

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРИ ДОБЫЧЕ И ПЕРЕРАБОТКЕ АЛМАЗОСОДЕРЖАЩЕГО СЫРЬЯ

М. Р. Айгистов¹, Е. Н. Герасимов², И. Ф. Бондаренко², И. В. Зырянов²

¹ АК «АЛРОСА» (ПАО), Республика Саха (Якутия), Мирный, Россия;

² Якутский научно-исследовательский и проектный институт алмазодобывающей промышленности «Якутнипроалмаз» ПАО «АЛРОСА», Республика Саха (Якутия), Мирный, Россия, e-mail: BondarenkoI@alrosa.ru

Аннотация: приведен обзор передовых технологий добычи алмазов в АК «АЛРОСА» (ПАО), разработка которых неразрывно связана с научной и проектной деятельностью института «Якутнипроалмаз». Показаны перспективные разработки, использование которых позволит осуществить ряд оптимизационных решений: по отстройке более крупных нерабочих бортов карьеров, применению обоснованной безбермовой конструкции борта, формированию отвалов вскрышных пород в один ярус с большей высотой отсыпки, применению при транспортировке руды автопоездов, работающих на альтернативном топливе с предельно низким углеродным следом. При разработке месторождений подземным способом эффективность связана с переходом на высокопроизводительные системы разработки с обоснованными конструктивными элементами и параметрами – камерную и с самообрушением. Предложена экологически безопасная технология утилизации дренажных рассолов с минерализацией от 100 до 520 г/л в природные коллекторы, приуроченные к подмерзлотным водоносным комплексам и толще многолетнемерзлых пород. Предоставлены разработки, используемые в процессе обогащения и находящиеся в стадии опытно-промышленных испытаний. Показаны образцы устройств для идентификации синтетических алмазов и бриллиантов в изделиях. На примерах демонстрируется высокая ответственность Компании в вопросах поддержания устойчивости экосистем в зоне производственной деятельности. Акцентировано внимание на применении системы автоматизированного проектирования и развитии перспективных направлений – создание информационных цифровых двойников и применение лазерного сканирования. Высокий уровень разработок подтверждается научной значимостью полученных результатов исследований, охраной разработок патентами и экономической выгодой от использования на основных переделах добычи алмазной продукции.

Ключевые слова: алмазосодержащие руды, добыча открытым и подземным способом, скважинные заряды, обогащение, рентгенографическая сепарация, нормы проектирования, идентификация синтетических алмазов, ВИМ-технологии.

Для цитирования: Айгистов М. Р., Герасимов Е. Н., Бондаренко И. Ф., Зырянов И. В. Современные технологии при добыче и переработке алмазосодержащего сырья // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2022. – № 5–2. – С. 6–21. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_52_0_6.

State-of-the-Art Technologies for Mining and Processing of Diamonds-Containing Raw Materials

M. R. Aigistov¹, E. N. Gerasimov², I. F. Bondarenko², I. V. Zyryanov²

¹ ALROSA PJSC (public company), Republic of Sakha (Yakutia), Mirny, Russia;

² Yakutniproalmaz Research and Design Institute of Diamond Mining, ALROSA PJSC (public company), Republic of Sakha (Yakutia), Mirny, Russia, e-mail: BondarenkoIF@alrosa.ru

Abstract: The article provides an overview of advanced diamond mining technologies in ALROSA PJSC (public company) and their development, that goes hand in hand with the scientific and design activities of Yakutniproalmaz Institute. The advanced developments that will enable to implement a number of optimization solutions are presented: construction of steeper non-operable open pits walls, make up of deliberate layout of the no berm design of the wall, formation of one stack arrangement of overburden dumps with a greater height of filling, use of truck trains run on alternative fuel ensuring extremely low carbon footprint when transporting the ore. In deposits development using underground mining method, the efficiency is conditioned by the transition to highly productive development systems; room-and-pillar method and block caving system, with sound design elements and parameters. Environmentally safe solution for disposal of drainage brines with salinity levels from 100 to 520 g/l into natural reservoirs confined to subpermafrost aquifer systems in the permafrost rock mass is proposed. Inventions used both for the ore concentration process and those undergoing pilot testing are presented. Instruments for identifying synthetic diamonds and polished diamonds in products are shown. The cases demonstrate high responsibility of the Company in maintaining the sustainability of ecosystems in the areas of its operations. Special attention is paid to the application of the computer-aided design system and development of perspective trends – creation of information digital twins and application of laser scanning. The high level of engineering solutions is confirmed by the scientific significance of the obtained research results, patent protection and economic benefits from their use at the main stages of diamond mining and recovery process.

Key words: diamond-bearing ores, open-pit and underground mining, borehole charges, ore processing technology, X-ray transmission sorting, design standards, synthetic diamond identification, BIM-technologies.

For citation: Aigistov M. R., Gerasimov E. N., Bondarenko I. F., Zyryanov I. V. State-of-the-Art Technologies for Mining and Processing of Diamonds-Containing Raw Materials. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2022;(5–2):6–21. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_52_0_6.

Введение

В настоящее время по объему добычи алмазной продукции АК «АЛРОСА» (ПАО) находится на лидирующих позициях. Это связано как с наличием минерально-сырьевой базы, производственного потенциала и применением современных технологий, так и с непрерывным циклом работ от поиска и оценки алмазоносных месторождений до добычи и реализа-

ции товарной продукции, что расширяет возможности Компании и обеспечивает экономическую устойчивость.

При этом развитие и совершенствование геотехнологий является наиболее существенным и необходимым элементом современного производства. В этом процессе институт «Якутнiproalmaz» – важнейшая составляющая в обеспечении алмазодобывающего комплекса научной и проектно-изыска-

тельской продукцией. Компания обладает крупнейшей минерально-сырьевой базой. Компания ведет добычу алмазов в республике Саха (Якутия), Архангельской области и в Африке на карьерах, 3 рудниках и 8 россыпных месторождениях (рис. 1) [1, 2].

При этом отмечается изменение структуры балансовых запасов с повышением доли руд, разработка которых возможна только подземным способом.

Открытые горные работы

В области открытых горных работ Компанией накоплен значительный опыт отработки глубоких кимберлитовых карьеров с высокими эксплуатационными показателями. В настоящее время на шести месторождениях — Мир, Айхал, Удачный, Комсомольская, Интернациональная, Сытыканская — открытые горные работы завершены (рис. 2). Все вновь проектируемые карьеры отстраиваются с предельными по прочностным свойствам параметрами нерабочих уступов полигональ-

ного профиля высотой от 45 до 90 м и углом погашения 75–80° (рис. 3).

