

УДК 622.831

**С.А. Неверов, А.А. Неверов**

**ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ РАЗВИТИЕ ПОДЗЕМНЫХ  
РУДНИКОВ СИБИРИ НА БАЗЕ СИСТЕМ  
РАЗРАБОТКИ ПОДЭТАЖНОГО ОБРУШЕНИЯ**

*Проведена сравнительная геомеханическая оценка устойчивости выработок при площадно-торцовой и наиболее широко применяемой торцовой схемам выпуска руды применительно к условиям Шерегешевского месторождения..*

*Ключевые слова: горное оборудование, кондиционная руда, геотехнология, рудник, горный массив.*

---

**П**ри распаде СССР ряд крупных горных предприятий оказались за пределами России, что привело к снижению потенциала нашей страны по развитию горнодобывающей промышленности. При этом основное горное оборудование (буровое, погрузочное, транспортное) большинства горных предприятий, фактически не обновлялось в течение последних 40—50 лет и давно имеет предельный износ или изношено на 80—90 %. Применяемые технологии морально устарели, а новые не осваиваются в виду большой первоначальной капиталоемкости.

Исходя из вышеизложенного и учитывая, что многие предприятия находятся на завершающей стадии эксплуатации и кондиционные (качественные) руды в значительной степени выработаны, необходимо для создания условий добычи на конкурентоспособном уровне осуществить развитие и реализацию новых геотехнологий, реконструкцию и техническое перевооружение действующих рудников с возможностью комплексной автоматизации основных процессов горных работ. Очевидно, что всё это потребует огромных капитальных

вложений. Начало должно быть положено отечественными достаточно мощными компаниями. Это будет не реструктуризация, а обновление горной базы страны с целью достижения показателей и качества производимой продукции мирового уровня.

Современные технологии выемки рудных месторождений характеризуются максимальным упрощением конструкций систем разработки и стремлением к высокой интенсивности горных работ на базе всестороннего использования самоходного оборудования и их комплексов. Отсутствие дешёвой рабочей силы, усиливающаяся конкурентная борьба в мировой практике развития стран являются основными предпосылками, направленными на снижение доли живого труда в себестоимости продукции. Так, например, подземные рудники Канады, Швеции, Австралии, США оснащены передовой самоходной техникой более чем на 95 %, которая используется, как на основных, так и вспомогательных процессах горного производства. Освоение самоходной техники в условиях подземных рудников продиктовано также необходимо-

стью повышения культуры труда и безопасности горных работ.

За последние годы технологический потенциал железорудных предприятий Сибирского региона крайне снизился. Причиной этому явились отсутствие воспроизводства вскрытых и подготовленных к выемке запасов, моральный, физический износ горного оборудования и прекращение инвестиций в подземные мощности предприятий.

