



## Вклад Института горного дела УрО РАН в современные технологии для алмазной промышленности

А.В. Глебов<sup>1</sup>✉, И.В. Зырянов<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Институт горного дела Уральского отделения РАН, г. Екатеринбург, Российская Федерация

<sup>2</sup>Институт «Якутнипроалмаз», г. Мирный, Российская Федерация

✉ glebov@igduran.ru

**Резюме:** Представлен анализ выполненных Институтом горного дела Уральского отделения РАН за последние десятилетия научно-исследовательских работ по заказу АК «АЛРОСА». Отмечаются их научная новизна и практическая значимость. Многие работы основаны на результатах фундаментальных и прикладных исследований, что позволило обоснованно и с большой эффективностью их внедрять на действующем производстве. Институт горного дела УрО РАН входит в число приоритетных научных партнеров института Якутнипроалмаз. На протяжении многолетнего сотрудничества коллективом научных сотрудников Институтом горного дела УрО РАН исследовались горнотехнические, геологические и климатические условия ведения горных работ в криолитозоне. Для карьеров и рудников АК «АЛРОСА» разработаны инновационные техника и технологии добычи кимберлитовой руды в стесненных условиях карьеров на больших глубинах. Разработаны методики оценки и выбора вида транспорта и моделей автосамосвалов. Даны рекомендации по безопасной эксплуатации карьерного транспорта в том числе с роботизированным управлением. Выполнены исследования, на основании которых разработаны технологические регламенты для проектов вскрытия и разработки запасов трубки «Удачная». Обоснована методика расчета и разработаны нормативы буровзрывных работ для карьеров алмазодобывающих предприятий Российской Федерации, расположенных в криолитозоне. Рекомендовано соотношение категорий пород по взрываемости и удельного расхода взрывчатых веществ, позволяющее установить рациональные пределы изменения параметров буровзрывных работ в криолитозоне. На основе натурных исследований определены численные значения напряженно-деформированного состояния горного массива в процессе проходки подземных выработок. Обоснованы геомеханические условия подземной разработки алмазного месторождения «Трубка Удачная» в условиях перехода от открытых к подземным горным работам с учетом напряженно-деформированного состояния и геодинамической активности различных участков горного массива рудника. Разработан ряд разделов для национального стандарта «Разработка алмазородных месторождений открытым способом в криолитозоне».

**Ключевые слова:** открытые и подземные горные работы, технологический транспорт, автопоезд, гусеничный самосвал, повышенные продольные уклоны дорог, глубинная зона, предохранительная подушка, подкарьерные запасы, буровзрывные работы в криолитозоне

**Для цитирования:** Глебов А.В., Зырянов И.В. Вклад Института горного дела УрО РАН в современные технологии для алмазной промышленности. *Горная промышленность*. 2022;(1S):26–33. DOI: 10.30686/1609-9192-2022-1S-26-33.

## Contribution of the Institute of Mining of the Ural branch of RAS to development of modern technologies for the diamond industry

A.V. Glebov<sup>1</sup>✉, I.V. Zyryanov<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Institute of Mining of Ural Branch of RAS, Ekaterinburg, Russian Federation

<sup>2</sup>Yakutniproalmaz Institute, Mirny, Russian Federation

✉ glebov@igduran.ru

**Abstract:** The paper presents an analysis of the research work carried out by the Institute of Mining of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences over the past decades by request of AK ALROSA. Their scientific novelty and practical significance are noted. Many works are based on the results of fundamental and applied research, which made it possible to implement them reasonably and with great efficiency at the existing operations. It is acknowledged that the Mining Institute of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences is one of the priority scientific partners of the Yakutniproalmaz Institute. Over the many years of cooperation, a team of researchers from the Mining Institute of UB of RAS has studied the mining, geological and climatic conditions of mining operations in the permafrost zone. Innovative techniques and technologies for mining kimberlite ores in confined conditions of deep open pits as well as methods to assess and select the type of transport and dump truck models have been developed for the open pits and underground mines of AK ALROSA. Recommendations are provided on the safe operation of open-pit transport, including the one with robotic control. Studies have been carried out which were used as the basis to develop technological regulations for projects of reaching and developing reserves of the Udachnaya Tube. A calculation method was proposed and standards were developed for drilling and blasting operations in open pits of diamond mining enterprises of the Russian Federation located in



the permafrost zone. The correlation of rock categories according to blastability grade and the specific consumption of explosives, which we recommended, allows to establish rational limits for changing the parameters of drilling and blasting operations within the permafrost zone. Based on field studies, numerical values of the stress-and-strain state of the rock mass were defined during the construction of underground workings. The geomechanical conditions of underground mining of the Udachnaya Tube diamond deposit were justified for the conditions of transition from the open-pit mining operations to the underground ones, considering the stress-and-strain state and geodynamic activity of various sections of the rock massif. Several sections have been developed for the national standard of the Russian Federation “Mining of diamond ore deposits with open-cast method in the permafrost zone”.

**Keywords:** open cast and underground mining operations, technological transport, road train, tracked dump truck, increased longitudinal slopes of roads, sink zone, safety pillow, underground reserves, drilling and blasting operations within the permafrost zone

**For citation:** Glebov A.V., Zyryanov I.V. Contribution of the Institute of Mining of the Ural branch of RAS to development of modern technologies for the diamond industry. *Gornaya promyshlennost = Russian Mining Industry*. 2022;(1 Suppl.):26–33. DOI: 10.30686/1609-9192-2022-1S-26-33.



**А.В. Глебов,**  
кандидат технических наук,  
заместитель директора  
Института горного дела  
Уральского отделения РАН



**И.В. Зырянов,**  
доктор технических наук,  
заместитель директора  
Института «Якутнипроалмаз»

## Введение

Отработка алмазородных месторождений Якутии ведется в самых сложных горнотехнических, геологических и климатических условиях. В 2015 г. завершилась отработка открытым способом трубки «Удачная». Глубина карьера составила 640 м и является самой большой в РФ.

Многообразие и сложность технических, а также технологических задач, которые приходится решать институту Якутнипроалмаз АК «АЛРОСА», невозможно без привлечения внешних подрядчиков. В начале 1990-х их было до 100 предприятий и организаций. В настоящее время количество научных партнеров сократилось (в среднем не более 15), но ИГД УрО РАН остается одним из приоритетных для института Якутнипроалмаз.

