© А.А. Еременко, В.А. Еременко,
В.Н. Колтышев, С.В. Фефелов,
Д.Н. Зинченко, 2006

УДК 622.272:622.235

А.А. Еременко, В.А. Еременко, В.Н. Колтышев,
С.В. Фефелов, Д.Н. Зинченко

ГЕОМЕХАНИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА И ОБОСНОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ОТРАБОТКИ РАЗРЕЗНЫХ БЛОКОВ НА БОЛЬШОЙ ГЛУБИНЕ

Семинар № 17

В Алтае-Саянской горной области расположено Абаканское железорудное месторождение. Рудное поле месторождения находится на юго-восточном крыле крупной антиклинальной структуры в Западном Саяне [1]. Главное рудное тело, в котором сосредоточены основные запасы верхней части месторождения, имеет пластообразную форму, длина которой 1000 м, мощность от 15-20 до 100 м и более. Рудное тело IV на глубине не оконтурено. Компактное тело V прослежено по простиранию на 620 м при мощности 80-100 м. Запасы этих рудных тел, ниже горизонта (+145) м, утвержденные государственной комиссией по запасам (ГКЗ) в 1979 г., составляют 121,1 млн т.

До глубины 60-140 м месторождение отработано карьером, а ниже отработка ведется подземным способом. В настоящее время выемка запасов руды производится на глубине 450 м. В этих условиях отработку блоков на нижележащих горизонтах и в сближенных рудных телах ведут одновременно от центра к флангам [2].

На выбор параметров технологии отработки разрезных блоков существенное влияние оказывают высокие тектонические напряжения, действующие в породном массиве. Сложность конфигурации рудных тел и их пространственное расположение часто приводит к нестандартным геомеханическим ситуациям, требующим специального изучения. Часто это происходит при очистных работах в разрезных блоках. В сложившихся условиях основанием для выбора технологических решений должны быть теоретические расчеты и экспериментальные исследования.

Предварительную информацию о геомеханическом состоянии массива горных пород можно получить из результатов математического моделирования. Данные об особенностях распределения напряжений в районе ведения очистных работ позволяют выделять области сжимающих и растягивающих напряжений и проводить оценку уровня действующих здесь усилий.

Абаканское месторождение относится к железорудным месторождениям, для которых характерно наличие высоких сжимающих напряжений, действующих в горизонтальной плоскости. Направление действия наибольшего из них — северо-западное, величина — 2,2 γH, (γ — объемный вес налегающих пород, H — расстояние до земной поверхности), наименьшего — северо-восточное, его величина — 1,8 γH. Для горизонта +65 м, где расположены разрезные блоки, их значения, обозначае-

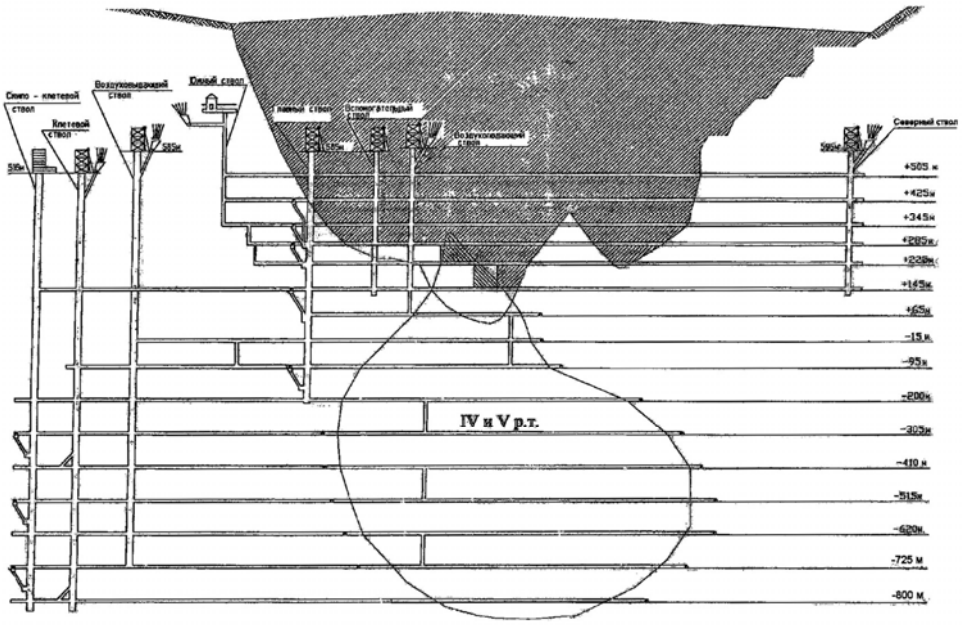

Рис. 1. Расположение IV и V рудных тел на Абаканском месторождении. (+505)÷(–800) м — горизонты в шахте

мые соответственно σ_2 и σ_1, равны $\sigma_2 = -75$ МПа и $\sigma_1 = -63$ МПа [3].

