© Т.С. Черчинцева, Т.С. Кузнецова, 2006

УДК 622.271.333

Т.С. Черчинцева, Т.С. Кузнецова

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СХЕМЫ ДОРАБОТКИ ПРИКОНТУРНЫХ ЗАПАСОВ КАРЬЕРА ОТКРЫТЫМ СПОСОБОМ

Семинар № 12

В настоящий момент времени значительная часть глубоких карьеров находится в стадии доработки. Открытые горные работы достигают своей проектной глубины, но часть запасов остается за контурами: в бортах или под предельным дном (рис. 1). При этом законтурные запасы полезного ископаемого могут иметь как достаточные объемы для экономически-эффективной доработки их подземным способом, так и оставляемые в виде потерь (рис. 1, *б, в*).

Основой всех существующих технологических схем доработки приконтурных запасов является открыто-подзем-ный способ разработки в различных вариантах. Наибольшей сложностью при комбинированной разработке прибортовых запасов представляет совмещение открытых и подземных работ во времени. При этом открытые горные работы ведутся в области вероятного сдвижения поверхности под влиянием подземных выработок, что снижает безопасность ведения горных работ. Кроме того, существующие технологии не отвечают требованиям сокращения потерь полезного ископаемого.

С целью извлечения запасов без потерь в приконтурных целиках и увеличения срока эксплуатации карьера при сохранении бортов в устойчивом состоянии, предлагается использовать нетрадиционный подход к обоснованию параметров технологических схем доработки карьера. Ранее опубликованная методика решения авторами объемной задачи устойчивости откосов позволило доказать, что учет объемного напряженного состояния при обосновании параметров бортов карьеров дает возможность увеличить угол погашения плоского борта при высоте откоса 300-500 м на 15-20 % в устойчивом состоянии [1].

Короткие сроки доработки карьера позволяют в этот период использовать принцип временного снижения устойчивости откосов. Срок существования бортов в состоянии пониженного за-паса устойчивости может регулироваться закладкой выработанного пространства пустыми породами и инъекцией их твердеющими смесями на высоту, необходимую для восстановления долговременной устойчивости. При условии открыто-подземной разработки такая технология позволит сооружать изолирующую потолочину в процессе эксплуатации месторождения открытым способом до перехода к подземной доработке.

Принципиальные схемы доработки глубоких карьеров в зависимости от расположения и объемов, оставшихся запасов приведены на рис. 1.

Временное снижение коэффициента запаса устойчивости до значения 1,1-1,2 позволит увеличить углы откосов бортов карьеров и без потерь отработать приконтурные запасы полезного ископаемого. Запас прочности массива 10-20 % обеспечит срок стояния бортов карьера до 5-10 лет.

