

DOI: 10.26730/1999-4125-2018-3-13-21

УДК 622.371:551.345

## РАЗРАБОТКА БЕЗОПАСНЫХ КОНСТРУКЦИЙ НЕРАБОЧИХ БОРТОВ ГЛУБОКИХ КАРЬЕРОВ В УСЛОВИЯХ КРИОЛИТОЗОНЫ

### DEVELOPMENT OF SAFE DESIGNS FOR NONMINING FLANKS OF DEEP QUARRIES IN CONDITIONS OF CRYOLITHOZONE

**Андросов Артур Дмитриевич**

доктор технических наук, профессор

**Artur D. Androsoy**, Doctor of Technical Sciences, Professor

**Заровняев Борис Николаевич**

доктор технических наук, профессор, email: mine\_academy@mail.ru

**Boris N. Zarovniaev**, Doctor of Technical Sciences, Professor

**Шубин Григорий Владимирович**

кандидат технических наук, доцент, email: grigshubin@mail.ru

**Grigorii V. Shubin**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

**Будикина Мария Евсеевна**

ассистент, e-mail: budikina@mail.ru

**Maria E. Budikina**, assistant

Северо-Восточный федеральный университет имени М.К. Аммосова, 677016, Россия,  
г. Якутск, ул. Кулаковского, 50.

M.K. Ammosov North-Eastern Federal University, 50 Street Kulakovskogo, Yakutsk, 677016, Russian Federation

**Аннотация:** С увеличением глубины алмазных карьеров (до 300 ÷ 500 м и ниже) а также сроков их службы, возрастает значение условий длительной устойчивости и сохранности откосов уступов и бERM нерабочих бортов для обеспечения условий безопасного ведения горных работ на весь период эксплуатации карьера.

При эксплуатации глубоких карьеров значительную опасность при ведении горных работ представляют осыпи и вывалы горных пород с верхних горизонтов нарушенных участков, особенно в местах постановки сверхвысоких уступов, где высота свободного падения сорвавшихся кусков породы составляет порядка 60-100 м. Из-за заполненности осыпями и малой ширины предохранительных бERM между такими уступами указанное негативное явление несет постоянную угрозу травмирования людей и повреждения механизмов.

Совершенствование конструкции нерабочего борта при разработке крутопадающих месторождений глубокими карьерами исключительно важно, т.к. с глубиной резко усложняются условия эксплуатации горнотранспортного оборудования, в результате чего ухудшаются показатели их использования. Поэтому в научно-исследовательской и проектной практике рассматриваются несколько вариантов отстройки нерабочих бортов, из которых выбирают оптимальный, обеспечивающий устойчивое стояние борта за весь период эксплуатации месторождения.

При сооружении и эксплуатации отстроенных в конечное положение конструкций указанных бортов важной задачей является регулярный мониторинг их устойчивости на весь срок существования карьера.

Для глубоких карьеров в условиях криолитозоны приведены варианты технических решений, предохранительных бERM, в зависимости от их пространственного расположения на борту карьера, которые выполняют различные функции, обеспечивая безопасность, устойчивость крутых его бортов, снижая объемы вскрышных работ в контуре карьера.

**Ключевые слова:** глубокие карьеры, криолитозона, уступ, борта карьера, осыпи, улавливающая траншея, крутонаклонная бERMA, гравитационная предохранительная бERMA.

**Abstract:** With an increase in the depth of diamond quarries (up to 300 ÷ 500 m and lower) and their service life, the importance of the conditions for long-term stability and safety of slopes of benches and berm of non-working sides increases to ensure safe mining conditions for the whole period of quarry exploitation.

*In the exploitation of deep open pits, rock slides and falls from the upper horizons of the disturbed areas are a significant hazard in mining operations, especially in places where superhigh ledges are set up, where the free fall of the broken pieces of rock is of the order of 60 to 100 m. Because of talus deposits filling the space and a small width of the safety berm between such ledges, this negative phenomenon carries a constant threat of injury to people and damage to machinery.*

*Improvement in the design of the non-working side in the development of steeply dipping deposits by deep quarries is extremely important, because with the depth the conditions of mining equipment operation are sharply complicated impacting its performance. Therefore, in the research and design practice, several options are considered for arrangement of non-working sides, selecting the optimal one that ensures a stable standing of the side for the entire period of field operation.*

*In the process of building and using the structures of these sides, which are built into the final position, an important task is to regularly monitor their stability throughout the life of the quarry.*

*For deep quarries in the cryolithozone conditions, there are provided options of technical solutions for safety berms, which depending on their spatial location on the quarry side perform various functions, ensuring the safety, stability of its steep sides, reducing the amount of stripping work in the pit contour.*

**Key words:** deep quarries, cryolithozone, ledge, quarry side, talus, catching trench, steeply inclined berm, gravitational safety berm.

Общемировая тенденция увеличения глубины отработки месторождений твердых полезных ископаемых открытым способом в значительной мере ведет к усложнению организации при ведении горных работ, в первую очередь работ связанных с обеспечением безопасных условий при эксплуатации карьеров. Использование мощной высокопроизводительной горнодобывающей техники и оборудования позволяет осуществлять разработку месторождений карьерами с высокими и сверхвысокими уступами (до 45-60м.), формировать нерабочие борта карьеров сдвоенными, а нередко и строенными уступами.

