

ГЕОТЕХНОЛОГИЯ

УДК 622.831

Ю.А. Рыжков, А.А. Еременко, В.А. Гоголин, И.А. Ермакова

ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ ОЧИСТНЫХ БЛОКОВ И КОМПЕНСАЦИОННЫХ КАМЕР ПРИ УВЕЛИЧЕННЫХ РАЗМЕРАХ ЭТАЖА

Перспективным направлением совершенствования систем разработки этажного принудительного обрушения является увеличение высоты этажа до 150-180 м, что позволит значительно сократить объемы подготовительных работ. При таких размерах очистных блоков необходимо исследовать проявления горного давления, которые могут выражаться в потере устойчивости протяженных обнажений рудного тела, в частности, компенсационных камер. Это особенно важно для условий тектонического поля напряжений, в котором наибольшие главные напряжения действуют вкrest и по простиранию рудного тела.

Решение данной задачи выполнялось для типичных условий разработки железорудных месторождений Сибири [1-3]: по залеганию рудных тел, физико-механическим характеристикам руды и вмещающих пород, при наличии повышенных тектонических сил.

Типовой вариант системы разработки с этажным обрушением руды предусматривает:

- отработку рудного тела двумя этажами блоками высотой 180 м, шириной 61 м по простиранию рудного тела, и длиной, определяемой мощностью рудного тела;

- отработку верхнего этажа ведется с опережением на 3 блока в каждом крыле по условию безопасной подработки горных выработок верхнего этажа отрабатываемыми блоками нижнего этажа (угол сдвижений по данным наблюдений

для условий железорудных месторождения принят 63°);

- глубина разработки верхнего этажа составляет 425 м, нижнего этажа - 605 м.

Выемка каждого блока осуществляется в 2 стадии с проведением компенсационной камеры дифференцированного сечения (рис.1а). Размеры и местоположение камеры связано со схемой расположения подготовительных и выпускных выработок в блоке.

Оценка устойчивости блоков и компенсационных камер выполнялась на основе расчета напряженно-деформированного состояния (НДС) рудной залежи в окрестности этих выработок методом конечных элементов. Расчеты НДС проводились с использованием программы «ELCUT», которая также позво-

ляет оценивать прочность каждого элемента. Неустойчивость выработок определялась по условию потери прочности рудного тела в окрестности выработок.

Расчет напряженно-деформированного состояния массива руды после проведения компенсационной камеры в нетронутом массиве проводился по схеме, показанной на рис.1б. Здесь и далее рассматривается задача теории упругости о распределении напряженно-деформированного состояния массива горных пород в поле силы тяжести и тектонических сил, ослабленного очистными горными выработками. Расчет НДС проводился в сечении рудного тела по простианию, то есть в условиях плоской деформации.

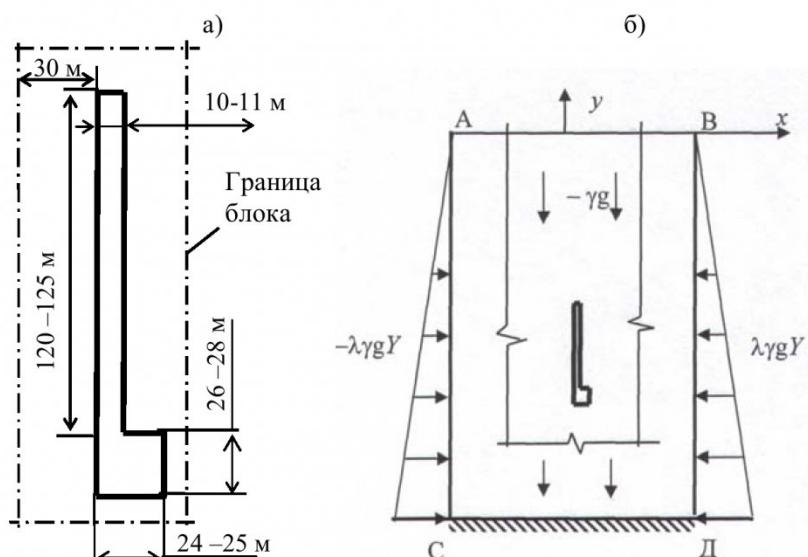


Рис.1. Расположение компенсационной камеры в блоке (а) и расчетная схема определения НДС рудного тела в окрестности выработок в нетронутом массиве (б)