Проведена оценка геомеханического состояния массива горных пород при массовых взрывах за период с 2000 по 1.10.2005 гг. За данный период было проведено 20 взрывов по Главному рудному телу (р.т.) и V р.т. в этажах (+145)÷(+225) и (+225)÷(+285) м (рис. 1).

Удельный расход ВВ на отбойку колебался от 0,323 до 0,584 кг/т. Энергетический класс взрывов составлял 6,3-8,7. Удароопасность массива после каждого взрыва оценивалась параметром K (отношение сейсмической энергии, накопленной в массиве горных пород, к потенциальной энергии, заключенной во взрыве заряда ВВ) [4].

Заключение о состоянии массива на Абаканском месторождении давалось в соответствии с установленным критерием удароопасности. Установлено, что параметр K изменялся от $1{,}9\cdot10^{-4}$ до $4{,}7\cdot10^{-5}$, причем при отработке блоков в Главном рудном теле в этаже (+145)÷(+225) м K колебался от $3{,}7\cdot10^{-4}$ до $4{,}7\cdot10^{-4}$, что указывало на локальную концентрацию напряжений в массиве и частичную ее релаксацию в виде толчков и стреляния. В этаже (+145)÷(+225) м V р.т. K изменялся от $1{,}9\cdot10^{-5}$ до $4{,}6\cdot10^{-3}$, что соответствовало удароопасному состоянию массива горных пород и накоплению упругой энергии в массиве, а также ее реализации в виде микронарушений. Обрушение блоков в этаже (+225)÷(+285) м Главного рудного тела также происходило в условиях локальной концентрации напряжений, которая могла вызвать толчки.

Оценка напряженного состояния массива горных пород производилась электрометрическим методом. Измерение электросопротивления ρ_k по выработкам осуществлялось в штреках, ор-

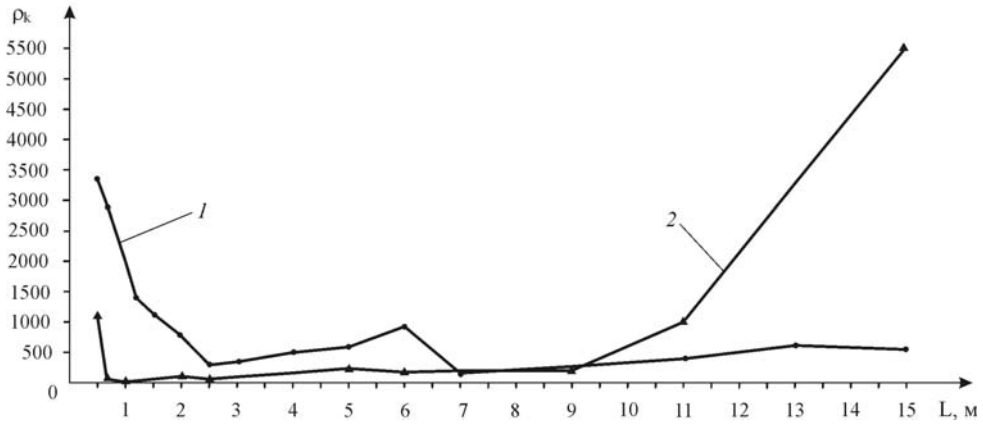

Рис. 2. Изменение электросопротивления в массиве горных пород на гор.: *1* — (+285) м, *2* — (+145) м; L — глубина зондирования

тах и квершлагах на гор. (+65)÷(+145), (+225)÷(–95) и –15 м. Так, на гор. (+65) м в орте наблюдалось снижение ρ_k от 1600 до 1000 Ом·м, что характеризовало рост напряжений в массиве горных пород в районе блока № 8. На гор. (+145) м после взрывов происходила разгрузка массива, ρ_k увеличилось от 10 до 5500 Ом·м (рис. 2). На гор. (+285) м в орте произошло падение ρ_k от 3400 до 100 Ом·м, при этом наблюдалось заколообразование в выработке. На гор. (–45) и (–15) м наблюдалась разгрузка массива горных пород (ρ_k увеличилось от 1000 до 4000 Ом·м). В целом рассматриваемый период ха-рактеризуется ростом напряжений в массиве горных пород, что приводит к заколообразованию, стрелянию и толчкам.

Проведенная оценка геомеханического состояния горных пород при отработке Абаканского месторождения показала, что при ведении горных работ на нижележащих горизонтах руды и породы способны хрупко разрушаться под нагрузкой и накапливать значительную упругую энергию деформаций.

Так как преобладающими на месторождении являются горизонтальные сжимающие напряжения, то при образовании выработанных пространств максимальная концентрация напряжений будет наблюдаться в горизонтальной плоскости, в соответствии с этим оценку напряженного состояния массива при взрывании разрезных блоков следует проводить в его сечении горизонтальной плоскостью [5].