С увеличением глубины алмазных карьеров (до 300 ÷ 500 м и ниже) а также сроков их службы, возрастает значение условий длительной устойчивости и сохранности откосов уступов и бERM нерабочих бортов для обеспечения условий безопасного ведения горных работ на весь период эксплуатации карьера[1-3].

Длительная устойчивость и сохранность откосов глубоких карьеров в условиях скальных и полускальных горных пород, характерных для вскрышных пород алмазных трубок Якутии определяется в значительной мере интенсивностью процессов выветривания.

В результате процессов выветривания горных пород происходит активное нарушение многолетнемерзлых массивов выраженное, как правило в обрушении (обвалах) уступов, оползнях и осыпях.

Влияние процессов выветривания и регулярные технологические воздействия (в первую очередь взрывные) на массив, создают условия для возникновения в нем различных деформационных напряжений и многочисленных нарушений, которые наглядно проявляются в виде вновь возникающих или прогрессирующих (при ранее существующих) трещин, заколов, нависей, вывалов, осыпей и т.п. Характерным явлением для большинства эксплуатируемых алмазных карьеров, является интенсивная сработка верхних частей уступов предохра-

нительных и транспортных бERM, особенно в местах вклинивания в них рудных тел, а так же в местах их контакта с ними. При таких условиях наблюдается ускоренная потеря (в течении 2-3 лет) их проектной ширины, т.е. сужение съездов и бERM, что затрудняет общую организацию горно-транспортных работ и повышает в целом опасность ведения горных работ на карьере.

Практика эксплуатации карьеров подтверждает, что указанные неблагоприятные условия имеют тенденцию роста с его глубиной. Поэтому для ослабления или нейтрализации влияния существующих и ожидаемых осложнений при доработке глубоких и сверхглубоких карьеров, необходима разработка и внедрение принципиально новых технических и технологических решений, позволяющих в целом оптимально регулировать снижение основных технико-экономических показателей работы карьера с проведением мониторинга состояния сохранности уступов и бERM, обеспечивающих должного уровня ее безопасности при ведении горных работ[4-5]. Совершенствование конструкции нерабочего борта при разработке крутопадающих месторождений глубокими карьерами исключительно важно, т.к. с глубиной резко усложняются условия эксплуатации горнотранспортного оборудования, в результате чего ухудшаются показатели их использования. Поэтому в научно-исследовательской и проектной практике рассматриваются несколько вариантов отстройки нерабочих бортов, из которых выбирают оптимальный, обеспечивающий устойчивое стояние борта за весь период эксплуатации месторождения. В такой ситуации одним из основных требований при ведении горных работ является создание безопасных условий труда путем защиты оборудования и людей от осыпей и случайно падающих с откосов камней. Для этого на борту карьера сооружают различные конструкции, специальные бERM безопасности, улавливающие траншеи, формируют борта с искусственными бERMAми безопасности.

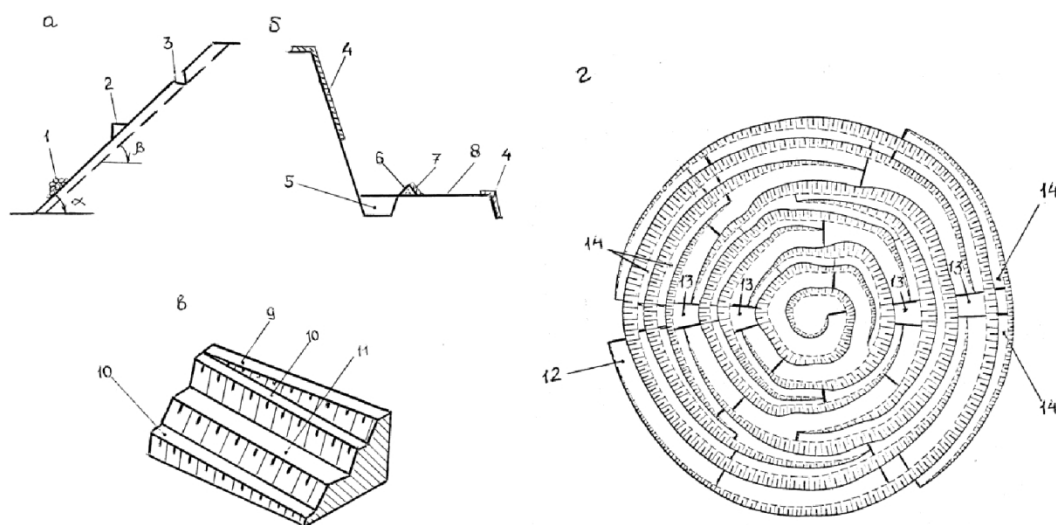


Рис. 1. Варианты безопасных конструкций нерабочих бортов глубоких карьеров: а – борт с искусственными бермами безопасности; б – борт карьера с улавливающей траншеей, защитным валом и мерзлотозащитным покрытием откосов; в – борт карьера с наклонным расположением предохранительных берм; г – борт с встречным расположением транспортных и предохранительных берм.

Fig. 1. Options of safe designs of non-working sides of deep quarries: a - a side with artificial safety berms; b - a side of the quarry with a catching trench, a protective ramp and a permafrost coating of the slopes; c - a side of the quarry with an inclined arrangement of safety berms; g - a side with a counterposition of transport and safety berms.