На действующих карьерах применяются передовые технологии ведения горных работ. Отработка карьеров ведется с предельной по горнотехническим условиям производительностью по руде и скоростью понижения добычных уступов свыше 25 м/год [3, 4, 5].

Проекты отработки месторождений Верхне-Мунского рудного поля дополнительно позволили вовлечь в отработку пять кимберлитовых трубок, восполнивших минерально-сырьевую базу Компании, и внедрить автопоезда грузоподъемностью 95 т, транспортирующие руду на расстояние 165 км до обогатительной фабрики [6].

Для условий карьера «Зарница» разработана безбермовая конструкция борта (рис. 4), применение которой в перспективе обеспечит увеличение результирующего угла формируемого уступа и борта в среднем на 4–6° и, как следствие, сократит объем вскрышных

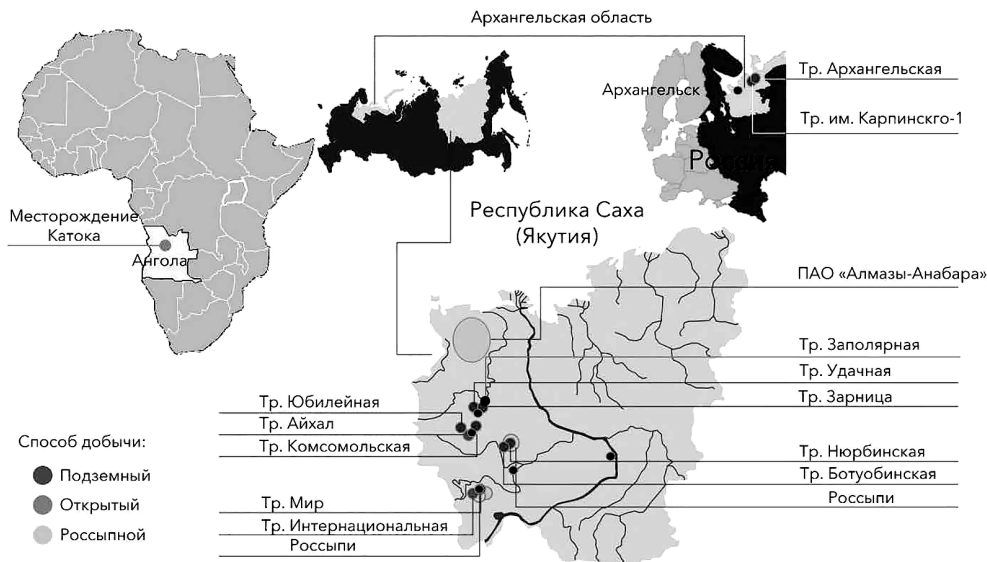
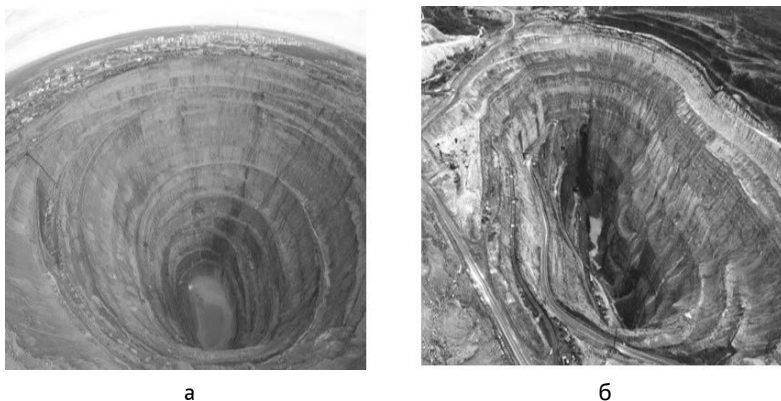


Рис. 1. География АК «АЛРОСА» (ПАО)

Fig. 1. ALROSA PJSC (public company) global footprint



а

б

Рис. 2. Общий вид отработанных алмазородных карьеров: а – карьер «Мир», б – карьер «Айхал»

Fig. 2. General view of mined diamond-bearing open-pits: a – Mir open pit, b – Aikhal open pit

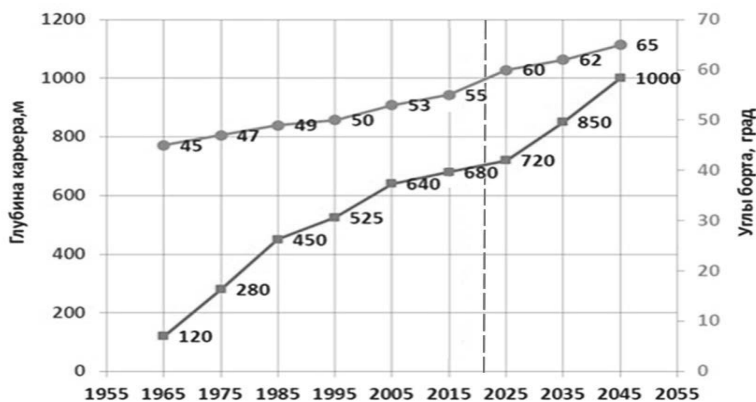


Рис. 3. Динамика изменения параметров карьеров

Fig. 3. Open pits parameters change pattern

работ на 25% при достаточном уровне устойчивости и безопасности [7,8].

Сокращение объемов вскрыши на ряде карьеров формируются вертикальными уступами и крутонаклонными съездами, предназначенными для движения шарнирно-сочлененных самосвалов. В частности, в карьерах «Удачный», «Комсомольский», «Юбилейный» за счет внедрения крутонаклонных схем вскрытия удалось построить нижние участки нерабочих бортов до 90°. Для повышения безопасности и эффективности отработки глубоких карьеров рассматриваются технологии горных работ с использова-

нием систем дистанционного управления комплексами горнотранспортного оборудования (рис. 5).

