

И. И. Айнбиндер, В. Н. Калмыков, Е. А. Романько

## ПУТИ СНИЖЕНИЯ ПОТЕРЬ И РАЗУБОЖИВАНИЯ РУДЫ ПРИ ОТРАБОТКЕ ПРИКОНТУРНЫХ ЗАПАСОВ СИСТЕМАМИ РАЗРАБОТКИ С ОБРУШЕНИЕМ РУДЫ И ВМЕЩАЮЩИХ ПОРОД

При комбинированной отработке месторождений в основании и бортах карьеров остаются запасы руды, которые обрабатывать открытым способом не рентабельно. Рудные зоны характеризуются сложной морфологией: невыдержанность контактов, сложные границы выклинивания рудных зон, непостоянность углов падения, растянутость рудных участков по простиранию и высоте бортов. Отработку таких рудных участков ведут подземным или открыто-подземным способами. Производство подземных работ системами с обрушением руды и вмещающих пород обеспечивает вы-

сокую интенсивность освоения запасов и снижение себестоимости добычи руды. При выемке мощных рудных зон, растянутых вдоль борта карьера, формирование пригрузки является необходимым элементом систем разработки с обрушением руды и вмещающих пород, при этом, наряду с изоляцией очистного пространства, пригрузка выполняет функцию обеспечения устойчивости подработанного борта в период выемки запасов подземным способом, в то же время материал пригрузки является дополнительным источником разубоживания, в результате чего показатели извлечения руды снижаются. В качестве материала пригрузки используют скальные породы отвалов, породы принудительного обрушения или самообрушения борта карьера, содержащие большое количество породной мелочи.

Анализ исследований, посвященных выпуску руды под налегающими породами в условиях отработки наклонных залежей, показал, что одной из причин повышенного разубоживания является фильтрация мелких частиц породы в рудную массу при выпуске. Вынужденная подработка породного треугольника, образование мертвых зон при выпуске – причины повышенных потерь и разубоживания руды при отработке наклонных залежей. Отсутствие методики расчета показателей выпуска, учитывающей угол наклона контакта, не позволяет прогнозировать результаты выпуска в условиях отработки наклонных залежей.

С целью разработки мероприятий по снижению разубоживания были проведены исследования по оценке влияния гранулометрического состава пород пригрузки и угла наклона основания блока на показатели извлечения руды при различной крупности материала пригрузки. Для определения показателей извлечения руды при различной крупности материала пригрузки проведено физическое моделирование выпуска руды на эквивалентных материалах с соблюде-