Ниже приведены некоторые результаты фундаментальных и прикладных исследований ИГД УрО РАН, выполненных с целью развития алмазодобывающей промышленности в XXI в.

## Обзор исследований

В 2002 г. лабораторией транспортных систем карьеров и геотехники разработана методика оценки уровня потребительских качеств и конкурентоспособности моделей карьерных автосамосвалов с целью выбора лучшей для Айхальского ГОКа [1; 2]. Новизна предлагаемой методики заключается в том, что уровень потребительских качеств (УПК) оценивается на основе комплексного учета частных уровней качества: технического, сервисного обслуживания, пригодности к конкретным условиям эксплуатации и производственной эффективности с учетом изменения во времени. Конкурентоспособность определяется по трем критериям: «цена автосамосвала», «стоимость сервисного обслуживания», «затраты на приобретение и сервисное

обслуживание». Выбор лучшей модели автосамосвала из числа нескольких одного класса грузоподъемности производится по показателю УПК и коэффициентам конкурентоспособности.

Институт «Якутнипроалмаз АК «АЛРОСА», одним из первых в мире предложил технологию доработки глубоких карьеров с применением крутонаклонных съездов для доработки карьера «Удачный» в 2008 г. [3]. После проведенных совместно с ИГД УрО РАН научно-исследовательских работ [4; 5] принято решение о применении в качестве транспортного средства самосвалов с шарнирно-сочлененной рамой. Были разработаны варианты технологии проходки крутых съездов на карьерах АК «АЛРОСА» с использованием имеющегося горнотранспортного оборудования [4; 6], а также временные рекомендации по безопасной эксплуатации шарнирно-сочлененных самосвалов (ШСС) на крутых уклонах, на горных работах, согласованные с управлением Государственного горного и металлургического надзора<sup>1</sup>.

Сложности при внедрении упомянутых выше решений были связаны с тем, что применение инновационной техники и технологий ограничивалось целым рядом требований нормативных документов, таких как нормы технологического проектирования, СНиПы, правила безопасности и т.д., разработанных в 80-х годах прошлого столетия.

Реализация проектных решений началась с отстройки крутонаклонного съезда на карьере «Удачный» с 2010 по 2012 г. и приобретения в конце 2011 г. самосвала САТ-740В [7]. В соответствии с данными [7] за время испытаний на трассе с продольным уклоном от 10 до 23,7% была подтверждена

<sup>1</sup> Временные рекомендации по безопасной эксплуатации шарнирно-сочлененных самосвалов на крутых уклонах, на горных работах АК «АЛРОСА» (ЗАО). Согласовано начальником управления Государственного горного и металлургического надзора №13-02-ИД-01145-2008. Екатеринбург: ИГД УрО РАН; 2008. 11 с.

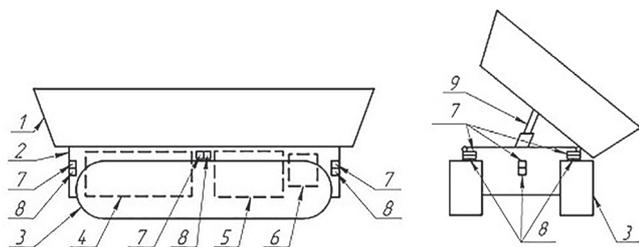
техническая и технологическая возможность эксплуатации ШСС в тяжелых горнотехнических и природно-климатических условиях доработки кимберлитовых трубок.

В результате проведенных исследований установлены: максимальные уклоны при транспортировании горной массы на подъем; максимальная скорость движения в порожнем и грузовом направлении на уклоне до 24%; рациональные безопасные параметры автомобильных съездов (ширина проезжей части, ширина транспортной бермы, уширение проезжей части, высота удерживающего породного вала и др.). Обоснованы технологии строительства и обустройства транспортных съездов. Разработаны меры по предотвращению аварийных ситуаций при движении самосвалов на крутых уклонах, работе в забое, во время погрузочно-разгрузочных и буксировочных работ с учетом погодных условий.

Одновременно выполнялись исследования, в которых рассмотрены варианты гусеничных самосвалов грузоподъемностью 20–60 т. Рассчитаны и обоснованы основные параметры гусеничных самосвалов для работы в сложных условиях доработки кимберлитовых карьеров [8; 9]. Укрупненные технико-экономические расчеты показывали в то время, что стоимость транспортировки 1 ткм горной массы возрастает более чем в 3 раза. Несмотря на существенное удорожание себестоимости транспортной работы, новая технология позволяла сократить годовые затраты на транспортировку вскрыши до 40%. В настоящее время принято решение в АК «АЛРОСА» повторно и более детально в 2022–2023 гг. рассмотреть данное техническое решение применительно к трубке «Нюрбинская».

В продолжение проведенных исследований разработано компоновочное решение специального гусеничного самосвала с дистанционным управлением без кабины оператора, благодаря которому возможно обрабатывать наиболее опасную глубинную зону глубоких кимберлитовых карьеров с предельными по устойчивости откосами бортов карьеров при движении по крутонаклонным съездам с уклонами более 30% (рис. 1). На данную конструкцию получен приоритет на полезную модель «Гусеничный самосвал для транспортирования горной массы».

С целью восполнения минерально-сырьевой базы в АК «АЛРОСА» пришли к необходимости вовлечения в обработку относительно бедных и удаленных (от 20 до 200 км) от основных обогатительных фабрик месторождений.



**Рис. 1**  
Компоновочная схема гусеничного самосвала с дистанционным управлением:  
1 – кузов;  
2 – пространственная силовая рама;  
3 – гусеничный движитель;  
4 – двигатель внутреннего сгорания;  
5 – трансмиссия;  
6 – блок дистанционного управления;  
7 – выносные приемо-передающие радиоантенны;  
8 – видеорекамеры

**Fig. 1**  
Layout of a remotely-controlled crawler dump truck:  
1 – dump box;  
2 – carrier frame;  
3 – crawler unit;  
4 – combustion engine;  
5 – transmission;  
6 – remote control unit;  
7 – remote transmitting and receiving radio antennas;  
8 – video cameras

Перед ИГД УрО РАН была поставлена задача выбора наиболее дешевого вида транспорта для доставки руд на обогатительные фабрики. В результате анализа различных видов транспорта: карьерные автосамосвалы, троллейвозы и дизель-троллейвозы, железнодорожный транспорт, в том числе узкой колеи, автосамосвалы и автопоезда общего назначения, грузовая подвесная канатная дорога, конвейерный транспорт, снегоболотоходы – установлено, что предпочтительными видами транспорта для освоения удаленных относительно бедных месторождений являются автотранспорт на базе автопоездов общего назначения, грузовая подвесная дорога и железнодорожный транспорт легкой конструкции.