Так, борта с искусственными бермами в техническом исполнении могут быть насыпными, взрывными и нарезными, которые используются преимущественно для улавливания осыпей [6-9]. Их сооружают на борту карьера на определенном расстоянии друг от друга по высоте (рис. 1, а). Целесообразность применения врезных и нарезных берм обосновывается технико-экономическими расчетами путем сравнения с вариантом выемки дополнительных объемов породы при устройстве нарезных берм.

Другим существенным техническим решением является формирование нерабочего борта карьера с покрытием его откосов ячеистым синтетическим материалом и сооружением на транспортной берме улавливающих траншей с защитным валом [10]. На рис.1, б приведена такая конструкция, которая защищает растепление бортов карьера в летний период, предотвращая образование насыпей. Насыпи и отдельные падающие камни создают угрозу работе средств транспорта при перемещении их по транспортным бермам. Такая разработка впервые в мировой практике применена на карьере «Мир» АК «АЛРОСА».

На Башкирском медно-серном комбинате институтом «Унипромедь» была разработана новая конструкция нерабочего борта с наклонными предохранительными бермами [11]. Результаты реализации технического решения на карьерах цветной металлургии показали возможность увеличения генеральных углов откосов борта карьера на

$2^{\circ} \div 8^{\circ}$ , улучшения режима горных работ, повышения безопасности отработки месторождений вследствие расширения предохранительных берм до размеров транспортных (рис. 1, в).

Применительно к глубоким карьерам округлой формы разработана конструкция борта с встречным расположением транспортных и предохранительных берм [12]. Сущность ее состоит в том, что с начальной отметки проходки (рис. 1, г) транспортной бермы сооружают встречную наклонную предохранительную берму таким образом, чтобы она на отдельных участках пересекалась с транспортной бермой. Встречные наклонные предохранительной бермы проходят параллельно транспортной берме. При указанном проведении берм карьерное поле разделяют на две части, образуемые пересечением встречных наклонных транспортных и предохранительных берм. На участке пересечения транспортных берм осуществляется изменение направления грузопотоков, благодаря которому обеспечивается надежность транспортной схемы в период реконструкции карьеров, поддерживается ритмичность подачи руды на обогательную фабрику и ликвидируются возможные простои карьера по причине заваливания съездов.

На данных рисунках (рис. 1, а, б, в, г) обозначения приняты следующие: 1 – насыпная берма; 2 – нарезная берма; 3 – врезная берма; 4 – мерзлотозащитное покрытие откосов; 5 – улавливающая траншея; 6 – защитный вал; 7 – набрызгбетон; 8 –

зауженная транспортная берма; 9 – дневная поверхность; 10 – наклонная предохранительная берма; 11 – широкая транспортная берма; 12 – встречная транспортная берма; 13 – площадки пересечения транспортных и предохранительных берм; 14 – встречные наклонные предохранительные бермы.

Как видно из приведенных вариантов технических решений, предохранительные бермы, в зависимости от их пространственного расположения на борту карьера, выполняют различные функции, обеспечивая безопасность, устойчивость крутых его бортов и существенно снижая объемы вскрышных работ в контуре карьера.

Однако, для условий глубоких карьеров криолитозоны, перспективы развития в области отработки нерабочих бортов еще не исчерпаны. Так, рассмотренные варианты отработки бортов являются не лучшими, поскольку насыпи образуются по всему периметру карьера на бермах, а падение камней с откосов уступов непредсказуемо. Поэтому, для обеспечения безопасности работ, предлагается техническое решение по отстройке борта с созданием специальных площадок, куда самотеком направляются осыпающиеся породы. После накопления пород на этих площадках производится последующая вывозка их на внешние отвалы.

На рис. 2 приведена конструкция такого борта карьера с созданием специальных площадок на нём

для сбора осыпающихся камней, которые самотеком перемещаются по крутой берме и накапливаются на этих площадках. Суть новой технологии отстройки борта состоит в следующем.

В начале карьер с отметкой 0 отрабатывают при отстройке бортов традиционными бермами безопасности до отметки -300 м. в процессе этого нерабочий борт карьера достигает предельного контура 1 (рис. 2). Затем по всему периметру карьера оставляют промежуточную площадку 2. Дальнейшую углубку карьера ниже отметки -300 м ведут в новом контуре 3 с проходкой спиральной съезды 4 на всю глубину карьера и формируют крутонаклонные бермы безопасности 5 по всему периметру рабочей зоны. В конце каждой крутонаклонной бермы безопасности создают рабочие площадки 6 для размещения осыпающихся с откосов камней.