Рис. 2. Порядок отсыпки и цементации изолирующей откоса; инъекто

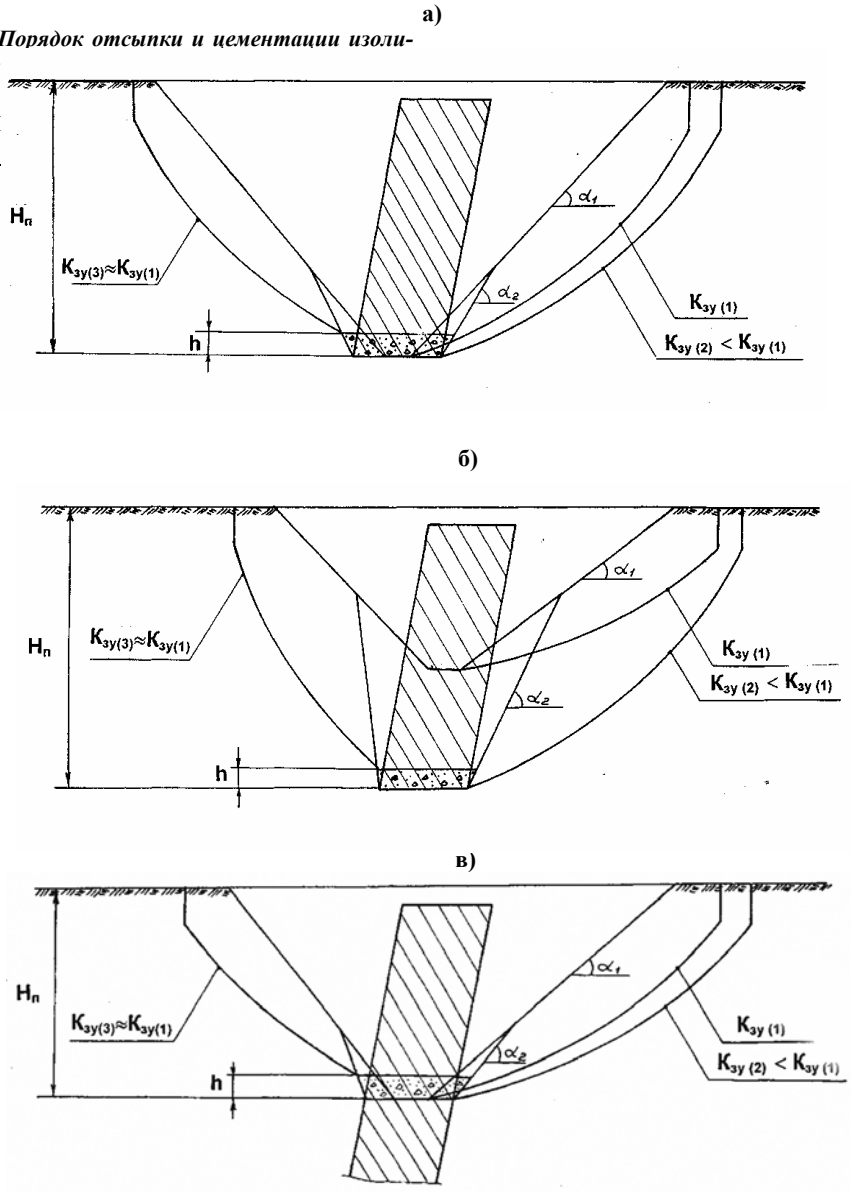


Рис. 1. Технологические схемы доработки приконтурных запасов глубоких карьеров: а - прибортовых; б – приконтурных; в – прибортовых и переходного яруса при комбинированной разработке залежи; $H_п$ – предельная глубина карьера, м; h – высота потолочины, м; α_1, α_2 – углы погашения бортов карьера при эксплуатации и на стадии доработки; $K_{зу}$ – коэффициент запаса устойчивости

Схема 1, а рациональна при условии совпадения нижней границы залежи с предельным дном карьера (месторождения «Волчегорское», «Гороблагодатское»).

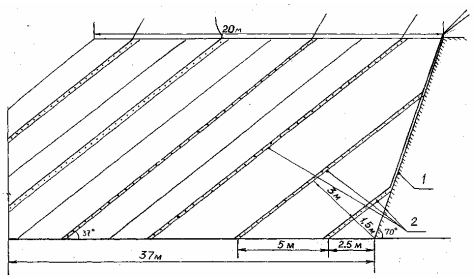
Придонные запасы, не достаточные по объему для подземной разработки (месторождения «Тейское», «Таежное», «Сарбайское», «Абаильское», «Маткальское»), могут быть извлечены с последующей закладкой выработанного пространства попутными вскрышными породами (рис. 1, *б*).

При открыто-подземной разработке месторождений прибортовые запасы полезного ископаемого вместе с запасами переходного яруса h могут быть добыты открытым способом (рис. 1, *в*).

В зависимости от прочностных характеристик пород массива угол погашения нижней части борта карьера может достигать максимальных по конструктивным соображениям величин (50-70º). Высота изолирующей потолочины при камерной подземной доработке должна обеспечивать не только восстановление коэффициента запаса устойчивости бортов карьера, но и прочность на растяжение и изгиб. Высота потолочины может быть определена по любой из общепринятых методик в зависимости от размеров подземных выработок [2, 3].

Формирование потолочины следует вести отсыпкой скальных пород наклонными слоями под откос последнего уступа. Мощность слоев устанавливается в зависимости от прочности и крупности среднего куска скальной породы. Послойная инъекция цементных растворов должна производиться установкой, мощность которой определяется интенсивностью добычных работ (рис. 2).

Отработка прибортовых запасов открытым способом по сравнению с открыто-подземным имеет следующие преиму-



щества: 1) технологические параметры взрывных, выемочно-погру-зочных и транспортных работ в период доработки карьера не изменяются; 2) борта карьера практически не теряют устойчивости с момента начала доработки; 3) в случае открыто-подземного освоения месторождения, изолирующая потолочина формируется технологически простыми средствами (отсыпка скальных пород автосамосвалами); 4) в том же случае срок доработки карьера может варьироваться углублением карьера при увеличении частичного разноса бортов на нижних горизонтах.

Предлагаемые технологические схемы доработки приконтурных запасов позволят без потерь отработать запасы полезного ископаемого и обеспечат безопасность ведения горных работ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Черчинцева Т.С., Кузнецова Т.С.* Объемная задача определения коэффициента запаса устойчивости. – Горн. информ.-аналит. бюлл. - М.: МГГУ, 2004.- Вып. 1.