С учетом планируемых объемов перевозок, существующих транспортных коммуникаций, температуры наружного воздуха, рельефа местности и маневренности транспортных средств – институтом Якутнипроалмаз обоснована и внедрена инновационная транспортная система на основе многозвенных автопоездов грузоподъемностью 70–130 т. При этом большая эффективность достигается при использовании машин с осевыми нагрузками до 25 т и на продольных уклонах дорог до 6%.

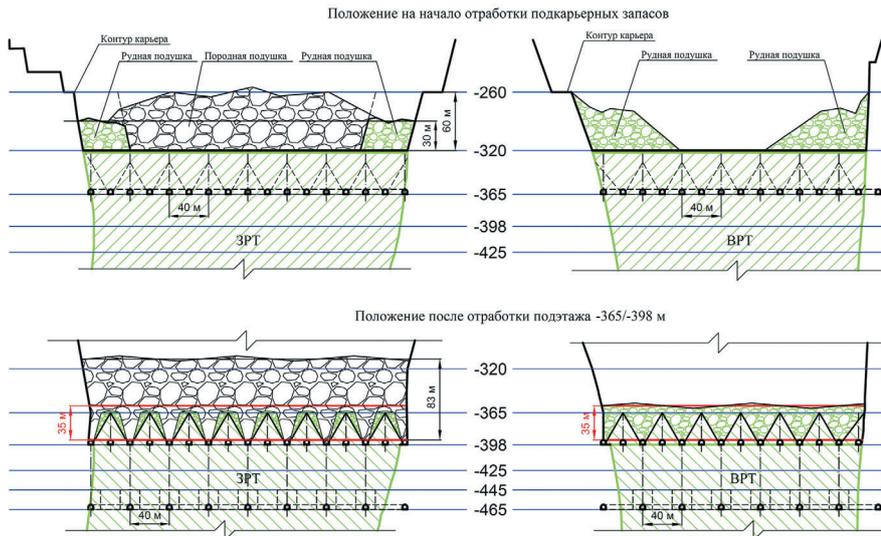
В тесном сотрудничестве и при участии специалистов рудника «Удачный» и института «Якутнипроалмаз» лабораторией подземной геотехнологии ИГД УрО РАН выполнен ряд научно-исследовательских работ и технологических регламентов для проектов вскрытия и разработки запасов трубки «Удачная» в отм. –260/–580 м, в которых:

- обоснована комплексная технология отработки приобортовых и подкарьерных запасов системами с обрушением руды, обеспечивающая эффективность и безопасность добычных работ и достижение рудником производственной мощности 4 млн т руды в год; разработаны специальные мероприятия по безопасному ведению горных работ в условиях наличия в рудном массиве карстов, высокой обводненности и газоносности месторождения [10];

- скорректирована схема вскрытия и подготовки запасов подземного рудника с учетом развития открытых горных работ, предусматривающая автомобильный транспорт руды и породы по гор. –380 м и конвейерный транспорт руды с установкой участковых дробилок на основных откаточных горизонтах, позволяющая отказаться от строительства ранее запроектированного гор. –305 м, двух квершлагов гор. –380 м, кольцевых полевых штреков западного рудного тела (ЗРТ) и восточного рудного тела (ВРТ) гор. –480 м и –580 м, разработаны схемы и обоснованы параметры вентиляции рудника на различных этапах его строительства и эксплуатации [11];

- рекомендована рациональная конструкция траншейного днища при площадном выпуске руды с расположением траншейных штреков на уровне кровли погрузочных заездов и укреплением целика над погрузочными заездами, обеспечивающая сохранность выпускных выработок в течение всего периода очистных работ и приемлемый уровень потерь и разубоживания руды [12];

- обоснована необходимая мощность предохранительной подушки, формируемой для защиты и изоляции подземных горных работ от карьера, при отработке запасов системами с принудительным обрушением и самообрушением руды, определены способы создания и выполнена оценка влияния на эффективность добычи руды наличия над ЗРТ рудо-породной, а над ВРТ – рудной предохранительной подушки (рис. 2), разработаны мероприятия по



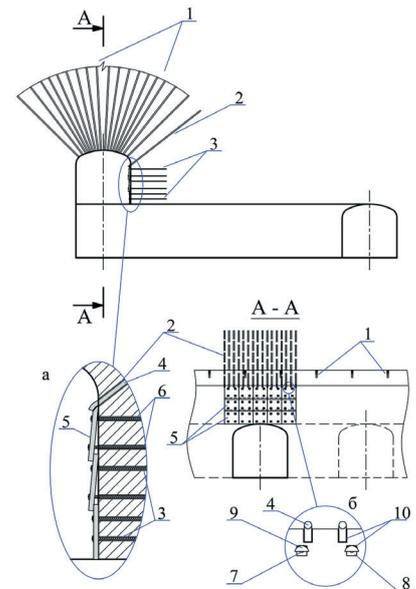
**Рис. 2**  
Формирование предохранительной подушки при отработке запасов ЗРТ и ВРТ трубки «Удачная»

**Fig. 2**  
Creation of a safety cushion when mining the Western and Eastern ore bodies at the Udachnaya Pipe

выпуску руды, обеспечивающие поддержание необходимой мощности подушки в процессе отработки запасов до отм. –680 м [13].

На основании обобщения результатов работы применительно к условиям рудника «Удачный» обоснованы конструктивные параметры дна блока, разработаны конструкции дна блока для трех вариантов технологии отработки подкарьерных запасов рудника, предложены типы крепления выработок выпуска и футеровки выпускных отверстий. Определена область применения различных конструкций дна блока, позволяющая обеспечить устойчивость дна блока на весь срок его службы, выбраны способы поддержания выработок горизонта выпуска, обеспечивающие надежность и безопасность ведения очистных работ. Для отработки добычных блоков с большими эксплуатационными запасами на участках повышенной трещиноватости разработано дно с анкерным армированием и футеровкой рудоската приемной траншеи и лобовины выпускной выработки (рис. 3).