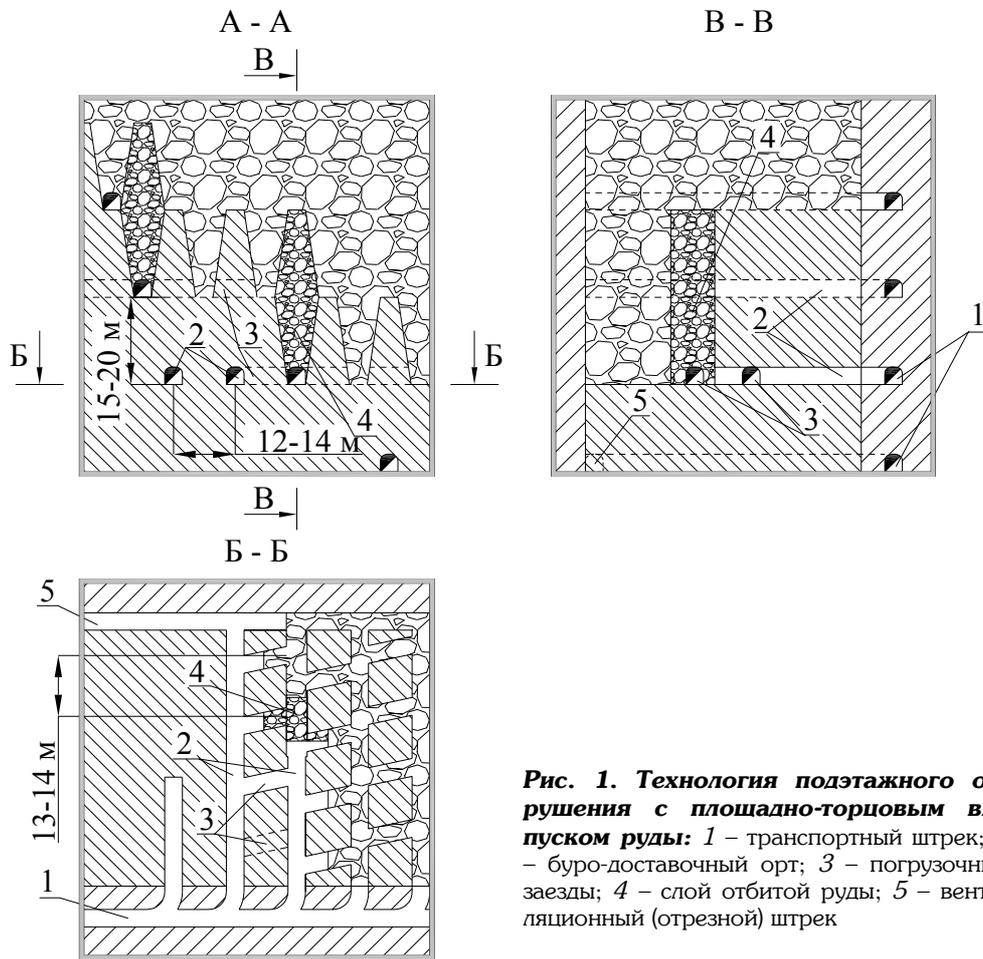
Среди крупных поставщиков концентрата важную роль играют подземные рудники Горной Шории и Хакасии. Анализ их деятельности позволяет нам отметить следующее. Низкие темпы подготовки блоков и воспроизводства погашенных запасов в 3,0—4,0 раза отстают от возможной интенсивности очистной выемки, ограничивают её и, в конечном счёте, оказывают решающее влияние на производственную мощность рудника. В морфологическом строении месторождения представлены рудными телами сложного строения, для которых характерны большие объёмы породных включений в пределах выемочных участков. Баловая выемка таких залежей не позволяет управлять качеством товарной руды вследствие чего разубоживание достигает более 30,0 % [1]. Месторождения разрабатываются в условиях высоких сжимающих тектонических полей напряжений, где горизонтальные напряжения превышают вертикальные в 1,5–3,0 раза [1]. Массовые взрывы при обрушении основных запасов блоков провоцируют горные удары большой мощности (до  $10^9$  Дж). Отработка месторождений ведётся системой этажного принудительного обрушения, для которой характерно использование морально устаревшего переносного горного оборудования, обуславливающего большой объём ручного

немеханизированного труда. Весьма важным недостатком применяемой технологии являются также повышенные требования к нормативам подготовленных и готовых к выемке запасов.

Отмеченное состояние горных работ на предприятиях предопределяет необходимость изучения перспективы их реконструкции и технического перевооружения с внедрением высокоинтенсивных технологий, основанных на применении комплексов самоходного оборудования. В этой связи для горно-технических условий Шерегешского рудника проведена оценка реконструкции с освоением современной инновационной технологии разработки месторождения.

В настоящее время при добыче руд средней и малой ценности наибольшее распространение получают малооперационные системы разработки с подэтажным обрушением. В работах [1, 2] детально раскрыты технологические особенности и эффективность применения на рудниках Горной Шории и Хакасии нового не апробированного в мировой практике варианта подэтажного обрушения с площадноторцовой схемой выпуска руды (рис. 1). Напомним, что отличительной особенностью этого варианта в сравнении с классическим торцовым выпуском, является дополнительная проходка между буро-доставочными ортами погрузочных заездов, используемых для выпуска руды по площади отбиваемого слоя и обеспечения общешахтного проветривания очистных забоев. Выявлены и установлены следующие преимущества предлагаемой системы разработки:

- рост показателей полноты и качества извлечения запасов по сравнению с применяемой технологией добычи более чем на 20–25 %;



**Рис. 1. Технология подэтажного обрушения с площадно-торцовым выпуском руды:** 1 – транспортный штрек; 2 – буро-доставочный орт; 3 – погрузочные заезды; 4 – слой отбитой руды; 5 – вентиляционный (отрезной) штрек

- за счёт лучшего оконтуривания промышленного орудинения и вписывания выемочных участков в контуры отрабатываемых рудных тел определена возможность выделения и оставления в недрах до 25-40 % прослоев и включений пустых пород;

- объём механизированных работ и производительность труда рабочего по системе разработки возрастают более чем в 4,0 раза.

