

А.Л. Билин, Г.О. Наговицын

**КОНЦЕПЦИЯ БЕЗБЕРМОВОЙ КОНСТРУКЦИИ
БОРТА КАРЬЕРА***

На карьере Ковдорского ГОКа предложена новая конструкция борта карьера со сверхвысокими уступами и концентрацией берм безопасности на транспортных бермах.

Ключевые слова: конструкция борта карьера на конец отработки, транспортные бермы, бермы безопасности, заложение уступов.

Для обоснования новой конструкции борта карьера с уступами, имеющими вертикальные откосы, на Ковдорском ГОКе выполнен широкий круг инженерно-геологических, структурно-геологических и геомеханических изысканий [1] и разработана концепция «суперкарьера» с увеличением глубины карьера на 300 м при сохранении прежних границ карьера по поверхности.

Был реализован проект опытно-промышленного участка (ОПУ) (рис. 1), который был сформирован в 2007 г. на высоту 84 м – один уступ высотой 24 м и два по 30 м.

Разработана технология шадящего взрывания при формировании конечного контура карьера [2, 3].

Опираясь на результаты проведенных исследований и разработанные регламенты проектным институтом Гип-



Рис. 1. Вид на ОПУ карьера Ковдорского ГОКа: (а) с северо-запада и (б) с юго-запада

* Исследования выполнены в рамках гранта по приоритетному направлению деятельности РНФ «Проведение фундаментальных научных исследований и поисковых научных исследований отдельными научными группами» № 14-17-00751 (научн. рук. проф. А.А. Козырев).

роруда в 2011 г. разработано ТЭО кондиций и доразведанные запасы в интервале $-350 \div -660$ м поставлены на государственный баланс [4].

В настоящее время ведутся работы по уточнению границ и обоснованию схемы вскрытия глубоких горизонтов карьера. В качестве одной из наиболее перспективных признается схема использования подземного транспортного комплекса, включающего наклонные и горизонтальные конвейерные стволы и три рудоспуска в рабочей зоне карьера [5, 6].

В качестве Базового для последующего анализа границ карьера рассма-

тривается проектный контур карьера на конец отработки ТЭО кондиций 2011 г. (рис. 2) [4].

Особенностями его является формирование основной части автомобильных коммуникаций по западному борту карьера и связанная с этим «подрезка» отвала № 1, значительную часть которого необходимо переукладывать в отвал № 2, располагающийся к юго-западу от карьера.

В качестве технологической альтернативы данному контуру карьера в Горном институте КНЦ РАН был построен, опираясь на то же самое дно, контур с более равномерным фор-

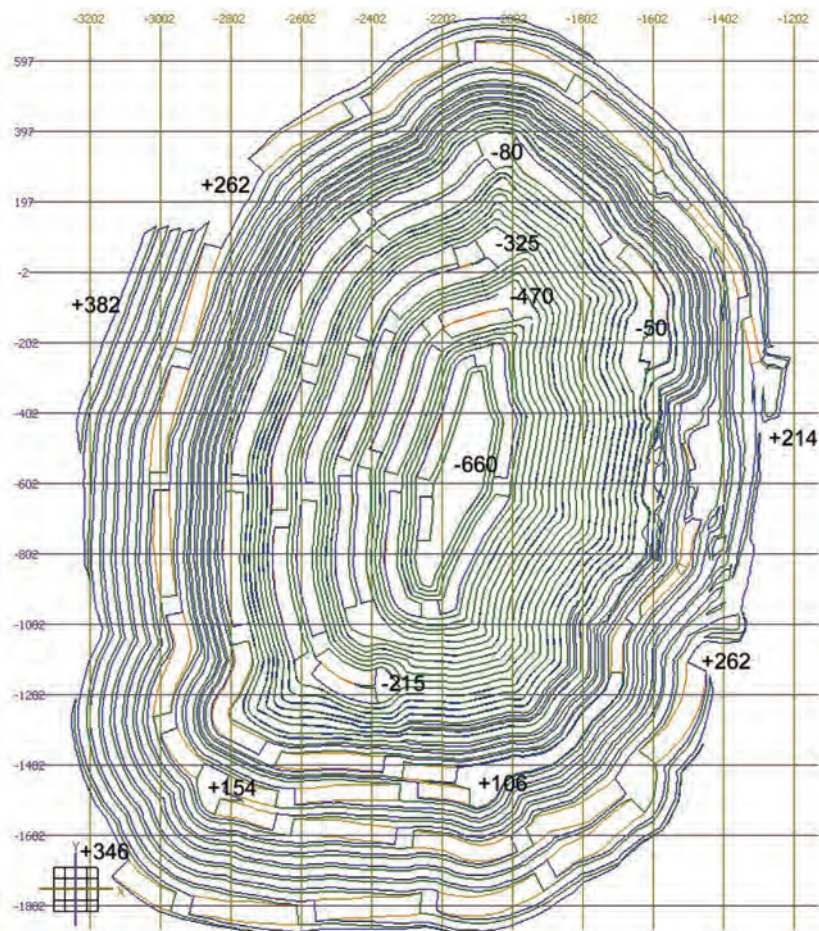


Рис. 2. Базовый контур карьера на конец отработки

мированием системы автомобильных съездов (рис. 3).

Полученный контур карьера оказался существенно компактнее Базового контура (см. внешний контур Базового карьера на рис. 3). Можно также обратить внимание, что в северной части карьера данный контур не вышел за пределы существующего карьерного пространства.