После накопления на рабочей площадке 6 осыпавшихся пород их отгружают в автосамосвалы и вывозят на поверхность через полтраншеи 7 и спиральный съезд 4. Таким образом, периодически, по мере накопления осыпавшихся пород, производится их удаление из карьерного пространства, обеспечивая безопасные условия эксплуатации горнотранспортного оборудования при доработке глубоких горизонтов. Техническое решение приемлемо при эксплуатации кимберлитовых карьеров в

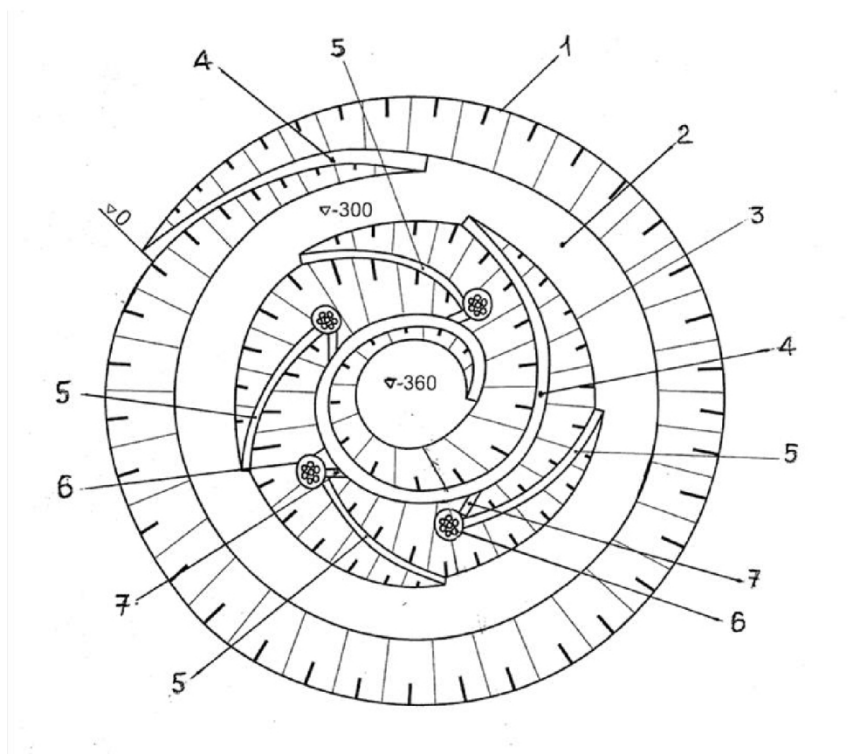


Рис.2. Конструкция борта карьера с крутонаклонными бермами безопасности для улавливания падающих с откосов уступов камней.

Fig.2. The design of the quarry side with steeply inclined safety berms to catch stones falling from slopes.



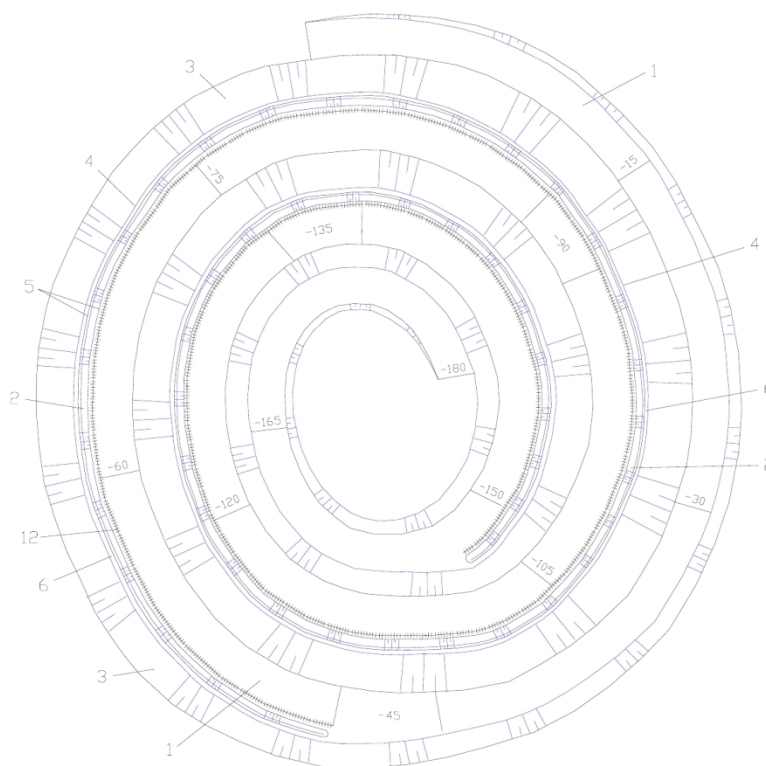


Рис. 3. Способ отстройки нерабочего борта карьера с улавливающей траншеей.  
 Fig. 3. The method of building up of the non-working side of the quarry with the catching trench.

условиях криолитозоны и вскрытии глубоких горизонтов спиральными съездами внутреннего заложения.

Конструктивно крутонаклонная берма безопасности представляет собой своеобразный «желоб», по которому сваливающиеся с откоса борта камни скатываются до созданной рабочей площадки с последующей их отгрузкой в автосамосвалы и вывозкой во внешние отвалы.

Для условного карьера предложен способ отстройки нерабочего борта с улавливающей траншеей по всей длине транспортной бермы [13]. Обеспечение безопасной работы автотранспорта достигается сооружением, вдоль спиральной транспортной бермы 1, ниже ее уровня, улавливающей траншеи треугольного сечения, причем сторону 2, противоположную к основному откосу нерабочего уступа 3, выполняют с наклоном к горизонтальной плоскости (рис. 3).