Эффективность реализации технологии подэтажного обрушения с площадно-торцовым выпуском руды определяется сохранностью горных конструкций на весь срок их службы. Снижение устойчивости буро-доставочных ортов, погрузочных заездов и штреков ограничивают возможность применения этого варианта добычи. В связи с этим возникла необходимость геомеханического обоснования конструктивных элементов системы разработки для ее дальнейшего освоения. Для этого была проведена сравнительная геомеханическая оценка устойчивости выработок при площадно-торцовой и наиболее широко применяемой торцовой схемам выпуска руды применительно к условиям Шерегешевского месторождения.

Определение напряженно-деформированного состояния (НДС) массива

основывалось на следующих соотношения главных напряжений: горизонтальные напряжения вкрест простирания рудного тела  $\sigma_z = 3,0\gamma H$ ; горизонтальные напряжения по простиранию –  $\sigma_x = 2,5\gamma H$ ; вертикальные напряжения –  $\sigma_y = \gamma H$ . [3].

Постановка задачи – граничные условия представлены на (рис. 2).

Плоскость ABDC –  $\sigma_y = \gamma g(H - h')$ ,  
 $\tau_{xy} = 0, \tau_{zy} = 0,$

КНFE –  $u_y = 0, \tau_{xy} = 0, \tau_{zy} = 0.$

BDFH –  $\sigma_x = \lambda_1 \sigma_y, \tau_{yx} = 0, \tau_{zx} = 0.$

АСЕК –  $u_x = 0, \tau_{yx} = 0, \tau_{zx} = 0$

АВНК –  $\sigma_z = \lambda_2 \sigma_y, \tau_{xz} = 0, \tau_{yz} = 0$

CDFE –  $u_z = 0, \tau_{xz} = 0, \tau_{yz} = 0$

Вертикальная составляющая напряжений определялась гравитационными силами  $\sigma_y = \gamma g(H - h')$ , горизонтальные напряжения  $\sigma_x = \lambda_1 \sigma_y$ ,  $\sigma_z = \lambda_2 \sigma_y$ , где  $h'$  – расстояние от верхней границы модели до исследуемой отметки,  $\lambda_1, \lambda_2$  – коэффициент бокового давления.

В расчетах были приняты следующие физико-механические свойства горных пород: модуль Юнга  $E = 50000$  МПа, коэффициент Пуассона  $\mu = 0,26$ , плотность пород и руд соответственно  $\gamma = 2800$  и  $3000$  кг/м<sup>3</sup>.

Оценка НДС конструктивных элементов технологий проводилась для сечений вкрест простирания (вдоль плоскости yz, рис. 2), по простиранию рудной залежи (вдоль плоскости ux) и в плане горизонта выпуска и