После дополнительного анализа была определена возможность формирования прирезки в северном торце карьера на площадке на горизонте -530 м, на которую было предпо-

жено вывести один из рудопусков 2 очереди подземного транспортного комплекса (рис. 4) [6].

Относительно Базового контур ГоИ-1 включает в себя 99,5% руды и 60% вскрыши при снижении ее объема на 152,8 млн м³. Контур ГоИ-2 включает 102,8% руды и 66,5% вскрыши. Он содержит руды на 19,2 млн т больше, чем Базовый контур, при приемлемом в прирезке среднем коэффициенте вскрыши (таблица).

Столь существенное сокращение объемов вскрыши объясняется, в основном, переносом двух витков сис-

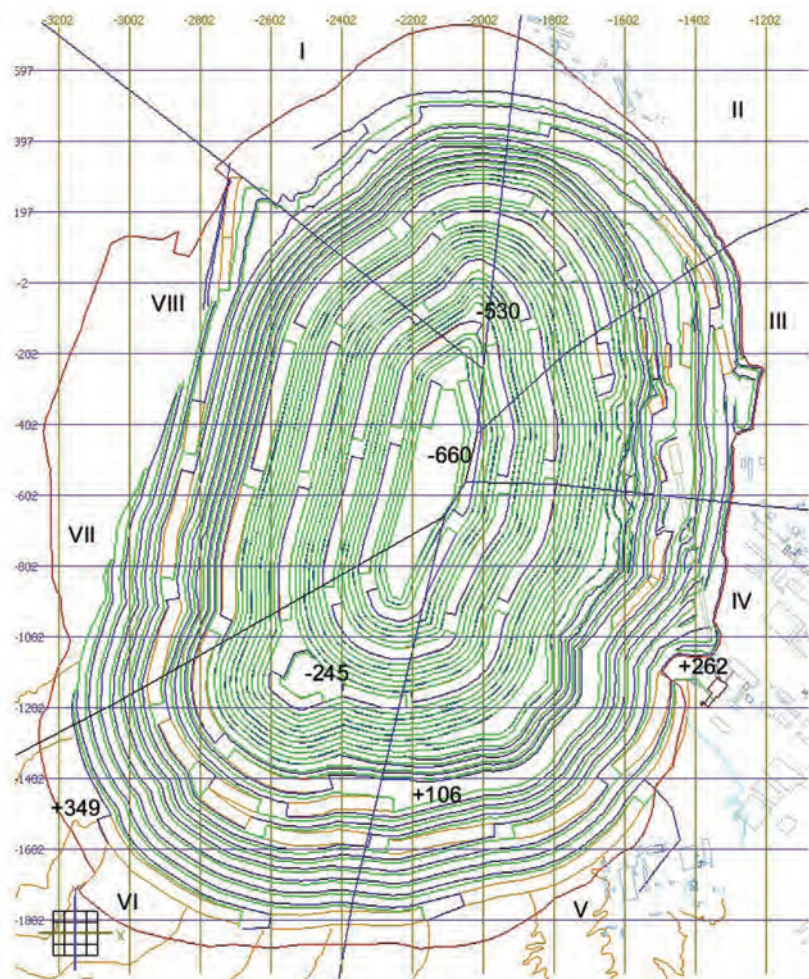


Рис. 3. Контур карьера на конец отработки по проработкам (ГоИ-1)

Сводные показатели карьеров

Варианты контуров	Запасы руды, млн т	Объем вскрыши, млн м ³	Средний коэффициент вскрыши, м ³ /т
Базовый	676,24	380,96	0,56
ГоИ-1	672,88	228,17	0,34
ГоИ-2	695,47	253,18	0,36
Сравнение с Базовым, %			
ГоИ-1	99,50 %	59,89 %	60,19
ГоИ-2	102,84 %	66,46 %	64,6
Прирезки			
ГоИ-1 ÷ Базовый	-3,35	-152,79	45,56
ГоИ-1 ÷ ГоИ-2	22,58	25,01	1,11
ГоИ-2 ÷ Базовый	19,23	-127,78	

