© А.Н. Акишев, И.Б. Бокий, 2014

УДК 622.012:551.34

А.Н. Акишев, И.Б. Бокий

К ВОПРОСУ О ВОЗМОЖНОСТИ УВЕЛИЧЕНИЯ УГЛА НАКЛОНА БОРТА КАРЬЕРА В УСЛОВИЯХ КРИОЛИТОЗОНЫ

Проектирование бортов с оптимальным профилем и определение допустимых параметров устойчивых уступов в увязке со схемой вскрытия карьеров крутонаклонными съездами позволит обеспечить кратное снижение объемов вскрышных пород в контуре проектируемого карьера при соблюдении безопасных условий отработки.
Ключевые слова: нерабочий борт карьера, нерабочие уступы, схема вскрытия, крутонаклонный съезд, криолитозона, коэффициент запаса устойчивости.

Проблема оптимизации конструкций бортов карьеров всегда актуальна для открытых горных работ, так как неразрывна связана с возможностью радикального сокращения затрат на эксплуатацию месторождения в целом за счет снижения объемов вскрышных работ, либо роста доли отработки запасов месторождения эффективным открытым способом при экономически приемлемом коэффициенте вскрыши.

Особенностью разработки алмазорудных карьеров, расположенных на территории Западной Якутии свойственно сплошное распространение многолетнемерзлых пород (ММП), непрерывность криогенной толщи, значительная ее мощность, что оказывает непосредственное влияние на параметры нерабочих бортов карьеров.

Прочность мерзлых горных пород зависит от множества факторов, важнейшими из которых являются: литологический состав, температура, влажность, наличие ледяных прослоев. Прочность, характеризующая смерзшиеся контакты, выше прочности контактов талых, и поэтому в условиях многолетней мерзлоты влияние контактов на устойчивость откосов будет сказываться меньше.

Вмещающие породы алмазных месторождений Якутии представлены полускальными породами с достаточно прочными разностями. В табл. 1 приведено сравнение прочностных характеристик горных пород трубки «Ботуобинская», полученных в результате лабораторных исследований в талом и мерзлом состоянии [1].

Среднее значение предела прочности при одноосном сжатии в талом состоянии для всех скважин практически одинаково и составляет около 50 МПа (табл. 1). Наблюдается зна-

Таблица 1

Средние значения прочностных характеристик вмещающих пород

Скважина	Талое состояние				Мерзлое состояние	
	σ_c, МПа	σ_p, МПа	φ	С, МПа	σ_c, МПа	σ_p, МПа
1 гм	50,5	3,8	39,5	15,6	60,42	4,15
2 гм	50,9	4,6	37,5	14,7	75,62	4,88
4 гм	48,8	3,8	38,7	14,6	74,73	5,03

чительное превышение прочностных свойств в мерзлом состоянии по сравнению с талым. Среднее значение влажности горных пород составило 3,9%, объемный вес – 2,5 т/м^3.

Более чем 50-летний опыт отстройки и наблюдения за нерабочими уступами показывает эффективность применяемых технологий их формирования. В случаях, если массив не имеет каких-либо геологических нарушений (неблагоприятной слоистости и трещиноватости), то уступы высотой 30–45 м под углами до 80 град. не имеют значительных повреждений весь срок отработки месторождения. В процессе отработки происходит лишь процесс выветривания, когда в результате воздействия знакопеременных температур и влаги происходит постепенная сработка бровок нерабочих уступов и пересыпание предохранительных берм. Среднегодовая величина сработки бровок уступов составляет в пределах 40–50 см. Это говорит о наличии резерва, позволяющего увеличивать угол наклона и высоту уступов.

Параметры отрабатываемых алмазорудных карьеров приведены в табл. 2 [2]. Высота нерабочих бортов составляет от 200 до 720 м при генеральных углах наклона нерабочих бортов от 41 до 58 град. Профиль нерабочих бортов как правило двух или трехгранный с крутой нижней частью высотой 0,35–0,5 Н с углами от 43 до 73 град. выположенной верхней.