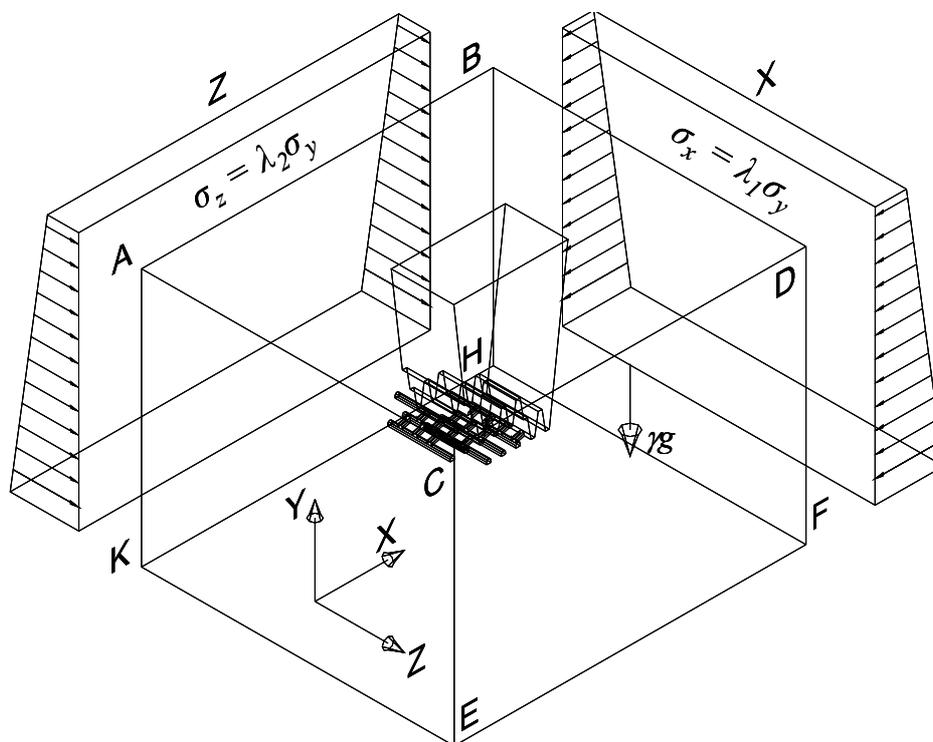


Рис. 2. Расчетная схема к определению НДС массива

доставки руды (вдоль плоскости  $xz$ ). Некоторые фрагменты распределения полей напряжений для выбранных сечений продемонстрированы на рис. 3-7.

На рис. 3 и 4 представлен характер распределения напряжений вкрест простирания рудной залежи. Для площадно-торцовой технологии в области влияния погрузочного заезда 3 характерно наличие растягивающих напряжений  $\sigma_2$  до  $-5$  МПа, при этом  $\sigma_1$  достигает 85 МПа,  $\tau_{\max} = 35 \div 39$  МПа. В центральной части ромбовидной панели  $\sigma_1 = 45-55$ ,  $\sigma_2 = 5 \div -5$  МПа. В условиях торцового выпуска напряжения в бортах выработок ожидаются на уровне  $\sigma_1 = 67 \div 77$ ,  $\sigma_2 = 2 \div 10$ ,  $\tau_{\max} = 31 \div 35$  МПа.

Фрагменты распределения полей напряжений по горизонту выпуска руды в сравниваемых вариантах представлены на рис. 5-6. Оценивая напряженное состояние массива в районе отработываемого подэтажа в условиях площадно-торцового выпуска установлено, что напряжения в зоне заездов изменяются от сжатия в кровле к растяжению в бортах.

В кровле погрузочных заездов напряжения  $\sigma_1$  достигают 80-85 МПа. Неблагоприятная ситуация наблюдается в местах сопряжения буро-доставочных ортов с погрузочными заездами, в которых растягивающие напряжения изменяются от  $-5$  до  $-15$  МПа. При торцовом выпуске руды зона растяжения характерна для бортов буро-доставочных ортов  $\sigma_2 = 0 \div -1$  МПа.