В период с 2015 по 2017 г. сотрудниками лаборатории разрушения горных пород ИГД УрО РАН выполнена научно-техническая работа на тему: «Обоснование методики расчета и разработка нормативов буровзрывных работ для карьеров алмазодобывающих предприятий РФ, расположенных в криолитозоне». В ней отмечены особенности строения и механизма взрывного разрушения грунтов криолитозоны, а также добычи кимберлитов с применением буровзрывных работ (БВР). Выполнен анализ опубликованных результатов теоретических и научно-практических исследований в области разрушения кристаллов при взрывном нагружении кристаллосодержащей твердой среды, управления процессом трещинообразования при взрыве горного массива, минимизации повреждений природных кристаллов алмазов при буровзрывном дроблении кимберлитовых руд в глубоких карьерах АК «АЛРОСА» (ПАО). В силу противоречивости литературных данных о непосредственном влиянии взрывных работ на повреждаемость кристаллов алмазов сделан вывод о целесообразности управления трещинообразованием и предварительным разрушением пород путем регулирования турбулентности



**Рис. 3**  
Схема футеровки рудоската и лобовины соответственно трубами и металлическими листами:  
1 – взрывные скважины;  
2 – скважины для армирования трубами;  
3 – шпурсы; 4 – трубы;  
5 – металлический лист;  
6 – анкеры; 7 – «замок»;  
8 – пятка анкеров;  
9 – защитные пластины;  
10 – сварной шов

**Fig. 3**  
Layout of the ore roll and front bricking lining, respectively, with pipes and metal sheets:  
1 – blast holes;  
2 – pipe reinforcement holes;  
3 – drill holes;  
4 – pipes;  
5 – metal sheet;  
6 – rock bolts;  
7 – a "lock";  
8 – rock bolt toe;  
9 – protection plates;  
10 – welded joint

продуктов взрыва, в том числе за счет подбора взрывчатого вещества с необходимыми для конкретных условий детонационными характеристиками. С этой целью выполнен сравнительный анализ известных методик расчета удельного расхода ВВ по степени учета в них основных влияющих факторов (свойства пород, характеристики ВВ, технологические параметры БВР). Установлено соответствие методик предварительного расчета удельного расхода ВВ фактическим расходам ВВ в реальных условиях алмазодобывающих карьеров АК «АЛРОСА» (ПАО) на данном этапе развития БВР. Даны рекомендации по выбору оптимальной методики для предварительного вычисления проектного удельного расхода ВВ на алмазодобывающих карьерах Севера. Рекомендовано соотношение (табл. 1) категорий пород по взрываемости и удельного расхода ВВ (граммонит 79/21), позволяющее установить рациональные пределы изменения параметров БВР в криолитозоне.

Часть полученных результатов в рамках разработки нормативов БВР позже нашла отражение в концепции, изложенной в статьях [15–17]. В целом вопросы разрушения взрывом кимберлитового массива, рассмотренные в данной работе, отражены в ряде публикаций [14; 18–23].

Немало исследований проведено и в области геомеханики.

Выполнены натурные исследования и определены численные значения тектонических напряжений и модулей деформации рудопородного массива месторождения «Трубка Удачная» с использованием новой методики натурных замеров больших (соизмеримых с размерами месторождения) участков породного массива. Исследования базировались на спутниковых (GPS / Глонасс) измерениях смещений реперных пунктов в окрестностях карьера и

**Таблица 1**  
Сопоставление категории взрываемости удельному расходу граммонита 79/21 при разрушении горных пород в криолитозоне

Категории взрываемости	Удельный расход ВВ, кг/м <sup>3</sup>
I–II	0,20–0,35
II–III	0,35–0,50
III–IV	0,50–0,65
IV–V	0,65–0,80
V–VI	0,80–0,95
VI–VII	0,95–1,10
VII–VIII	1,10–1,25

Источник: [14, с. 57].  
Source: [14, p. 57].

учитывали пространственно-временную изменчивость полей напряжений и деформаций, обусловленную блочно-иерархической структурой и разномодульностью различных участков породного массива месторождения [24; 25].

Выполнены натурные исследования и определены численные значения напряженно-деформированного состояния горного массива в процессе проходки подземных выработок на строящемся руднике «Удачный» АК «АЛРОСА». На основании результатов исследований обоснованы геомеханические условия подземной разработки алмазного месторождения «Трубка Удачная» в условиях перехода от открытых к подземным горным работам [26].

На основании результатов экспериментально-аналитических исследований обоснованы генеральная схема и методика проведения геомеханического контроля на подземном руднике «Удачный» в условиях перехода от открытых к подземным горным работам с учетом напряженно-деформированного состояния и геодинамической активности различных участков горного массива рудника [27].

Необходимость освоения месторождений с большой мощностью (более 60–100 м) перекрывающих пород и внедрение крутонаклонных схем вскрытия и новых видов карьерного транспорта при отработке глубоких горизонтов карьеров потребовало нового подхода к обоснованию схем вскрытия и объема горно-капитальных работ. В существующих на тот момент нормах технологического проектирования (ВНТП-35-86) отсутствовал ряд положений, касающихся, в частности, схем вскрытия крутонаклонными выработками и обоснования объема вскрыши, относимой к горно-капитальным работам в условиях алмазородных карьеров. Все это привело к необходимости разработки соответствующих разделов в современных нормах технологического проектирования обоснования схем вскрытия и объема горно-капитальных работ карьеров, отрабатывающих кимберлитовые трубки, расположенные в криолитозоне.

Исследованиями [28–30] было установлено, что в современных условиях необходимость дисконтирования затрат и доходов при принятии проектных решений делает задачу определения границ карьеров сложной и трудоемкой. Ее упрощение ведет к существенным ошибкам, чрезмерная детализация также не решает этой проблемы, так как все расчеты, особенно на начальных стадиях разработки месторождений, базируются на недостаточно надежной исходной информации, в частности геологической. В результате погрешность расчетов составляет не менее 40–50%.

Одним из наиболее простых и надежных методов определения границ карьеров алмазородных месторождений столбообразной формы на начальных стадиях проектирования

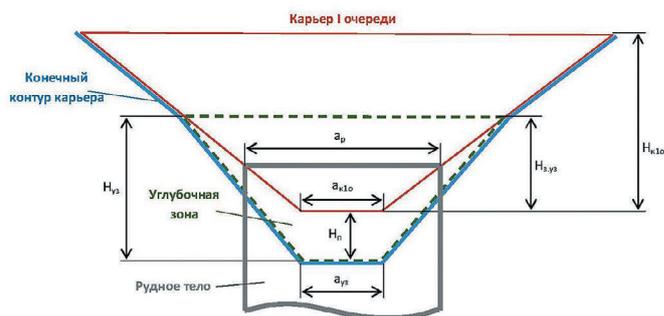
**Table 1**  
Comparison of the blastability grade and the specific consumption of Grammonite 79/21 in rock fracturing within the permafrost zone

может стать метод, основанный на статистических зависимостях коэффициентов дисконтирования затрат и доходов от основных определяющих факторов, включая скорость понижения горных работ, глубину зоны вскрышных работ, представляющую собой глубину пересечения нерабочими бортами рудных тел, и углы наклона рабочих бортов.