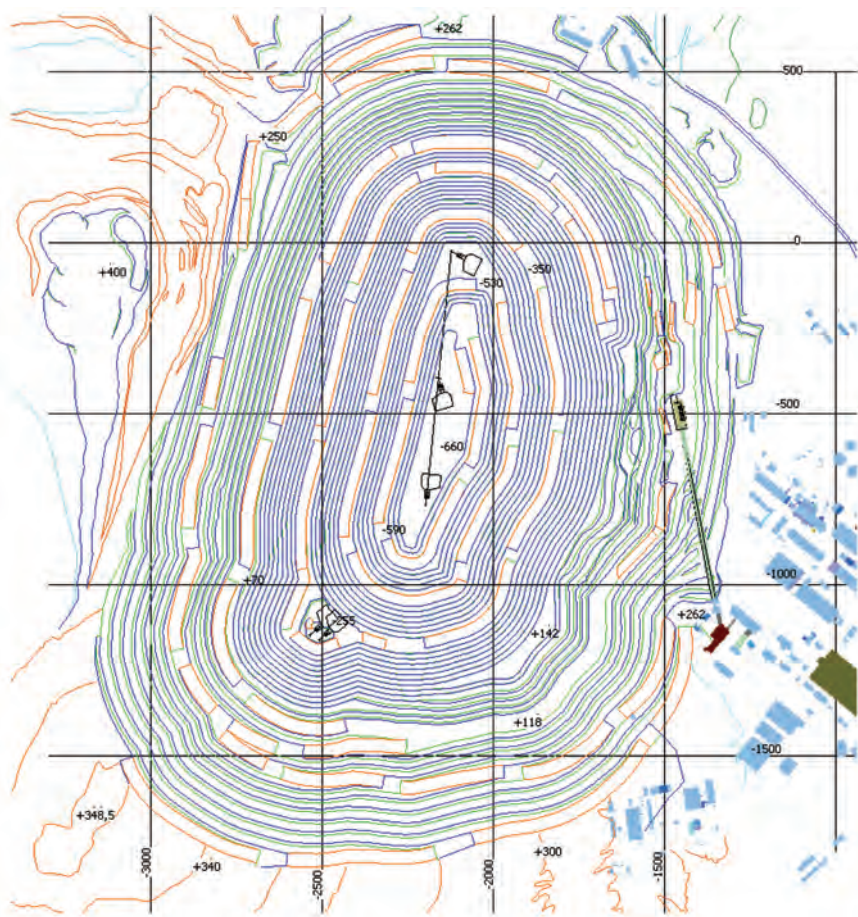


Рис. 4. Контур карьера на конец отработки (ГоИ-2)

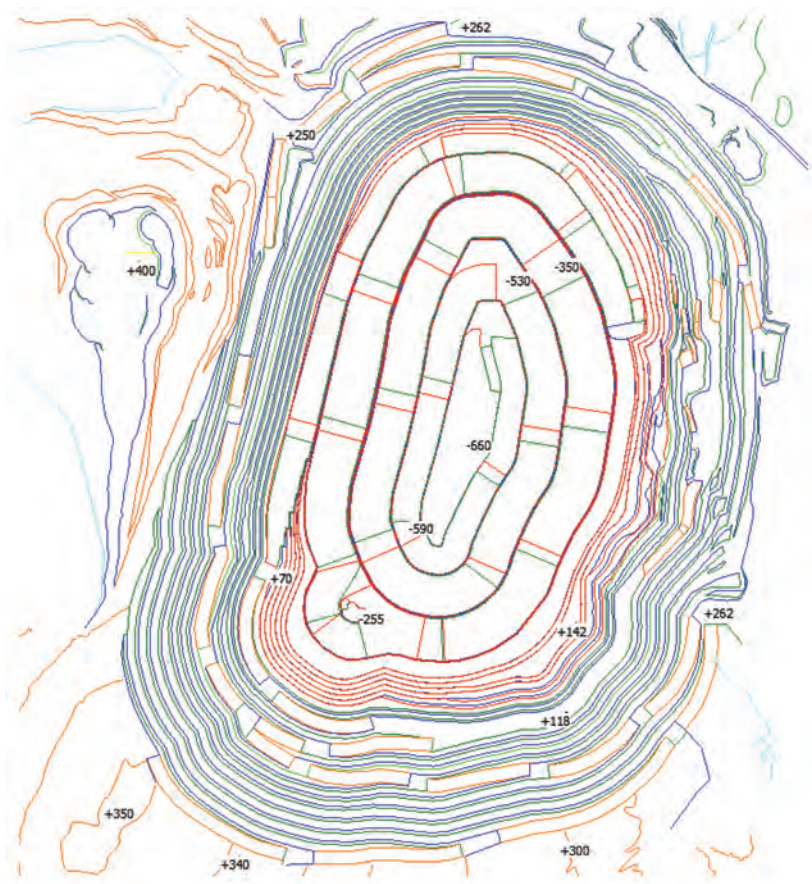


Рис. 5. Контур карьера без предохранительных берм

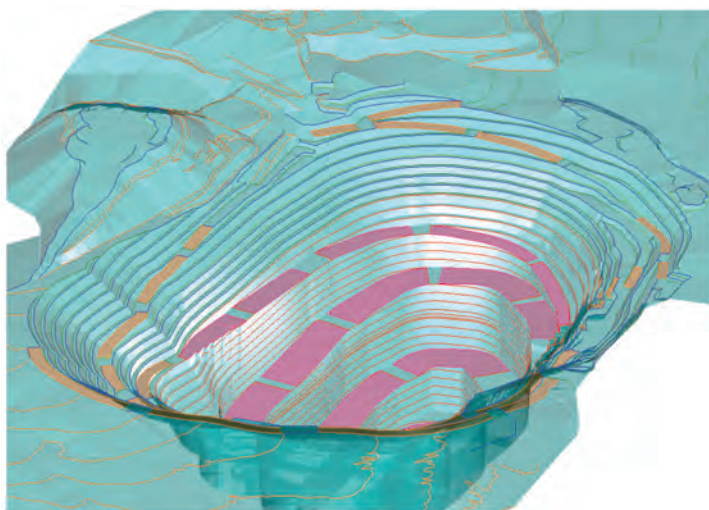


Рис. 6. Изометрия (вид с юга) карьера без предохранительных берм

темы автосъездов на восточный борт карьера при общем сохранении угла наклона данного борта на прежнем уровне и при соответствующем смещении всего западного борта. При этом была исключена подработка отвала № 1 (слева на рис. 4).

Опираясь на последний контур, выполнена прорисовка возможного состояния борта карьера при применении безбермовой конструкции борта карьера (рис. 5, 6).

Безбермовая конструкция борта карьера на конец отработки, на данном этапе работ, не преследует цели дальнейшего увеличения угла наклона борта карьера, а рассматривается как средство повышения его технологичности. Заключается она в концентрации берм безопасности на транспортных бермах, т.е. в полном отказе от горизонтальных берм безопасности при соответствующем увеличении ширины транспортных берм.

