УДК 622.831

Д.А.ПОТЕМКИН
Санкт-Петербургский государственный горный институт (технический университет)

ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ НАПРЯЖЕНИЙ В ЗАЩИТНОМ ПЕРЕКРЫТИИ ПРИ ОТРАБОТКЕ МАССИВА БОГАТЫХ ЖЕЛЕЗНЫХ РУД КМА С ЗАКЛАДКОЙ ВЫРАБОТАННОГО ПРОСТРАНСТВА

По результатам численного моделирования напряженно-деформированного состояния рудно-кристаллического массива дана качественная оценка закономерности распределения напряжений в искусственном защитном перекрытии на начальном этапе отработки массива богатых железных руд.

By result of numerical modeling it is intense-deformed conditions of a crystal file quality standard of law of distribution of pressure in artificial protective overlapping at the initial stage of improvement of a file of rich iron ores is given.

Для месторождений, характеризуемых сложными горно-геологическими условиями залегания, в качестве основной часто рассматривают систему разработки с закладкой выработанного пространства, в частности – с образованием искусственного защитного перекрытия. Такие системы позволяют сохранить водозащитные свойства покрывающей полезное ископаемое породной толщи и отработать запасы без осушения водоносных горизонтов.

Принятым в настоящее время вариантом отработки месторождения предусмотрено создание на глубине около 600 м защитного перекрытия-плиты, имеющего мощность 3 м и длину 110 м, с последующей слоевой выемкой полезного ископаемого. Перекрытие должно исключить существенное оседание и разрыв водоупорного слоя глин, что может привести к прорыву воды в выработки рудника.

Методом МКЭ выполнено численное моделирование напряженно-деформированного состояния рудно-кристаллического массива, вмещающего перекрытие и камеры первого под перекрытием слоя, с целью качественной оценки распределения напряжений в самом перекрытии на различных этапах ведения работ.

Рассмотрено три варианта напряженно-деформированного состояния перекрытия (рис.1): на момент окончания строительства самого перекрытия, проведение под перекрытием первичных камер первого слоя на

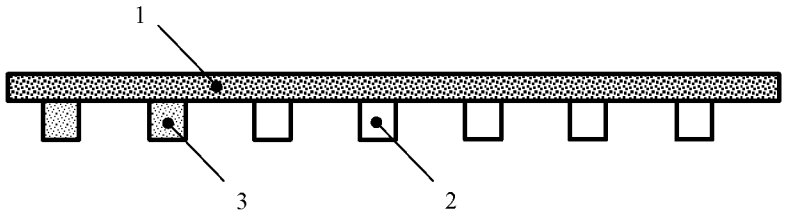


Рис.1. Схема к вариантам расчета

1 – защитное перекрытие; 2 – камеры первого под перекрытием слоя; 3 – заложенные камеры первого слоя