В проектах последних лет (Удачный, Комсомольская, Юбилейная) за счет внедрения крутонаклонных схем вскрытия (20%) и высоких нерабочих уступов позволило укрутить участок нерабочего борта до 60–73 град., то есть по сравнению с традиционной схемой вскрытия (8%) угол наклона участок нерабочего борта увеличен на 6–12 град.

Анализ фактических и проектных параметров бортов алмазорудных карьеров показывает, что если нижняя половина борта сложена крепкими породами, а интенсивность сработки берм во времени незначительна, то при соответствующих горнотехнических условиях можно придать борту выпуклый профиль.

Рекомендуется соблюдать следующий порядок действий при определении профиля борта карьера:

1. Определяются горизонты, на которых будут формироваться усту-

Таблица 2

Сравнительные параметры НБ действующих алмазорудных карьеров

Карьер	**Высота нерабочего борта (НБ), м**	**Угол наклона, нерабочего борта, α, град.**	**Высота нижней части НБ, м / α_1, угол наклона, град.**	**Высота верхней части НБ, м/ α_2, угол наклона, град**
Интернациональный	315	48–49	135 (0,4Н) 59	180 (0,6Н) 42
Удачный**	640	48	390 (0,6Н) 60	250 (0,4Н) 33
Комсомольский**	460	56–58	160 (0,35Н) 68–73	300 (0,65Н) 47–51
Юбилейный**	720	50–51	360 (0,5Н)* 64	100 (0,1 Н) 25
Нюрбинский	450	41–43	360 (0,8Н) 47–53	90 (0,2Н) 24

* средняя часть НБ высотой 270 м (0,4Н) под углом 52 град.,
** карьеры с крутонаклонными съездами.

пы на предельном конуре. При этом необходимо предусмотреть возможность формирования на нижних горизонтах (одном или двух) сверхвысоких уступов.

2. Для каждого из рассматриваемых горизонтов определяется результирующий угол откоса уступа, обеспечивающий его устойчивость с необходимым коэффициентом запаса. При этом уступ на предельном контуре может иметь ломаный профиль.

3. Определяется необходимая ширина берм между горизонтами. Если между горизонтами предусмотрена транспортная берма, то ближайшая предохранительная берма увеличивается на ее ширину.

4. Прорабатывается схема вскрытия нижней части борта карьера с использованием крутонаклонных съездов и высоких уступов с использованием здесь специальных самосвалов с шарнирно-сочлененной рамой, а также бульдозерного и погрузочного оборудования оснащенных системой дистанционного оборудования.

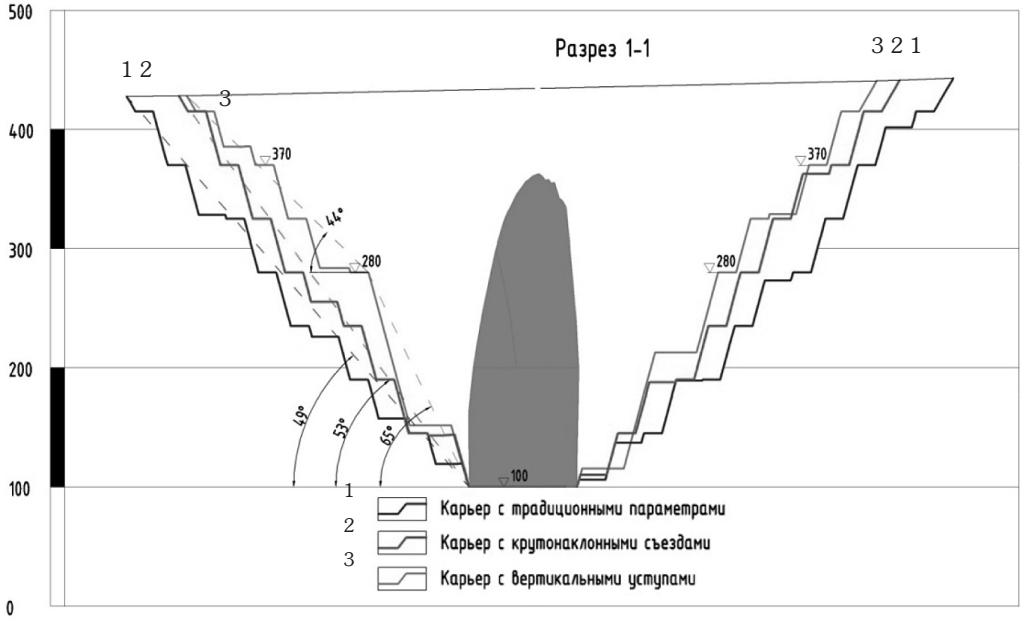
5. Прорабатывается схема отработки нижней (придонной) части карьера с использованием отсыпных съездов на расчетную высоту обеспечивающей доработку всех временно оставленных целиков. В этом случае отстройка нерабочего борта ведется с промежуточной (расчетной) отметки (выше дна карьера).