На рис.1б прямой уголник АВСД представляет расчетную часть этого сечения, где АВ – дневная поверхность, свободная от напряжений; АС и ВД – вертикальные границы сечения, достаточно удаленные от компенсационной камеры. Напряженное состояние на этих границах определяется напряжением в нетронутом массиве – горизонтальной составляющей тектонических напряжений. Горизонтальное основание сечения СД является неподвижной границей, достаточно удаленной от поверхности и камеры. Предварительными расчетами установлено, что уже при $AB=AC=1000$ м ограничение размеров сечения по падению и простирианию не оказывает влияния на распределение напряжений в окрестности выработки. Границы компенсационной камеры свободны от напряжений.

Для компенсационных камер, находящихся в блоках на верхнем этаже расчетная схема определения НДС массива руды показана на рис.2а. Здесь прямой уголник $A_1B_1C_1D_1$ заполнен обрушенными рудой и породой, которые создают вертикальное давление p на дно блоков C_1D_1 и горизонтальное давление q на стенку блока и породного массива B_1D_1 . Значения величин p и q определяются из выражений

$$p = \gamma \cdot g \cdot A_1 C_1 / \kappa_p;$$

$$q = \gamma g \cdot (AA_1 + y) \frac{\sin \varphi - 1}{\sin \varphi + 1} / \kappa_p$$
(1)

где κ_p – коэффициент разрыхления отбитой руды и обрушенных пород; φ – угол внутреннего трения разрушенной руды и породы. Вертикальное давление p определяется весом столба обрушенных руды и породы, а горизонтальное давление – как давление кусковых материалов на подпорную стенку в состоянии предельного равновесия.

Нижняя грань целика A_1B_1 остается свободной от нагрузок. С учетом симметрии задачи от-

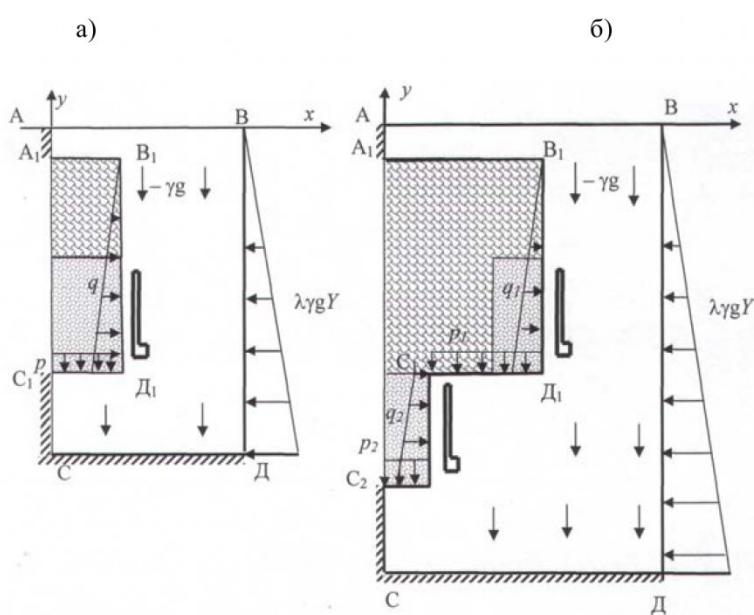


Рис.2. Расчетные схемы определения НДС рудного тела в окрестности выработок при отработке верхнего этажа (а) и при отработке двух этажей (б)

носительно оси у на границах сечения AA_1 и C_1C горизонтальное перемещение отсутствует. Ширина C_1D_1 определяется числом вынутых блоков, а высота A_1C_1 составляет 325 м. Остальные геометрические, кинематические и силовые параметры такие же, как и в рассмотренной выше постановке задачи (рис.1б).

Для описания НДС при выемке блоков на верхнем этаже с одновременной отработкой блоков на нижнем этаже обобщенная расчетная схема приве-

дена на рис.2б. Обозначения сторон сечения, совпадающие с рис.1б, принимаются теми же, как и граничные условия на них. Величина C_1D_2 равна 180 м, то есть высоте блока, а величина C_2D_2 равна суммарной ширине отработанных блоков на нижнем этаже. На этих границах сечения действуют нормальные напряжения p_2 и q_2 , определяемые так же, как и p_1 , q_1 , по формулам (1) с учетом глубины разработки.