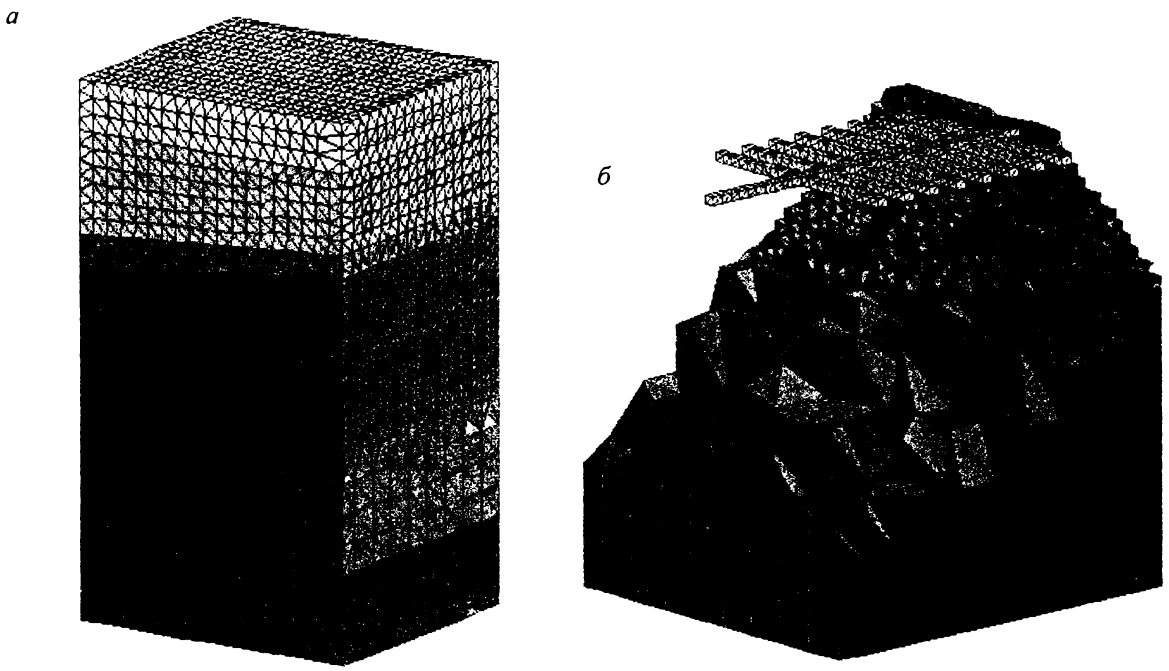


Рис.2. Общий вид объемной конечно-элементной модели (*а*) и фрагмент (*б*) модели (показаны вмещающие породы, закладочный орт и первичные камеры под перекрытием)

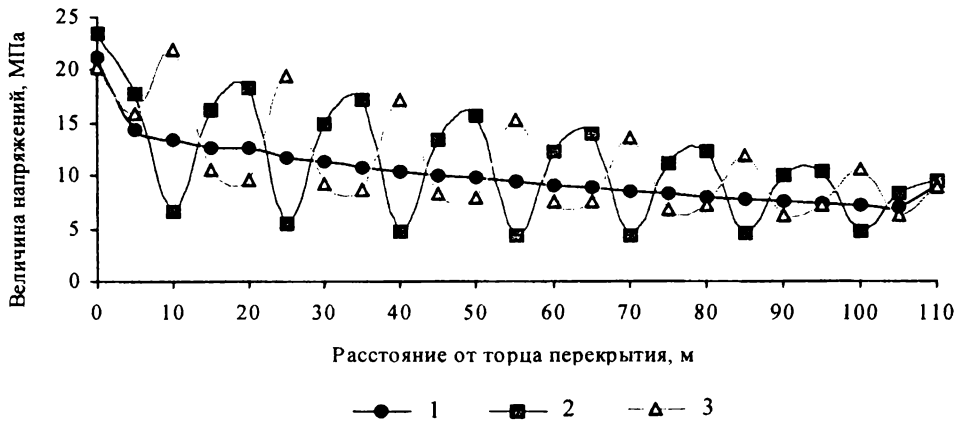


Рис.3. Распределение максимальных напряжений в искусственном перекрытии на различных этапах ведения работ

– после строительства перектытия; 2 – после отработки превичных камер под перекрытием; 3 – после закладки первичных камер

расстоянии двух пролетов одна от другой, закладка первичных камер закладочным материалом (высота камер 5 м, ширина 5 м).

Построение конечно-элементной модели массива выполнено по разрезам вкрест простирания рудного тела, модель представлена на рис.2.

По результатам моделирования построены графики распределения максимальных напряжений от торца перекрытия у вмещающих пород до «открытого» торца в рудном массиве (рис.3).