2. *Агошков М.И.* Конструирование и расчеты систем и технологии разработки рудных месторождений. - М.: Недра, 1965.

3. *Борисенко С.Г., Камский С.И.* Расчет на прочность элементов блоков при разработке рудных месторождений. - Киев: Техника, 1973.

Коротко об авторах

Черчинцева Т.С., Кузнецова Т.С. – Магнитогорский государственный технический университет.

© Р.М. Габитов, С.Е. Гавришев, А.Р. Бондарева, Р.Р. Минаев, 2006

УДК 622.271.3

Р.М. Габитов, С.Е. Гавришев, А.Р. Бондарева, Р.Р. Минаев

АНАЛИЗ УСЛОВИЙ ФОРМИРОВАНИЯ ВНУТРЕННЕГО ОТВАЛА ПРИ РЕКОНСТРУКЦИИ КАРЬЕРА «МАЛЫЙ КУЙБАС»

Семинар № 12

При разработке крутопадающих месторождений практически весь объем вскрышных пород размещается во внешние отвалы, что приводит к отчуждению больших земельных площадей. Только в Уральском регионе в отвалы карьеров ежегодно укладывается более 100 млн м^3 с отчуждением 200-250 га земли. На горнорудных предприятиях черной металлургии доля площадей, отводимых под отвалы, составляет порядка 48 % от общих площадей, занимаемых этими предприятиями. Площади отвалов в структуре нарушаемых земель, как правило, в 1,2-1,5 раза превышают площади, занимаемые горными выработками. Таким образом, отвалы вскрышных пород являются наиболее землеемкими объектами горного производства, и решение вопросов, связанных со снижением площадей, отводимых под отвалы, является важной народнохозяйственной задачей.

Складирование вскрышных пород в отработанное пространство карьеров, в определенной мере, решает проблему снижения землеемкости отвалов и восстановления нарушенной поверхности. Наиболее результативно используются карьерные выемки для отвалообразования при разработке горизонтальных и пологопадающих месторождений.

Размещение вскрышных пород карьеров, разрабатывающих крутопадающие и относительно короткие в плане месторождения, производится только во внешние отвалы. В случае, когда рудные тела вытянуты в плане и карьер имеет длину в несколько раз больше, чем ширину, то возможна организация внутренних отвалов. Доля объема вскрышных пород, складируемых в эти отвалы, во многом зависит от формы и размеров рудных залежей, принятого порядка отработки месторождения с разделением на этапы, производственной мощности предприятия, системы вскрытия и разработки.

Порядок отработки месторождения с разделением на этапы существенно влияет на эффективность возведения внутренних отвалов. Выделение этапов эксплуатации наиболее целесообразно при разработке группы смежных залежей одним карьером. В этих условиях появляется возможность отрабатывать отдельные участки в необходимой последовательности. Порядок ввода в работу последующего участка должен быть таким, чтобы обеспечивалась предусмотренная заданием производственная мощность предприятия. Так, по мере отработки одного из участков в разработку вовлекается другой, компенсирующий выбывающую мощность и дающий возможность использовать выработанное пространство первого из отработанных участков для отвалообразования.

Выбор порядка отработки месторождения решается методом вариантов на основе анализа режима горных работ. В качестве одного из критериев оценки эффективности можно принять коэффициент рационального размещения $К_{вн}$ – отношение объема пород, размещаемых внутри карьерного поля $V_{вн}$, к объему вскрышных пород $V_и$, то есть $К_{вн} = V_{вн}/V_в$. На величину коэффициента оказывают влияние, кроме порядка отработки, скорость углуб-

ки, ширина рабочей площадки, способы вскрытия и подготовки рабочих горизонтов, производительность карьера по руде.

Влияние этих факторов видно на примере разработки железорудного месторождения «Малый Куйбас». Это месторождение магнетитовых руд, глубинного типа. Рудоносная зона имеет длину около 2,5 км при ширине 150-400 м, прослеживается до глубины 1200 м, падение – крутое до 80°. Условно зона магнетитовых руд в карьере разделена на два крупных участка: Южный и Северный.

Горные работы ведутся с 1973 года. Месторождение вскрыто внутренними траншеями, заложенными на юго-западном, западном, северном и восточном бортах (рис. 1, *а*). В настоящее время глубина карьера в его южной части составляет 120-140 м (по проекту 290 м), в северной – 100-110 м (по проекту 140 м), производительность по руде – 1,7 млн т/год, по вскрыше – 5,4 млн м^3/ год.