6. Выполняется последовательная оценка устойчивости конструктивных элементов борта карьера.

Ниже приведены проработки оптимизации профиля нерабочего борта карьера высотой 330 м (рисунок). Рассмотрены три варианта проектирования карьера (табл. 3).

Вариант 1. Рассматривается профиль нерабочего борта карьера, отстроенного с традиционными параметрами нерабочих уступов и продольным уклоном транспортных берм. Анализируется устойчивость нерабочего борта и уступов и определяются возможные резервы увеличения угла их наклона.

Вариант 2. Производится укручение нижней части нерабочего борта за



Совмещенный профиль нерабочего борта

Таблица 3

Сравнительные параметры карьера при различном профиле нерабочего борта при его высоте 330 м

Параметры	Вариант 1	Вариант2	Вариант 3
Профиль НБ	плоский	плоский	двухгранный
Угол наклона НБ, град	49	54	59
Горная масса, млн м^3	50,0	38	32
Вскрыша, млн м^3	46,92	34,92	28,92
Руда, млн м^3/млн т	Константа (5,65)		
Коэффициент вскрыши, м^3/т	8,3	6,12	5,11

счет внедрения крутонаклонных съездов. При этом высота нерабочих уступов принимается аналогично варианту 1. Повторно производится расчет устойчивости нерабочего борта, определяются возможные резервы увеличения угла наклона нижней части нерабочего борта и нерабочих уступов.

Вариант 3. Вариант 2 оптимизируется за счет вписания в нижней части высоких нерабочих уступов. При отсутствии неблагоприятно ориентированных поверхностей ослабления массива устойчивость высоких уступов обеспечивается с достаточным коэффициентом запаса устойчивости.

В итоге, мы получаем устойчивый, с точки зрения геомеханики, выпуклый двухгранный профиль борта, имеющий предельно возможный угол наклона. Для определения оптимального профиля выпуклого борта применяется генетический алгоритм [3].

Внедрение в схему вскрытия в варианте 2 крутонаклонных съездов с продольным уклоном (20%) позволяет увеличить угол наклона нерабочего борта карьера по сравнению с применением схемы вскрытия с традиционным продольным уклоном транспортных съездов (8%) на 5 град., что позволяет уменьшить объем вскрыши в рассматриваемом случае на 25% (12,0 млн м^3).

Применение высоких уступов в варианте 3 позволяет увеличить угол наклона нерабочего борта карьера еще на 5 град., а к варианту 1 на 10 град. Снижение объема вскрышных работ составит к варианту 2 –18% (6 млн м^3), к варианту 1 – 48,4% (18 млн м^3).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Изучить* физико-механические свойства вмещающих пород в окрестности проектируемого карьера на трубке «Ботуобинская» по трем инженерно-геологическим скважинам глубиной 630 м: Отчет НИР (закл.) / Якутнипроалмаз; рук. Бокий И.Б. Мирный. 2013. 86 с.

2. *Разработать* геомеханическую модель карьеров при отработке беднотоварных месторождений и выдать рекомендации по параметрам нерабочих уступов и бортов нестандартных конструкций: Отчет НИР (закл.) / Якутнипроалмаз; рук. Зырянов И.В. Мирный. 2013. 95 с.