После расчета напряженно-

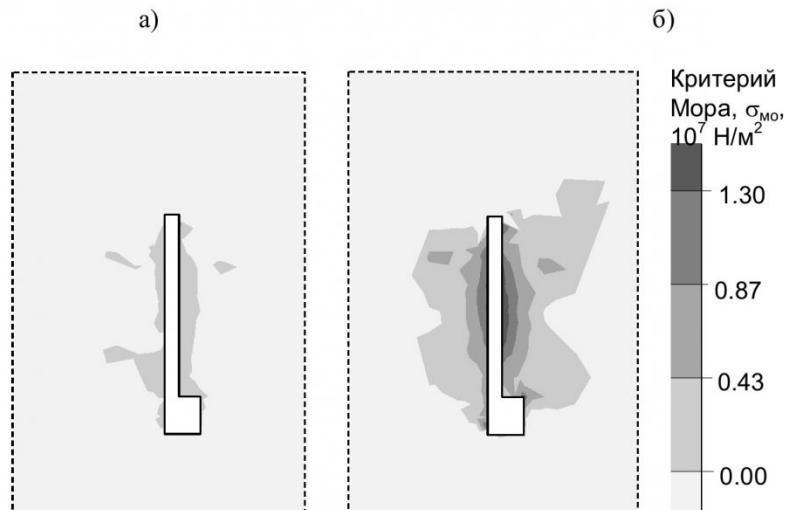


Рис.3. Прочность рудного тела в окрестностях компенсационной камеры, проведенной в нетронутом массиве при отработке 1-го блока на верхнем этаже при $\lambda=1.4$ (а); $\lambda=2.5$ (б)

деформированного состояния оценивалась прочность массива руды в окрестностях компенсационных камер и блоков по критерию Мора

$$\sigma_{mo} = \sigma_1 - \frac{\sigma_p}{\sigma_{cж}} \cdot \sigma_2 , \quad (2)$$

где σ_1 и σ_2 – соответственно наибольшее и наименьшее главные напряжения в рассматриваемой точке; $\sigma_{cж}$ и σ_p – соответственно предел прочности руды на сжатие и растяжение. При выполнении условия $\sigma_{mo} < \sigma_p$ прочность руды сохраняется, в противном случае – нарушается.

Расчеты проводились при следующих значениях деформационных и прочностных характеристик руды: модуль линейной деформации – $9 \cdot 10^4$ МПа; модуль поперечной деформации – 0,25; предел прочности на сжатие – 130 МПа; предел прочности на растяжение – 13 МПа; плотность руды – $3800 \text{ кг}/\text{м}^3$. Напряженное состояние нетронутого массива было следующим: вертикальная составляющая напряжения равна γH ; горизонтальная составляющая по простирианию равна $\lambda \gamma H$, где $\lambda=1,4$ вне зоны влияния очистных работ и $\lambda \geq 2$ в зоне влияния очистных работ по предварительным данным. Коэффициент разрыхления рудной массы принимался равным 1,5, а угол внутреннего трения – 35° [2]. Предельное значение критерия Мора составляло 13 МПа.

На рис.3 показаны зоны с различным прочностным состоянием руды в окрестности компенсационной камеры, проведенной в нетронутом массиве на 1-ом этаже при различных значениях тектонической составляющей λ . На этом и других рисунках приведена шкала значений прочности по Мору, где цвет шкалы, соответствующий значениям критерия более 13 МПа, показывает зону разрушения руды.