Широкое распространение криолитозоны в районе расположения алмазных месторождений – Республике Саха (Якутия), осложненных гидрогеологическими, газодинамическими и геомеханическими факторами, ограничивает выбор и применение технологических схем и проектных решений. Учитывая необходимость технологии новой добычи, Компания взамен существующих норм технологического проектирования 1986 года инициировала и осуществила разработку националь-

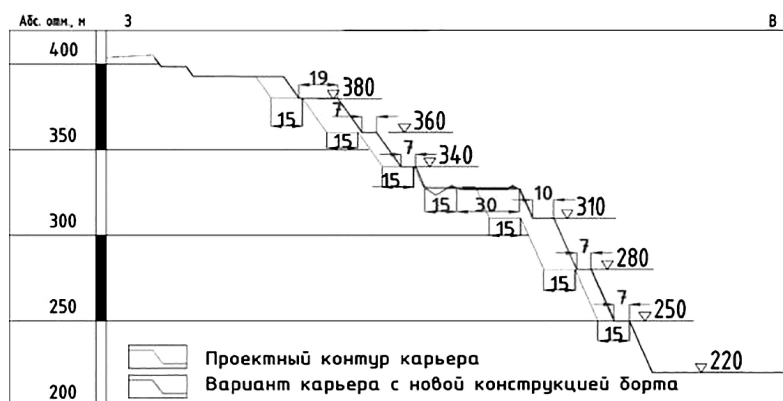


Рис. 4. Безбермовая конструкция борта карьера
 Fig. 4. No berm design of the pit wall

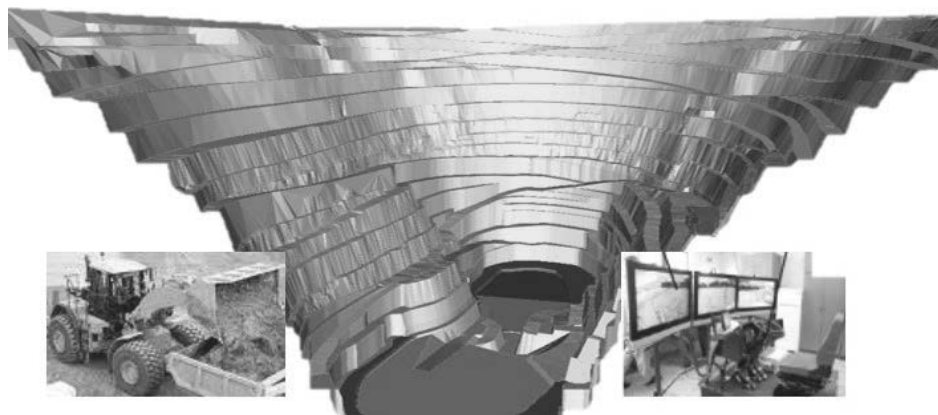


Рис. 5. Отработка карьера крутонаклонными съездами с применением горнотранспортного оборудования с дистанционным управлением
 Fig. 5. Open pit development with steeply inclined ramps using remote-controlled mining equipment

ного стандарта «Разработка алмазородных месторождений открытым способом в криолитозоне. Требование к проектированию» [9]. Специалисты и ученые института приняли участие в разработке большей части разделов национального стандарта, отвечающего современным условиям горного производства и специфическим условиям Якутии.

При пересмотре норм были учтены произошедшие изменения в нормативной документации, регламентирующей составление проектов, а также достиг-

нутый прогресс в области техники и технологии ведения открытых горных работ.

Институт разработал концепцию применения альтернативного топлива — сжатого природного газа, а также участвует в сопровождении данного проекта. Компания рассматривает возможность перевода парка карьерных автосамосвалов и автопоездов на Айхальском и Удачинском ГОКах на газодизельное топливо с использованием сжиженного природного газа.

Данный проект позволит не только значительно сократить выброс парниковых газов, но и обеспечить ежегодную финансовую экономию.

В карьерах «АЛРОСА» внедряется технология буровзрывных работ (БВР) с применением увеличенных интервалов замедлений, между скважинами в ряду — более 150 миллисекунд, между рядами скважин — более 200 миллисекунд.

При производстве взрывов по данной технологии зафиксировано улучшение качества дробления руды с уменьшением удельного расхода взрывчатых веществ (ВВ) до 5% и объёмов бурения до 8% [10].

Также в условиях карьеров Компании внедрена технология применения рассредоточенных зарядов с использованием электронных устройств инициирования «Искра-Т». При этом для создания воздушных промежутков используется устройство, разработанное и запатентованное специалистами АЛРОСА (рис. 6, а).

В связи с современной политикой Компании, направленной на замеще-

ние заводских ВВ на эмульсионные местного приготовления, на протяжении последних лет проводятся работы по научно-методическому сопровождению их приготовления и применения в условиях подземных и открытых разработок [10,11,12].

На карьерах Айхальской и Нюрбинской площадок ведутся опытно-промышленные испытания скважинных зарядов диаметром 200 мм и радиальным зазором 15 мм (рис. 6, б). В ходе их применения подтверждена принципиальная возможность формирования данных зарядов при помощи устройства, разработанного и запатентованного учеными института. При этом получено удовлетворительное качество дробления горной массы.

Подземные горные работы

Восполнение выбывающих мощностей при разработке месторождений алмазов актуализирует вопросы перехода от открытых горных работ к подземному способу разработки. Для решения задач по обоснованию подзем-

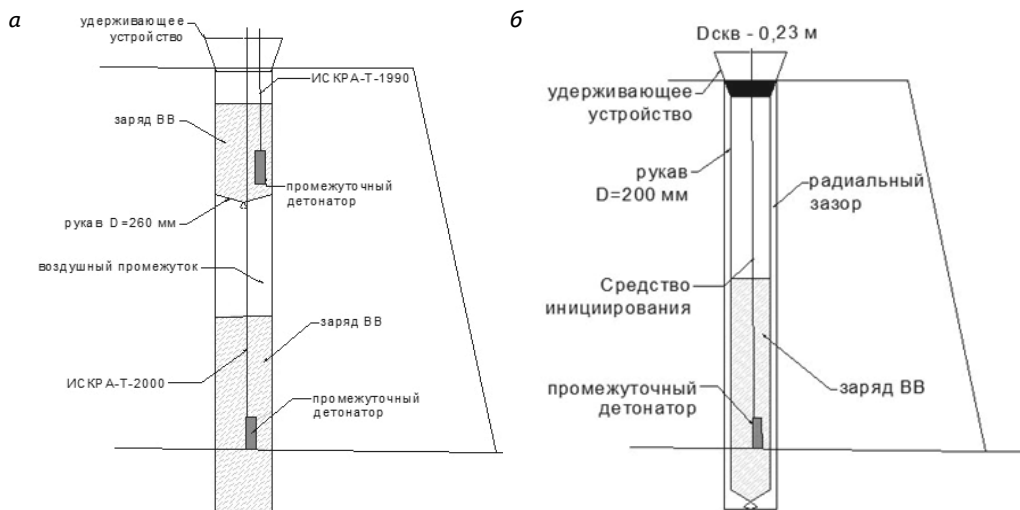


Рис. 6. Конструкции скважинного заряда: а — с воздушным промежутком, б — с радиальным зазором

