 11): в пробуренную скважину 16 вставляется устройство в сборе 17 (рис. 11, а), затем на дне данного устройства рас-

полагают промежуточный детонатор 20, подсоединенный к средству иницирования 21 и с помощью зарядного шланга 18 опускают рукав 8 с промежуточным детонатором 20 подсоединенным к средству иницирования 21 на дно скважины 16 и осуществляют подачу ВВ 19 с одновременным плавным извлечением зарядного шланга 18 из скважины 16, по мере заполнения ВВ 19 рукава 8, вода 22 выталкивается через радиальный зазор 23 между рукавом 8 и стенкой скважины 16 (рис. 11, б). После зарядки вынимают зарядный шланг 18 и за ручку 11 – съемное (многоразовое) удерживающие приспособ-

собление 12 из жесткого фиксатора 10 (рис. 11, в). Затем по принятой схеме производят подрыв заряда (рис. 11, з).

Для повышения эффективности применения данного устройства предлагается проводить его сборку в специализированных помещениях или специальных машинах перед заряданием блока с использованием специального приспособления, приведенного на рис. 12.

Приспособление состоит: из рамы 24 на которой крепятся направляющая 25, направляющие валики 26 для рукава, счетчик 27 для определения метража рукава, вал 28 для крепления рулона с рукавом.

Подготовка устройства при помощи вышеописанного приспособления осуществляется следующим образом:

На направляющую 25 надевается съемное (многоразовое) удерживающее приспособление 12, на вал 28 устанавливается рулон рукава 29, затем стяги-

вают рукав 8, пропускают его между направляющими валиками 26 и счетчиком 27 и крепят к фиксатору 10 описанным выше способом, фиксатор с рукавом протягивают поверх удерживающего приспособления 12 и фиксируют на головке 2. Затем формируют гофр 30, после набирания необходимой длины, которую определяют по счетчику, рукав обрезают, снимают съемную насадку 3 (рис. 13) и край рукава завязывают на двойной узел. На воронке фиксатора при помощи маркера указывают номер скважины и/или длину рукава.

Затем подготовленные устройства загружают в машину и отвозят на взрывной блок, устанавливают в устьях скважин и производят зарядку по описанному выше способу. После зарядки, устройства вынимают из скважин, загружают в машину и отвозят на склад.

Необходимо отметить, что данный способ целесообразно применять

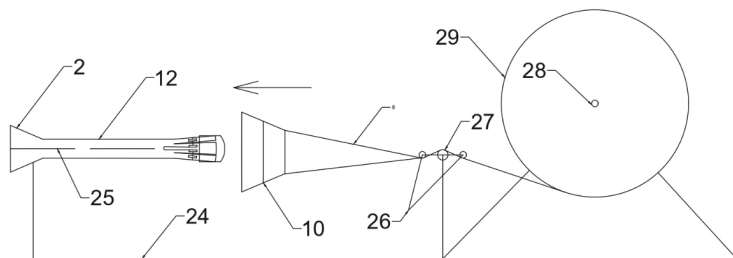


Рис. 12. Приспособление для сборки устройства

Fig. 12. Device assembly device

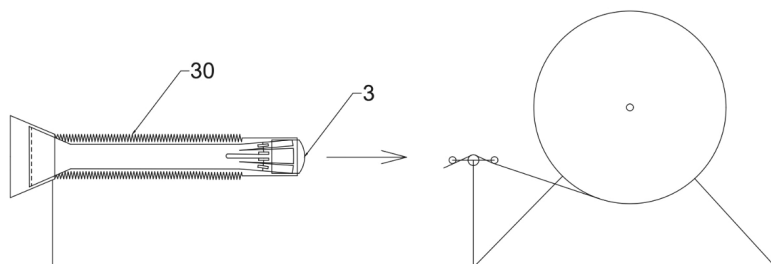


Рис. 13. Способ сборки устройства с помощью приспособления

Fig. 13. The method of assembling the device using the device

на породах средне и ниже средней крепости.