Увеличение глубины карьеров в условиях необходимости дисконтирования затрат и доходов и повышение эффективности открытого способа разработки невозможно без ускоренного совершенствования техники и технологии горных работ на основе уменьшения объемов вскрышающих выработок, увеличения углов наклона рабочих и нерабочих бортов и широкого применения внутреннего отвалообразования.

В результате разработки методических указаний по обоснованию схем вскрытия и объема горно-капитальных работ алмазородных карьеров национального стандарта РФ «Разработка алмазородных месторождений открытым способом в криолитозоне» были получены следующие результаты:

1. Установлено, что среднегодовое понижение горных работ (по скорости понижения дна карьера) составляет 30 м/год с диапазоном варьирования 15–60 м/год. Отработка большинства карьеров ведется поэтапно с выделением промежуточных контуров и последующей их реконструкцией (разноской бортов) (рис. 4).
2. Вскрытие алмазородных месторождений на предприятиях АК «АЛРОСА» осуществляется автомобильными съездами. При этом, как правило, верхняя часть карьера до глубины 60–110 м вскрывается системой встречных съездов с заложением внешних траншей до глубины 30–60 м. Далее встречные съезды смыкаются и переходят в систему двухполосных дорог. В некоторых случаях при наличии достаточного пространства в средней зоне карьера применяется система однополосных дорог с кольцевым движением. Для формирования конечных контуров бортов карьеров применяются сдвоенные и строенные уступы высотой до 45 м, в отдельных случаях



**Рис. 4**  
Расчетная схема к определению параметров углубочной зоны:  
 $H_{3,33}$  – высота заложения углубочной зоны;  
 $H_{33}$  – высота углубочной зоны;  
 $H_{II}$  – понижение дна УЗ относительно дна карьера первой очереди;  
 $H_{K10}$  – глубина карьера I очереди;  
 $a_{33}$  – диаметр дна углубочной зоны;  
 $a_{K10}$  – диаметр дна карьера I очереди;  
 $a_p$  – диаметр рудного тела

**Fig. 4**  
Calculation scheme for defining the sink zone parameters:  
 $H_{3,33}$  – laying depth of the sink zone,  
 $H_{33}$  – height of the sink zone,  
 $H_{II}$  – lowering of the sink zone bottom relative to the bottom of the first stage pit,  
 $H_{K10}$  – depth of the first stage pit,  
 $a_{33}$  – diameter of the sink zone bottom,  
 $a_{K10}$  – diameter of the first stage pit bottom,  
 $a_p$  – diameter of the ore body



(на примере карьера «Удачный») используются сверхвысокие уступы высотой до 100 м.

3. Обоснован подход к крутонаклонному вскрытию нижних горизонтов алмазородных карьеров при их доработке с целью увеличения глубины без разноса бортов по поверхности. Показано, что в зависимости от средней ценности полезного ископаемого месторождения параметры углубочной зоны будут изменяться, а окончательное решение о конструкции углубочной зоны принимается с учетом взаимосвязанного комплекса факторов: товарная ценность руды, глубина карьера 1-й очереди, конечная глубина карьера, объем запасов месторождения в контурах карьера, допустимый уклон транспортных съездов, тип применяемого транспорта (полноприводные самосвалы или гусеничные самосвалы), себестоимость транспортирования по крутонаклонным съездам для условий данного месторождения.
4. Обоснованы подходы к сооружению перегрузочных пунктов в стесненных условиях алмазородных карьеров, в том числе при формировании карьера с крутонаклонным вскрытием нижних горизонтов (рис. 5).

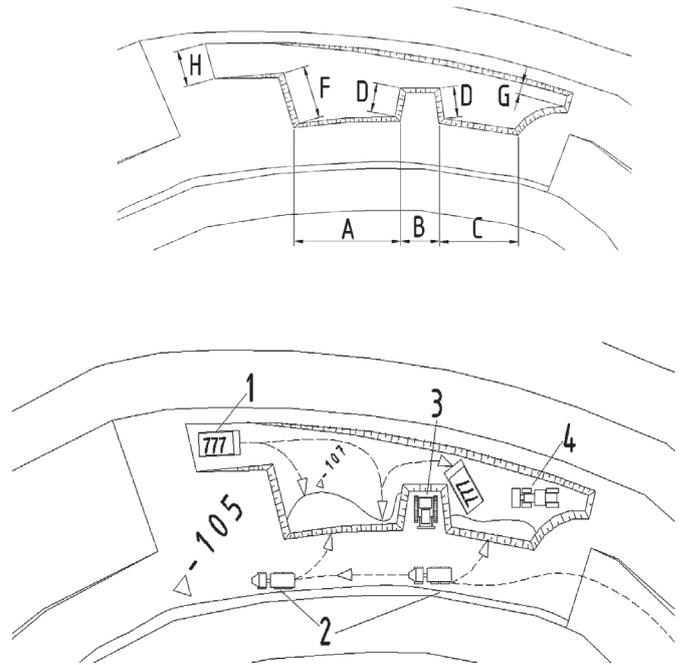
#### Заключение

В XXI столетии коллектив ИГД УрО РАН сохранил свои позиции и по-прежнему входит в число приоритетных научных партнеров института Якутнипроалмаз по выполнению научно-исследовательских работ по заказу АК «АЛРОСА».