Fig. 6. Layout of borehole charge: a — with air gap, b — with radial clearance

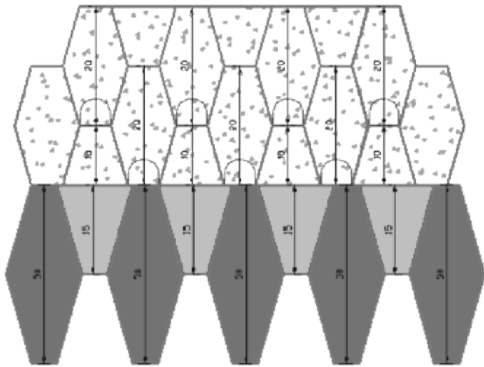


Рис. 7. Система разработки ромбовидными камерами запасов трубки Айхал
 Fig. 7. Diamond-shaped chambers development system used for Aikhal pit reserves development

ных геотехнологий, обеспечивающих безопасную и эффективную отработку алмазных месторождений в сложных горно-геологических условиях, в институте «Якутнипроалмаз» выполнен комплекс научно-исследовательских работ с привлечением ведущих отечественных и зарубежных научных организаций [13,14].

Из наиболее значимых внедрённых научных разработок можно выделить:

- внедрение камерных систем разработки с закладкой на подземном руднике «Айхал», позволившее снизить себестоимость добычи одной тонны руды приблизительно на 11% (рис. 7);
- обоснование технических и технологических решений по отработке запасов трубки Юбилейная подземным способом;
- обоснование конструктивных элементов и основных параметров системы разработки с блоковым самообрушением применительно к условиям месторождения трубки «Удачная» (рис. 8).

По результатам выполненных технико-экономических расчётов подтверждена дальнейшая перспектива внедрения данной системы на месторождении:

- разработаны основные технические решения по обоснованию применения системы разработки для условий подземного рудника «Интернациональный» в интервале отм. –820/–1250. Геомеханическим обоснованием установлено безусловное и очевидное

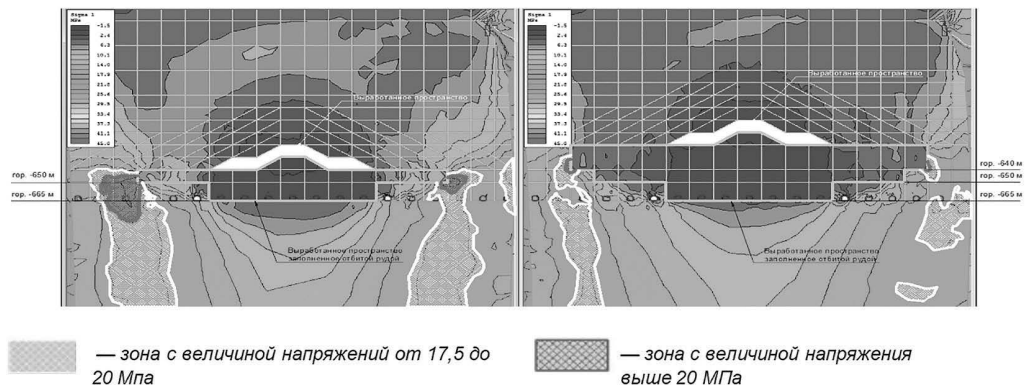


Рис. 8. Моделирование напряжений при формировании одинарной и двойной подсеки при блоковом обрушении для условий месторождения тр. «Удачная»: а – вариант с одним подсечным горизонтом; б – вариант с двумя подсечными горизонтами
 Fig. 8. Modeling of stresses during formation of single and double undercutting during block caving for the Udachnaya pit mining conditions. Udachnaya: а – option with one undercut level; б – option with two undercut levels

превосходство слоевой нисходящей системы разработки с камерно-целиковым порядком выемки и закладкой выработанного пространства по устойчивости конструктивных элементов технологии над другими камерными системами;

– выработана «Концепция возобновления добычных работ на месторождении трубки «Мир». Выполненная работа послужила основой для последующей разработки «Технологического регламента на вскрытие и отработку запасов месторождения трубки «Мир», который в настоящее время находится на завершающей стадии. Уже определены места заложения вскрывающих вертикальных стволов, пробурены контрольно-стволовые скважины, разработаны три варианта камерной системы разработки с последующей закладкой выработанного пространства;

– найдены решения по отработке подкарьерных запасов под обводнённой массой осыпей и поддержания бортов карьера в устойчивом состоянии путём формирования льдопородного искусственного массива в карьере «Интернациональный» с использованием атмосферного холода;

– разработан комплекс технических решений, позволяющих отработать месторождение на трубке «Катока» подземным способом системами с обрушением. По результатам выполненных технико-экономических расчётов подтверждена обоснованность данных решений как с экономической точки зрения, так и с позиции конструктивных технологических оценок.

Гидрогеологическое обеспечение добычных работ — это одна из составляющих безопасности производства. В рамках работ института «Якутнипроалмаз» основные направления исследований оставались неизменными — это изучение гидрогеологических, газоди-

намических и инженерно-геологических условий обрабатываемых месторождений; разработка технических решений по защите рудников и карьеров от притока подземных вод и природных пластовых газов; реализация экологически безопасного обращения с дренажными рассолами [15].

Компанией были реализованы следующие, не имеющие аналогов в мировой практике, проекты:

– строительство и техническое перевооружение узлов обратной закачки, которые, используя структурно-тектоническое строение территории, позволили производить экологически безопасную утилизацию дренажных рассолов, путём их закачки в природные коллекторы, приуроченные к подмерзлотным водоносным комплексам и толще многолетнемерзлых пород (ММП), что, в свою очередь, существенно уменьшило техногенную нагрузку, оказываемую объектами Мирнинского ГОКа на геологическую среду;

– строительство узлов закачки дренажных рассолов, ориентированных на эксплуатацию толщи многолетнемерзлых пород, реализация данного решения позволила организовать экологически безопасную утилизацию дренажных вод с месторождений, обрабатываемых Айхальским, Нюрбинским и Удачинским ГОКами;

– строительство в сложных и крайне сложных, не имеющих аналогов по горно-геологическим условиям, подземных горных выработках рудников «Интернациональный» и «Удачный».