Результаты исследований

Для подтверждения принципиальной возможности формирования скважинных зарядов с радиальным зазором в промышленных объемах, а также установления положительного эффекта от их применения на карьере «Ботуобинский» в условиях рудного блока №4БР-21 горизонт +85 (крепость f — 6—8, трещиноватость — ниже средней), был проведен опытный массовый взрыв. Его подготовка и результат взрывного действия приведены на рис. 14. и 15. Суть испытаний заключалась в разделении блока на две части (на экспериментальную часть — содержащую в себе заряды с радиальным

зазором и контрольную — заряженную сплошными скважинными зарядами без зазора).

На рис. 15 приведен результат взрыва рудного блока №4БР-21 гор. 85: качество дробления (как видно на фотографии) на обоих участках удовлетворительное, при этом на экспериментальном участке было выявлено увеличение выхода среднего куска на 8%, выход негабарита не зафиксирован. Результаты взрывов оценивались с помощью оценки фракционного состава взорванной руды и размеров средних кусков (оптимальные размеры — 20—40 см), согласно методике фотопланиметрических замеров [14, 15]. Фотографирование взорванной руды для установления гранулометрического состава производилось непосредственно на забое экскаватора.



Рис. 14. Взрывной блок до взрыва (оранжевый — экспериментальный участок, зеленый — контрольный участок)

Fig. 14. The explosive block before the explosion (orange is the experimental section, green is the control section)



Рис. 15. Взрывной блок после взрыва

Fig. 15. The explosive block after the explosion

Как показал анализ грансоставов по экспериментальному и контрольному блокам, использование конструкции заряда с радиальными зазорами дает более равномерное дробление взрывае-мого массива и меньшее количество переизмельченной руды, что может указы-вать на уменьшение зоны переизмельче-ния в которой по мнению некоторых исследователей [16–19] и происходит наибольшая техногенная повреждае-мость алмазов от действия взрыва.

Выводы

В заключении, к числу результатов представленной работы следует отне-сти следующее:

– успешно проведены опытно-про-мышленные испытания применения

колонковых зарядов с радиальным зазором, с использованием специаль-ного устройства;

– испытания выявили улучше-ние качества дробления горной массы с увеличением выхода средней фрак-ции и уменьшение зоны переизмельче-ния;

– авторами планируется продол-жить исследования, ориентированные на оценку техногенной повреждаемо-сти алмазов от взрывных работ за счет применения зарядов с радиальным зазором.

Вклад авторов

Вклад авторов в написание статьи равнозначен. Заявляем об отсутствии конфликта интересов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Секисов А. Г., Чебан А. Ю.* Кристаллосберегающая технология открытой раз-работки сложноструктурных кимберлитовых месторождений // Вестник Магнитогор-ского государственного технического университета им. Г. И. Носова. 2021. Т.19. №2. С. 5–13. <https://doi.org/10.18503/1995–2732–2021–19–2–5–13>
2. *Чаадаев А. С., Зырянов И. В., Бондаренко И. Ф.* Состояние и перспективы раз-вития горнообогатительных технологий на алмазодобывающих предприятиях АК «АЛРОСА» (ПАО) // Горная промышленность. 2017. № 2. С. 6–13.
3. *Козеев А. А., Ведин А. Т.* Теоретические и практические предпосылки создания кристаллосберегающей технологии добычи алмазов // Ресурсосберегающие техноло-гии при открытой отработке полезных ископаемых Севера. – Якутск. Якутский науч-ный центр СО АН СССР. – 1990. – С. 8–10.
4. *Li-Yun Yang, Chen-Xi Ding.* Fracture mechanism due to blast-imposed loadin g under high static stress conditions. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences. 2018. Vol. 107.pp. 150–158. DOI:10.1016/j.ijrmms.2018.04.039
5. *Ping Zhang, Ering Nordlund, Graham Swan, Changping Yi.* Velocity Amplification of Seismic Waves Through Parallel Fractures Near a Free Surface in Fractured Rock: A Theoretical Study // Rock Mechanics and Rock Engineering. 2019. Vol. 52. Iss. 1. P. 199–213. DOI:10.1007/s00603–018–1589–8
6. *Лексовский А. М., Кривошеев С. И., Боровиков В. А.* Выявление post factum раз-вития фронта повреждений при откольном разрушении гранита // Сб. «XIV Петербург-ские чтения по проблемам прочности», 2003.
7. *Боровиков В. А., Лексовский А. М., Калитин В. Т.* Новые аспекты повышения сохранности алмазов при добыче кимберлитов // Горный журнал, 2006. №6. С. 77–81.
8. *Боровиков В. А., Лексовский А. М.* Особенности амплитудно-временных характе-ристик волны при взрыве гранулита малой плотности // В сб.: Физические проблемы разрушения горных пород. – М.: Изд-во ИПКОН РАН, 2005.
9. *Боровиков В. А., Рыскунов А. А., Сластенко В. С.* Параметры волны напряжений при взрыве малоплотных ВВ // Сб. Взрывное дело. – 1999. – № 92/94. – С. 42–46.