Для карьеров и рудников АК «АЛРОСА» разработаны инновационные техника и технологии добычи кимберлитовой руды в стеснённых условиях карьеров на больших глубинах. Разработаны методики оценки и выбора вида транспорта и моделей автосамосвалов для конкретных условий кимберлитовых карьеров. Даны рекомендации по безопасной эксплуатации карьерного транспорта, в том числе с роботизированным управлением. Выполнены исследования, на основании которых разработаны технологические регламенты для проектов вскрытия и разработки запасов трубки «Удачная». Обоснована методика расчета и разработаны нормативы буровзрывных работ для карьеров алмазодобывающих предприятий Российской Федерации, расположенных в криолитозоне. Рекомендовано соотношение категорий пород по взрываемости и удельного расхода взрывчатых веществ, позволяющее установить рациональные пределы изменения параметров буровзрывных работ в криолитозоне. На основе натурных исследований опре-

#### Список литературы

1. Глебов А.В. Методика оценки уровня потребительских качеств и конкурентоспособности геотехники (на примере карьерных автосамосвалов). *Горное оборудование и электромеханика*. 2008;(5):49–55.
2. Уровень потребительских качеств и конкурентоспособность автосамосвалов в условиях карьера «Комсомольский» Айхальского ГОКа. *Горное оборудование и электромеханика*. 2008;(6):40–45.
3. Акишев А.Н., Бабаскин С.Л., Кожемякин А.А., Никитин Р.В. Развитие технологии проходки и формирования на карьере транспортных съездов крутого уклона. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2013;(12):58–64.
4. Глебов А.В., Лель Ю.И., Глебов И.А. Перспективный сборочный транспорт открытых горных работ. *Горное оборудование и электромеханика*. 2014;(5):18–22.
5. Глебов А.В. Выбор сборочного автомобильного транспорта систем циклично-поточной технологии. *Mining of Mineral Deposits*. 2017;11(4):11–18. <http://doi.org/10.15407/mining11.04.011>
6. Берсенева В.А., Глебов А.В., Кармаев Г.Д. Способ проведения крутой траншеи. Патент 2376471 Российская Федерация, МПК E21C41/26 (2006.01) (RU). № 2008117529/03; заяв. 30.04.2008; опубл. 20.12.2009, Бюл. № 35.
7. Зырянов И.В., Цымбалова А.И. Испытания САТ-740В на крутонаклонных съездах карьера «Удачный» АК «АЛРОСА». *Горное оборудование и электромеханика*. 2013;(9):22–25.
8. Беляев В.В., Глебов А.В., Лобанов С.В., Тарасов П.И., Шумаков И.К. Гусеничный карьерный транспортировщик. Патент на полезную модель RUS 64993 28.12.2005.



**Рис. 5**  
Вариант перегрузочного пункта для карьера Ботубинский:  
1 – магистральные самосвалы;  
2 – сборочные самосвалы;  
3 – бульдозер;  
4 – колесный погрузчик

**Fig. 5**  
An option of the dumping station for the Botubinsky open pit:  
1 – long-distance dump trucks;  
2 – in-pit dump trucks;  
3 – bulldozer;  
4 – wheel loader

делены численные значения напряженно-деформированного состояния горного массива в процессе проходки подземных выработок. Обоснованы геомеханические условия подземной разработки алмазного месторождения «Трубка Удачная» в условиях перехода от открытых к подземным горным работам с учетом напряженно-деформированного состояния и геодинамической активности различных участков горного массива рудника. Разработан ряд разделов для национального стандарта «Разработка алмазородных месторождений открытым способом в криолитозоне».

Содружество горной науки и производства позволяет решать самые сложные проблемы. Сегодня совместные усилия направлены на поиск путей эффективного и малозатратного освоения удалённых беднотоварных месторождений твердых полезных ископаемых на территории республики Якутия и Архангельской области.



9. Тарасов П.И., Глебов А.В., Фурин В.О., Ворошилов А.Г., Лобанов С.В., Неволин В.М. Конструктивные схемы гусеничных самосвалов для работы в карьерах с повышенными уклонами выработок. *Горная промышленность*. 2008;(2):63–68. Режим доступа: <https://mining-media.ru/ru/article/ogr/805-konstruktivnye-skhemu-gusenichnykh-samosvalov-dlya-raboty-v-karerah-s-povyshennymi-uklonami-vyrabotok>
10. Соколов И.В., Смирнов А.А., Антипин Ю.Г., Кульминский И.В. Отработка подкарьерных запасов трубки «Удачная» в сложных климатических, горно- и гидрогеологических условиях. *Горный журнал*. 2011;(1):63–66. Режим доступа: <https://www.rudmet.ru/journal/456/article/4104/>
11. Соколов И.В., Смирнов А.А., Антипин Ю.Г., Никитин И.В., Барановский К.В. Вскрытие и технология совместной отработки прибортовых и подкарьерных запасов трубки «Удачная». В кн.: Чаадаев А.С., Зырянов И.В., Бондаренко И.Ф. (ред.) *Проблемы и пути эффективной отработки алмазонасыщенных месторождений: материалы Междунар. науч.-практ. конф., г. Мирный, 11–15 апреля 2011 г.* Новосибирск: Наука; 2011. С. 148–153.
12. Соколов И.В., Смирнов А.А., Антипин Ю.Г., Барановский К.В. Рациональная конструкция траншейного днища для выпуска руды при отработке переходной зоны подземного рудника «Удачный». *Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых*. 2013;(1):106–117. Режим доступа: <https://www.sibran.ru/upload/iblock/43c/43c98ee87229713187f336ec64ec8d.pdf>
13. Соколов И.В., Смирнов А.А., Антипин Ю.Г., Никитин И.В., Тишков М.В. Обоснование толщины предохранительной подушки при отработке подкарьерных запасов трубки «Удачная» системами с обрушением. *Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых*. 2018;(2):52–62. <http://doi.org/10.15372/FTPRP120180207>
14. Жариков С.Н., Шеменев В.Г., Зырянов И.В., Бондаренко И.Ф., Хон В.И. О разработке нормативов проектирования буровзрывных работ в условиях алмазодобывающих карьеров, расположенных в криолитозоне. *Рациональное освоение недр*. 2017;(1):56–60.
15. Zharikov S., Kutuev V. About order of comprehensive solving the seismic and pre-splitting issues for drill-and-blasting open-pits. In: Kocharyan G., Lyakhov A. (eds) *Trigger Effects in Geosystems. Springer Proceedings in Earth and Environmental Sciences*. Springer; 2019, pp. 437–445. [http://doi.org/10.1007/978-3-030-31970-0\\_46](http://doi.org/10.1007/978-3-030-31970-0_46)
16. Жариков С.Н., Кутуев В.А. Построение номограммы для определения параметров БВР в приконтурной зоне карьера. *Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле*. 2020;(3):161–171. <http://doi.org/10.25635/r0915-0037-0746-z>
17. Zharikov S., Kutuev V. Building a Nomogram to Determine Drilling & Blasting Parameters in the Marginal Quarry Zone. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2021;1079(5):062081. <http://doi.org/10.1088/1757-899X/1079/6/062081>
18. Жариков С.Н., Шеменев В.Г., Кутуев В.А. Об особенностях производства буровзрывных работ в условиях севера. *Проблемы недропользования*. 2017;(3):30–36. <http://doi.org/10.18454/2313-1586.2017.03.030>
19. Жариков С.Н., Корнилов С.В., Зырянов И.В., Бондаренко И.Ф., Хон В.И. Выбор методических подходов к определению удельного расхода ВВ для условий алмазодобывающих карьеров, расположенных в криолитозоне. *Рациональное освоение недр*. 2017;(1):48–54.
20. Жариков С.Н. Вопросы производства буровзрывных работ в северных районах. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2016;(S21):61–74.
21. Жариков С.Н. Об определении удельного расхода ВВ. *Взрывное дело*. 2016;(115-72):45–61.
22. Бондаренко И.Ф., Жариков С.Н., Зырянов И.В., Шеменев В.Г. *Буровзрывные работы на кимберлитовых карьерах Якутии*. Екатеринбург: ИГД УРО РАН; 2017. 172 с.
23. Зырянов И.В., Бондаренко И.Ф., Жариков С.Н. *Определение параметров буровзрывных работ на кимберлитовых карьерах криолитозоны*. Якутск: Издательский дом СВФУ; 2019. 96 с.
24. Balek A., Sashourin A. In-situ rock mass stress-state measurements in scales of mineral deposits: problem-solving. *E3S Web of Conferences*. 2018;56:02004. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20185602004>
25. Балек А.Е., Сашурин А.Д. Совершенствование методики натурных замеров напряженно-деформированного состояния больших участков горного массива. *Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Геология. Нефтегазовое и горное дело*. 2014;13(11):105–120.
26. Балек А.Е., Ефремов Е.Ю. Обоснование геомеханических условий подземной разработки алмазного месторождения «Трубка Удачная». *Известия высших учебных заведений. Горный журнал*. 2017;(5):39–45.
27. Сашурин А.Д., Балек А.Е., Марков В.С. Обоснование методики геомеханического контроля при комбинированной разработке кимберлитовой трубки «Удачная». *Горный журнал*. 2012;(12):15–19. Режим доступа: <https://www.rudmet.ru/journal/987/article/15586/>
28. Яковлев В.Л., Зырянов И.В., Акишев А.Н., Саканцев Г.Г. Определение границ алмазорудных карьеров с учетом разновременности затрат на вскрышные работы. *Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых*. 2016;(6):106–113.
29. Саканцев Г.Г., Яковлев А.В., Зырянова Т.М. *Способ проведения крутой траншеи*. Патент 2534297 Российская Федерация, МПК E21C 41/26 (2006.01). № 2013116307/03 от 09.04.2013; опубл. 27.11.14, Бюл. № 33.
30. Саканцев Г.Г., Саканцев М.Г., Яковлев А.В., Переход Т.М., Бусаргина Е.С. *Внутрибортовой перегрузочный пункт для глубоких карьеров площадной формы*. Патент. Номер гос. регистрации 2015103237 от 02.02.2015.