На месторождении в этаже (+65)÷(+145) м предусмотрена отработка разрезных блоков №№ 11-12 (1 секция), затем блока № 7 в Главном и V р.т. Рудные тела сближены, и их выемка может привести к опасной концентрации напряжений в межрудном целике. Рудная залежь не выдержана по мощности и колеблется от 9 до 57 м. Руды высокой трещиноватости и средней устойчивости с коэффициентом крепости по М. М. Протодьяконову 12-14. Вмещающие породы и внутрирудные прослои представлены туфами, кварцами, кальцитами и др. с коэффициентом крепости 5-10.

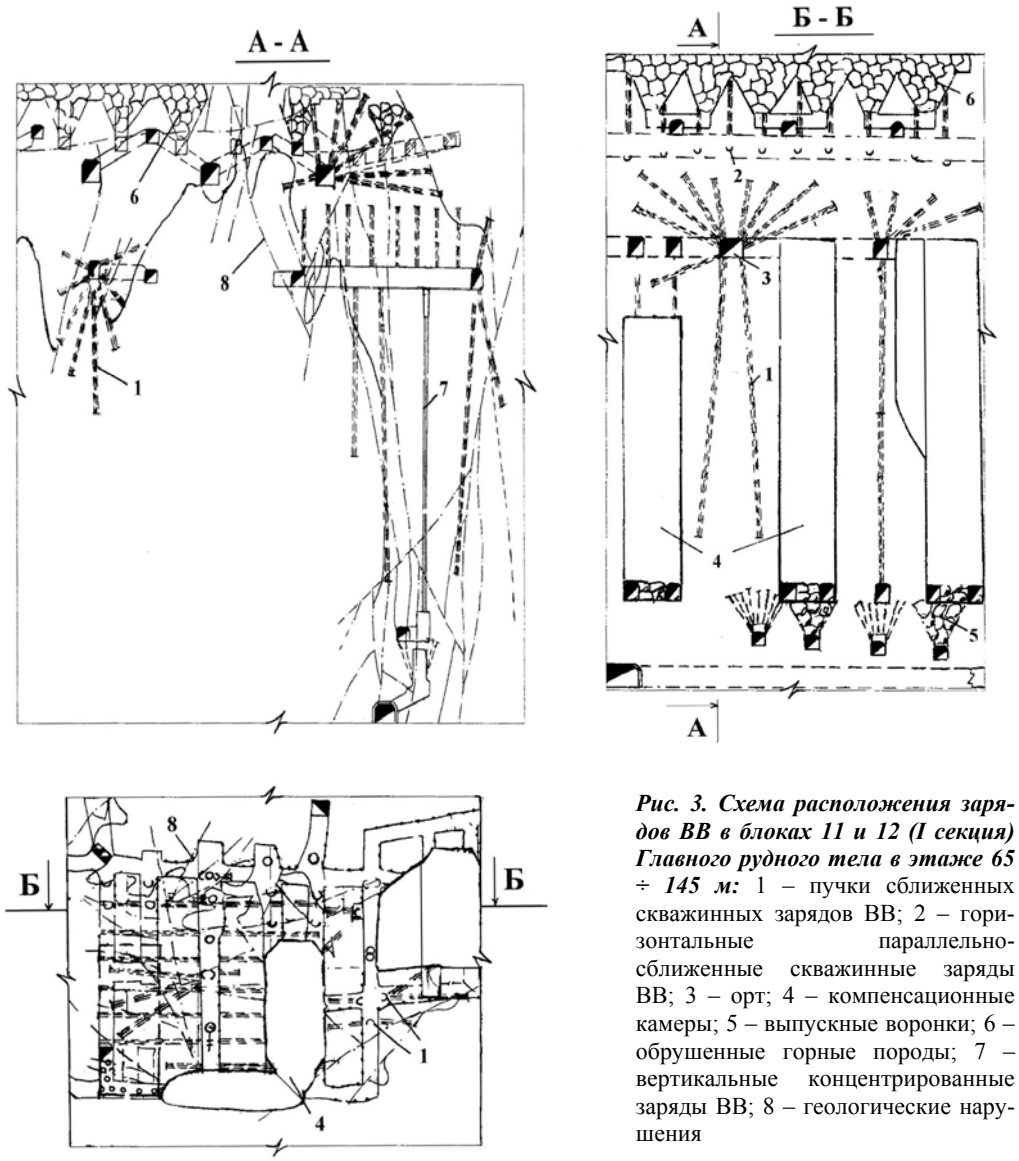

Рис. 3. Схема расположения зарядов ВВ в блоках 11 и 12 (I секция) Главного рудного тела в этаже 65 ÷ 145 м: 1 – пучки сближенных скважинных зарядов ВВ; 2 – горизонтальные параллельно-сближенные скважинные заряды ВВ; 3 – орт; 4 – компенсационные камеры; 5 – выпускные воронки; 6 – обрушенные горные породы; 7 – вертикальные концентрированные заряды ВВ; 8 – геологические нарушения

В пределах блоков широко представлена дизъюнктивная тектоника. Наибольшее распространение получили тектонические зоны субширотного простирания с падением под углом 60-80°, мощностью до 3-7 м, выполненные хлоритом, эпидотом и др.