10. Бондаренко И. Ф., Жариков С. Н., Зырянов И. В., Шеменев В. Г. Буровзрывные работы на кимберлитовых карьерах Якутии // — Издательство АМБ, Екатеринбург: ИГД УрО РАН, 2017. — С. 122–128.

11. Бондаренко И. Ф., Никитин Р. Я., Хон В. И., Ковалевич С. В. К вопросу управления энергией взрыва // Недропользование XXI век. — 2018. — № 2 (71). — С. 62–69.

12. Воробьева Л. Д., Проценко В. Е. Влияние величины радиального зазора и материала-заполнителя на динамическое нагружение среды при взрыве // Вестник КДПУ имени Михаила Остроградского. Выпуск 6/2008 (53). Часть — С. 111–113.

13. Еременко Г. И., Мартынюк М. В. Разработка и применение конструкций скважинных зарядов ВВ с радиальным зазором при разрушении горных пород в карьере, 2012 г. [Электронный ресурс] (http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:bleQ_0Iespj:www.irbisnbnv.gov.ua/cgibin/irbis_nbnv/cgiirbis_64.exe%3FC21COM%3D2%26I21DBN%3DUJRN%26P21DBN%3DUJRN%26IMAGE_FILE_DOWNLOAD%3D1%26Image_file_name%3DPDF/girvi_2012_95_59.pdf+&cd=1&hl=ru&ct=clnk&gl=ru)


14. Никитин Р. Я. Оценка результатов массовых взрывов при районировании карьерного поля по взрываемости // Проблемы и перспективы комплексного освоения месторождений полезных ископаемых криолитозоны. — Якутск. Института мерзлотоведения им. П. И. Мельникова СО РАН, 2005. С. 142–148.

15. Сахарский И. В., Тарасова Л. Г., Никитин Д. Н. Инструментальный метод контроля сохранности алмазной продукции // Проблемы и перспективы эффективной переработки минерального сырья в 21 веке (Плаксинские чтения — 2019): Материалы Международного совещания. Иркутск, 9–14 сентября 2019. — Иркутск, ООО «Репроцентр А1», 2019. — С. 69–72.

16. Влияние типа взрывчатого вещества на повреждаемость кристаллосырья / Бондаренко И. Ф., Круцкий А. А. // Теория и практика совершенствования технологии взрывных работ: Сб. научн. трудов. — Киев: Науковадумка, 1990. — С. 115–118.

17. Бондаренко И. Ф. Сравнительная оценка способов разрушения алмазосодержащих кимбирлитов // Горный журнал. — 1995. — №6. — С. 25–27.

18. Blair D. P. Dynamic response of mine pit walls // International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences. 2018. Vol. 106. P. 14–19. DOI:10.1016/j.ijrmms.2018.04.002

19. Bozorgzadeh N., Escobar M. D., Harrison J. P. Comprehensive statistical analysis of intact rock strength for reliability-based design // International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences. 2018. Vol. 106. P. 374–387. DOI:10.1016/j.ijrmms.2018.03.005 

REFERENCES

1. Sekisov A. G., Cheban A. Yu. Crystal-saving technology of opencast mining of complex-structured kimberlite deposits. *Bulletin of the Magnitogorsk State Technical University. G. I. Nosova*, 2021. Vol. 19. no. 2. pp. 5–13. <https://doi.org/10.18503/1995-2732-2021-19-2-5-13> [In Russ.]