## References

- Glebov A.V. Methodology to assess the level of consumer properties and competitiveness of geoequipment (using the example of open-pit dump trucks). *Mining Equipment and Electromechanics*. 2008;(5):49–55. (In Russ.)
- The level of consumer properties and competitiveness of dump trucks in conditions of the Komsomolsky open pit of the Aikhal Mining and Processing Complex. *Mining Equipment and Electromechanics*. 2008;(6):40–45. (In Russ.)
- Akishev A.N., Babaskin S.L., Kozhemyakin A.A., Nikitin R.V. Advancement in the technology of driving and shaping of steep transport ramps in open pit mine. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2013;(12):58–64. (In Russ.)
- Glebov A.V., Lel Yu.I., Glebov I.A. Prospective in-pit transport in surface mining operations. *Mining Equipment and Electromechanics*. 2014;(5):18–22. (In Russ.)
- Glebov A.V. Selection of gathering autotransport for the systems of cyclical-and-continuous technology. *Mining of Mineral Deposits*. 2017;11(4):11–18. (In Russ.) <http://doi.org/10.15407/mining11.04.011>
- Bersenev V.A., Glebov A.V., Karmaev G.D. *A method to construct a steep trench*. Patent 2376471 МПК E21C41/26 (2006.01) (RU). No. 2008117529/03. (In Russ.)
- Zyryanov I.V., Tsybalova A.I. Tests of CAT-740B on steeply inclined ramps in ALROSA's Udachny open pit mine. *Mining Equipment and Electromechanics*. 2013;(9):22–25. (In Russ.)