3. *Акишев А.Н., Бокий И.Б.* Оптимизация конструкций бортов кимберлитовых карьеров в условиях криолитозоны // Сб. тезисов V Уральского горнопромышленного форума 1–3 октября 2013. Екатеринбург. 2013. С. 269–270. ГИАБ

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Акишев Александр Николаевич – кандидат технических наук, доцент, начальник комплексного отдела открытой разработки месторождений, e-mail: AkishevAN@alrosa.ru,
Бокий Игорь Борисович – кандидат физико-математических наук, доцент, заведующий лабораторией геомеханики, e-mail: bokij@rambler.ru,
Институт «Якутнипроалмаз» АК «АЛРОСА».

UDC 622.012:551.34

TO THE ISSUE ABOUT POSSIBILITY OF INCREASING AN OPEN PIT SLOPE ANGLE IN CONDITIONS OF A CRYOLITHOZONE

Akishev A.N., Candidate of Engineering Sciences, Assistant Professor, Head of Division,
e-mail: AkishevAN@alrosa.ru,
Bokiy I.B., Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Assistant Professor, Head of a Sector,
e-mail: bokij@rambler.ru,
Institute «Yakutniproalmaz» of «ALROSA» OJSC.

Designing of pit walls with optimal profile and determination of acceptable parameters of stable benches in connection with the flow chart of open pits stripping by steeply inclined ramps will enable providing multiple reduction of stripping volumes in the contour of the designed pit subject to safe conditions of mining.

Key words: non-mining flank of an opencast, unworkable benches, flow chart of stripping, steeply inclined ramp, cryolithozone, stability factor.

REFERENCES

1. *Izuchit' fiziko-mehanicheskie svojstva vmeshhajushhih porod v okrestnosti proektiruemogo kar'era na trubke «Botuobinskaja» po trem inzhenerno-geologicheskim skvazhinam glubinoj 630 m*, Otchet NIR (zakl.), Jakutniproalmaz; ruk. Bokij I.B. (Analysis of physico-mechanical properties of host rocks in the area of the open pit mine under project at the Botuobinskaya pipe by the data of three soil bores 630 m deep: Research and development report (final draft), Yakutniproalmaz, I.B. Bokij (Project Manager)), Mirniy, 2013, 86 p.

2. Razrabotat' geomehanicheskuju model' kar'erov pri otrabotke bednotovarnyh mestorozhdenij i vydat' rekomendacii po parametram nerabochih ustupov i bortov nestandartnyh konstrukcij, Otchet NIR (zakl.), Jakutniproalmaz, ruk. Zyrjanov I.V. (Development of geomechanical model for opencast mining of low-payable deposits and recommendations on parameters of nonstandard-design nonworking pitwalls and benches: Research and development report (final draft), Yakutniproalmaz, I.V. Zyryanov (Project Manager)), Mirniy, 2013, 95 p.

3. Akishev A.N., Bokij I.B. *Optimizacija konstrukcij bortov kimberlitovyh kar'erov v uslovijah kriolitozony*, Sbornik tezisov V Ural'skogo gornopromyshlennogo foruma 1–3 oktjabrja 2013 (Optimized design of kimberlite open pit walls in permafrost zone, 5th Ural Mining Industry Forum Proceedings, 1–3 October 2013), Ekaterinburg, 2013, pp. 269–270.

ОТ РЕДАКЦИИ

В Горном информационно-аналитическом бюллетене (научно-техническом журнале) № 5, 2014 г., в статье авторов А.Н. Акишева, И.Б. Бокия на с. 157 и с. 425 в названии статьи допущена техническая ошибка:

Напечатано	Следует читать
К ВОПРОСУ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ И ДОЛГОВЕЧНОСТИ ЭЛЕМЕНТОВ ШАХТНОЙ ПОДЪЕМНОЙ МАШИНЫ	***К ВОПРОСУ О ВОЗМОЖНОСТИ УВЕЛИЧЕНИЯ УГЛА НАКЛОНА БОРТА КАРЬЕРА В УСЛОВИЯХ КРИОЛИТОЗОНЫ***

Редакция приносит свои извинения авторам и повторно публикует статью с правильным названием.