Блоки №№ 11-12 (I секция) расположены в центральной части Главного р. т. ширина, длина и высота взрываемого массива горных пород равны соответственно: 53, 36 и 80 м (рис. 3).

Механические характеристики пород и руд при расчетах были взяты согласно имеющимся экспериментальным данным: модуль Юнга E = 6000 и 7500 МПа, коэффициент Пуассона v = 0,26 и 0,28, соответственно.

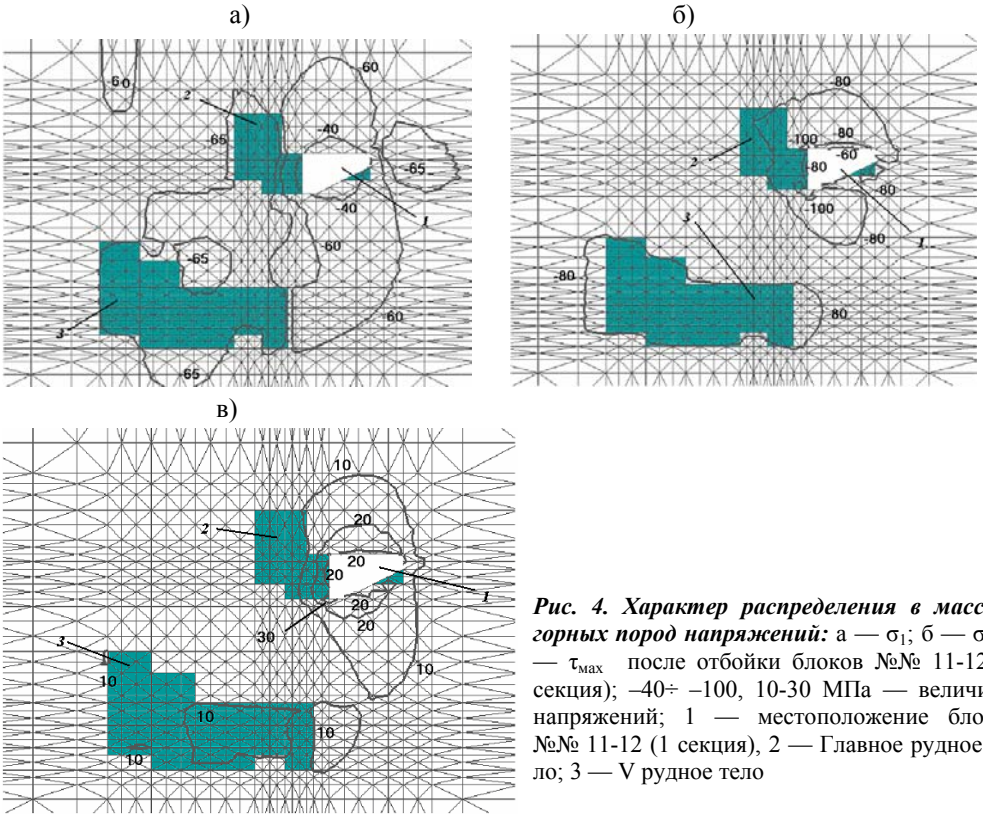

Рис. 4. Характер распределения в массиве горных пород напряжений: а — σ_1; б — σ_2; в — $\tau_{мах}$ после отбойки блоков №№ 11-12 (1 секция); –40÷ –100, 10-30 МПа — величины напряжений; 1 — местоположение блоков №№ 11-12 (1 секция), 2 — Главное рудное тело; 3 — V рудное тело

На рис. 4 показана часть расчетной области вблизи района отработки. Контуры рудных тел выделены темным цветом. Направление границ всей расчетной области совпадает с направлениями действия главных напряжений, поэтому на горизонтальных границах области расчета заданы нормальные напряжения $\sigma = -75$ МПа, на вертикальных — $\sigma = -63$ МПа. Был проведен расчет двух горно-технических ситуаций на гор. +65 м: взорваны первая секция блоков № 11-12 в Главном р. т. и первая секция блоков № 11-12 в Главном р. т. и блок № 7 в V р. т.

На рис. 4 приведены результаты расчетов напряжений в массиве горных пород после взрыва первой секции блоков № 11-12: а — σ_1; б —σ_2; в — τ_{max}, где σ_1, σ_2 — первое и второе главные напряжения, τ_{max} — максимальное касательное напряжение. По распределению σ_1 можно установить области действия растягивающих напряжений, σ_2 — зоны концентрации сжимающих напряжений, τ_{max} — области разрушения за счет касательных усилий. Данные, приведенные на рис. 4, получены в предположении, что модуль Юнга обрушенных пород на порядок меньше аналогичного для вмещающего массива. Это предположение в наибольшей степени отвечает реальному модулю деформирования обрушенных пород.