Как видно из этого рисунка, разрушение рудного массива

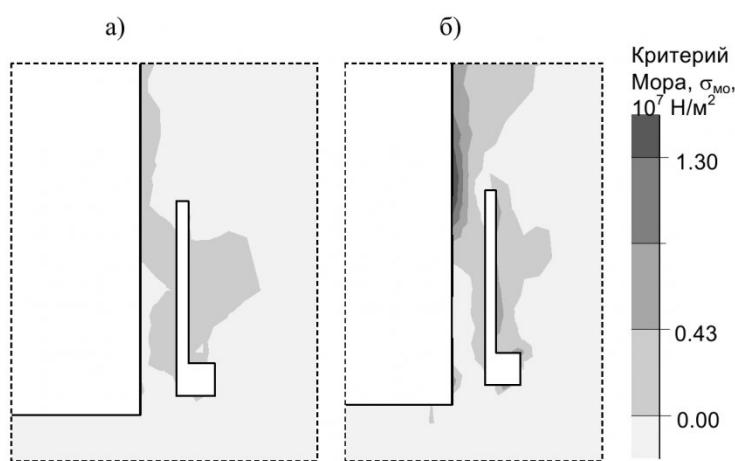


Рис.4. Прочность рудного тела в окрестности компенсационной камеры после отработки 8 блоков на верхнем этаже при $\lambda=1,4$ (а), $\lambda=2,5$ (б)

наступает при значении тектонической составляющей $\lambda=2,5$.

На рис.4 показаны зоны с различным прочностным состоянием рудного массива в окрестности компенсационной камеры при отработке восьми блоков верхнего этажа соответственно. Анализ рисунков показывает, что зона полного разрушения рудного массива сначала охватывает окрестность блока выше компенсационной камеры, что приводит к частичному разрушению борта блока по простирианию. При значениях тектонической составляющей $\lambda>2,5$ разрушаются борта компенсационной камеры и она те-

ряет свою устойчивость.

Рассматривая первую компенсационную камеру дифференцированного сечения на нижнем этаже, которая проводится после отработки шести блоков на верхнем этаже по условию безопасной подработки верхнего этажа (рис.5), видим, что разрушение стенок камеры происходит уже при значении тектонической составляющей $\lambda=1,4$, что соответствует проведению выработки вне зоны влияния очистных работ. При значении тектонической составляющей $\lambda=2$ наблюдается полное разрушение стенок камеры со стороны действия горизон-

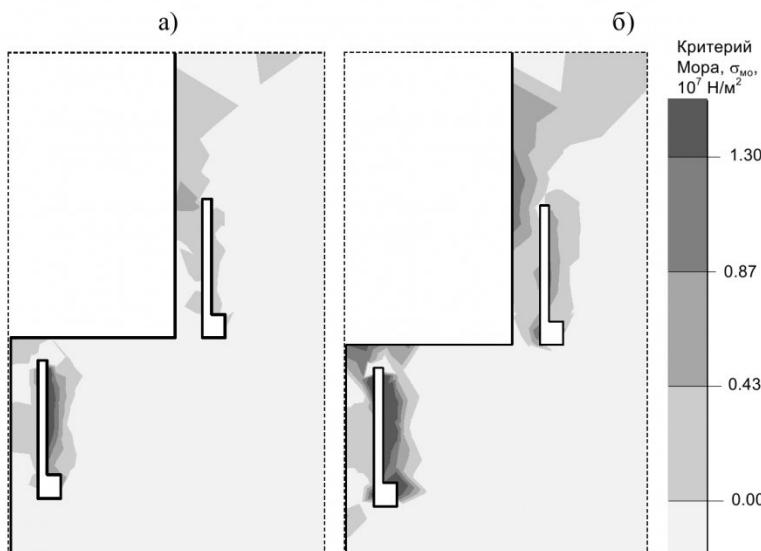


Рис.5. Прочность рудного тела в окрестности 1-ой компенсационной камеры дифференцированного сечения на нижнем этаже после отработки 6 блоков на верхнем этаже при $\lambda=1,4$ (а), $\lambda=2$ (б)

тальной тектонической составляющей напряжений. Таким образом, проведение компенсационной камеры на нижнем горизонте (глубина разработки 605 м) в зоне действия повышенных тектонических напряжений невозможно, что объясняется большой (150 м) протяженностью камеры по восстанию, т.е. расположением наибольшего пролета камеры перпендикулярно направлению действия горизонтальной составляющей тектонических напряжений по простирианию.

Поэтому далее был рассмотрен вариант проведения компенсационной камеры прямоугольного сечения того же объема с размерами 25 м по простирианию и 80 м по восстанию, что сокращает вертикальную протяженность камеры почти в 2 раза. На рис.6 показаны зоны различной прочности рудного массива при проведении компенсационной камеры указанной формы и размеров. Как видно из рис.6, компенсационная камера сохраняет устойчивость при значениях тектонической составляющей до 2,5.