До начала ведения работ под перекрытием максимальные значения напряжений наблюдаются в торце перекрытия, расположенного у вмещающих пород. Вмещающие породы, имеющие на два порядка большую жесткость, чем у руды (модули деформации

равны 65000-70000 и 500-600 МПа соответственно), являются естественным концентратором напряжений. Искусственное перекрытие, материал которого также имеет значительно бóльшую жесткость (модуль деформации равен 10000 МПа) по сравнению с рудой, также является «твердым включением». Расстояние от торца перекрытия до вмещающих пород составляет два пролета выработки, т.е. 10 м, что видимо и объясняет пик напряжений в обращенном к вмещающим породам торце перекрытия. Напряжения в этой зоне могут достигать значения 20-21 МПа.

При удалении от вмещающих пород происходит резкое снижение уровня напряжений. На расстоянии 5 м от торца перекрытия их значение равно 15 МПа, а на расстоянии 20 м – уже 12 МПа. Далее, на протяжении 80 м, происходит плавное снижение уровня напряжений от 11-12 до 7 МПа. В обращенном в сторону рудного массива торце перекрытия происходит рост напряжений до 9 МПа, так как он также является концентратором напряжений, хотя и располагается на значительном удалении от крепких вмещающих пород и не испытывает их влияния.

Второй этап моделирования предусматривал наличие пройденных под перекрытием первичных камер, расположенных на расстоянии двух пролетов одна от другой. Картина распределения напряжений при этом существенно меняется (рис.3).

Появление такого количества полостей приводит к неравномерному распределению напряжений в защитном перекрытии: напряжения начинают накапливаться на контуре первичных камер и, в частности, на тех участках перекрытия, которые образуют кровлю камер; вместе с этим происходит разгрузка рудных целиков между камерами и, как следствие, разгрузка участков перекрытия, расположенных непосредственно над целиками. Значения напряжений в перекрытиях в местах концентрации (между камерами) могут достигать 23-24 МПа у торца перекрытия, обращенного к вмещающим породам (нулевая отметка на рис.3), постепенно снижаясь до значения 9-11 МПа у противоположного торца. Распределение напряжений в местах разгрузки имеет ту же закономерность – постепенное снижение уровня напряжений к открытому торцу перекрытия от 7 до 4,5 МПа.

График распределения напряжений в перекрытии имеет «пилообразную» форму вследствие чередования зон концентрации и разгрузки.

В третьем варианте рассмотрен этап закладки первичных камер закладочным материалом (модуль деформации равен 2000 МПа). В сравнении со вторым вариантом наблюдается обратная картина распределения: зоны концентрации напряжений теперь становятся зонами разгрузки, а зоны разгрузки – зонами концентрации (рис.3). Это, по-видимому, объясняется следующим: во-первых, заполненные закладочным материалом камеры перестают быть зонами концентрации напряжений, во-вторых, закладочный материал, воспринимающий часть напряжений, также способствует разгрузке соответствующих участков перекрытия. Рост напряжений на участках перекрытия, расположенных над междукамерными целиками, объясняется тем, что закладочный материал в 3-4 раза жестче руды и на этом этапе участок целика условно можно рассматривать как полость, окруженную искусственным материалом со значительной жесткостью (бетон перекрытия в кровле и закладочный материал в боках), заполненную слабым материалом (рудой). Такая полость ведет себя как и обычное выработанное пространство, т.е. является концентратором напряжений.

Результаты моделирования позволяют сделать следующие выводы:

- до начала ведения работ под искусственным перекрытием напряжения в нем распределяются равномерно, имеют максимум в торце, обращенном к вмещающим породам, уменьшаясь при движении к торцу, обращенному в сторону рудного массива;
- проведение выработок под перекрытием приводит к существенному перераспределению в нем напряжений: появлению зон концентрации и разгрузки в перекрытии;

• последующая закладка камер под перекрытием приводит к тому, что зоны концентрации и разгрузки меняются местами, при этом общая закономерность (чередование зон концентрации и разгрузки) сохраняется;

• рациональный порядок ведения работ может снизить величину концентрации напряжений, а участок перекрытия в районе его примыкания к вмещающим породам потребует дополнительного усиления (например, армирования).