2. Chaadaev A. S., Ziryaynov I. V., Bondarenko I. F. State and prospects for the development of mining and processing technologies at diamond mining enterprises ALROSA. *Mining*. 2017. no. 2. pp. 6–13. [In Russ.]

3. Kozeev A. A., Vedin A. T. Theoretical and practical prerequisites for the creation of a crystal-saving diamond mining technology. Resource-saving technologies for open-pit mining of minerals in the North- Yakutsk. *Yakutskiy nauchnyy tsentr SO AN USSR*. 1990. P. 8–10. [In Russ.]

4. Li-Yun Yang, Chen-Xi Ding. Fracture mechanism due to blast-imposed loading under high static stress conditions. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*. 2018. Vol. 107. pp. 150–158. DOI:10.1016/j.ijrmms.2018.04.039

5. Ping Zhang, Ering Nordlund, Graham Swan, Changping Yi. Velocity Amplification of Seismic Waves Through Parallel Fractures Near a Free Surface in Fractured Rock: A Theoretical Study. *Rock Mechanics and Rock Engineering*. 2019. Vol. 52. Iss. 1. P. 199–213. DOI:10.1007/s00603–018–1589–8
6. Leksovsky A. M., Krivosheev S. I., Borovikov V. A. Revealing “Post factum” of the development of the front of damage during spall destruction of granite. col. «XIV Petersburg readings on the problems of strength», 2003. [In Russ.]
7. Borovikov V. A., Leksovsky A. M., Kalitin V. T. New aspects of improving the safety of diamonds in kimberlite mining. *Mining*, 2006. no. 6. pp. 77–81. [In Russ.]
8. Borovikov V. A., Leksovsky A. M. Features of the amplitude-time characteristics of the wave during the explosion of low-density granulite. B сб.: Physical problems of rock destruction. Moscow, IPKON RAN, 2005. [In Russ.]
9. Borovikov V. A., Riskunov A. A., Slastenko V. S., Parameters of the stress wave during the explosion of low-density explosives. *Explosives*. 1999. no. 92/94. pp. 42–46. [In Russ.]
10. Bondarenko I. F., Zharikov S. N., Zyryanov I. V., Shemenev V. G. Drilling and blasting in kimberlite quarries of Yakutia. Ekaterinburg: IGD Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 2017. pp. 122–128, [In Russ.]
11. Bondarenko I. F., Nikitin R. Ya., Khon V. I., Kovalevich S. V. On the issue of explosion energy management. *Subsoil use XXI century*. 2018. no. 2 (71). pp. 62–69. (In Russ)
12. Vorobieva L. D, Procenko V. E. Influence of the size of the radial clearance and filler material on the dynamic loading of the medium during explosion. *Bulletin of the KDPU named after Mikhail Ostrogradsky*. release 6/2008 (53). Part P. 111–113. [In Russ.]
13. Eremenko G. I, Martinyuk M. V. Development and application of designs of borehole explosive charges with a radial clearance in the destruction of rocks in an open pit, 2012 (http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:bleQ_0IespjCJ:www.irbisnbuv.gov.ua/cgibin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe%3FC21COM%3D2%26I21DBN%3DUJRN%26P21DBN%3DUJRN%26IMAGE_FILE_DOWNLOAD%3D1%26Image_file_name%3DPDF/girvi_2012_95_59.pdf+&cd=1&hl=ru&ct=clnk&gl=ru). [In Russ.]
14. Nikitin R. Ya. Evaluation of the results of massive explosions in the zoning of a quarry field by explosiveness. *Problems and Prospects of Integrated Development of Permafrost Mineral Deposits*. Yakutsk. Institut merzlotovedeniya im. P. I. Mel’nikova SO RAN, 2005. P. 142–148. [In Russ.]
15. Makarsky I. V., Tarasova L. G., Nikitin D. N. Instrumental method for monitoring the safety of diamond products. *Problems and prospects for efficient processing of mineral raw materials in the 21st century (Plaksin Readings 2019): Proceedings of the International Meeting*. Irkutsk, September 9–14, 2019. Irkutsk, Reprocenter A1, 2019. pp. 69–72. [In Russ.]
16. Bondarenko I. F., Krutsky A. A. Influence of the type of explosive on the damageability of crystal raw materials,.. *Theory and practice of improving blasting technology*: Kiev, 1990. pp. 115–118. [In Russ.]
17. Comparative assessment of methods of destruction of diamond-bearing kimberlites / Bondarenko I. F.. *Mining magazine*. 1995. no. 6. pp. 25–27. [In Russ.]
18. Blair D. P. Dynamic response of mine pit walls. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*. 2018. Vol. 106. P. 14–19. DOI:10.1016/j.ijrmms.2018.04.002
19. Bozorgzadeh N., Escobar M. D., Harrison J. P. Comprehensive statistical analysis of intact rock strength for reliability-based design. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*. 2018. Vol. 106. P. 374–387. DOI:10.1016/j.ijrmms.2018.03.005