После проведения дополнительных геологоразведочных работ и полученного прироста запасов полезного ископаемого, в 1999 году разработан проект реконструкции карьера, который предусматривает увеличение глубины разработки на Северном участке до 310 м. Глубина Южного участка остается неизменной – 290 м (рис. 1, *б*).

Расширение границ позволяет вовлечь в разработку дополнительные объемы руды, которые, в основном, сосредоточены в северной части месторождения, увеличить производственную мощность по руде до 2,5 млн т/год. Период работы карьера с такой производительностью составляет всего 3 года, а период стабильной производительности по вскрыше в 8,0 млн м^3 сохраняется в течение 7 лет (рис. 3, *а*). Наибольший объем вскрышных работ (более 60 млн м^3) предстоит произвести на Северном участке. По этому участку эксплуатационный коэффициент вскры-ши составит 3,1 м^3/т, на Южном – 2,61 м^3/т. На момент завершения горных работ карьер должен иметь длину по верху 2300 м, ширину – 560 м.

Анализ вариантов порядка отработки

Для карьера «Малый Куйбас» были проанализированы четыре варианта развития карьерного поля:

- проектный;
- поэтапный (последовательный) – вначале отрабатывается Южный, а затем Северный, и наоборот, сначала Северный, а потом Южный участки;
- одновременная, но с различной интенсивностью, отработка Южного (с максимально возможной) и Северного (с минимально допустимой.

При проектном варианте горные работы ведутся одновременно с одинаковой интенсивностью углубки. В этом случае возможна отработка месторождения широкими площадками, малой скоростью углубки, невысокими скоростями продвижения фронта работ. Недостатком этого варианта является довольно высокий текущий коэффициент вскрыши – от 3,2 до 5,3 м^3/т, и небольшой объем внутреннего отвала – 3,0 млн м^3.

Оба варианта последовательной отработки участков требуют высокой интенсивности производства горных работ для достижения заданной мощности 2,5 млн т руды в год. При таком условии эти варианты практически не осуществимы. В случае же достижения необходимой производительности в 2,5 млн т/ год на Южном участке карьера