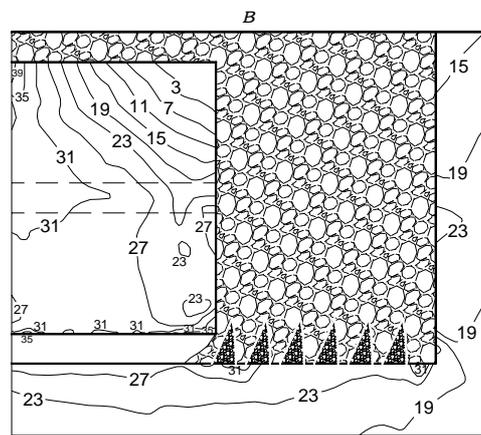
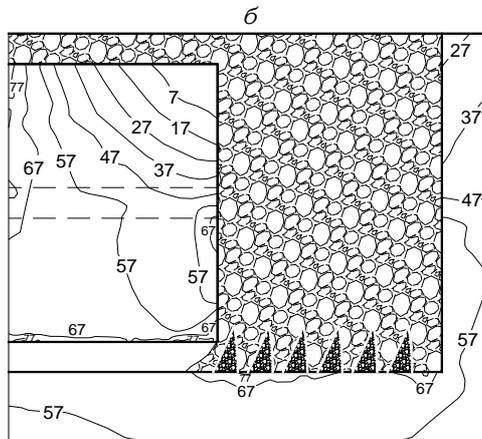
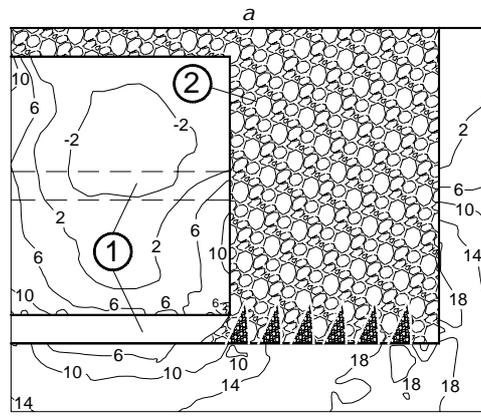
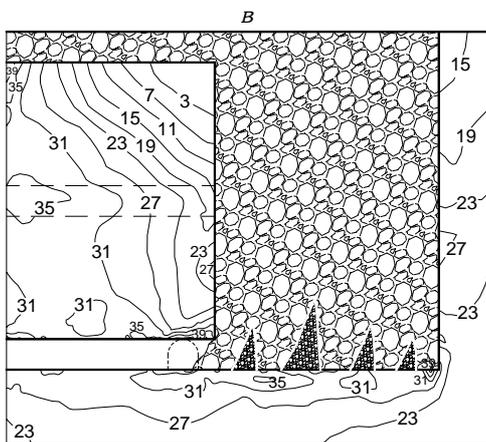
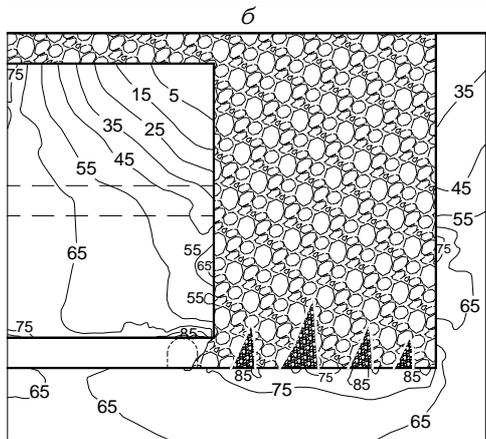
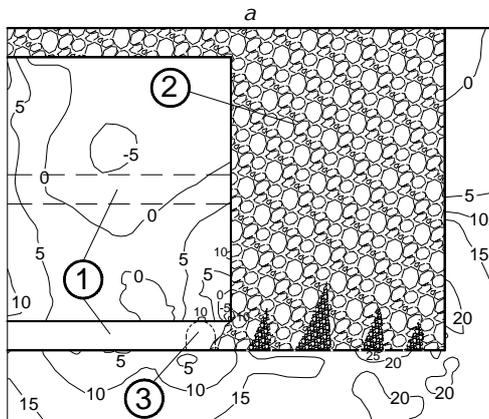
На рис. 7 приведено распределение напряжений  $\tau_{\max}$  по простиранию залежи в центральной части исследуемой области.

Для площадно-торцовой технологии выпуска руды характерна следующая картина. Величина напряже-

ний  $\sigma_1$  в ромбовидных панелях, находящихся в зоне влияния очистных работ изменяется от 70 до 80 МПа. В кровле буро-доставочных ортов  $\sigma_1$  и  $\tau_{\max}$  составляют соответственно 70-90 и 29-34 МПа. В наиболее сложных условиях находятся погрузочные заезды, особенно на участках их сопряжения с буро-доставочными ортами. Напряжения в условиях торцового выпуска руды ниже чем при площадно-торцовом в среднем на 10-20 %.