В чем же достоинства предлагаемой конструкции?

Ковдорскому месторождению комплексных железных руд соответствует

иерархично-блочная трещиноватость [7] и оно относится к магматическим, сформированным внедрением рудного магматического штока в зону пересечения геологических разломов. Магма, затвердев и остывая, уменьшалась в объеме, вследствие чего формировались зоны растяжения, которые и реализовывались в образование трещин. Причем часть мелких трещин объединяется между собой, формируя более крупные блоки. Исследованиями Геологического института КНЦ РАН выделено 4 иерархии блочной структуры на Ковдорском месторождении и определены их характеристики по инженерно-геологическим секторам [8].

Следствием иерархично-блочной трещиноватости является то, что отдельные локальные вывалы по неблагоприятным сочетаниям трещин будут присутствовать на карьере неизбежно. Мелкие вывалы будут приводить к нарушениям верхней бровки уступа и сокращению ширины бермы. Средние вывалы местами могут существенно сократить ширину берм. А крупные

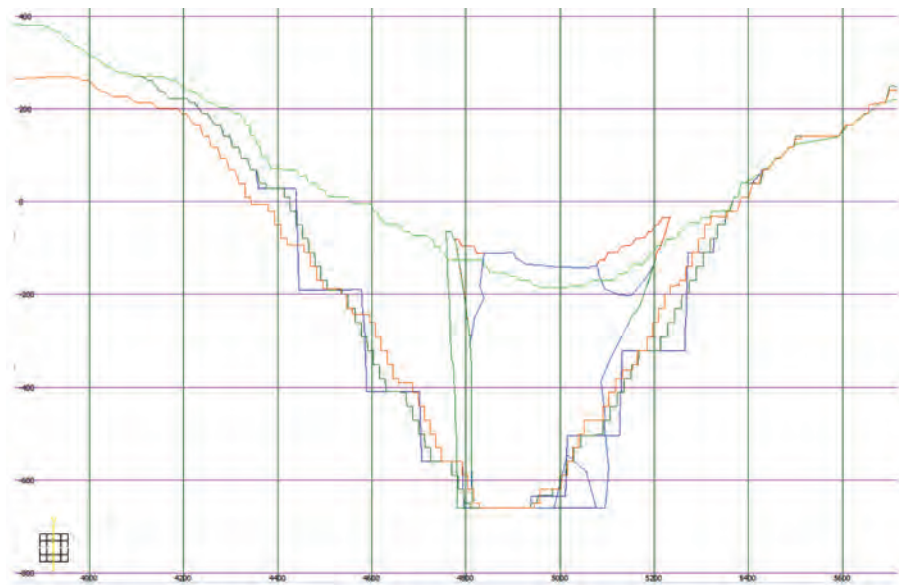


Рис. 7. Поперечный разрез карьера

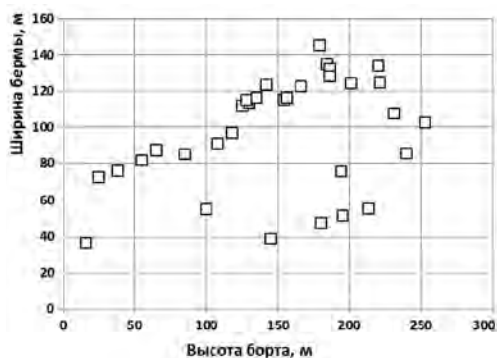


Рис. 8. Зависимость ширин берм от высоты откосов под ними

поверхности ослаблений – подсекать участки до сотни м высотой.

Следует подчеркнуть, что явления эти могут проявляться независимо от величины генерального угла наклона борта – как на пологих, так и на относительно крутых бортах. Речь идет лишь о вероятной встречаемости тех или иных сочетаний ориентации трещин с бортом карьера и, следовательно, об ожидаемом усредненном со-

стоянии уступов после их постановки на конечный контур.

При этом, чем ширина бермы больше, тем выше надежность ее функционирования, и тем больший объем вывалов она способна принять, не перепуская обрушившиеся с уступа куски породы на нижележащие горизонты. Например, при средних вывалах до 4 м при ширине бермы 10 м остаточная ширина бермы составит более 6 м, часть из которых будет заполнена просыпями, а при ширине 17 м и тех же объемах вывалов – уже более 13 м.

В нашем случае – при применении сверхвысоких откосов уступов (до 220 м), – ширина транспортных берм также будет сверхбольшой (до 140 м) (рис. 7), и она легко может принять не только мелкие и средние, но и часть крупных вывалов. Допустим, по сочетанию напластований под углом 45° в верхней части сверхвысокого «уступа» соскользнул клин высотой и шириной по 30 м при длине по фронту 50 м. Это 2250 м^3 .



Рис. 9. Вид на Чиркейскую ГЭС

При предлагаемой конструкции борта даже такие крупные вывалы не будут для функционирования карьера иметь катастрофичный характер. Это приведет лишь к сокращению ширины берм с 80–140 м до 50–100 м, оставив достаточно места для размещения транспортной полосы в 30 м. Можно заметить, что локальные вывалы нет необходимости полностью вывозить из карьера – значительную часть обрушившейся породы можно будет распределить по соседним участкам транспортной бермы, увеличивая высоту предохранительных валов.

И даже полная ликвидация участков берм за счет обрушений не заставляет строить локальные объезды в туннелях, искусственные бермы, полузакрытые галереи [9].