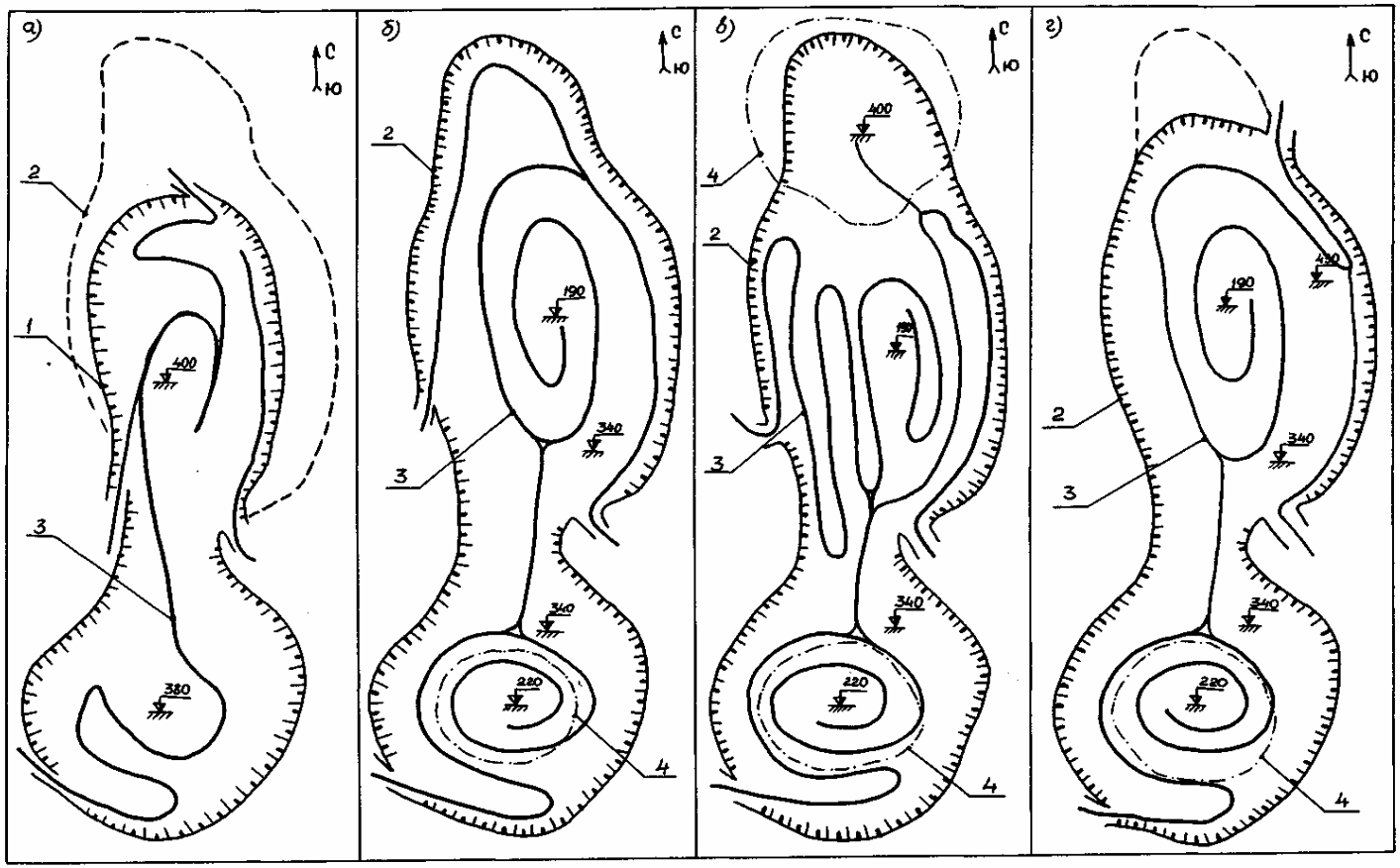


Рис. 1. Варианты вскрытия месторождения «Малый Куйбас»: а) по проекту 1973 года; б) по проекту 1999 года и с организацией внутреннего отвала; в) и г) – варианты вскрытия при разновременной отработке участков карьера и с организацией внутренних отвалов на севере и юге карьера; *1,2* – контуры карьера соответственно по проекту 1973 и 1999 годов; *3* – схема трассы вскрытия; *4* – контуры внутренних отвалов