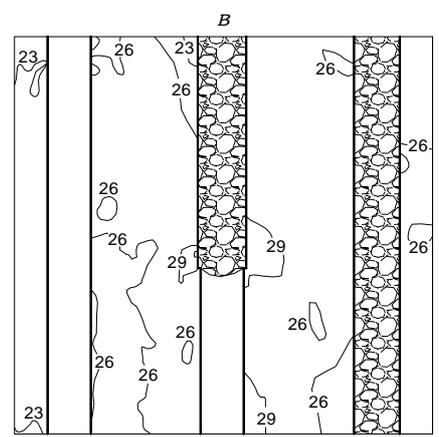
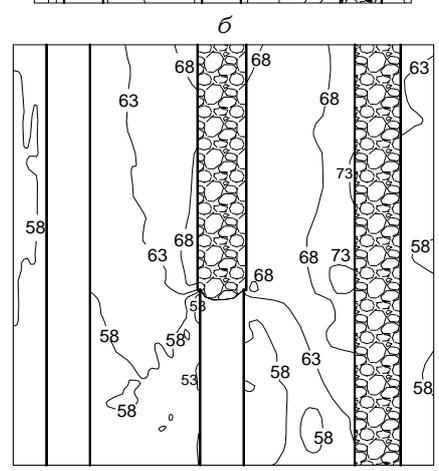
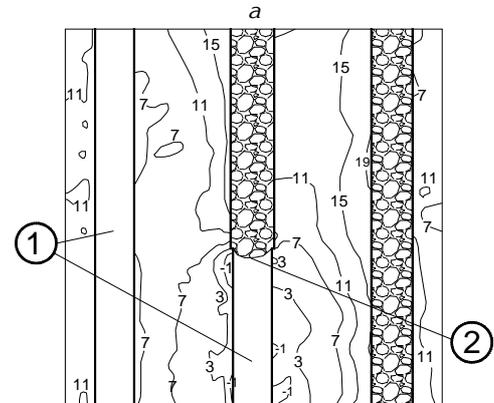
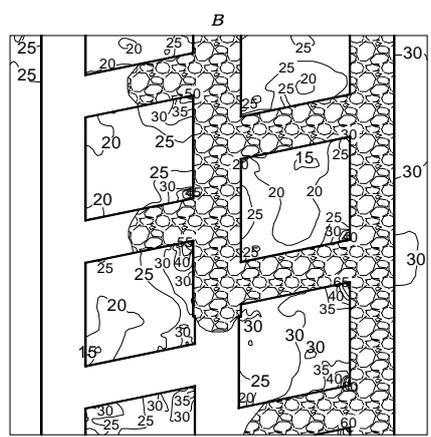
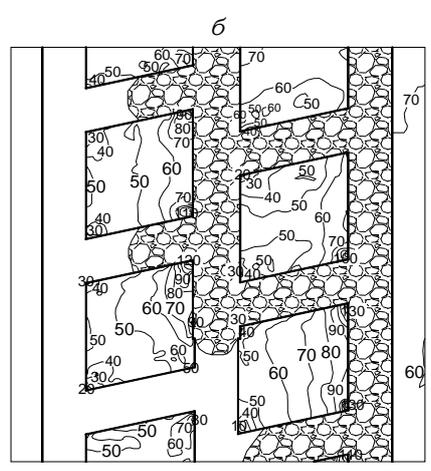
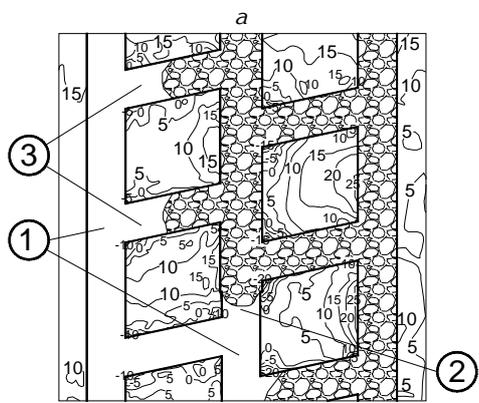
При оценке состояния массива пород использовался показатель устойчивости ( $K_v$ ), определяемый через уравнение прямолинейной огибающей кругов напряжений Мора [4] с учетом структурного ослабления, характерного для условий Шерегешского рудника. Значения  $K_v \leq 1$  характеризовали области возможных разрушений горных пород.

Анализ результатов расчета устойчивости выработок при площадно-торцовой и торцовой технологиях подготовки подэтажей показал следующее. Область рудного массива между погрузочными заездами и их кровля находятся в устойчивом состоянии. В местах сопряжения погрузочных заездов с буро-доставочными ортами устойчивость снижается, приближаясь к предельным значениям, что требует дополнительного поддержания и крепления этих участков. Борты буро-доставочных ортов, попадающие в область очистной выемки, также необходимо крепить. Кровля вышеупомянутых ортов – устойчива. Степень прочности массива между соседними буро-доставочными ортами обеспечивает сохранность выработок на период их существования. В условиях торцовой технологии выемки руды устойчивость выработок не вызывает сомнений.