Анализ распределения напряжений позволил сделать следующие выводы: областей действия растягивающих напряжений в окружающем массиве нет; наиболее опасная концентрация сжимающих ($\sigma_2 > 100$ МПа) и касательных

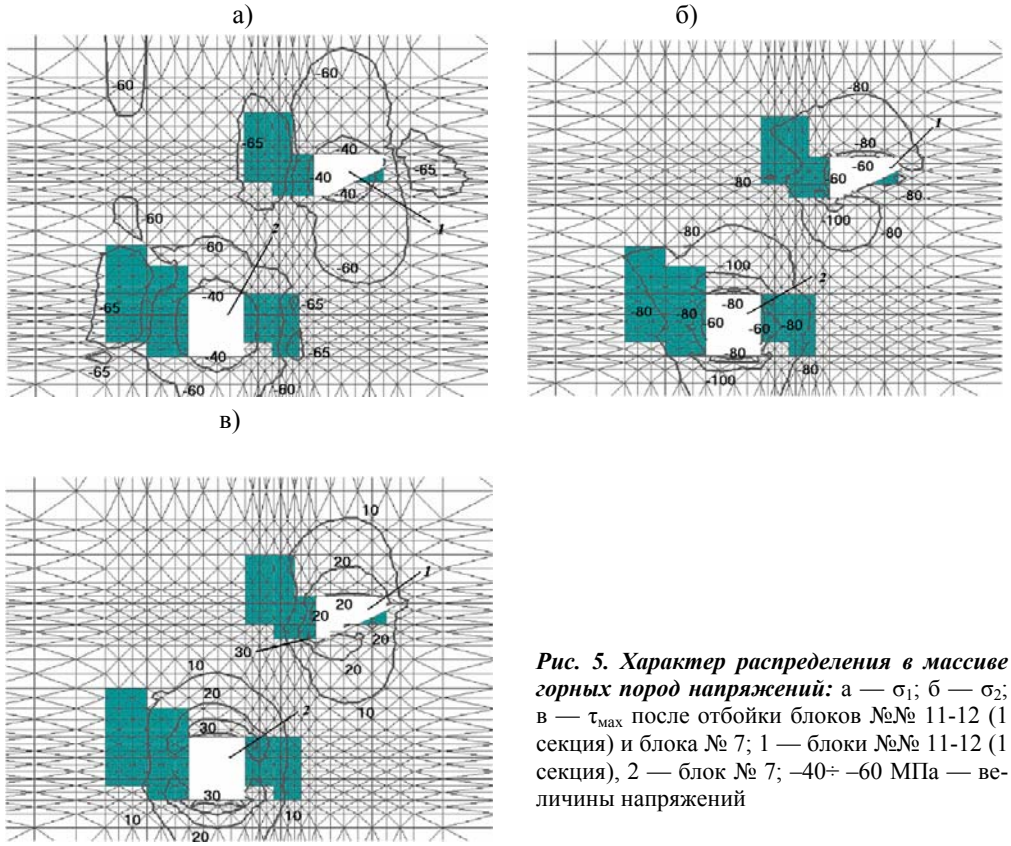

Рис. 5. Характер распределения в массиве горных пород напряжений: а — σ_1; б — σ_2; в — $\tau_{мах}$ после отбойки блоков №№ 11-12 (1 секция) и блока № 7; 1 — блоки №№ 11-12 (1 секция), 2 — блок № 7; –40÷ –60 МПа — величины напряжений

напряжений создается в районах сопряжения границ взорванного блока; зоны кон-центрации сжимающих и касательных напряжений расположены в окрестности всех границ взорванного блока на расстояниях 10-30 м.

На рис. 5, *а-в*, соответственно, показаны главные напряжения σ_1, σ_2 и τ_{max} для ситуации, когда обрушены два разрезных блока № 11-12 (1 секция) и № 7. Анализ распределения полей напряжений в этом случае приводит к следующим выводам: областей действия растягивающих напряжений в районе отработки не имеется; зоны концентрации сжимающих и касательных напряжений образуются в окрестности всех границ взорванных блоков; наиболее опасные концентрации сжимающих (σ_2 > 100 МПа) и касательных напряжений создаются в районах сопряжения границ блоков № 11-12 и в районе границ блока № 7, параллельных направлению действия максимального исходного горизонтального напряжения σ_2; взаимовлияния зон концентрации напряжений от взрыва каждого из блоков не происходит.