Уникальность всех перечисленных работ связана прежде всего с нестандартностью горно-геологических условий обрабатываемых месторождений, а именно с их нахождением в зоне многолетнемерзлых пород, значительной обводнённостью природными рас-

солами, минерализация которых достигает 100—520 г/л, а также с наличием газонасыщенных карбонатных коллекторов.

Обогащение и обогатительные процессы

С начала развития алмазодобывающей отрасли институтом создавались технологии обогащения алмазосодержащих руд и песков, характерной особенностью которых всегда был поиск новых методов обогащения кимберлитовых руд, основанных на ранее неизвестных или малоизученных свойствах сырья.

Так, на основе результатов научных исследований реализован проект рудоподготовки на фабрике № 3 с применением валково-зубчатой дробилки, скруббера для растепления руды и пресса высокого давления для дораблывания циркулирующих продуктов. Отступление от традиционной технологии самоизмельчения алмазосодержащей руды стало вынужденной мерой, связанной с переходом на подземный способ добычи руды комбайновой отбойкой. Отсутствие крупного куска руды снижает эффективность процесса самоизмельчения. Проведенные исследования показали, что в сложившихся условиях разрушение руды в дробилках имеет преимущества как по степени сохранности алмаза, так и по энергоёмкости процесса.

На основе проведенных исследований осуществлена технологическая модернизация действующего производства на обогатительных фабриках № 3, 12, 14 с внедрением технологии тяжелосреднего обогащения взамен отсадки, что позволило получить дополнительный прирост товарной продукции.

Несмотря на достигнутые высокие показатели по чувствительности, рентгенолюминесцентная сепарация

до недавнего времени имела методические потери до 4%, в зависимости от крупности алмазов, обусловленные тем, что некоторые алмазы обладают слабой или нехарактерной кинетикой люминесценции, имеют низкое содержание примеси азота и относятся к типу IIa. Эти алмазы не могли быть извлечены сепараторами без резкого снижения качества обогатительного процесса, поэтому алмазы крупностью менее 6 мм извлекаются липкостной сепарацией, использующей жировую мазь для прилипания алмазов; однако некоторые алмазы, покрытые минеральной плёнкой, не способны прилипнуть, что снижает извлечение передела.

Для ее замены внедряется новая технология, использующая рентгеновскую абсорбцию и основанная на измерении различий линейных коэффициентов поглощения рентгена алмазом и сопутствующими минералами с последующей компьютерной обработкой. Используя данный метод, разработаны и внедрены сепараторы РГС-1М, РГС-2 для обработки алмазосодержащих продуктов класса крупности -6+3 мм.

Проведены успешные испытания первого в мире рентгенографического доводочного сепаратора РГС-ОД-3 с лазерной триангуляцией, обрабатывающего класс крупности -3+1 мм. Для полной замены липкостной сепарации планируется внедрение высокопроизводительных сепараторов РГС-3. При реализации этих разработок на классе крупности -6 мм РЛС с контрольной операцией на РГС собственного производства позволит увеличить извлечение передела доводки концентратов тяжелосредней сепарации и отойти от такого неэкологичного и энергозатратного производства, как липкостная сепарация [16].

В настоящее время проводятся исследования по применению нано-

секундной импульсной рентгеновской трубки для обнаружения скрытых алмазов. Мощный импульс рентгена, произведённый за наносекунды, позволяет увидеть все детали внутри куска кимберлита и сделать распознавание более полным, чем в классической схеме рентгеноабсорбционных сепараторов (табл.).

Достигнутые результаты позволили в динамическом режиме увидеть алмаз размером до 1 мм в 10-мм куске кимберлита, что в 5 раз эффективней результатов, полученных на зарубежных сепараторах. Дальнейшая модернизация экспериментальной установки позволит обнаружить алмаз в один

миллиметр в куске кимберлита размером не менее 50 мм, что обеспечит снижение циркуляционных нагрузок фабрик и увеличит сохранность добываемого драгоценного сырья. Полученная технология позволит обогащать руду на транспортабельных установках, тем самым вовлекая в обработку множество низкорентабельных алмазных кимберлитовых трубок.

В настоящее время ведётся разработка запатентованной технологии — метода РЛС-ТВ, основанного на использовании контрастных спектральных разделительных признаков — различия цветовых характеристик рентгенолюминесценции алмазов и минералов.

Таблица

Вероятность обнаружения алмазов внутри кимберлита, %
Probability of diamond detection inside kimberlite, %

| Размер алмаза, мм | Толщина кимберлита, мм | | | | | | | | | |
|-------------------|------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | без кимберлита | 5 | 10 | 15 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 |
| 1 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 75 | 50 | — | — | — |
| 1,5 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 75 | — | — |
| 3 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 50 | 50 |
| 4 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |

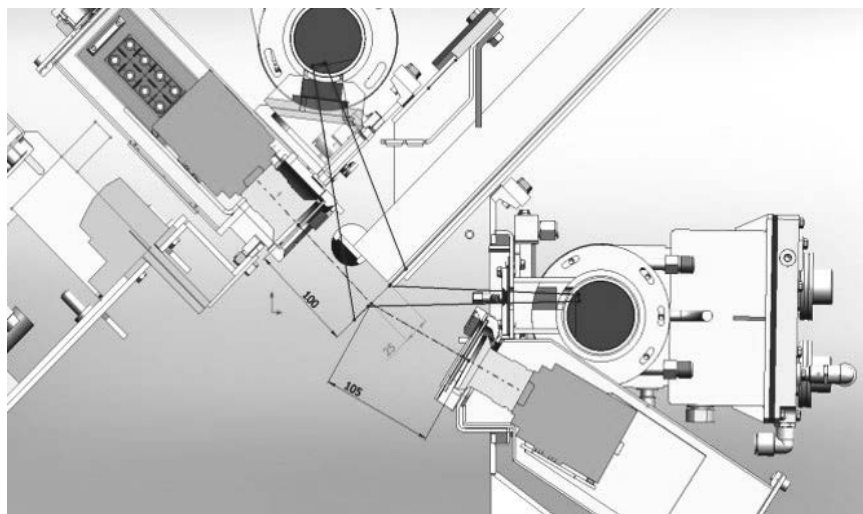


Рис. 9. Рентгенолюминесцентная сепарация — РЛС-ТВ

Fig. 9. X-Ray luminescent separation — XLS-TV

Метод РЛС-ТВ реализован в составе инновационного, программно-технического комплекса многоканальной системы регистрации и избирательной отсечки на основе цветных, высокочувствительных, скоростных видеокамер высокого разрешения и многоканальных пневмоотсекателей для сепараторов типа ЛС-20 – 05Н [17].