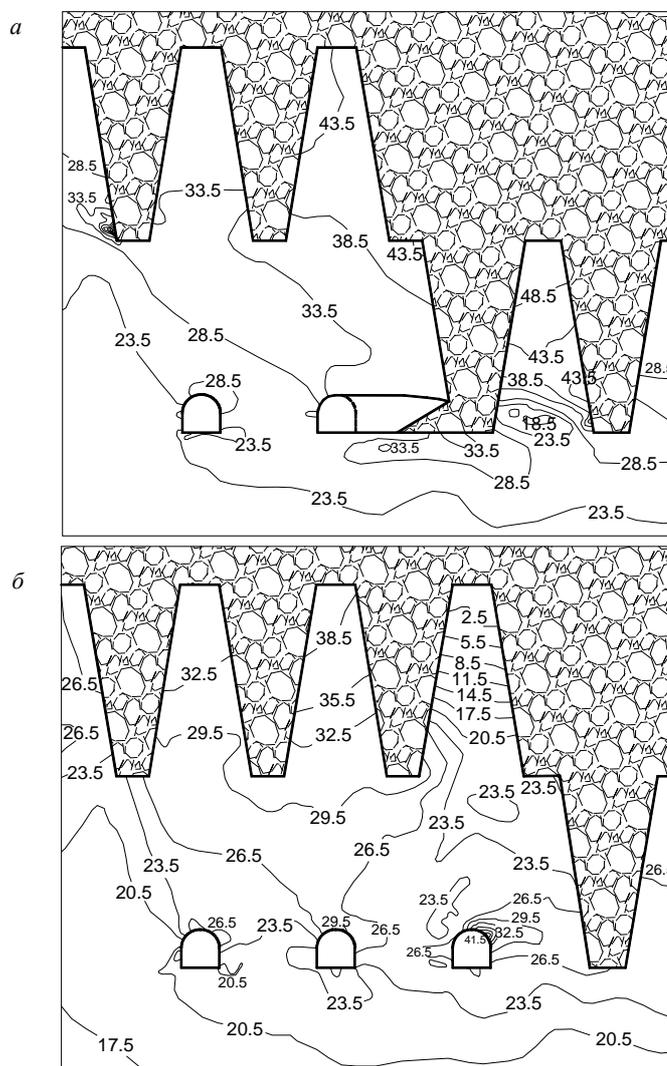
**Рис. 3. Характер распределения напряжений в условиях площадной технологии выпуска руды:** а —  $\sigma_2$ ; б —  $\sigma_1$ ; в —  $\tau_{\max}$  (1 — буро-доставочный орт, 2 — выработанное пространство, 3 — погрузочный заезд)

**Рис. 4. Характер распределения напряжений в условиях торцовой технологии выпуска руды:** а —  $\sigma_2$ ; б —  $\sigma_1$ ; в —  $\tau_{\max}$  (1 — буро-доставочный орт, 2 — выработанное пространство)



**Рис. 5. Характер распределения напряжений по горизонту выпуска руды при площадно-торцовой схеме: а —  $\sigma_2$ ; б —  $\sigma_1$ ; в —  $\tau_{\max}$  (1 — буро-доставочный орт, 2 — зона выпуска руды, 3 — погру- зочный заезд)**

**Рис. 6. Характер распределения на- пряжений по горизонту выпуска руды при торцовой схеме: а —  $\sigma_2$ ; б —  $\sigma_1$ ; в —  $\tau_{\max}$  (1 — буро-доставочный орт, 2 — зона выпуска руды)**



**Рис. 7. Характер распределения напряжений  $\tau_{max}$  по простиранию рудного тела: а) при площадно-торцовой технологии выпуска руды; б) – при торцовой**

Выполненные геомеханические расчеты показали, что выемка залежей подэтажным обрушением с площадно-торцовым выпуском руды может успешно использоваться в крепких, устойчивых породах. Для сохранности выработок выпуска проходку погрузочных заездов следует осуществлять по мере отбойки слоев руды, когда в

постоянной работе находятся не более двух погрузочных заездов – первый из которых используется на выпуске руды, второй – для проветривания. При высокой нарушенности горных пород площадно-торцовая схема подготовки способна гибко трансформироваться в торцовую технологию выпуска руды при некото-

ром ухудшении показателей полноты и качества извлечения минерального сырья.

Гибкость предлагаемой технологии и высокая производительность, при использовании комплексов самоходного оборудования, обеспечивают высокую интенсивность горных работ – продолжительность отработки панели (рабочего цикла) составляет 3,4-3,5 месяца, что существенно сокращает нормативы подготовленных и готовых к выемке запасов (в 3,0-4,0 раза).

Для развития производственного потенциала Шерегешевского рудника был выполнен проект эффективности технического перевооружения предприятия с освоением технологии подэтажного обрушения с площадно-торцовым выпуском руды. Сроки отработки каждой панели определялись организацией работ, типом применяемого оборудования и его возможной производительностью на стадии подготовки и очистной выемки, а также производительностью подъёма. Полный переход на новую систему разработки, как показали расчёты, осуществляется к концу второго года реконструкции.