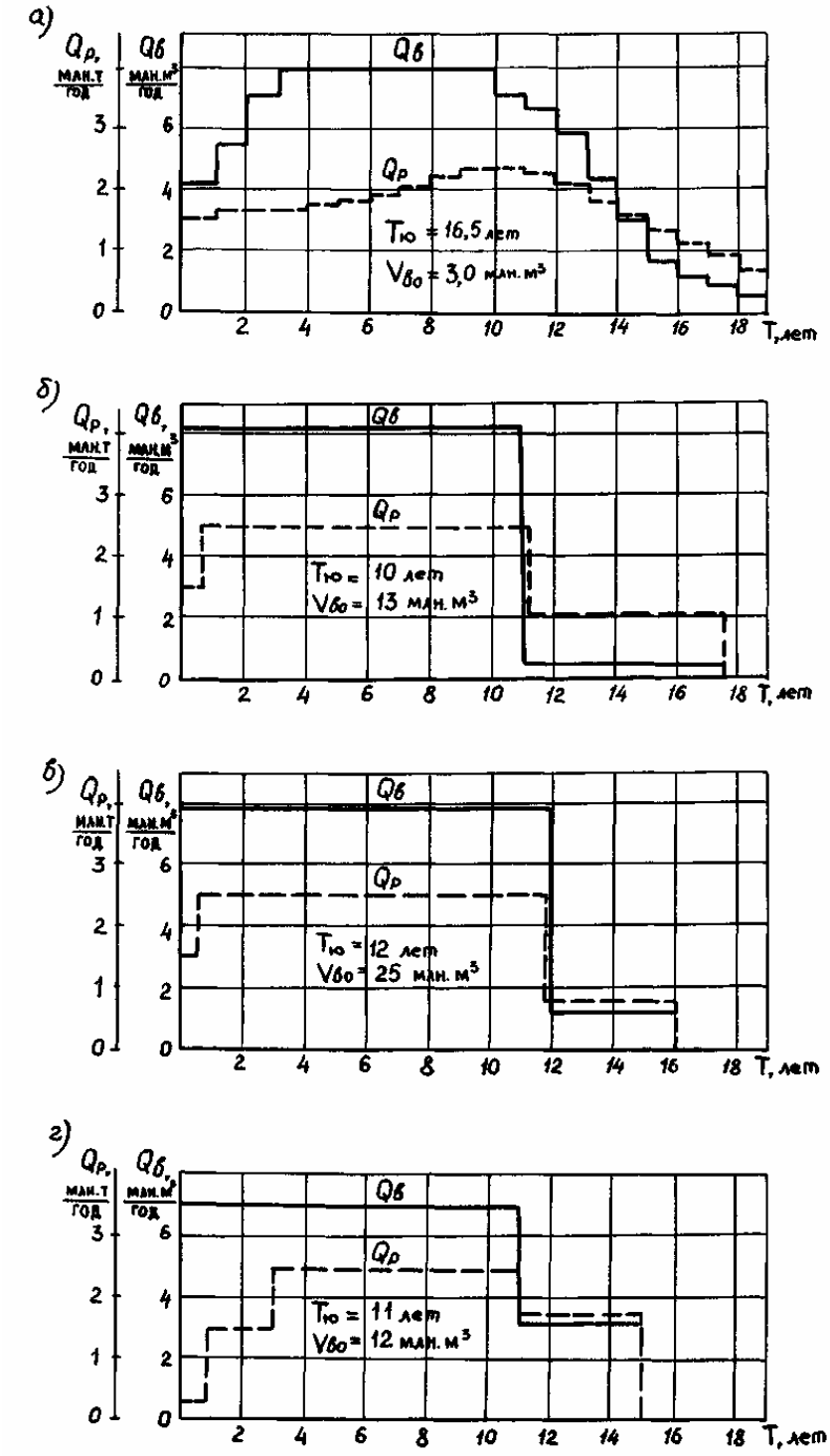


Рис. 2. Схема отработки месторождения с разделением его на участки: а) контур карьера в начальный период разработки; б) контур карьера на момент завершения добычных работ на Южном участке; в) контур карьера и внутренних отвалов на конец отработки месторождения; $V_{ую}$ и $V_{ус}$ – скорости углубки соответственно Южного и Северного участков

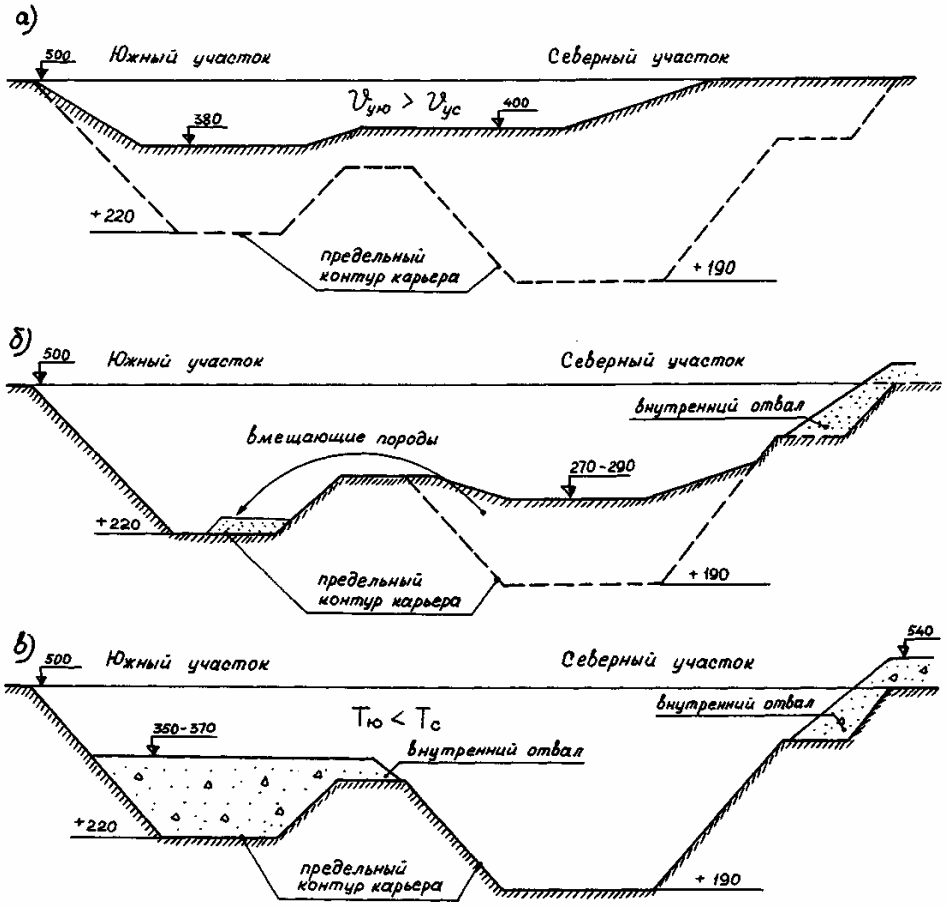


Рис. 3. Календарные планы производства вскрышных и добычных работ при различных вариантах отработки месторождения ($h_{угл}$ = 17,0 м/год): а) проектный порядок отработки ($T_ю$ = 16 лет – время отработки Южного участка, $V_в$ = 3 млн м^3 – объем внутреннего отвала); б) проектный контур и схема вскрытия, интенсивная отработка Южного участка ($T_ю$ = 10 лет, $V_в$ = 13 млн м^3); в) проектный контур и измененная схема вскрытия, интенсивная отработка Южного участка ($T_ю$ = 12 лет, $V_в$ = 25 млн м^3); г) измененный контур и схема вскрытия карьера, интенсивная отработка Южного участка ($T_ю$ = 11 лет, $V_в$ = 12 млн м^3)

при последовательной отработке месторождения, почти весь объем вскрышных пород (более 60 млн м^3) Северного может разместиться в пределах отработанной части карьера.