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Зырянов Игорь Владимирович — докт. техн. наук, заместитель директора по научной работе института «Якутнипроалмаз» АК «АЛРОСА» (ПАО), e-mail: ZyrianovIV@alrosa.ru, заведующий кафедрой горного и нефтегазового дела Мирнинского политехнического института (филиала) Северо-Восточного федерального университета им. М. К. Аммосова, ORCID 0000-0003-4346-6671;

Бондаренко Иван Федорович — канд. техн. наук, ученный секретарь института «Якутнипроалмаз» АК «АЛРОСА» (ПАО) 678175, г. Мирный, Республика Саха (Якутия), ул. Ленина, 39, e-mail: BondarenkoIF@alrosa.ru, ORCID 0000-0002-9414-2661;

Ковалевич Сергей Васильевич — канд. техн. наук, заведующий сектором разрушения горных пород института «Якутнипроалмаз» АК «АЛРОСА» (ПАО) 678175, г. Мирный, Республика Саха (Якутия), ул. Ленина, 39, e-mail: KovalevichSV@alrosa.ru, ORCID 0000-0003-1087-0395;

Ким Сергей Игоревич — научный сотрудник Института «Якутнипроалмаз» АК «АЛРОСА» (ПАО) 678175, г. Мирный, Республика Саха (Якутия), ул. Ленина, 39, e-mail: KimSI@alrosa.ru, ORCID 0000-0003-3849-0298.

Для контактов: *Ким С. И.*, e-mail: KimSI@alrosa.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Zyryanov I. V., Dr. Sci. (Eng.), Deputy Director for scientific work of the «Yakutniproalmaz» Institute of ALROSA PJSC, e-mail: ZyrianovIV@alrosa.ru, Head of the Department of Mining and Oil & Gas at Mirny Polytechnic Institute (Branch) of M. K. Ammosov North-Eastern Federal University, ORCID 0000-0003-4346-6671;

Bondarenko I. F., Cand. Sci. (Eng.), Scientific Secretary of «Yakutniproalmaz» Institute of ALROSA PJSC, 39 Lenina St., Mirny, Republic of Sakha (Yakutia), 678175, e-mail: BondarenkoIF@alrosa.ru, ORCID 0000-0002-9414-2661;

Kovalevich S. V., Cand. Sci. (Eng.), Head of the Rock Destruction Sector of the «Yakutniproalmaz» Institute of ALROSA PJSC, 39 Lenina St., Mirny, Republic of Sakha (Yakutia), 678175, e-mail: KovalevichSV@alrosa.ru, ORCID 0000-0003-1087-0395;

Kim S. I., research associate, e-mail: KimSI@alrosa.ru, ORCID 0000-0003-3849-0298, «Yakutniproalmaz» Institute of ALROSA, 39 Lenina St., Mirny, Republic of Sakha (Yakutia), 678175.

Corresponding author: *Kim S. I.*, e-mail: KimSI@alrosa.ru.

Получена редакцией 18.02.2022; получена после рецензии 14.03.2022; принята к печати 10.04.2022.

Received by the editors 18.02.2022; received after the review 14.03.2022; accepted for printing 10.04.2022.