Безусловно, формирование таких высоких откосов невозможно без осуществления мер по предохранению техники от падения камней. Для обезопасивания откосов можно применять легкие навесные (временные или постоянные) сетки типа рыболовецких (траловых) сетей. При этом их необходимо закреплять не по верхней бровке уступов, а на расстоянии 20–30 м от нее, т.е. за пределами «призмы возможного обрушения». В этом случае сетки не будут решать задачу удерживания вывалов на месте, а будут лишь обеспечивать их контролируемое «пропускание» на нижележащую берму. Нижние 5–10 м откоса уступа, свободные от сетки, позволят осуществлять механизированную очистку бермы от просыпей при работе оборудования в безопасной зоне.

Отметим, что при переходе от традиционной конструкции борта карьера в его верхней части к сверхвысоким уступам потребуются наличие небольшой переходной горизонтальной полки. В целом, ширина транспортных берм при рассматриваемой конструкции борта карьера определяется двумя

факторами: наличием или отсутствием (для верхней полки) транспортной полосы и высотой субвертикальных откосов под и над рассматриваемой бермой (рис. 8).

Наименьшая ширина берм связана с верхним витком коммуникаций, на котором нет вышележащего сверхвысокого уступа, особенно в случае отсутствия транспортной полосы. Разброс верхних значений связан с исходным разбросом угла наклона борта карьера по секторам, связанным с инженерно-геологическим районированием.

На данном этапе работы рано рассматривать вопрос о дальнейшем увеличении угла наклона борта карьера Ковдорского ГОКа, так как, пока окончательно не обоснована сама принципиальная геомеханическая возможность формирования таких уступов. Однако перспективы заключаются в том, что в случае относительно небольшого объема обрушений в будущем можно будет относительно легко осуществить частичный разнос борта с любой из сформированных широких наклонных площадок, прирезав дополнительные запасы руды как по бортам карьера, так и под его расширившимся дном.

Добавим, что постановку уступов на конечный контур следует, безусловно, сопровождать сейсмотомографическими исследованиями борта карьера, по-видимому, не менее трех раз: (1) после обнажения бермы; (2) после достижения примерно половины высоты нижележащего откоса; (3) после формирования откоса целиком. Данное мероприятие позволит заблаговременно выявлять все непроявившиеся на первых порах крупные ослабления, которые могут оказать вредное влияние на устойчивость отдельных уступов, и выполнять компьютерный геомеханический прогноз устойчивости формируемого участка борта. А в случае неблагоприятного

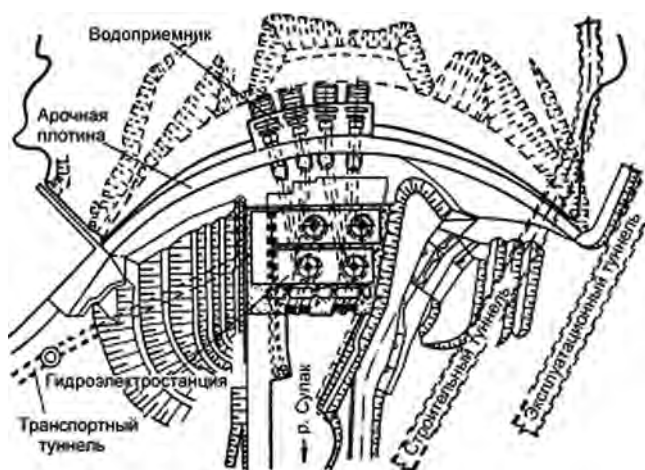


Рис. 10. Схема основных гидросооружений

сочетания трещин – рассматривать вопрос о параметрах закрепления потенциально-неустойчивых блоков или об особенностях работы в условиях ожидаемой реализации крупных вывалов и локальных обрушений.



Рис. 11. Левобережная врезка

Чтобы продемонстрировать возможность применения подобных конструкций, обратимся к чрезвычайно интересному опыту строительства Чиркейской ГЭС мощностью 1000 МВт на реке Сулак в Дагестанской республике, крупнейшей на Северном Кавказе, эксплуатируемой с 1974 г. [10] (рис. 9).

ГЭС характеризуется рядом смелых конструктивных и технологических новинок, сделавших опыт ее строительства уникальным и, отчасти, эталонным, во-

шедшим в учебники по гидростроительству. Представим лишь несколько моментов, напрямую затрагивающих рассматриваемую проблематику возможности конструирования крутых бортов карьеров.

В 1967–1974 гг. после детальных изысканий, эскизных и предпроектных проработок на Чиркейском Гидроузле было реализовано строительство арочной плотины двойной кривизны высотой 232 м и длиной по гребню 333 м (рис. 10).

Породы, слагающие каньон, отнесены к 6–8 категориям крепости по СНиП и представлены известняками верхнемелового возраста, залегающими почти горизонтальными слоями мощностью 0,1–0,7 м с уклоном 2–12° в сторону верхнего бьефа. Между слоями известняка имеются прослои 0,5–8 см, заполненные мергелями, глинистыми материалами и кальцитом. Вся толща известняков имеет три системы трещин: тектонические, ориентированные поперек реки; трещины берегового отпора, вдоль реки; и волосяные, разделяющие пласты известняка на отдельные блоки.

Для надежного опирания плотины в борта ущелья были убраны сильно-

трещиноватые породы и осуществлена врезка контура плотины в ненарушенную часть массива. На правом берегу врезка была принята на глубину 10–15 м, а на левом – до 50 м за крупный скол (рис. 11).