Использование метода РЛС-ТВ обеспечит оптимизацию технологических схем переделов РЛС за счёт снижения выхода концентрата и позволит сократить парк сепараторов на стадиях переделки концентратов, снизить повреждаемость алмазов и повысить извлечение переделов РЛС. Метод РЛС-ТВ обеспечивает также возможность извлечения ценных алмазов типа Па за счёт использования новых спектральных разделительных признаков (рис. 9).

В начале 2014 года Компанией была поставлена амбициозная задача — разработать способ и устройство идентификации синтетических бриллиантов, вызванная тревожной статистикой распространения незадекларированных бриллиантов синтетического происхождения на мировом ювелирном рынке. Эта задача была успешно решена институтом «Якутнипроалмаз» с привлечением специалистов Технологического института сверхтвёрдых и новых углеродных материалов (г. Троицк). В ходе совместных исследований разработаны и изготовлены два прибора — стационарный прибор с автоматической кристаллоподачей, предназначенный для использования во время бизнес-сделок, и портативный с независимым питанием для использования в розничной сети (рис. 10).

Аппараты способны определять бриллианты из природных алмазов, бриллианты из синтетических алмазов,

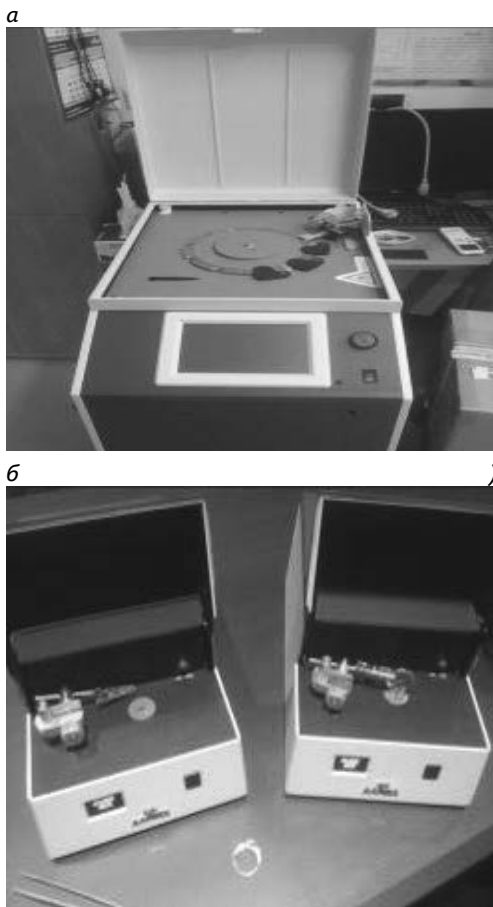


Рис. 10. Устройства идентификации синтетических алмазов: а — стационарный прибор с автоматической кристаллоподачей; б — портативный прибор «ALROSA Diamond inspector»

Fig. 10. Devices for identification of synthetic diamonds: a — fixed device with automatic crystal feeding; b — portable device “ALROSA Diamond inspector”

бриллианты из природных облагороженных алмазов, неалмазные имитации бриллиантов фианиты, муссаниты и др. Такая точность возможна благодаря использованию сразу трёх оптических методов детекции.

В период интенсивного развития автоматизации на институт были возложены функции головного предприятия по разработке автоматизирован-

ных систем управления, определению направлений автоматизации, формированию единой технической политики в сфере промышленной автоматизации в алмазодобывающей отрасли.

В настоящее время на всех основных объектах алмазодобычи — карьерах, подземных рудниках, обогатительных фабриках — разработаны и внедрены современные многоуровневые автоматизированные системы управления технологическими и производственными процессами.

Экология

Компания большое внимание уделяет вопросам сохранения устойчивости экосистем и биоразнообразия в зоне ее присутствия, обеспечению экологической безопасности производства. Снижение негативного влияния на окружающую среду, рациональное использование недр и защита окружающей среды — приоритетные задачи в деятельности Компании, на этих принципах основываются ее управленческие решения [18].

Научно-исследовательская и проектная деятельность института «ЯкутНИПРОАЛМАЗ» вносит значительный вклад в высокие достижения Компании в области охраны окружающей среды.

Кроме оценки состояния окружающей среды выполняется анализ вариантов очистки оборотных вод хвостохранилища ОФ № 16 Накынской промышленной площадки. Выполнены лабораторные исследования. В стадии завершения опытно-промышленный эксперимент. Способы очистки воды, которая характеризуется высокой минерализацией при наличии высоких концентраций хлоридов и сульфатов, солей жёсткости, сводятся к использованию комбинаций методов обратного осмоса, электродиализа и ионного обмена.

Перспективные направления в проектировании

В настоящее время в институте осуществляется проект «Модернизация комплексной системы автоматизированного проектирования». При этом применение BIM-технологий является самым передовым решением в строительной отрасли при возведении, эксплуатации, реконструкции зданий и сооружений, предполагающим комплексную обработку в трёхмерном представлении всей архитектурно-строительной, конструктивной, технологической, экономической и иной информации об объекте.

В качестве перспективных направлений развития планируется выполнить:

- 1) создание информационных цифровых двойников объектов;
- 2) освоение технологии лазерного сканирования.

Следует отметить, что информационное моделирование можно разделить на два больших этапа.

Первый — создание информационных моделей новых объектов.

На данном этапе происходит создание информационной модели с нуля и последующая ее передача в управление капитального строительства. По результатам строительства в информационную модель вносится окончательное текущее состояние, и она передается в эксплуатирующую организацию для отслеживания работоспособности объекта, планирования предупредительных и капитальных ремонтов.

Второй, не менее важный этап, это создание информационных моделей существующих объектов.

На данном этапе планируется проведение обмерочных работ путем лазерного сканирования действующих объектов с целью получения актуальной информационной модели.

После проведения лазерного сканирования из полученного массива точек, с использованием специализированного программного обеспечения, создается информационная модель здания, на которой уже можно проводить работы по техническому перевооружению, реконструкции или ремонту.

Защита интеллектуальной собственности и последующая работа — одно из направлений деятельности института.

За последние десять лет было получено более 100 охранных документов Российской Федерации: патентов на изобретения и полезные модели, свидетельств о регистрации программ для ЭВМ и баз данных. Приоритетной является часть патентного портфеля, включающая промышленные объекты.