Проведенные расчеты НДС рудного массива и оценка устойчивости блоков и компенсационных камер позволяют сделать следующие выводы:

– на верхнем этаже (глубина разработки 425 м) устойчивое

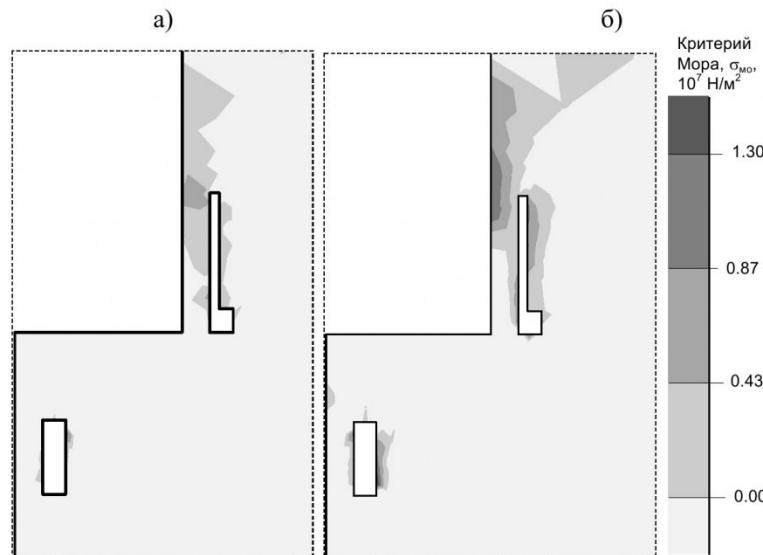


Рис.6. Прочность рудного тела в окрестности 1-ой компенсационной камеры прямоугольного сечения на нижнем этаже после отработки б блоков на верхнем этаже при $\lambda=1,4$ (а), $\lambda=2$ (б)

состояние блоков и компенсационных камер дифференцированного сечения сохраняется, если значение горизонтальной тектонической составляющей не превосходит 2,5;

– на нижнем этаже (глубина разработки 605 м) проведение компенсационной камеры дифференцированного сечения невозможно из-за потери ее устойчивости даже вне зоны влияния очистных работ;

– одним из вариантов сохранения устойчивости камеры на нижнем горизонте является изменение ее формы и размеров, переход к проведению камеры прямоугольного сечения с размерами 25 м по простирианию

и 80 м по восстанию;

– для обеспечения устойчивого состояния выемочных блоков и компенсационных камер следует проводить дополнительный контроль величины тектонической составляющей напряжений, особенно при выемке нижнего этажа;

– при неустойчивом состоянии компенсационных камер из-за наличия повышенных тектонических сил возможен отказ от использования двухстадийной системы разработки и переход к одностадийной системе с послойной отбойкой и выпуском руды.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Курленя М.В. Технологические проблемы разработки железорудных месторождений Сибири / М.В.Курленя, А.А.Еременко, Л.М.Цинкер, Б.В Шреп. - Новосибирск: Наука, 2002. – 240 с.
2. Егоров П.В. Управление состоянием массива горных пород на рудниках Горной Шории / П.В.Егоров, Ю.А.Шевелев, И.Ф.Матвеев, Н.И.Скляр, В.А.Квочкин. – Кемерово: КузГТУ, АГН, 1999. – 257 с.
3. Научно-технический прогресс – основа развития Шерегешского рудника: Научно-технический сборник. – Кемерово: СИНТО; Новосибирск: ЦЭРИС, 2002. – 400 с.

□ Авторы статьи:

Рыжков

Юрий Александрович
- докт. техн. наук, проф.
каф. разработки месторождений полезных ископаемых подземным способом

Еременко

Андрей Андреевич
- докт. техн. наук, зав. лаб.
физико-технических геотехнологий Институт Горного Дела СО РАН

Гоголин

Вячеслав Анатольевич
- докт. техн. наук, проф.
каф. прикладной математики

Ермакова

Инна Алексеевна
- канд. техн. наук, доц.
каф. прикладной математики