Врезки конструировались без оставления предохранительных берм на полную высоту выемки и с оставлением лишь маленьких «полок» шириной около 0,5 м по условию размещения буровых установок. Бурение отрезной щели осуществлялось вертикальными скважинами с помощью специальных направляющих рам, закрепленных анкерами по контуру откоса, обеспечивающих соосность буримых скважин.

Общая высота выемки врезок, (с учетом котлована под машинный зал) со-

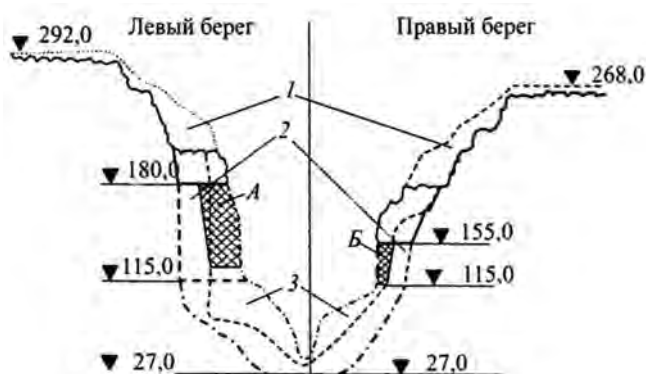


Рис. 12. Схема отработки врезок (вид от истока)

ставила около 250 м при общем заложении откосов 5 к 1 (около 80°).

Бурение взрывных скважин осуществлялось станками малого диаметра по сетке 3 на 3 м. Контурная щель – скважины на расстоянии 1,2 и 0,8 м. Дополнительно можно отметить, что средние части врезок не вывозились, а сбрасывались экскаватором ЭКГ-4,6

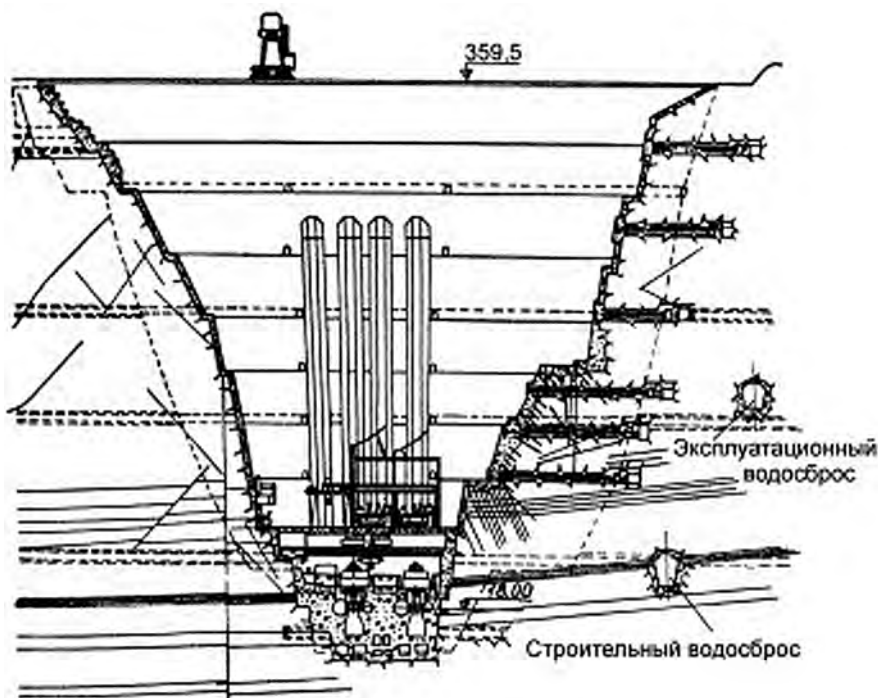


Рис. 13. Вид от устья на комплекс сооружений с выработками крепления борта

в ущелье. Масса ВВ в одной ступени замедления ограничивалась 2 т (рис. 12).

После отработки врезок и котлована было осуществлено строительство машинного зала ГЭС и арочной плотины с использованием кабель-кранов, перекинутых через ущелье.

Можно отметить, что кроме открытых горных работ на Чиркейской ГЭС выполнено строительство серьезного объема подземных горных выработок: транспортного туннеля к зданию ГЭС; двух водосборов – временного (строительного) и эксплуатационного; комплекса дренажных штолен, галерей и коллекторов.

Еще одним интересным моментом, реализованным при строительстве ГЭС, который следует отметить отдельно, было закрепление левобережного массива высотой около 190 м и длиной по фронту до 180 м над машинным залом ГЭС [11] (рис. 13).

Когда котлован под здание ГЭС уже начал разрабатываться, было установлено, что серия мелких трещин, ориентированных параллельно поверхности откоса, объединяется в крупную трещину бокового отрыва, обозначив потенциально неустойчивый блок скальных пород объемом около 36 тыс. м³. Анализ инженерно-геологического строения склона показал, что в случае удаления этого блока могут возникнуть новые трещины боковой разгрузки и проявятся новые неустойчивые блоки. В результате для стабилизации склона было предложено использование натяжных балок в штольнях с удерживающим усилием 33 тыс. т. Это конструктивное решение было оформлено в виде изобретения (М.А. Миронов, А.А. Нейковский, Д.Н. Шондолов, авторское свидетельство № 395547 от 5.04.1971 г.) [11].