От нижней бровки 4 нерабочего уступа 3 до контура выемки 5 оставляют горизонтальную площадку регулируемого отскока 6. Ширина горизонтальной площадки 6 принимается от 3 до 6 м в зависимости от высоты нерабочего уступа 3. Вероятность попадания падающего камня на эту горизонтальную площадку 6 минимальна, а в случае попадания камня дальность отскока не превышает ширину контура выемки 5 ( $Ш_{по}$ ) (рис. 4).

Удаление горной массы из контура выемки 5 осуществляется гидравлическим экскаватором 7

«обратная лопата» (рис. 4). Для этого экскаватор 7 устанавливается на транспортной берме 1 и рабочая зона его копания 8 соответствует принятым параметрам контура выемки 5 с наклонной стороной 2.

Вынутая из контура выемки 5 горная масса грузится экскаватором 7 на автосамосвалы. В процессе формирования наклонной стороны 2 контура выемки 5 отсыпается защитный породный вал 12 высотой не менее  $\frac{1}{2}$  диаметра колеса карьерного автосамосвала.

При длительном стоянии нерабочих уступов происходит их постепенное разрушения в процессе выветривания. Вследствие чего нижележащие бермы заполняются осыпями и обрушенными породами. Для предотвращения прямого попадания осыпей и обрушенных пород на транспортную берму 1 сооружают улавливающие траншеи с контуром выемки 5, параметры которых зависят от высоты уступа 3, его крутизны и наличия выступов.

При эксплуатации сверхглубоких карьеров значительную опасность при ведении горных работ представляют осыпи и вывалы горных пород с верхних горизонтов нарушенных участков, особенно в местах постановки сверхвысоких уступов, где высота свободного падения сорвавшихся кусков породы составляет порядка 60-100 м. Из-за заполненности осыпями и малой ширины предохранительных берм между такими уступами указанное негативное явление несет постоянную угрозу травмирования людей и повреждения механизмов.

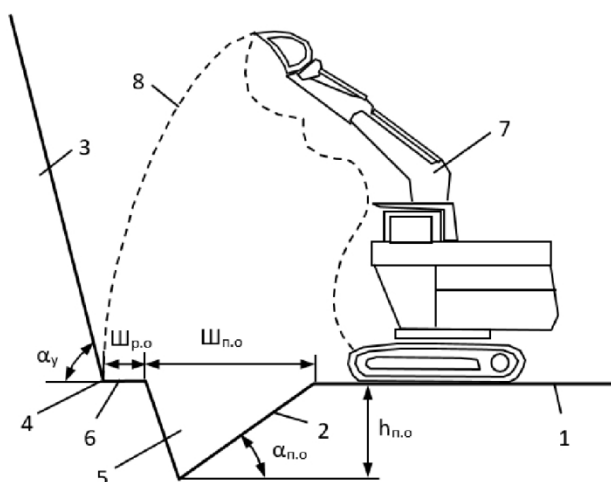


Рис. 4. Рабочая зона копания экскаватора.  
Fig. 4. The working area of excavating

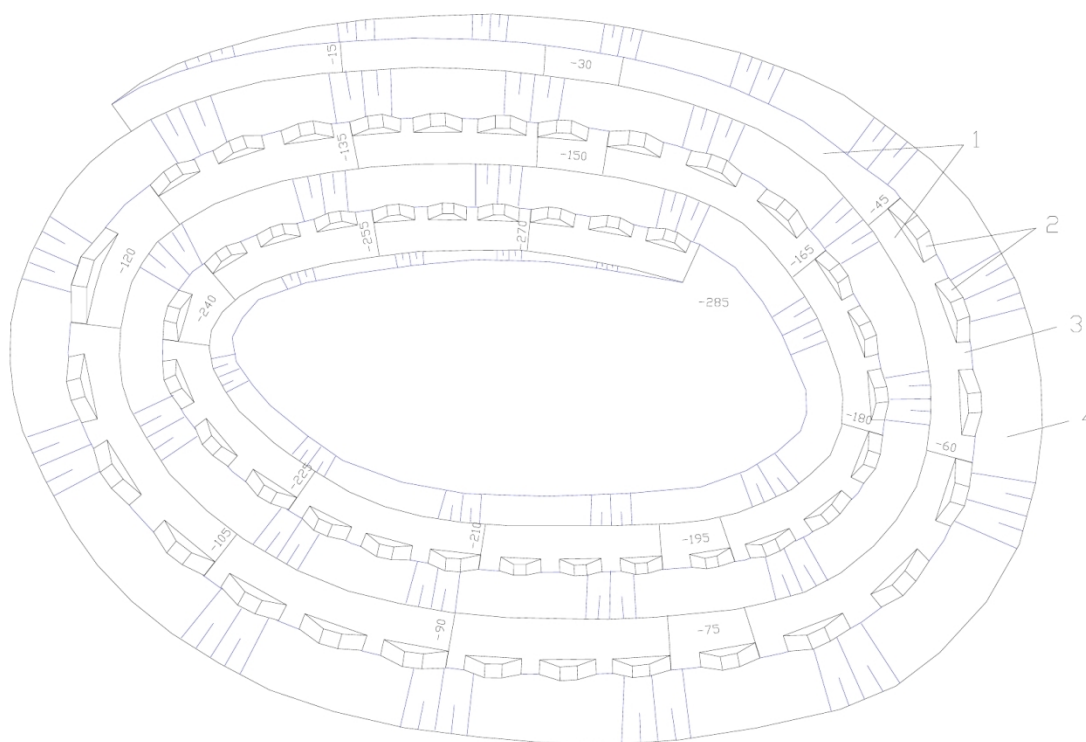


Рис. 5. Общий вид отстройки нерабочего борта карьера.  
Fig. 5. General view of building up the non-working side of the quarry.