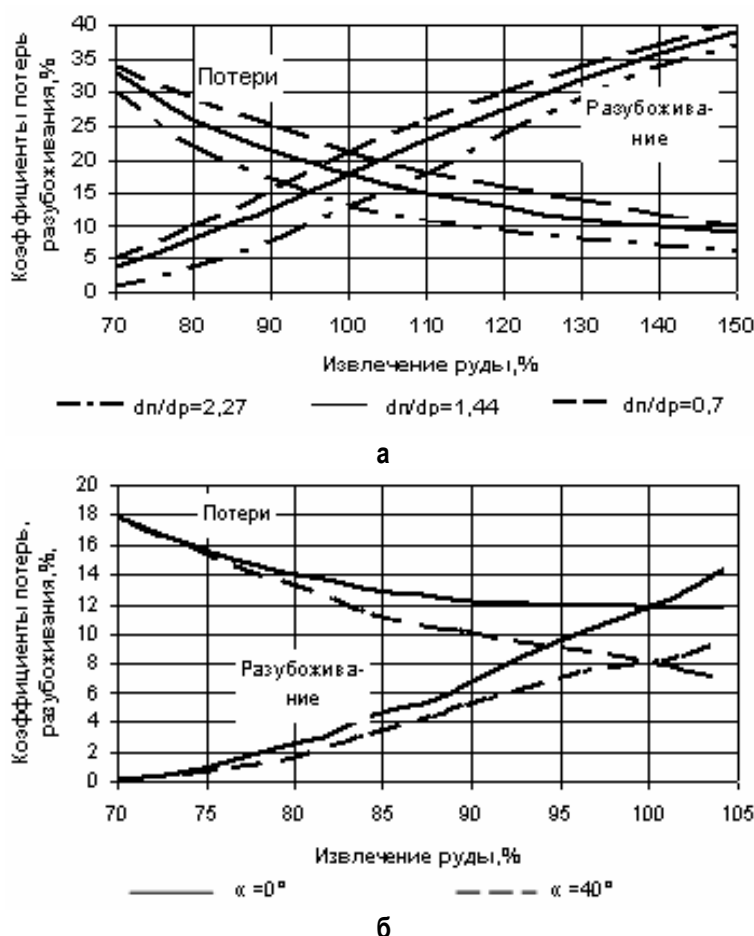


Рис. 1. Графики изменения показателей потерь и разубоживания руды:

а – для различной крупности пригрузки; б – с увеличением угла наклона основания блока с 0° до 40°

нием критериев подобия и граничных условий. Моделировался равномерно-последовательный выпуск руды. Отношение крупности среднего куска породы к крупности среднего куска руды равно 2,27, 1,44 и 0,72. В процессе моделирования рассчитывались показатели потерь и разубоживания руды в блоке. Результаты моделирования выпуска руды под налегающими породами пригрузки при различных значениях отношения крупности среднего куска породы к крупности среднего куска руды представлены на **рис. 1, а**.

Для определения показателей извлечения руды при различных углах заложения основания блока проведено физическое моделирование выпуска руды, которое заключалось в проведении выпуска руды через горизонтальное ( $\alpha=0^\circ$ ) и наклонные ( $\alpha=20$  и  $40^\circ$ ) основания блока. В модель засыпалась руда, затем порода таким образом, чтобы контакт руды и породы выдерживался параллельным основанию блока и велся равномерно-последовательный выпуск руды. Критериями оценки опытов служили показатели: потерь и разубоживания руды в блоке. Результаты моделирования выпуска руды под налегающими породами при различном угле заложения основания блока представлены на **рис. 1, б**.

Результаты физического моделирования (см. **рис. 1, а**) говорят об уменьшении потерь и разубоживания руды с 20 до 14% с ростом отношения крупности среднего куска породы к крупности среднего куска руды с 0,72 до 2,27.

На основе проведенных исследований установлена зависимость влияния крупности пород и руды в изучаемых пределах на показатели потерь и разубоживания:  $K_{п,р} = 1,324 - 0,31 \cdot \frac{d_n}{d_p}$ ,

где  $d_n$  – средний размер куска породы, м;  $d_p$  – средний размер куска породы, м. В области фильтрации изменение показателей потерь и разубоживания руды подчиняется линейной зависимости:  $K_{п,р} = 1,843 - 4,34 \cdot \frac{d_n}{d_p}$ .

Увеличение потерь и разубоживания руды, при крупности породы меньшей, чем крупность руды, объясняется фильтрацией более мелких кусков породы между крупными кусками руды. Для определения минимального размера кусков пород пригрузки, при котором не будет происходить проникновение мелких кусков породы в руду, использована методика В.С. Шеховцова, представленная в работе [1].

Проникать в зазоры между кусками руды будут породы крупностью меньшей

$$d_{p.n} = 0,8d_3, \quad (1)$$

где  $d_3$  – размер зазоров между кусками рудной массы.

Расчетный (средний) диаметр зазора между кусками обрушенной руды:

$$d_3 = d_{ср.р} \left( \sqrt[3]{K_p} - 1 \right), \quad (2)$$

где  $d_3$  – диаметр зазора (поры) между кусками обрушенной руды, м;  $d_{ср.р}$  – средний размер куска руды, м;  $K_p$  – коэффициент разрыхления руды,  $K_p=1,5$ .