8. Belyaev V.V., Glebov A.V., Lobanov S.V., Tarasov P.I., Shumakov I.K. *Tracked open-pit hauler*. A useful model patent RUS 64993 28.12.2005. (In Russ.)
9. Tarasov P.I., Glebov A.V., Furin V.O., Voroshilov A.G., Lobanov S.V., Nevolin V.M. Design schemes for tracked dump trucks for operation in open pits with high roadway gradients. *Gornaya promyshlennost = Russian Mining Industry*. 2008;(2):63–68. Available at: <https://mining-media.ru/ru/article/ogr/805-konstruktivnye-skhemy-gusenichnykh-samosvalov-dlya-raboty-v-karerakh-s-povyshennymi-uklonami-vyrabotok>
10. Sokolov I.V., Smirnov A.A., Antipin Yu.G., Kulminsky A.S. Development of under-quarry pit reserves of “Udachnaya” tubes in hard climate, mining and hydrogeological conditions. *Gornyi Zhurnal*. 2011;(1):63–66. (In Russ.) Available at: <https://www.rudmet.ru/journal/456/article/4104/>
11. Sokolov I.V., Smirnov A.A., Antipin Yu.G., Nikitin I.V., Baranovskii K.V. Stripping and combined mining technology of near wall and pit reserves of the Udachnaya Pipe. In: Chaadaev A.S., Zyryanov I.V., Bondarenko I.F. (eds) *Problems and ways of efficient diamond deposits mining: Materials of the International Scientific and Practical Conference, Mirnyi, April 11–15, 2011*. Novosibirsk: Nauka; 2011, pp. 148–153. (In Russ.)
12. Sokolov I.V., Smirnov A.A., Antipin Y.G., Baranovsky K.V. Rational design of ore discharge bottom in transition from open pit to underground mining in udachny mine. *Journal of Mining Science*. 2013;49(1):90–98. <http://doi.org/10.1134/S1062739149010115>
13. Sokolov I.V., Smirnov A.A., Antipin Y.G., Nikitin I.V., Tishkov M.V. Substantiation of protective cushion thickness in mining under open pit bottom with the caving methods at Udachnaya pipe. *Journal of Mining Science*. 2018;54(2):226–236. <http://doi.org/10.1134/S1062739118023582>
14. Zharikov S.N., Shemenov V.G., Zyryanov I.V., Bondarenko I.F., Khon V.I. Elaboration of design regulations for drilling and blasting at diamond open pits located in the permafrost zone. *Ratsionalnoe osvoenie nedr = Mineral Mining & Conservation*. 2017;(1):56–60. (In Russ.)
15. Zharikov S., Kutuev V. About order of comprehensive solving the seismic and pre-splitting issues for drill-and-blasting open-pits. In: Kocharyan G., Lyakhov A. (eds) *Trigger Effects in Geosystems. Springer Proceedings in Earth and Environmental Sciences*. Springer; 2019, pp. 437–445. [http://doi.org/10.1007/978-3-030-31970-0\\_46](http://doi.org/10.1007/978-3-030-31970-0_46)
16. Zharikov S.N., Kutuev V.A. Construction of a nomogram for determining the parameters of dbwin the pit’s contour zone. *Izvestiya Tulsogo gosudarstvennogo universiteta. Nauki o Zemle = News of the Tula State University. Sciences of Earth*. 2020;(3):161–171. (In Russ.) <http://doi.org/10.25635/r0915-0037-0746-z>
17. Zharikov S., Kutuev V. Building a Nomogram to Determine Drilling & Blasting Parameters in the Marginal Quarry Zone. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2021;1079(5):062081. <http://doi.org/10.1088/1757-899X/1079/6/062081>
18. Zharikov S.N., Shemenov V.G., Kutuev V.A. On the peculiarities of production drilling and blasting operations in the north. *Problemy nedropolzovaniya*. 2017;(3):30–36. (In Russ.) <http://doi.org/10.18454/2313-1586.2017.03.030>
19. Zharikov S.N., Kornilov S.V., Zyryanov I.V., Bondarenko I.F., Khon V.I. The choice of methodical approaches to the determination of the explosives specific consumption for diamond mining open pits located in the cryolithozone. *Ratsionalnoe osvoenie nedr = Mineral Mining & Conservation*. 2017;(1):48–54. (In Russ.)
20. Zharikov S.N. The questions of drilling and blasting in northern areas. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull*. 2016;(S21):61–74. (In Russ.)
21. Zharikov I.F. The effectiveness of the explosive training rock mass to excavation. *Vzryvnoe delo = Explosion technology*. 2016;(115-72):45–61. (In Russ.)
22. Bondarenko I.F., Zharikov S.N., Zyryanov I.V., Shemenov V.G. *Blasting operations at kimberlite open pits in Yakutia*. Ekaterinburg: Institute of Mining of Ural Branch of RAS; 2017. 172 p. (In Russ.)
23. Zyryanov I.V., Bondarenko I.F., Zharikov S.N. *Definition of parameters for the drill and blast operations at kimberlite pits within the permafrost zone*. Yakutsk: North-Eastern Federal University; 2019. 96 p. (In Russ.)
24. Balek A., Sashourin A. In-situ rock mass stress-state measurements in scales of mineral deposits: problem-solving. *E3S Web of Conferences*. 2018;56:02004. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20185602004>
25. Sashurin A.D., Balek A.E. Improvement of field measurement of stress-deformed state of the large massif parts. *Perm Journal of Petroleum and Mining Engineering*. 2014;13(11):105–120. (In Russ.)
26. Balek A.E., Efremov E.Iu. The substantiation of geomechanical conditions of “udachnaya pipe” diamond deposit underground mining. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal = News of the Higher Institutions. Mining Journal*. 2017;(5):39–45. (In Russ.)
27. Sashurin A.D., Balek A.E., Markov V.S. Explanation of the geomechanical control methodology, during the combined development of «Udachnaya» kimberlite pipe. *Gornyi Zhurnal*. 2012;(12):15–19. (In Russ.) Available at: <https://www.rudmet.ru/journal/987/article/15586/>
28. Yakovlev V.L., Sakantsev G.G., Zyryanov I.V., Akishev A.N. Determination of open pit diamond mine limits with regard to stripping time difference. *Journal of Mining Science*. 2016;52(6):1143–1149. <https://doi.org/10.1134/S1062739116061674>
29. Sakantsev G.G., Yakovlev A.V., Zyryanova T.M. *A method to construct a steep trench*. Patent 2534297, МПК E21C 41/26 (2006.01). No. 2013116307/03 от 09.04.2013. (In Russ.)
30. Sakantsev G.G., Sakantsev M.G., Yakovlev A.V., Perekhod T.M., Busargina E.S. *In-wall dumping station for deep areal open pits*. Patent. No. 2015103237 от 02.02.2015. (In Russ.)

#### Информация об авторах

**Глебов Андрей Валерьевич** – кандидат технических наук, заместитель директора, Институт горного дела Уральского отделения РАН, г. Екатеринбург, Российская Федерация; e-mail: [glebov@igduran.ru](mailto:glebov@igduran.ru)

**Зырянов Игорь Владимирович** – доктор технических наук, заместитель директора, Институт «Якутнипроалмаз», г. Мирный, Российская Федерация, [ZyryanovIV@alrosa.ru](mailto:ZyryanovIV@alrosa.ru)

#### Information about the authors

**Andrey V. Glebov** – Cand. Sci. (Eng.), Deputy Director, Institute of Mining of Ural Branch of RAS, Ekaterinburg, Russian Federation; e-mail: [glebov@igduran.ru](mailto:glebov@igduran.ru)

**Igor V. Zyryanov** – Doctor of Technical Sciences, Deputy Director, Yakutniiproalmaz Institute, Mirny, Russian Federation; e-mail: [ZyryanovIV@alrosa.ru](mailto:ZyryanovIV@alrosa.ru)

#### Информация о статье

Поступила в редакцию: 01.11.2021

Поступила после рецензирования: 19.11.2021

Принята к публикации: 23.11.2021

#### Article info

Received: 01.11.2021

Revised: 19.11.2021

Accepted: 23.11.2021