УДК 622.831

А.Г.ПРОТОСЕНЯ, *д-р техн. наук, профессор, тел. (812)328-86-25, kaf-sgp@mail.ru,*
А.Д.КУРАНОВ, *аспирант кафедры СГП и ПС, тел. (812)328-86-25, kuranov555@mail.ru*
Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», Санкт-Петербург

A.G.PROTOSENYA, *Dr. tech. sci., professor, phone (812)328-86-25, kaf-sgp@mail.ru,*
A.D. KURANOV, *postgraduate student, phone (812)328-86-25, kuranov555@mail.ru,*
National Mineral Resources University (University of Mines), Saint Petersburg

НАПРЯЖЕННОЕ СОСТОЯНИЕ КРЕПИ ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫХ ВЫРАБОТОК ПРИ ОТРАБОТКЕ ЗАПАСОВ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ВОСТОЧНОГО РУДНИКА ОАО «АПАТИТ» КОМБИНИРОВАННЫМ ОТКРЫТО-ПОДЗЕМНЫМ СПОСОБОМ

Установлены особенности работы крепи выработок в зоне влияния карьера и очистных работ. Работа выполнена с применением численного моделирования методом конечных элементов.

Ключевые слова: прибортовой массив, комбинированая разработка, напряжения, крепь.

STRESS STATE OF ENTRIES SUPPORT WHEN STOCKS OF ORE MINE VOSTOCHNY ARE DEVELOPING BY COMBINED OPEN-PIT AND UNDERGROUND METHOD

The main features of the entries supports in theinfluence zone of open pit and second working are established. Research was carried out using a numerical modelling by finiteelements method.

Key words: nearbord massif, underpit massif, open pit, stress.

Коашвинское и Ньоркпахкское месторождения апатит-нефелиновых руд расположены в центре Кольского полуострова. Месторождения отрабатываются Восточным рудником ОАО «Апатит» открытым способом. Карьеры приближаются к своим предельным контурам, и в будущем планируется осуществить переход на подземную разработку. Подземные работы осложнены значительными тектоническими напряжениями, естественными поверхностями ослабления, удароопасностью, собственно наличием карьеров и совмещением открытых и подземных работ. Этим объясняется актуальность геомеханического обоснования отработки запасов с целью обеспечения устойчивости подземных выработок.

В качестве метода исследований принято численное моделирование методом конечных элементов. Для учета широкого круга факторов, влияющих на параметры напряженного состояния прибортового массива, разработан ряд объемных и плоских конечно-элементных моделей. Установлены зона влияния карьера (рис.1) и области концентрации и разгрузки от напряжений в прибортовом массиве по мере развития подземных работ*.

Зона влияния борта карьера по критерию «формирование ассиметричной нагрузки на крепь» прослеживается на расстоянии 200 м

---

* *Огородников Ю.Н., Куранов А.Д.* Геомеханическое обоснование устойчивости подготовительных выработок при разработке прибортовых запасов Коашвинского карьера с обрушением подрабатываемого борта // Записки Горного института. СПб, 2011. Т.190.

Ogorodnikov J.N., Kuranov A.D. Geomechanical substantiation of the stability ofdevelopment workings in the development of reserves pribortovyh Koashvinskogocareer with the collapse of the undermined side // Notes Mining Institute. Saint Petersburg, 2011. Vol.190.