Основной причиной защиты результатов интеллектуальной деятельности является получение экономической выгоды и налоговых преференций. Поэтому все внедрённые в производственную и научную деятельность РИД ставятся на бухгалтерский учёт в качестве нематериальных активов, пополняя имущественный комплекс Компании.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Герасимов Е. Н., Зырянов И. В., Коваленко Е. Г. Институт Якутнипроалмаз: результаты, достижения, планы // Горный журнал. — 2021. — № 2. — С. 39—47.

2. Чаадаев А. С., Зырянов И. В., Бондаренко И. Ф. Состояние и перспективы развития горно-обогащительных технологий на алмазодобывающих предприятиях АК «АЛРОСА» (ПАО) // Горная промышленность. — 2017. — № 2. — С. 7—13.

3. Акишев А. Н., Лель Ю. И., Глебов И. А. Инновационная технология вскрытия и разработки глубоких кимберлитовых карьеров // Известия ТулГУ. Науки о Земле — 2019. — № 3. — С. 111—123.

4. Акишев А. Н., Лель Ю. И., Бокий И. Б., Исаков С. В., Глебов И. А. Инновационная технология открытой разработки кимберлитовых месторождений с изменяемой геометрией рабочих бортов карьера // Известия вузов. Горный журнал — 2018. — № 8. — С. 5—15.

5. Акишев А. Н., Бокий И. Б. К вопросу о возможности увеличения угла наклона карьера в условиях криолитозоны // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). — 2014. — № 8. — С. 36—40.

Заключение


1. Проблемы, возникающие в ходе интенсивной обработки алмазородных месторождений, — загазованность, обводненность, предельные глубины горных разработок, неустойчивость горного массива, низкое содержание полезного компонента в руде, характерны для современного горного производства.

2. Существующие производственные мощности Компании обеспечены современными технологиями добычи алмазной продукции, в основу которых положены разработки института «Якутнипроалмаз».

3. На алмазодобывающих предприятиях внедрен комплекс разработанных технических решений как совокупность основных и вспомогательных технологических процессов, которые обеспечили повышение устойчивости добычи алмазной продукции и более полное использование георесурсов, находящихся в разработке Компании.

Вклад авторов

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

6. Зырянов И. В., Кондратьев А. П. Опытнo-промышленная эксплуатация многозвенных автопоездов Scania и Volvo в АК «АЛРОСА» // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2015. – № 530. – С. 71–83.
7. Azhary A., Ozbay U. Investigating the effect of earthquakes on open pit mine slopes. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*. 2017, vol. 100, pp. 218–228.
8. Акишев А. Н., Бокий И. Б., Решетов А. В., Большаков О. И. К вопросу внедрения безбермовой конструкции нерабочих бортов на алмазородных карьерах Компании // Наука и инновационные разработки – Северу: II Международная научно-практическая конференция 14–15 марта 2019 г., посвященная 25-летию политехнического института (филиала) Северо-восточного федерального университета имени М. К. Аммосова в г. Мирном: Сборник материалов конференции в 2-х частях. Ч. I. – Мирный, 2019. – С. 202–205.
9. Национальный стандарт Российской федерации. *ГОСТ Р*. Разработка алмазородных месторождений открытым способом в криолитозоне. Требования к проектированию. – М.: Стандартиформ, 2018. – 156 с.
10. 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.
11. Frantov A. E., Didyura A. E. Quality control of mixing the components in primary granular explosives // 9th International Conference on Physical Problems of Rock Destruction, Sept. 2017, Zhoushan, China, pp. 411–414.
12. Sarathy M. O. Bench blasting: Objectives and best practices // *Journal of Mines, Metals and Fuels*. 2015, vol. 63, I 88. 4, pp. 76–87.
13. Коваленко А. А., Тишков М. В. Оценка подземного способа отработки месторождения трубки «Удачная» с применением системы самообрушения // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2017. – № 4. – С. 117–128.
14. Неверов А. А., Неверов С. А., Никольский А. М., Тишков М. В., Шукин С. А. Камерная система разработки вертикальными блоками с закладкой на руднике «Интернациональный» // *Фундаментальные и прикладные вопросы горных наук*. – 2018. – Том 5. – № 2. – С. 108–114.
15. Янников А. М. Гидрогеология мирнинского кимберлитового поля (республика Саха (Якутия)) / Под общ. ред. А. В. Толебова.– Мирный: АЛРОСА, 2021. – С. 238.
16. Itangulov S. V., Yakovlev V. N., Zyryanov I. V., Makalin I. A., Ivanov A. V. Low-Luminescent Diamonds Recovery Using X-Ray Transmission Separation Technology // 29th international mineral processing congress (IMPC 2018). – 17–21 september, 2018. – Moscow. – Pp. 264–268.
17. Ульянов В. Г., Вишневецкий А. А., Димант Б. И., Новоселов А. Г., Пилюгин А. В., Яковлев В. Н. Способ рентгенолюминисцентной сепарации минералов и рентгенолюминисцентный сепаратор для его осуществления // Патент РФ №2604317. Заявлен 10.07.2015, опублик. 10.12.2016.
18. Иванов Ф. Ю., Кулинич Н. Е., Кожин В. А. Количественная оценка выбросов углекислого газа передвижными и стационарными источниками в результате производственной деятельности АК «АЛРОСА» // Молодежь и научно-технический прогресс в современном мире: Сборник докладов VI Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, Москва, 16–17 апр., 2015. – М., 2015. – С. 54–63. 

REFERENCES

1. Gerasimov E., Zyryanov I., Kovalenko E. Yakutniiproalmaz Institute: Results, Achievements, Projections. *Mining Journal*. 2021, no. 2, pp. 39–47. [In Russ].