Размер кусков отбитой руды имеет большой разброс по крупности: присутствуют как негабаритные куски, так и передробленная мелочь. Проведенный расчет минимальных размеров кусков породы, которые не будут проникать в отбитую руду, показал, что для негабаритного куска руды размером 0,6–0,8 м размер кусков породы соответственно 0,07–0,09 м, для кондиционного куска размером 0,4 м крупность породы не менее 0,05 м, а для передробленной рудной мелочи размером 0,1 м крупность породы 0,01 м обеспечивает непроникновение породы в рудную массу. На основе приведенного расчета средний размер кусков материала пригрузки по фактору непроникновения материала пригрузки в руду составляет 0,05 м. Для сопоставления результатов выпуска средняя крупность кусков материала пригрузки также принимается из расчета превышения среднего куска материала пригрузки в 2 и 3 раза кондиционного куска руды.

Для обеспечения предлагаемых технологических решений по крупности пригрузки необходимым технологическим элементом, внедренным в технологический процесс отработки приконтурных запасов, является формирование структурированной пригрузки. Под формированием структурированной пригрузки понимается процесс отсыпки структурированного материала пригрузки к месту ведения подземных работ. В качестве материала для структурированной пригрузки используются породы отвалов определенного класса крупности, обеспечивающего либо непроникновение частиц материала пригрузки в выпускаемую руду, либо крупность материала пригрузки должна превышать в 2–3 раза кондиционный кусок руды. Технологический процесс классификации материала пригрузки при этом весьма трудоемкий: осуществляется с помощью колосниковых грохотов с размерами отверстий 700, 400, 200 и 50 мм. Таким образом, классы крупности пород пригрузки  $-1,2+0,7$ ,  $-1,2+0,4$  и  $-1,2+0,05$  м.

В качестве материала пригрузки применяют отвалы, гранулометрический состав которых сле-

дующий: выход фракции 1,2+0,7 м составляет 18% от всего объема пород отвала; фракции -0,7+0,4 м – 18%; -0,4+0,05 м – 33% [2]. Установлено, что объемы, пригодные для формирования структурированной пригрузки крупностью -1,2+0,7 м, составляют 18% от всего объема пород отвала, при крупности материала пригрузки -1,2+0,4 м – 36%, при крупности пород пригрузки -1,2+0,07 м – 71%, а для базового варианта крупности пригрузки – без классификации, удаления мелких кусков породы -1,2+0,01 м – 100%.

Затраты на подготовку и формирование пригрузки состоят из затрат на классификацию, транспортирование к месту отсыпки и затрат на экскавацию с учетом выхода требуемого класса материала пригрузки из пород отвалов.

Результаты физического моделирования выпуска руды через горизонтальное основание блока и наклонное ( $\alpha=40^\circ$ ) представлены на рис. 1, б. Увеличение угла наклона основания блока с 0 до  $40^\circ$  позволяет снизить потери и разубоживание на 4%.

В процессе выпуска, когда высота выпуска превышает критическую, эллипсоиды выпуска пересекаются, и начинают формироваться извилистый контакт руды с породой. Увеличение угла наклона основания блока приводит к уменьшению области взаимного влияния эллипсоидов выпуска и уменьшению площади гребней (рис. 2), а следовательно, уменьшению потерь руды. Аналитически оценить изменение потерь руды с увеличением угла наклона основания блока возможно, установив зависимость изменения площади гребней от угла заложения основания блока.

Таким образом, площадь гребней может быть найдена (см. рис. 2):

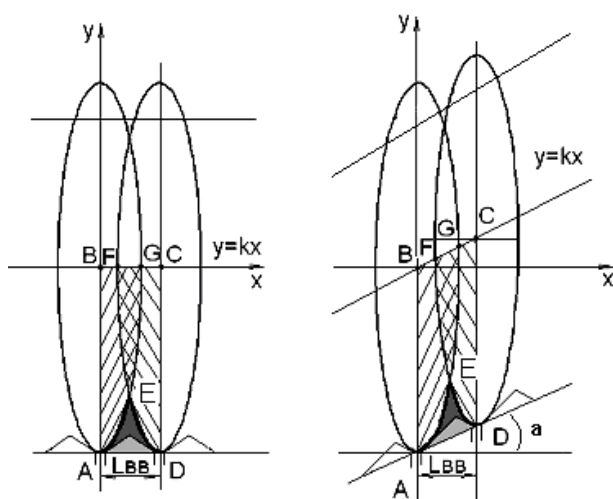


Рис. 2. Уменьшение площади пересечения эллипсоидов выпуска и гребней руды с увеличением угла наклона основания блока