На рис. 6 показаны максимально возможные значения напряжений, которые могут появиться в массиве после выпуска руды из обрушенных блоков. При проведении соответствующего расчета предполагалось, что границы блоков полностью свободны от давления обрушенных пород. В этом случае три

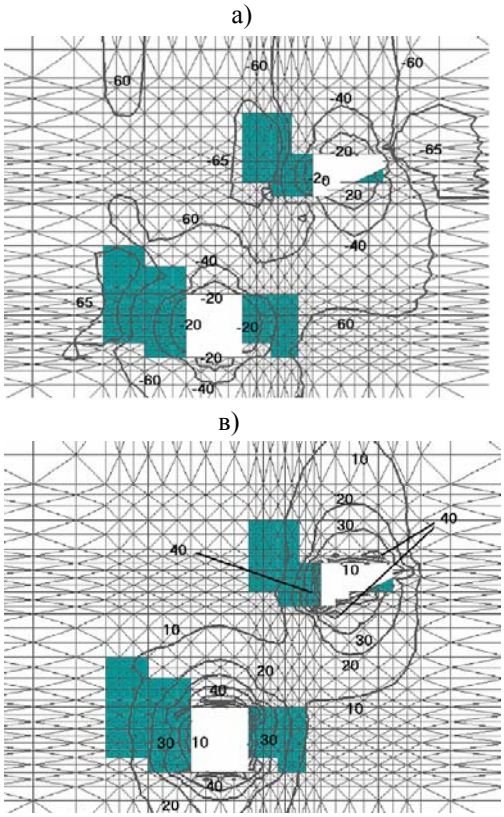

Рис. 6. Максимально возможные значения напряжений в массиве горных пород после отбойки и выпуска руды из блоков №№ 11-12 (1 секция) и № 7: а, б, в — соответственно распределение напряжений σ_1, σ_2 и $\tau_{мах}$; –20÷ –120 и 10-40 МПа — величины напряжений

ранее указанных вывода остаются неизменными, а четвертый вывод формулируется так: при полном освобождении границ блоков от давления обрушенных пород в породном целике происходит объединение зон концентрации напряжений. Проведенные расчеты показали, что разрезка рудных тел на горизонте (+65) м приводит к образованию зон концентрации сжимающих и касательных напряжений в окрестности всех границ взорванных блоков.

Разрезные блоки отрабатывались системой этажного принудительного обрушения с отбойкой руды пучковыми сближенными скважинными зарядами ВВ и вертикальным концентрированным зарядом (ВКЗ) ВВ на компенсационное пространство (рис. 3). В период ведения нарезных и буровых работ наблюдалось обрушение бортов компенсационных камер. Линия наименьшего сопротивления колебалась от 5 до 8,5 м. Масса пучковых зарядов ВВ (граммонит М-21) равна 57,9 т, — ВКЗ — 16,8 т. Удельный расход ВВ на отбойку — 0,359 кг/т.

Сейсмостанция «Таштагол» зарегистрировала массовый взрыв с сейсмической энергией $3{,}1 \cdot 10^9$ Дж (энергетический класс 9,2). При этом параметр K составил 10^{-3}, что характеризовало состояние массива горных пород в момент взрыва как удароопасное. Толчок ощущался на земной поверхности. В шахте отмечены частичные нарушения в выработках. При взрыве произошли подвижки в зонах геологических нарушений во

вмещающем массиве горных пород месторождения.

В заключение необходимо отметить, что создание эффективной технологии отработки разрезных блоков требует получения надежной и своевременной информации о геомеханическом состоянии массива горных пород, изменениях, происходящих в нем под воздействием горного производства.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Железорудная* база России / Под ред. В.П. Орлова, М.И. Веригина, Н.И. Головкина. — М.: ЗАО «Геоинформмарк», 1998, 842 с.
2. *Указания* по безопасному ведению горных работ на Абаканском месторождении, склонном к горным ударам. ВостНИГРИ. — Новокузнецк, 1986, 62 с.
3. *Курленя М.В., Еременко А.А., Шрепп Б.В.* Геомеханические проблемы разработки железорудных месторождений Сибири. — Новосибирск, Наука, 2001, 184 с.
4. *Еременко А.А., Гайдин А.П., Еременко В.А.* Отработка технологических блоков при массовом обрушении руд. — Новосибирск: Наука, 2002, 112 с.
5. *Курленя М.В., Серяков В.М., Еременко А.А.* Техногенные геомеханические поля напряжений. — Новосибирск: Наука, 2005, 264 с.

Коротко об авторах

Еременко Андрей Андреевич – доктор технических наук, заведующий лабораторией ИГД СО РАН

Еременко Виталий Андреевич – кандидат технических наук, старший научный сотрудник ИГД СО РАН;

Колтышев Виталий Николаевич – аспирант ИГД СО РАН;

Фефелов Сергей Владимирович – кандидат технических наук, главный инженер Абаканского филиала ОАО «Евразруда»;

Зинченко Дмитрий Николаевич – начальник участка ППГУ Абаканского филиала ОАО «Евразруда».