Одним из технологических мероприятий, позволяющих снизить влияние указанного негативного явления, может служить следующий предложенный способ (рис. 5-6).

Сущность предлагаемого способа заключается в том, что при осуществлении отстройки нерабочего борта карьера, включающего сооружение транспортных брем, создаются предохранительные

сооружения с улавливающими площадками. Предохранительные сооружения оборудуют в виде нескольких расположенных последовательно по контуру откоса транспортной бермы отдельных брем в форме усеченных призм с улавливающими площадками между ними. Бермы в виде призм имеют прямоугольное основание и боковые плос-

кости, примыкающие к откосу уступа, при этом отдельные предохранительные бермы по всей длине трассы транспортной бермы формируются по горизонтальным участкам ступенчато. Расстояние по вертикали между смежными участками принимается равным высоте рабочего уступа [14].

При выполнении указанного способа транспортировка осыпей осуществляется по отдельным предохранительным бермам под действием собственного веса без использования дополнительного оборудования, в связи с чем сокращается объем вскрышных работ в контурах карьера, отпадает необходимость очистки осыпей по всей длине трассы транспортной бермы, что позволяет в конечном счете снизить трудоемкость очистки и опасность производства таких работ, повысив тем самым эффективность горных работ в целом.

Для реализации указанного способа разработана технологическая схема постановки гравитационной предохранительной бермы, которая осуществляется в следующей последовательности.

Вдоль трассы транспортной бермы 1 через определенные промежутки формируются отдельные предохранительные бермы 2 с оставлением улавливающих площадок 3 между ними для гравитационного накопления осыпей горных пород с вышележащих откосов уступов 4 (рис. 6). Количество отдельных предохранительных берм, сооружаемых в пределах одного горизонта (участка), определяется по формуле:

$$K = \frac{h}{[2(\Pi_{0.6} + h \cdot \operatorname{ctg} \beta) + L]j},$$

где:  $h$  – высота рабочего уступа (высота слоя горизонта), м;

$\Pi_{0.6}$  – ширина отдельной предохранительной бермы, м;

$\beta$  – уклон отдельной предохранительной бермы в сторону улавливающей площадки, град;

$L$  – длина улавливающей площадки, м;

$j$  – уклон транспортной бермы, сотые доли %.

Длина улавливающей площадки  $L$  выбирается из параметров имеющегося горного оборудования.

Важнейшей задачей при сооружении и эксплуатации отстроенных в конечное положение указанных конструкций бортов является мониторинг их устойчивости на весь срок существования карьера. Для исследования устойчивости бортов глубоких карьеров, в последнее время широко используются различные методы дистанционного мониторинга, например с использованием различных беспилотных летательных аппаратов с новейшими системами навигации, лазерного сканирования с применением HDS-8800 и других. [15-19].

Практическое внедрение предлагаемых технических решений по разработанным технологическим схемам отстройки нерабочего борта карьера и их регулярный мониторинг позволит повысить безопасность ведения горных работ, особенно для глубоких карьеров расположенных в криолитозоне.

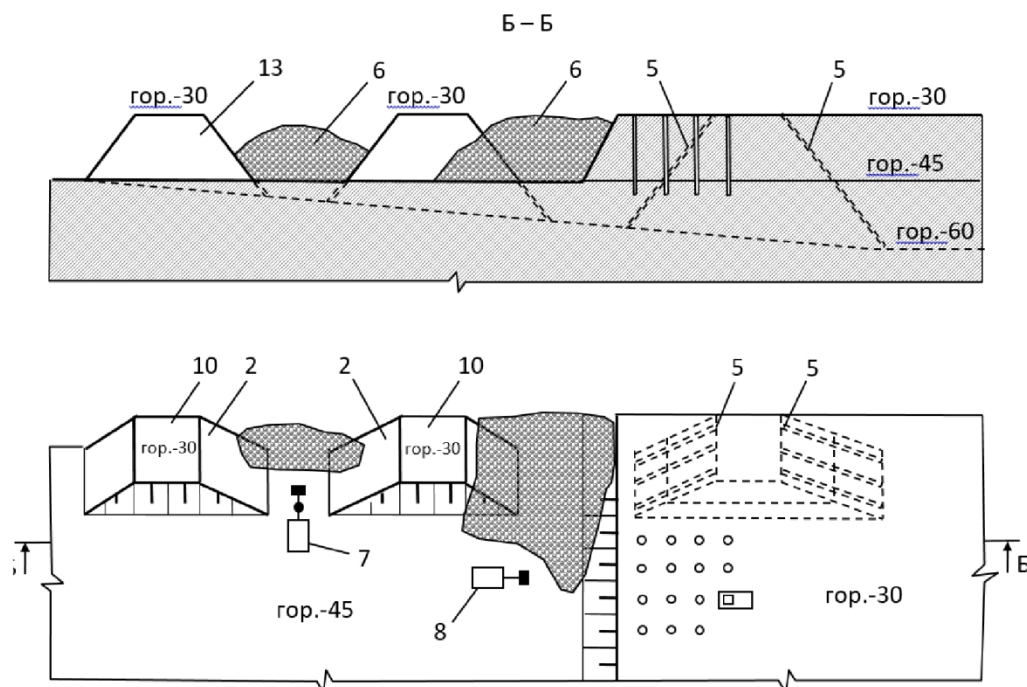


Рис. 6. Технологическая схема формирования верхней части гравитационной предохранительной бермы.