$$S_{AED} = b \cdot L_{60} - \frac{\pi}{2} \cdot a \cdot b + \frac{1}{2} \cdot S_{\text{взвб}}; \quad (3)$$

$$S_{\text{взвб}} = a \cdot b \cdot \arcsin \frac{\bar{x}_1 - x_i}{a} + \frac{b}{a} \cdot (\bar{x}_1 - x_i) \cdot \sqrt{a^2 - (\bar{x}_1 - x_i)^2} - a \cdot b \cdot \arcsin \frac{-a}{a} + 0,5 \cdot a \cdot b \cdot \arcsin \frac{\bar{x}_2}{a} + \frac{b}{2 \cdot a} \cdot \bar{x}_2 \cdot \sqrt{a^2 - \bar{x}_2^2} - kx_i (\bar{x}_2 - \bar{x}_1) - 0,5 \cdot a \cdot b \cdot \arcsin \frac{\bar{x}_1}{a} + \frac{b}{2 \cdot a} \cdot \bar{x}_1 \cdot \sqrt{a^2 - \bar{x}_1^2} + a \cdot b \cdot \arcsin \frac{a}{a} + \frac{b(\bar{x}_2 - x_i)}{2a} \cdot \sqrt{a^2 - (\bar{x}_2 - x_i)^2} + 0,5 \cdot a \cdot b \cdot \arcsin \frac{\bar{x}_2 - x_i}{a} - \frac{b(\bar{x}_1 - x_i)}{2a} \times \sqrt{a^2 - (\bar{x}_1 - x_i)^2} - 0,5 \cdot a \cdot b \cdot \arcsin \frac{\bar{x}_1 - x_i}{a} - a \cdot b \cdot \arcsin \frac{\bar{x}_2}{a} - \frac{b \cdot \bar{x}_2}{a} \cdot \sqrt{a^2 - \bar{x}_2^2}. \quad (4)$$

Изменение площади гребней с увеличением угла наклона основания блока оценивается коэффициентом изменения площади гребней, доли ед.:

$$K_u = \frac{S_\alpha}{S_0}, \quad (5)$$

где  $S_\alpha$  – площадь пересечения эллипсоидов при угле наклона основания блока  $\alpha$ ;  $S_0$  – площадь пересечения эллипсоидов при горизонтальном заложении основания блока, т.е. при  $\alpha=0^\circ$ .

Для определения прогнозных показателей извлечения при различных крупностях материала пригрузки и руды использована методика, представленная в работе [3], дополненная зависимостями влияния крупности материала пригрузки и руды, и угла наклона основания блока на показатели извлечения. Рассчитываются показатели выпуска: видимое извлечение, истинное извлечение, потери, разубоживание для первой, второй стадии выпуска, в третьей стадии выпуска помимо всех вышеперечисленных показателей для каждого видимого извлечения рассчитывается прибыль. Оптимальными принимаются те значения потерь и разубоживания, при которых прибыль максимальна.

Расчет экономической эффективности от применения структурированного материала при грузки при отработке системами с обрушением руды и вмещающих пород приконтурных запасов ОАО «Александринская горнорудная компания» приведен в **табл. 1**.