ДИССЕРТАЦИИ

ТЕКУЩАЯ ИНФОРМАЦИЯ О ЗАЩИТАХ ДИССЕРТАЦИЙ ПО ГОРНОМУ ДЕЛУ И СМЕЖНЫМ ВОПРОСАМ

Автор	Название работы	Специальность	Ученая степень
УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЭКОНОМИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ			
НИКИТИН Владимир Николаевич	Совершенствование методики эколого-экономического анализа природоохранной деятельности предприятия	08.00.05	к.э.н.

© Э.Ю. Мещеряков, А.А. Гоготин, И.Т. Слащилин, 2006

УДК 622.013:622.343.5

Э.Ю. Мещеряков, А.А. Гоготин, И.Т. Слащилин

ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ГОРНОТЕХНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ПРИ ОСВОЕНИИ МАЛЫХ МЕДНОКОЛЧЕДАННЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Семинар № 17

История горнодобывающей промышленности связана с освоением преимущественно крупных месторождений полезных ископаемых. К настоящему времени ресурсы их исчерпываются, а вероятность открытия новых крупных залежей ценных руд невелика. В то же время запасы рудной базы малых месторождений цветных и благородных металлов в несколько раз превышают объемы дорабатываемых и проектируемых к отработке крупных залежей.

Например, запасы руд более 30 медноколчеданных месторождений Урала в отдельности составляют 40-5000 тыс. т, а в совокупности превышают 35 млн т.

Большинство малых месторождений, подпадающих под условия подземной разработки, несмотря на значительную ценность руд, остаются невостребованными. Часть месторождений предлагается осваивать физико-химическими методами, традиционные технологические схемы разработки, зачастую, не рассматриваются, априори считаясь нерентабельными. Но перспективы широкого внедрения физико-химических методов так и не определены, а резервы имеющейся научно-технической базы широко апробированных физико-технических методов, на наш взгляд, еще не исчерпаны.

Исследование вариантов горнотехнических систем, построенных на различных рациональных сочетаниях геотехнологических решений традиционных физико-технических методов подземных горных работ, позволит обосновать параметры эффективных горнотехнических систем, способствуя расширению минерально-сырье-вой базы горнодобывающей промышленности.

Поставленная задача решалась на примере золото-медно-цинковых месторождений Сибайской группы, запасы которых подлежат подземной разработке. Месторождения находятся в Баймакском районе, расстояние между ними в среднем составляет 12 км, расстояние до ближайшего горнодобывающего предприятия (Сибайский филиал ОАО «Учалинский ГОК») - 60 км.

Расчет технико-экономических показателей при освоении каждого месторождения в отдельности, основываясь на имеющихся проектных решениях, показал или низкую эффективность их разработки, или отсутствие таковой (табл. 1).

Поэтому нами рассмотрен вариант освоения данных месторождений с формированием единой горнотехнической системы.

Возможность вовлечения в эксплуатацию малых месторождений в значительной мере определяется степенью соответствия целям инвесторов. В настоящее время в специальной литературе указываются три возможные цели инвестирования горнодобывающего производства [1]:

Таблица 1

Технико-экономические показатели освоения малых месторождений на основе индивидуальных проектных решений

Месторождение	Показатели		
	Чистый дисконтированный доход, у.е.	**Срок окупаемости, лет**	**Индекс доходности, дол. ед**
Таш-Тау	1696777	6	0,65
Балта-Тау	-1269935	-	-0,86
Майское	3955290	6	1,21
Восточно-Семеновское	5682215	7	0,95
Всего	10064347		

1. Долгосрочное функционирование горнодобывающего предприятия с постоянными показателями роста дохода на всех этапах разработки. В этом случае инвестор согласен с большим сроком окупаемости капиталовложений и меньшими темпами роста дохода.

2. Максимально быстрое освоение запасов месторождения с максимальным темпом роста дохода на всех этапах разработки. Для достижения поставленной цели допускается достаточно продолжительный период окупаемости капиталовложений.

3. Быстрая окупаемость капитальных вложений с наименьшими затратами при освоении месторождений.

Очевидно, что выделение инвестором средств на долгосрочное функционирование горнодобывающего предприятия возможно лишь при значительных запасах руд высоких категорий разведанности. При втором варианте инвестирования не удастся обеспечить максимально быстрое освоение месторождений, т.к. их запасы подлежат исключительно подземной разработке. Таким образом, инвестирование подземной разработки малых месторождений возможно лишь по третьему варианту при выполнении требования скорейшей окупаемости капитальных вложений на разработку месторождений с наименьшими затратами.

Наименьшие вложения и срок окупаемости затрат возможно обеспечить путем последовательной отработки месторождений, начиная со вскрытия наиболее доступных и ценных, к таким можно отнести запасы месторождений, частично вскрытые карьером, обладающие наибольшей извлекаемой ценностью.

Расчет производственной мощности горнотехнической системы осуществлялся по горным возможностям рудных участков, которые, по результатам проведенного нами анализа горно-геологических условий, систематизированы и представлены в виде пяти групп.