Fig.6. Technological scheme for the formation of the upper part of the gravitational safety berm.



## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. И.Н. Александров. Вскрытие и способы отстройки бортов глубоких карьеров Якутии. – Новосибирск: Наука, 2000. – 147 с.
2. В.Н. Попов, Б.Н. Байков. Технология отстройки бортов карьеров. – М.: Недра, 1991. – 252 с.
3. К.О. Браунер. Ванкувер, Канада. Примеры неустойчивости откосов бортов карьеров // Международный журнал по открытым горным работам. Российское издание под редакцией проф. Анистратова Ю.И. – 1992. – № 1 – С. 55-63.
4. Валуев Е.П. Влияние теплофизических процессов на устойчивость уступов и бортов карьеров в мерзлых породах. Автореф. дисс. ... канд. техн. наук. – М., 1983. – 24 с.
5. Зельберг А.С. Конструирование нерабочих бортов карьера с учетом схемы вскрытия. Актуальные проблемы разработки кимберлитовых месторождений: Современное состояние и перспективы решения // Сб. докл. Международной научно-практической конференции «Мирный-2001», 1-9 июля 2001 г. – М.: Изд. Дом «Руда и металлы», 2002. – С. 59-63.
6. К.Н. Трубецкой, Г.Л. Краснянский, В.В. Хронин. Проектирование карьеров: Учеб. для ВУЗов: в 2 т. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Издательство Академии горных наук, 2001. – т. 1 – 519 с. – с. 299-314.
7. Akishev A., Aleksandrov I., Dr. V. Bakhtin, Dr. E. Bondarenko. NEW BENCH CONSTRUCTION // RUSSIAN MINING. – 2003. – № 5. P. 23-27.
8. Акишев А.Н., Александров И.Н., Бахтин В.А. и др. Совершенствование конструкции нерабочих бортов кимберлитовых карьеров / Горнодобывающая промышленность республики Саха (Якутия). Проблемы и перспективы. – Якутск, 2000. – С. 48-49.
9. Желябовский Ю.Г. Новая конструкция нерабочего борта карьера. Проблемы открытой разработки глубоких карьеров // Труды международного симпозиума «Мирный – 91». – Удачный: Изд-во НИЦ «Мастер», 1991. – Т.1. – С. 161-163.
10. А.Д. Андросов, В.П. Зубков, В.Ю. Изахсон, А.В. Самохин и др. Способ формирования нерабочего борта карьера/ Пат. 2034150 РФ, МКН E21 C41/26. – Оpubл. В БИ. – 1995. - №12.
11. А.М. Галкин, В.А. Галкин, В.Н. Попов. Опыт проектирования и строительства карьеров с наклонными предохранительными бермами. – М.: «Цветметинформация», 1997. – 34 с.
12. В.М. Власов, А.Д. Андросов. Технологии открытой добычи алмаза в криолитозоне/ Отв. ред. О.Н. Слепцов – Якутск: Изд. ЯНЦ СО РАН, 2007. – 388 с. – с. 153-155.
13. И.Н. Александров, А.Н. Акишев, В.А. Бахтин, В.И. Хон. Способ отстройки нерабочего борта карьера – Патент № .2265126. – Оpubл. 27.11.2005. – Бюл. №33.
14. И.Н. Александров, Г.В. Шубин. Способ отстройки нерабочего борта карьера отдельными гравитационными предохранительными бермами / Пути решения актуальных проблем добычи и переработки полезных ископаемых – Ч.1. – Якутск, 2003. – С. 6-9.
15. А.Н. Леонов., А.В. Некрасов, Е.А. Мартынушкин, М.Ф. Набиулин. Улучшение процесса буровзрывных работ на горнодобывающих предприятиях применением передовых технологий. Взрывное дело. Выпуск №118/75.-М.: ИПКОН РАН, 2017. С110-124
16. Заровняев Б.Н., Шубин Г.В., Васильев И.В., Варламова Л.Д. Мониторинг состояния бортов глубоких карьеров с применением технологии наземного лазерного сканирования. Горный журнал №9, 2016, С37-40.
17. Shubin G. V., Zarovnyaev B. N., Vasilyev I. V., Kurilko A. S. Local Area Edge monitoring of the Nyurbinsky Open-pit Mine // Proceedings of the 17th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2017. – New York : Curran Associates, 2017. Vol. 17. Iss. 13. P. 503–510.
18. Barbarella M., Fiani M. Monitoring of large landslides by Terrestrial Laser Scanning techniques: field data collection and processing // European Journal of Remote Sensing. 2013. 46. P 126-151.
19. Bin Liang, Chong Yue, Xu Hui Chen, Bing Wang, Xing Kai Sun. The Study of Deformation Monitoring Based on the Ground Three-Dimensional Laser Scanning Technology // <http://www.scientific.net/Search/Search?SortBy=0&searchString=pits+monitoring+with+laser+scanner/2014>.