Для рассматриваемых условий равноценными являются варианты схем подготовки материала при грузки крупностью:  $-1,2+0,4$  м, который характеризуется максимальной прибылью – 449,28 руб./т, потери снизились на 10,06% по сравнению с базовым вариантом, второй – с крупностью материала при грузки  $-1,2+0,07$  м, который характеризуется прибылью 440,14 руб./т и снижением потерь на 6,42% по сравнению с базовой схемой подготовки при грузки. Таким образом, предлагаемая структурированная при грузка крупностью  $-1,2+0,4$  м позволяет за счет снижения потерь и разубоживания руды при выпуске повысить прибыль на 44,76 руб./т, в случае применения материала при грузки крупностью  $-1,2+0,07$  м прибыль увеличится на 35,62 руб./т по сравнению с базовым вариантом.

Для оценки влияния угла наклона основания блока рассматривались три варианта отработки прибортовых запасов системами разработки с обрушением руды и вмещающих пород: выпуск руды через горизонтальное основание с непостоянной высотой выпуска и углом откоса борта карьера  $40^\circ$  и равномерно-последовательным выпуском руды через наклонные основания блока с углом заложения  $20$  и  $40^\circ$  при угле откоса борта карьера  $40^\circ$  и высотой блока 50 м. С помощью алгоритма определения оптимальных показателей извлечения руды были рассчитаны значения прибыли и оптимальных показателей выпуска (**табл. 2**).

Ведение равномерно-последовательного выпуска с горизонтальным основанием блока и непостоянной высотой выпуска характеризуется наименьшей прибылью на 1 т добытых запасов: прибыль равна 368,92 руб./т потери составляют 19,21%, прибыль при формировании наклонного основания блока ( $\alpha=40^\circ$ ) и ведении равномерно-последовательного выпуска – 405,19 руб./т, потери – 12,2%. То есть предлагаемое наклонное основание блока позволяет повысить прибыль на

36,27 руб./т за счет снижения потерь и разубоживания руды при выпуске на 7,01%.

Таким образом, применение структурированной при грузки при отработке приконтурных запасов системами разработки с обрушением руды и вмещающих пород позволит повысить полноту и качество выемки руды из недр на 10–15% за счет исключения из материала при грузки мелких кусков породы путем классификации пород отвалов, подлежащих использованию в качестве материала при грузки. Формирование наклонного основания блока при отработке рудных тел недостаточно крутого падения и выклинивающихся зон рудных залежей позволит снизить потери руды в гребнях на 2–7% за счет заложения основания блока под углом наклона, совпадающим с контуром рудной залежи при ведении равномерно-последовательного выпуска, а также позволит уменьшить расстояние между выпускными выработками, сохранив при этом основание блока в устойчивом состоянии, что повлечет за собой увеличение полноты и качества извлечения руды из недр.

При отработке приконтурных запасов, растянутых вдоль борта карьера как по высоте, так и по простиранию, имеющих сложные границы выклинивания системами разработки с обрушением руды и вмещающих пород, необходимо создавать при грузку борта карьера из классифицированного материала, это позволяет снизить потери и разубоживания руды при выпуске на 7,01%.

Таблица 1

#### Технико-экономические показатели освоения прикарьерных запасов при различном гранулометрическом составе пород при грузки

Крупность материала при грузки, м	$-1,2+0,7$	$-1,2+0,4$	$-1,2+0,05$	$-1,2+0,01$
Коэффициент потерь, %	11,25	14,63	18,27	24,69
Коэффициент разубоживания, %	2,5	3,1	5,04	7,89
Затраты на добычу и переработку, в том числе затраты на подготовку и формирование при грузки, руб./т	1536,29	1501,74	1462,94	1478,94
Извлекаемая ценность, руб./т	183,35	148,8	132,35	123
Прибыль, руб./т	2025,97	2021,07	2015,37	2006,81
Прибыль, руб./т	439,3	449,28	440,14	404,52

Таблица 2

#### Технико-экономические показатели освоения приконтурных запасов для различных углов заложения основания блока при расстоянии между выпускными выработками $L_{\text{вв}}=8$ м

Схемы подготовки материала при грузки	$\alpha=0^\circ$	$\alpha=20^\circ$	$\alpha=40^\circ$
Коэффициент потерь, %	19,21	15,09	12,20
Коэффициент разубоживания, %	6,5	6,15	6
Затраты на добычу и переработку руды, руб./т, в т.ч. на формирование основания блока	1478,94	1482,29	1482,29
Извлекаемая ценность, руб./т	5,29	13,1	13,1
Прибыль, руб./т	1905,90	1913,04	1916,1
Прибыль, руб./т	368,92	389,72	405,19



боживание. Формирование наклонного основания блока, совпадающего с границей выклинивания рудной зоны, также позволяет повысить полноту и качество извлечения руды из недр.