В настоящее время очистные работы на руднике ведутся на глубине 400 – 470 м по четырём участкам месторождения: Главному, Болотному, Н. Шерегеш, и Подрусловый одновременно на двух эксплуатационных горизонтах +255 м и +185 м. В условиях традиционной технологии производительность рудника ограничивается 3,0-3,3 млн т/год. Переход отработки Шерегешевского месторождения на систему разработки подэтажным обрушением с площадно-торцовым выпуском руды и комплексным применением самоходного оборудования, начиная с

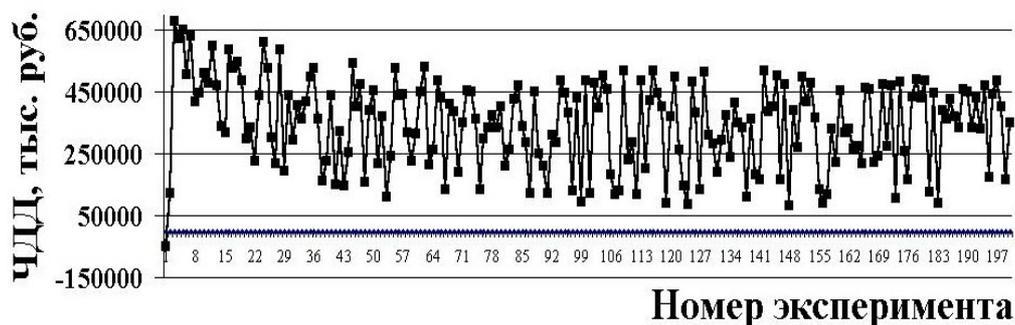
горизонта + 265 м, позволит к четвёртому году освоения проекта выйти на производительность 5,1 млн т/год, а начиная с горизонтов + 245 м и + 205 м к шестому году на – 5,8 млн т/год.

Расчётами установлено, что для реализации инвестиционного проекта реконструкции Шерегешского рудника требуются капитальные вложения в общей сумме, с учётом приобретения самоходной техники, 1523786,7 тыс. руб. Величина кредита — 625000,0 тыс. руб. Годовой объём добычи товарной руды увеличивается к шестому году в 1,7÷1,8 раза по сравнению с существующей технологией и составляет 5,8÷5,9 млн. т. Чистый прирост денежных средств (ЧДД) за пятилетний период составит более 281930,6 тыс. руб.

По методу Монте-Карло с помощью генератора случайных чисел при расчёте 200 сценариев показателей чистого дисконтированного дохода (ЧДД) была проведена оценка финансовых и экономических рисков освоения предлагаемой технологии (рис. 8).

Анализ результатов инвестиционного проекта показал:

- на реализацию проекта требуется освоение инвестиций в объёме 625000,0 тыс. руб., срок погашения кредита – 4,5 года;
- с выходом на проектную мощность (с шестого года освоения новой технологии) производство концентрата возрастёт более чем в 2,0 раза и составит 3500 тыс. т.;
- величина накопленной наличности и чистый дисконтированный доход (ЧДД) за семилетний период реализации проекта достигнут соответственно 1183085,0 и 281930,6 тыс. руб., что создаст в дальнейшем благоприятные условия для приобретения



**Рис. 8. ЧДД по 200 сценариям при одновременном изменении входящих параметров**

самоходной техники за счёт собственных средств;

- чистая прибыль предприятия за время освоения принятых решений составит более 656568,7 тыс. руб.;

- риск неэффективности проекта (вероятность того, что  $ЧДД \leq 0$ ) и риск не достижения проектных показателей (вероятность того, что  $ЧДД \leq$  ЧДД проект) соответственно составили 0,01 и 0,3.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Фрейдин А.М., Филиппов П.А., Гайдин С.П., Кореньков Э.Н., Неверов С.А. Перспективы технического перевооружения подземных рудников Западно-Сибирского металлургического комплекса // ФТПРПИ. — 2004. — № 3.

2. Фрейдин А.М., Неверов С.А. Моделирование площадно-торцовой технологии выпуска руды под обрушенными породами // ФТПРПИ. — 2005. — № 5.

3. Шрепп Б.В. Геомеханическая оценка условий отработки глубоких горизонтов Шерегешевского месторождения // Безопасность труда в промышленности. — 1995. — № 7.

4. Казикаев Д.М. Геомеханика подземной разработки руд / Учебник для вузов, — М.: Изд-во МГГУ, 2005. **ГИАБ**

#### Коротко об авторах

Неверов С.А. — кандидат технических наук, младший научный сотрудник, ИГД СО РАН (г. Новосибирск);

Неверов А.А. — кандидат технических наук, младший научный сотрудник, ИГД СО РАН (г. Новосибирск);

e-mail: yge@ngs.ru