Вариант первоочередной разработки Южного участка с постепенным вводом мощности Северного для условий карьера «Малый Куйбас» является наиболее предпочтительным (рис. 2). Эта схема предусматривает интенсивную отработку Южного участка со скоростью углубки 15-20 м/год, а на Северном – с той степенью интенсивности, которая необходима для достижения проектной мощности 2,5 млн т/год. Здесь расчетные скорости углубки могут изменяться от 3-5

м в начальные периоды разработки до 20-23 м – в конце.

Этот вариант является наиболее приемлемым по следующим причинам:

- в настоящий момент максимальное понижение горных работ достигнуто на Южном участке (рис. 1, а и 2, а);
- контуры карьера в южной части практически не требуют расширения (рис. 1, *а*);
- сравнение объемов вскрыши Южного (28,7 млн м^3) и Северного (64,6 млн м^3) участков позволяет сделать вывод о необходимости первоочередной отработки Южного участка и формирования здесь внутреннего отвала.

Способ подготовки рабочих горизонтов

Проведенный горно-геометрический анализ для этого варианта отработки показал следующее. По сравнению со способами подготовки горизонтов с продольным и поперечным развитием фронта работ и вскрытием со стационарными съездами, способ подготовки рабочих горизонтов временными съездами и разрезными котлованами способствует более равномерному, с постоянным коэффициентом вскрытия, распределению объемов вмещающих пород и руды в течение более длительного периода времени. Так, при скорости углубки 17 м/год и ширине рабочей площадки 30 м срок службы карьера составит 17,5 лет (рис.3,б). Из них 10 лет производительность по руде может быть равной 2,5 млн. т/год, а производительность по вскрыше – 8,4 млн. м^3/год. В последующие 6 лет работы карьера производительность по руде должна снизиться до 1,0 млн т/год. Южный участок планируется отработать через 10 лет после начала реконструкции, и в течение 7,5 лет может производиться отсыпка пород во внутренние отвалы. В это время глубина Северного участка составит 230 м. Емкость его составит 13,6 млн м^3. Коэффициент эффективности размещения пород $К_в$ = 0,15.

Влияние параметров и показателей системы разработки

Иные результаты отработки месторождения наблюдаются при производстве горных работ с другими скоростями углубки и размерами рабочей площадки (табл. 1).

При скорости углубки 20 и 25 м/год срок службы карьера уменьшается соответственно до 16,5 и 14,5 лет, периоды стабильной производительности по руде в 2,5 млн т/год составят 8,8 и 13,5 лет, а объемы внутреннего отвала увеличатся соответственно на 44 % и в 3 раза. Коэффициент эффективности достигает величины, равной 0,44. Влияние ширины рабочей площадки на емкость отвала не столь велико. Для условий отработки месторождения «Малый Куйбас» увеличение ширины на 10 м снижает емкость отвала на 8 %. Наибольшей величине объема внутреннего отвала соответствуют скорость углубки 25 м/год и ширина площадки 30 м. При этом объем отвала составляет 40,8 млн м^3.

Изменение объема отвала объясняется тем, что при увеличении ширины рабочей площадки большие объемы вскрыши извлекаются в первые периоды на Северном

Таблица 1

Влияние скорости углубки и ширины рабочей площадки на объем внутреннего отвала

Скорость углубки, м/год	**Ширина рабочей площадки, м**		
	30	**40**	**50**
	Объем внутреннего отвала, млн м^3		
17,0	13,6	12,4	11,2
20,0	19,6	18,0	16,4
25,0	40,8	38,0	35,2

Таблица 2

Влияние скорости понижения горных работ и ширины рабочей площадки на текущий коэффициент вскрыши

Ширина рабочей площадки, м	**Скорость углубки, м/год**		
	17	**20**	**25**
	Текущий коэффициент вскрыши, м^3/т		
17,0	3,36	3,28	3,12
20,0	3,60	3,44	3,20
25,0	3,84	3,64	3,28

участке, а карьерное пространство Южного участка еще не отработано, а при уменьшении ширины рабочей площадки объем внутреннего отвала увеличивается, так как значительные объемы вскрыши Северного участка остаются на более поздний период. С увеличением скорости углубки уменьшается срок отработки Южного участка и формирование внутреннего отвала начинается раньше, чем это было бы при малой скорости углубки и, соответственно, увеличивается объем отвала. Кроме того, при увеличении скорости понижения горных работ на Южном участке, его производительность по руде повышается и, значит, менее интенсивно отрабатывается Северный участок для компенсации недостающей требуемой производительности.