## REFERENCES

1. Alexandrov I.N. Development and ways of detaching the sides of deep open-cast mines in Yakutia. - Novosibirsk: Science, 2000. - 147 p.
2. Popov V.N., Baykov B.N. Technology of building up the sides of quarries. - Moscow: Nedra, 1991. - 252 p.
3. Browner K.O. Vancouver, Canada. Examples of instability of slopes of quarries // International Journal

of Open Mining. The Russian edition edited by prof. Anistratova Yu.I. - 1992. - No. 1 - P. 55-63.

4. Valuev E.P. Influence of thermophysical processes on stability of ledges and sides of quarries in frozen rocks. Author's abstract. diss. ... cand. tech. sciences. - M., 1983. - 24 p.

5. Zelberg A.S. Construction of non-working sides of the quarry taking into account the autopsy scheme. Actual problems of development of kimberlite deposits: Current state and prospects of solution // Sb. doc. International Scientific and Practical Conference "Peaceful 2001", July 1-9, 2001 - Moscow: Izd. The house "Ore and Metals", 2002. - P. 59-63.

6. K.N. Trubeckoj, G.L. Krasnjanskij, V.V. Hronin. Proektirovanie kar'erov: Ucheb. dlja VUZov: v 2 t. - 2-e izd., pererab. i dop. - M.: Izdatel'stvo Akademii gornyh nauk, 2001. - t. 1 - 519 s. - s. 299-314.

7. Akishev A., Aleksandrov I., Dr. V. Bakhtin, Dr. E. Bondarenko. NEW BENCH CONSTRUCTION // RUSSIAN MINING. - 2003. - № 5. P. 23-27.

8. Akishev A.N., Aleksandrov I.N., Bakhtin V.A. Improvement of construction of non-working edges of kimberlite quarries / Mining industry of the Republic of Sakha (Yakutia). Problems and prospects. - Yakutsk, 2000. - P. 48-49.

9. Zhelyabovskiy Yu.G. New construction of the non-working side of the quarry. Problems of open development of deep quarries // Proceedings of the international symposium "Peaceful 91". - Lucky: Publishing House of the Research Center "Master", 1991. - Volume 1. - P. 161-163. A.D. Androsov, V.P. Zubkov, V.Ju. Izakson, A.V. Samohin i dr. Sposob formirovaniya nerabocheho borta kar'era/ Pat. 2034150 RF, MKN E21 S41/26. - Opubl. V BI. - 1995. - №12.

10. A.M. Galkin, V.A. Galkin, V.N. Popov. Opyt proektirovaniya i stroitel'stva kar'erov s naklonnymi predohranitel'nymi bermami. - M.: «Cvetmetinformacija», 1997. - 34 s.

11. V.M. Vlasov, A.D. Androsov. Tehnologii otkrytoj dobychi almaza v kriolitozone/ Otv. red. O.N. Slepcev - Yakutsk: Izd. JaNC SO RAN, 2007. - 388 s. - s. 153-155.

12. I.N. Aleksandrov, A.N. Akishev, V.A. Bahtin, V.I. Hon. Sposob otstrojki nerabocheho borta kar'era - Patent № .2265126. - Opubl. 27.11.2005. - Bjul. №33.

13. I.N. Aleksandrov, G.V. Shubin. Sposob otstrojki nerabocheho borta kar'era ot del'nymi gravitacionnymi predohranitel'nymi bermami / Puti resheniya aktual'nyh problem dobychi i pererabotki poleznyh iskopaemyh - Ch.1. - Yakutsk, 2003. - S. 6-9.

14. A.N. Leonov., A.V. Nekrasov, E.A. Martynushkin, M.F. Nabiulin. Uluchshenie processa burovzryvnyh rabot na gornodobyvajushhih predpriyatiyah primeneniem peredovyh tehnologij. Vzryvnoe delo. Vypusk №118/75.-M.: IPKON RAN, 2017. S110-124

15. Zarovnyaev B.N., Shubin G.V., Vasil'ev I.V., Varlamova L.D. Monitoring sostojaniya bortov glubokih kar'erov s primeneniem tehnologij nazemnogo lazernogo skanirovaniya. Gornyj zhurnal №9, 2016, S37-40.

16. Shubin G. V., Zarovnyaev B. N., Vasilyev I. V., Kurilko A. S. Local Area Edge monitoring of the Nyurbinsky Open-pit Mine // Proceedings of the 17th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2017. - New York : Curran Associates, 2017. Vol. 17. Iss. 13. P. 503-510.

17. Barbarella M., Fiani M. Monitoring of large landslides by Terrestrial Laser Scanning techniques: field data collection and processing // European Journal of Remote Sensing. 2013. 46. P 126-151.

18. Bin Liang, Chong Yue, Xu Hui Chen, Bing Wang, Xing Kai Sun. The Study of Deformation Monitoring Based on the Ground Three-Dimensional Laser Scanning Technology // <http://www.scientific.net/Search/Search?SortBy=0&searchString=pits+monitoring+with+laser+scanner/2014>.

Поступило в редакцию 21.05.2018

Received 21.05.2018