2. Chaadaev A., Zyryanov I., Bondarenko I. State and Prospects of Mining and Processing Technologies at ALROSA's Diamond Mining Enterprises. *Mining Industry*. 2017, no. 2, pp. 7 – 13. [In Russ].
3. Akishev A., Lel Yu., Glebov I. Innovative technology of stripping and development of kimberlite with deep open pits. Proceedings of Tula State University. *Earth Sciences*. 2019, no. 3, pp. 111 – 123. [In Russ].
4. Akishev A., Lel Yu., Bokiy I., Isakov S., Glebov I. Innovative technology of open-pit mining of kimberlite deposits with variable geometry of the intermediate pit walls. Proceedings of Higher Education Institutions. *Mining Journal*. 2018, no. 8, pp. 5 – 15. [In Russ].
5. Akishev A., Bokiy I. On the Possibility of Increasing the Pit Wall Slope Angle in the Cryolithozone. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2014, no. 8, pp. 36 – 40. [In Russ].
6. Zyryanov I., Kondratyuk A. Pilot Operation of Scania and Volvo multi-truck trains in ALROSA. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2015, no. S30, pp. 71 – 83. [In Russ].
7. Azhary A., Ozbay U. Investigating the Effect of Earthquakes on Open Pit Mine Slopes. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*. 2017, vol. 100, pp. 218 – 228.
8. Akishev A., Bokiy I., Reshetov A., Bolshakov O. Revisiting the Issue of Introducing No-Berm Design of Non-Operable Pit Walls at the Company's Diamond Open-Pits. Science and Innovation Development to the North: II International Scientific and Practical Conference held on March 14 – 15, 2019, dedicated to the 25th anniversary of the Polytechnic Institute (branch) of the North-Eastern Federal University named after M. K. Ammosov in Mirny: Collection of Conference Proceedings in 2 parts Part I. Mirny. 2019, pp. 202 – 205. [In Russ].
9. National Standard of the Russian Federation. GOST R. Open-Pit Mining of Diamond Deposits in the Cryolithozone. Design Requirements. Moscow: Standardinform, 2018. p. 156. [In Russ].
10. Bondarenko I., Nikitin R., Khon V., Kovalevich S. Revisiting the Issue of Explosion Energy Management. *Mineral Resource Management XXI century*. 2018, no. 2 (71), pp. 62 – 69. [In Russ].
11. Frantov A., Didyura A. Quality Control of Mixing the Components in Primary Granular Explosives. 9th International Conference on Physical Problems of Rock Destruction, Sept. 2017, Zhoushan, China, pp. 411 – 414.
12. Sarathy M. O. Bench blasting: Objectives and Best Practices. *Journal of Mines, Metals and Fuels*. 2015, vol. 63, is. 4, pp. 76 – 87.
13. Kovalenko A., Tishkov M. Evaluation of the Underground Mining Method of the Udachnaya Pipe Using Block Caving System. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2017, no. 4, pp. 117 – 128. [In Russ].
14. Neverov A., Neverov S., Nikolsky A., Tishkov M., Shukin S. Room-and-Pillar Mining Method with Backfilling at the International Mine. *Fundamental and Applied Issues of Mining Sciences*. 2018, vol. 5, no. 2, pp. 108 – 114. [In Russ].
15. Yannikov A. Hydrogeology of the Mirny Kimberlite Field (Republic of Sakha (Yakutia)). Ed. by Tolebov A. Mirny: Alrosa, 2021. p. 238. [In Russ].
16. Imangulov S., Yakovlev V., Zyryanov I., Makalin I., Ivanov A. Low-Luminescent Diamonds Recovery Using X-Ray Transmission Separation Technology. 29th International Mineral Processing Congress (IMPC 2018). September 17 – 21. Moscow. 2018, pp. 264 – 268.
17. Ulyanov V., Vishnevsky A., Dimant B., Novoselov A., Pilyugin A., Yakovlev V. Method of X-ray Luminescence Sorting and X-ray Luminescence Sorter for the Implementation of the Said Method. Russian patent No. 2604317. Application filed on July 10, 2015, published on December 10, 2016. [In Russ].

18. Ivanov F., Kulinich N., Kozhin V. Quantitative Assessment of Carbon Dioxide Emissions from Mobile and Stationary Sources Caused by ALROSA's Production Activities. Youth and Scientific and Technological Progress in the Modern World: Conference Proceedings of the VI All-Russian Scientific Conference of Students, Postgraduate Students and Young Scientists, Moscow, 16–17 April, 2015. М.; 2015. pp. 54–63. [In Russ].

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

*Айгистов Марат Рафаилович*¹ – и.о. главного инженера компании, <http://www.alrosa.ru/>, AygistovMR@alrosa.ru, ORCID 0000-0003-4137-3607;

*Герасимов Евгений Николаевич*² – директор института, <http://www.ynalrosa.ru/>, GerasimovEN@alrosa.ru, ORCID 0000-0001-7775-3885;

*Бондаренко Иван Федорович*² – канд. техн. наук, ученый секретарь, <http://www.ynalrosa.ru/>, e-mail: BondarenkoIF@alrosa.ru, ORCID 0000-0002-9414-2661;

*Зырянов Игорь Владимирович*² – докт. техн. наук, заместитель директора по научной работе, <http://www.ynalrosa.ru/>, e-mail: ZyryanovIV@alrosa.ru, ORCID 0000-0003-4346-6671;

¹ АК «АЛРОСА» (ПАО), 678174, Республика Саха (Якутия), г. Мирный, ул. Ленина, 6, Россия;

² Якутский научно-исследовательский и проектный институт алмазодобывающей промышленности «Якутнипроалмаз» ПАО «АЛРОСА», 678174, Республика Саха (Якутия), г. Мирный, ул. Ленина, 39, Россия.

Для контактов: *Бондаренко И. Ф.*, e-mail: BondarenkoIF@alrosa.ru.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

*Aigistov M. R.*¹, Deputy Chief Engineer of the Company, <http://www.alrosa.ru/>;

*Gerasimov E. N.*², Director of the Institute, <http://www.ynalrosa.ru/>;

*Bondarenko I. F.*², Cand. Sci. (Eng.), Scientific Secretary, <http://www.ynalrosa.ru/>, e-mail: BondarenkoIF@alrosa.ru;

*Zyryanov I. V.*², Dr. Sci. (Eng.), Deputy Director for Research, <http://www.ynalrosa.ru/>, e-mail: ZyryanovIV@alrosa.ru;

¹ Executive Office of ALROSA PJSC (public company), 678174, Republic of Sakha (Yakutia), Mirny, ul. Lenina 6, Russia;

² Yakutniproalmaz Research and Design Institute of Diamond Mining, ALROSA PJSC (public company), 678174, Republic of Sakha (Yakutia), Mirny, ul. Lenina 39, Russia.

Corresponding author: *Bondarenko I. F.*, e-mail: BondarenkoIF@alrosa.ru.

Получена редакцией 26.10.2021; получена после рецензии 15.03.2022; принята к печати 10.04.2022.

Received by the editors 26.10.2021; received after the review 15.03.2022; accepted for printing 10.04.2022.