Увеличение скорости углубки ведет и к уменьшению коэффициента вскрыши (табл. 2). Объясняется это тем, что темп работ на Южном участке при увеличении скорости удовлетворяет требованиям по производительности и Северный участок практически не вовле6кается в работу, а общий эксплуатационный коэффициент вскрыши на Южном участке меньше, чем на Северном.

Из табл. 2 видно, что текущий коэффициент вскрыши с уменьшением ширины рабочей площадки уменьшается, так как вскрыша относится на более поздний период.

Таким образом, для рассмотренного примера отработки месторождения оптимальной шириной рабочей площадки и скоростью углубки, соответствующими рациональному режиму горных работ и эффективному отвалообразованию, являются ширина 30 м и скорость 25 м/год.

Влияние способа вскрытия

Создать дополнительное пространство для размещения вскрышных пород в пределах карьерного поля позволяет выделение еще одного участка, который следует отработать в первую очередь или параллельно с Южным участком. Это торец Северного участка карьера. После отработки запасов полезного ископаемого, который простирается на глубину 130 м, освободившуюся площадь можно использовать под отвал. Но по проектной схеме вскрытия организация отвала здесь невозможна, так как по борту проходит стационарная трасса (рис. 2, *б*). Поэтому, чтобы создать отвал необходимо изменить схему вскрытия. Один из возможных вариантов вскрытия показан на рис. 2, *в*. При отработке по такой схеме объем пород, размещаемых в торце карьера, составит 12 млн м^3, а общий объем отвальных пород, включая объем Южного участка карьера – 25 млн м^3. Изменение режима отработки не повлияло на распределение объемов руды и вскрыши в наклонных слоях, а на Северном участке распределение стало более равномерным и исчезли пиковые объемы вскрыши.

Календарный план работы карьера (рис. 3, *в*) по этому варианту имеет следующие характеристики:

- срок отработки карьера – 16 лет;

- производительность по вскрыше в I этапе – 8,0 млн м^3, по руде – 2,5 млн т, продолжительность этапа – 12 лет;
- производительность по вскрыше во II этапе – 1,1 млн м^3, по руде – 0,8 млн т, продолжительность этапа – 4 года.

На рис. 2, *г* и 3, *в* показаны схемы вскрытия, календарный план горных работ при измененных контурах Северного участка. Исключение из отработки запасов валунчатых руд было принято в связи с невозможность их обогащения в условиях ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат». Это потребовало изменения схемы вскрытия с заложением въездной траншеи в северной части карьера.

Для этого варианта также был выполнен горно-геометрический анализ при ширине рабочей площадки 30 м, скоростях углубки 17, 20 и 25 м/год. Показатели работы карьера (рис. 3, *г*) при скорости углубки 17 м/год:

- срок службы карьера – 15 лет;
- срок отработки Южного участка – 11 лет;
- производительность карьера по вскрыше – 7,1 млн м^3 в I этапе и по руде – 2,5 млн т;
- объем внутреннего отвала – 12 млн м^3.

Полученные данные влияния способов вскрытия, порядка отработки месторождения, показателей и параметров системы разработки свидетельствуют о необходимости решения вопросов размещения вскрышных пород во взаимосвязи с режимом формирования карьерного пространства. То есть проектирование горных работ в карьере должно производиться совместно с решением задач размещения пород вскрыши. В целом, в зависимости от вышеперечисленных факторов емкость внутренних отвалов в условиях карьера «Малый Куйбас» может иметь значения от 3,0 млн м^3 до 40 млн м^3, а это значит, можно снизить землеемкость отвалов в среднем на 60-80 га, грузооборот – на $(100\text{-}300)\cdot10^6$ ткм.

Коротко об авторах

Габитов Р.М. – кандидат технических наук, доцент,
Гавришев С.Е. – доктор технических наук, профессор,
Бондарева А.Р. – горный инженер,

Магнитогорский государственный технический университет им. Носова,

Минаев Р.Р. – главный маркшейдер горно-обогатительного производства ОАО «ММК».