Наличие наружных (на склоне горы) и внутренних (в продольных штольнях) железобетонных балок, удерживающих железобетонные подпорные стенки (на

откосах склона), стянутых напряженными анкерными балками, позволило распределить значительные сосредоточенные усилия, создав достаточно равномерное обжатие скального массива, сохраняя возможность наблюдения за состоянием тяжей, а при необходимости – их замену (ремонт) и подтяжку. Всего было пройдено 6 горизонтальных анкерных штолен сечением 4×4,7 м и 34 поперечных штолен сечением 3×3,4 м. При этом геологическая информация, полученная в процессе проходки штолен, дала возможность детализировать особенности геологического строения склона, и потребовала существенных корректировок конструкции системы. Анкерные балки двух горизонтов были смещены на 15–20 м вглубь массива, а на одном горизонте анкерная балка была разделена на две части, одна из которых стала наиболее удаленной (до 100 м) от поверхности откоса.

Можно добавить, что электростанция находится в сейсмоактивном районе и (как во время строительства, так и в ходе эксплуатации) успешно пережила несколько землетрясений.

Как видно из приведенного краткого изложения, осуществленное строительство проходило далеко не в простых инженерно-геологических условиях и потребовало творческого подхода как на стадии проектирования, так и на стадии строительства.

Кроме того как на объект подражания нельзя не обратить внимание на многолетний плодотворный опыт конструирования бортов алмазных карьеров Якутии институтом «Якутнипроалмаз» АК «АЛРОСА», впервые предложивших и апробировавших как наклонные бермы безопасности, так и сверхвысокие уступы [12], хотя и с наклонными откосами, причем в довольно сложных условиях вечной мерзлоты и полускальных пород. Этот опыт следует отдельного изложения и рассмотрения.

Как видно из изложенного, сверх-высокие уступы с субвертикальными откосами начали использоваться уже давно, но для обоснования их мас-

сированного применения при строительстве карьеров необходимо выполнить серьезный цикл геомеханических обоснований.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Козырев А.А., Решетняк С.П., Каспарьян Э.В., Рыбин В.В., Мальцев В.А., Кампель Ф.Б., Быховец А.Н., Александров В.А. Геомеханическое и технологическое обоснование параметров крутых бортов карьера АО «Ковдорский ГОК» / Перспективы использования геоинформационных технологий для безопасной отработки месторождений полезных ископаемых. Труды Междунар. научн.-практ. конф., 3–4 июля 2000 г. – СПб.: ВНИМИ, 2001. – С. 266–270.

2. Фокин В.А. Проектирование и производство буровзрывных работ при постановке уступов в конечное положение на предельном контуре глубоких карьеров. – Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2004. – 231 с.

3. Фокин В.А., Тарасов Г.Е., Тогунов М.Б., Данилкин А.А., Шитов Ю.А. Совершенствование технологии буровзрывных работ на предельном контуре карьеров. – Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2008. – 224 с.

4. Техничко-экономическое обоснование постоянных разведочных кондиций для подсчета запасов магнетитовых и апатитовых руд Ковдорского месторождения для открытой разработки. В пяти томах. Проект. Том 1 Геологическая, горно-механическая и горная части. Генеральный план. – СПб.: Гипроруда, 2011. – 257 с.

5. Леонтьев А.А., Белогородцев О.В., Громов Е.В., Казачков С.В. Вскрытие глубоких горизонтов карьера «Железный» Ковдорского ГОКа подземными выработками // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2013. – № 4. – С. 212–220.

6. Лукичев С.В., Леонтьев А.А., Билин А.Л. Регламент на разработку системы вскрытия подземного рудника наклонными стволами с выделением первой очереди для отработки запасов руды в контуре карьера до отметки минус 660 м (в составе «Техничко-экономического обоснования (ТЭО) проектных решений по V очереди расширения

карьера «Железный» Ковдорского ГОКа с отработкой запасов до абс. отм. минус 660 м в увязке со строительством карьера по добыче АШР»). Договор № 2263/1602–127 с ОАО «Гипроруда». – Апатиты: Горный институт КНЦ РАН. – 2013. – 163 с.

7. Козырев А.А., Семенова И.Э., Рыбин В.В., Аветисян И.М. Исследование напряженно-деформированного состояния массива пород численными методами на основе данных натурных измерений в окрестности крупной карьерной выемки // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2011. – № 11. – С. 78–89.

8. Жиров Д.В., Сохарев В.А., Рыбин В.В., Климов С.А., Мелихова Г.С. Основные принципы и методические подходы к инженерно-геологическому и геомеханическому районированию в целях оптимизации работ по закреплению/стабилизации уступов карьера на примере массива пород рудника «Железный» ОАО «Ковдорский ГОК» // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2014. – № 8. – С. 45–57.

9. Корольков Н.М., Еремин В.Л. Путь и сооружения на горных железных дорогах. – М.: Транспорт, 1968. – 336 с.

10. Скляренко А.В., Мамченков Н.И., Денисов А.С., Березин В.К., Мисриханов М.Ш. Особенности сооружения Чиркейской ГЭС и технологии выведения плотины // Гидротехническое строительство. – 2004. – № 9. – С. 13–36.

11. Нейковский А.А., Скляренко А.В. Опыт проектирования и возведения оригинальной конструкции анкерного крепления левобережного откоса котлована Чиркейской гидроэлектростанции // Гидротехническое строительство. – 2004. – № 9. – С. 39–42.