**Библиографический список**

1. Шеховцов В.С. Создание технологии разработки сложноструктурных залежей под мощными рыхлыми отложениями с защитным слоем руды: Дис. ... д-ра техн. наук. Новокузнецк, 1997. 229 с.
2. Закладочные работы в шахтах: Справочник / Под ред. Бронникова Д.М., Цыгалова М.Н. М.: Недра, 1989. 400 с.
3. Слащилин И.Т., Романько А.Д. Прогнозирование показателей извлечения руды при системах разработки с массовым обрушением руды: Уч. пособие. Свердловск: Изд-во УПИ им. С.М.Кирова, 1980. 53 с.

УДК 622.2

А. Ф. Илимбетов, М. В. Рыльникова, С. И. Власов

**ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ТЕХНОЛОГИИ РАЗРАБОТКИ ОТКРЫТО-ПОДЗЕМНОГО ЯРУСА ПРИ КОМПЛЕКСНОМ ОСВОЕНИИ МЕДНО-КОЛЧЕДАНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ**

Вопросы комплексного и эффективного использования минерального сырья приобретают особое значение в связи с ведущей ролью минерально-сырьевой базы в формировании бюджета России.

Значительно возросли требования к глубине изучения рудных месторождений и дифференциации разведанных запасов по составу и качеству всех полезных компонентов в связи с возможностями новых технологий, основанных на современных достижениях фундаментальных наук. В этом плане возникает необходимость установления рационального сочетания технологических процессов на различных этапах развития горных работ, обеспечивающих эффективное извлечение из недр и полезное использование комплексного сырья в интересах развития народно-хозяйственного комплекса.

Комплексное освоение месторождений предполагает комплексное использование всех содержащихся в рудах полезных компонентов при рациональном сочетании широко применяемых и перспективных физико-химических геотехнологий, преимущественно малоотходных, переработку и использование накопившихся отходов производства и сформированных открытыми и подземными работами выработанных пространств. Этому способствует разработка и широкая промышленная реализация открыто-подземной геотехнологии, приемлемая для извлечения запасов переходной зоны от открытых работ к подземным (открыто-подземного яруса).

Под комбинированной геотехнологией применительно к добыче и переработке твердых полезных ископаемых понимается совокупность спосо-

бов, методов, процессов и операций воздействия на горный массив или природную и техногенную минеральную массу, основанных на сочетании технологических процессов и оборудования открытых, подземных горных работ и физико-химических методов добычи и переработки минеральных ресурсов с целью извлечения и полезного эффективного использования полезных ископаемых.

Предметом изучения комбинированной физико-технической и физико-химической геотехнологии, как направления горных наук, являются горнотехнические системы, реализующие комплексное освоение рудных месторождений при совмещении открытого, подземного и физико-химического способов добычи, и их рациональные параметры, обеспечивающие наиболее полное и эффективное извлечение георесурсов с минимизацией экологических последствий горных работ.

Перспективы развития комбинированной геотехнологии связаны с переходом на комплексное проектирование поэтапной отработки запасов месторождения различными способами при единой схеме вскрытия и подготовки запасов, предусматривающей оптимизацию порядка вовлечения отдельных участков месторождения в эксплуатацию соответствующими способами добычи. Возможность отработки достаточно большей части запасов, непосредственно примыкающих к контуру карьера, экономичными технологиями, основанными на рациональном сочетании технологических процессов и оборудования открытых и подземных горных работ с использованием каждого из них в наиболее благоприятных условиях, способствует существенному снижению затрат на освоение месторождения в целом, повышению эф-