Расчет производительности очистных блоков при применении типовых систем разработки с малогабаритным производительным самоходным оборудованием для вышеперечисленных пяти групп условий показал, что производственная мощность структуры «очистной блок-рудник» находится в интервале 150-250 тыс. т/год.

Рассмотрение множества вариантов структуры горнотехнической системы при применении различных способов вскрытия и систем разработки привело к необходимости сравнительного анализа с помощью экономико-математического моделирования методом вариантов.

Исходя из предъявляемого к разработке малых месторождений требования минимума затрат при их ско-рейшей

Таблица 2

Технико-экономические показатели горнотехнической системы оптимальной структуры при различных вариантах финансирования

Варианты финансирования	Показатели		
	Чистый дисконтированный доход, у.е.	Срок окупаемости, лет	Индекс доходности, дол. ед
1. Собственные средства	30466210	6	2,11
2. Средства, получаемые за счет прибыли	20328073	8	2,44
3. Банковский кредит	23766326	6	1,66

окупаемости, основным критерием экономической оценки нами принят индекс доходности, представляющий собой соотношение чистого дисконтированного дохода и совокупных затрат. На втором месте по значимости выступает критерий – точка безубыточности (срок окупаемости). В случае равенства у вариантов первых двух критериев окончательное решение следует принимать по критерию дисконтированного дохода. Внутренняя норма доходности заложена в норму дисконта и по рекомендациям академика К.Н. Трубецкого для случая реализации новых проектов принята равной 18 % [2].

Методом вариантов осуществлен подбор наиболее эффективных структурных элементов горнотехнической системы. В конечном итоге получены следующие параметры горнотехнической системы, обеспечивающие наилучшие экономические показатели:

1. Производственная мощность предприятия 200 тыс.т./год;

2. Последовательность отработки месторождений: Майское – Восточно-Семеновское – Балта-Тау – Таш-Тау;

3 Структура предприятия: строительство единой промышленной площадки, единого рудного склада, собственной обогатительной фабрики;

4. Способы вскрытия месторождений:

- Таш-Тау – рудовыдачная штольня и вентиляционный ствол;
- Балта-Тау – рудовыдачной наклонный съезд и вентиляционный вертикальный ствол;
- Восточно-Семеновское - рудовыдачной наклонный съезд и вентиляционный шурф;
- Майское - рудовыдачной вертикальный ствол и вентиляционный шурф.

5. Системы разработки для групп горно-технических условий:

- мощность 2-3 м, угол падения 0-15 градусов - камерно-столбовая система разработки;
- мощность 3-15 м, угол падения 0-15 градусов - камерная система разработки с верхней подсечкой;
- мощность 9-15 м, угол падения 70-85 градусов - система разработки с магазинированием руды в очистном пространстве;
- мощность 3-15 м, угол падения 20-55 градусов - система разработки с доставкой руды силой взрыва, приемной траншеей;
- мощность 2-6 м, угол падения 60-75 градусов - камерная система разработки с магазинированием.

В конечном итоге технико-экономические показатели горнотехнической системы определяются изначальными условиями финансирования проекта (табл. 2).

Индекс доходности получен наибольший при строительстве обогатительной фабрики за счет получаемой прибыли в результате первоначального

обогащения добываемых руд на фабрике стороннего предприятия. Однако данный вариант финансирования характеризуется большим сроком окупаемости. В целом, наилучшие показатели владелец получит при реализации проекта за счет вложения собственных средств.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Методические* рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов (утв. Минэкономики РФ, Минфином РФ, Госстроем РФ 21.06.1999 № ВК 477).

2. *Трубецкой К.Н., Пешков А.А., Мацко Н.А.* Методы оценки инвестиций горных предприятий //Известия вузов. Горный журнал. 1993. - №2. – С. 15-21.

Коротко об авторах

Мещеряков Эдуард Юрьевич – кандидат технических наук, доцент кафедры подземной разработки месторождений полезных ископаемых,

Слащилин Илья Тихонович – профессор, кандидат технических наук, профессор кафедры подземной разработки месторождений полезных ископаемых,

Гоготин Алексей Анатольевич – аспирант кафедры подземной разработки месторождений полезных ископаемых,

ГОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск.

Д И С С Е Р Т А Ц И И

ТЕКУЩАЯ ИНФОРМАЦИЯ О ЗАЩИТАХ ДИССЕРТАЦИЙ ПО ГОРНОМУ ДЕЛУ И СМЕЖНЫМ ВОПРОСАМ

Автор	*Название работы*	*Специальность*	*Ученая степень*
ИНСТИТУТ ГЕОЛОГИИ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ, ПЕТРОГРАФИИ, МИНЕРАЛОГИИ И ГЕОХИМИИ (ИГЕМ) РАН			
МИТРОФАНОВ Геннадий Лукич	Тектонические закономерности размещения и формирования месторождений благородных металлов южного обрамления Сибирской платформы	25.00.11	д.г.мн.-.н. (в форме научного доклада)