12. Власов В.М., Андросов А.Д. Технологии открытой добычи алмаза в криолитозоне / Под ред. О.И. Слепцова. – Якутск: Якутский НЦ СО РАН, 2007. – 388 с. **ПЛАБ**

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Билин Андрей Леонидович – кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник, e-mail: bilin@goi.kolasc.net.ru, Наговицын Григорий Олегович – аспирант, Горный институт Кольского научного центра (КНЦ) РАН.

TECHNOLOGICAL POTENTIAL OF DOWN-HOLE MINING METHOD WITH GROUPING BENCHES AT THE OPEN-PIT'S LOWER LEVELS

Bilin A.L.¹, Candidate of Technical Sciences, Leading Researcher, e-mail: bilin@goi.kolasc.net.ru, Nagovitsyn O.V.¹, Graduate Student,

¹ Mining Institute of Kola Scientific Centre of Russian Academy of Sciences, 184209, Apatity, Russia.

The paper proposes development of theoretical and methodical basis to design the down-hole mining method at reproduction of ore reserves prepared and ready for extraction. Regular-cyclic development of an open-pit's working zone is provided at different rate of the open-pit deepening.

Key words: parameters of down-hole mining method, open-pit deepening, concentration of mining operations, step of pit wall shift

ACKNOWLEDGEMENTS

Research performed under the grant in priority direction of activity of the RSF «Conduct fundamental research and exploratory research individual research groups» no 14-17-00751 (sci. hands. Professor A.A. Kozыrev).

REFERENCES

1. Kozыrev A.A., Reshetnyak S.P., Kaspar'yan E.V., Rybin V.V., Mal'tsev V.A., Kampel' F.B., Bykhovets A.N., Aleksandrov V.A. *Perspektivy ispol'zovaniya geoinformatsionnykh tekhnologii dlya bezopasnoi otrabotki mestorozhdenii poleznykh iskopaemykh. Trudy Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii, 3–4 iyulya 2000 g.* (Prospects for the use of geoinformation technologies for safe mining of mineral deposits. Proceedings of International scientific-practical conference, 3–4 July 2000), Saint-Petersburg, BNIMI, 2001, pp. 266–270.
2. Fokin V.A., Tarasov G.E., Togunov M.B., Danilkin A.A., Shitov Yu.A. *Sovershenstvovanie tekhnologii burovzryvnykh работ na predel'nom konture glubokikh kar'erov* (Design and production of drilling-and-blasting operations during setting benches into ultimate position on the limiting contour of deep open-pits), Apatity, Izd-vo KNTs RAN, 2004, 231 p.
3. Fokin V.A., Tarasov G.E., Togunov M.B., Danilkin A.A., Shitov Yu.A. *Sovershenstvovanie tekhnologii burovzryvnykh работ na predel'nom konture kar'erov* (Improvement of the drilling-and-blasting technology on the limiting contour of open-pits), Apatity, Izd-vo KNTs RAN, 2008, 224 p.
4. *Tekhniko-ekonomicheskoe obosnovanie postoyannykh razvedochnykh konditsii dlya podscheta zapasov magnetitovykh i apatitovykh rud Kovdorskogo mestorozhdeniya dlya otkrytoi razrabotki. V 5 tomakh. Proekt. Tom 1 Geologicheskaya, gorno-mekhanicheskaya i gornaya chasti. General'nyi plan* (Feasibility study of standing exploratory conditions in order to calculate reserves of magnetite and apatite ores in the Kovdor deposit for open mining. 5 Volumes. Project. V.1 Geological, mining-mechanical and mining parts. General plan), Saint-Petersburg, Giproruda, 2011, 257 p.
5. Leont'ev A.A., Belogorodtsev O.V., Gromov E.V., Kazachkov S.V. *Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten'*. 2013, no 4, pp. 212–220.
6. Lukichev S.V., Leontev A.A., Bilin A.L. *Reglament na razrabotku sistemyi vskryitiya podzemnogo rudnika naklonnyimi stvolami s vyideleniem pervoy ocheredi dlya otrabotki zapasov rudy v konture karera do otmetki minus 660 m* (Regulation for designing a mining system of the underground mine development by inclined shafts with selection of the first stage for developing ore reserves in the open-pit contour to the mark -660 m, Contract № 2263/1602–127), Russia, Apatity, Gornyi institut KNTs RAN, 2013, 163 p.
7. Kozыrev A.A., Semenova I.E., Rybin V.V., Avetisyan I.M. *Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten'*. 2011, no 11, pp. 78–89.
8. Zhiron D.V., Sokharev V.A., Rybin V.V., Klimov S.A., Melikhova G.S. *Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten'*. 2014, no 8, pp. 45–57.
9. Korol'kov N.M., Eremin V.L. *Put' i sooruzheniya na gornykh zheleznykh dorogakh* (Tracks and facilities on the mine railways), Moscow, Transport, 1968, 336 p.
10. Sklyarenko A.V., Mamchenkov N.I., Denisov A.S., Berezin V.K., Misrikhanov M.Sh. *Gidrotekhnicheskoe stroitel'stvo*. 2004, no 9, pp. 13–36.
11. Neikovskii A.A., Sklyarenko A.V. *Gidrotekhnicheskoe stroitel'stvo*. 2004, no 9, pp. 39–42.
12. Vlasov V.M., Androssov A.D. *Tekhnologii otkrytoi dobychi almaza v kriolitozone. Pod red. O.I. Sleptsova* (Technologies for diamond open mining in permafrost zone. Sleptsov O.I. (Ed.)), Yakutsk, Yakutskii NTs SO RAN, 2007, 388 p.