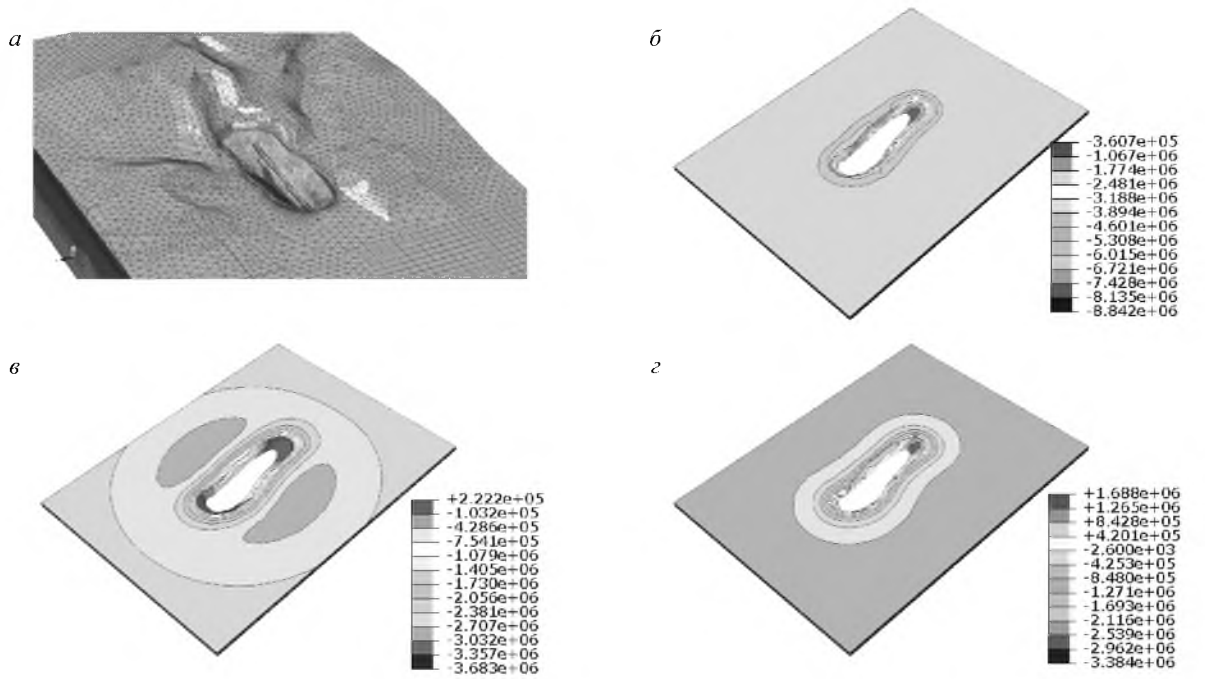


Рис.1. Определение зоны влияния карьерной выемки: *а* – фрагмент конечно-элементной модели; *б* – эпюра главных напряжений σ_1 в сечении на глубине 300 м; *в* – эпюра главных напряжений σ_2 в сечении на глубине 300 м; *г*- эпюра главных напряжений σ_3 в сечении на глубине 300 м

Указана величина напряжений в паскалях

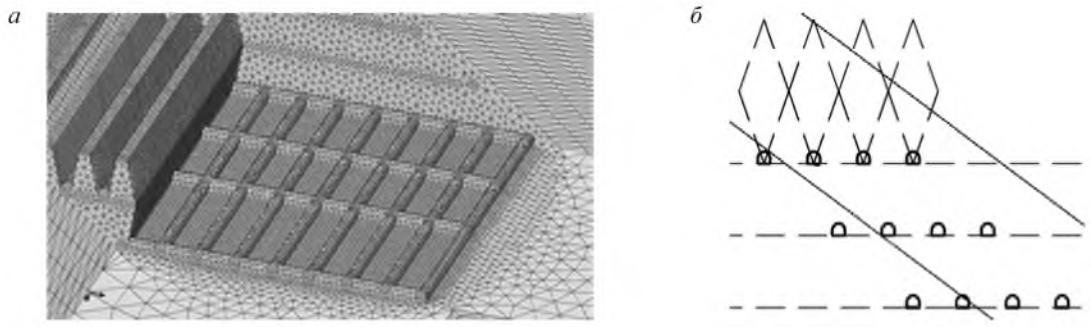


Рис.2. Система разработки с подэтажным обрушением и торцевым выпуском руды: *а* – конечно-элементная модель; *б* – рассматриваемое сечение (вертикальная проекция выработок)

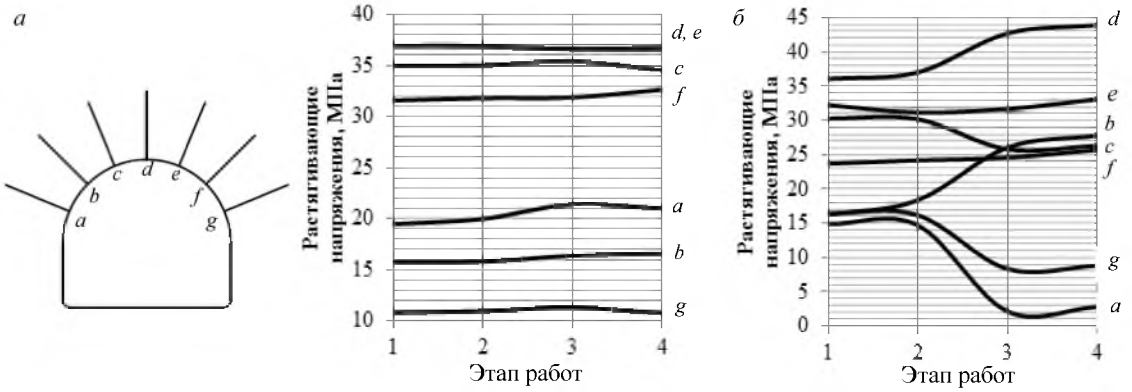


Рис.3. Характерное распределение растягивающих напряжений в анкерах в зоне незначительного (*а*) и значительного (*б*) влияния очистных работ в прибортовом массиве

1-4 – этапы работ: 1 – проведение выработок; 2 и 3 – ведение очистных работ на подэтаже; 4 – принудительное обрушение налегающих пород

по нормали к результирующему углу контура борта карьера. Также были определены особенности перераспределения напряжений в прибортовом массиве, вмещающем выработки, а именно было зафиксировано сдвижение от вертикали точки концентрации напряжений на контуре и различия в максимумах сжимающих напряжений в боках выработок, неравноценно нагружаемых при перераспределении радиальных и тангенциальных напряжений. Это обстоятельство вызывает асимметричное распределение напряжений в крепях с локализацией максимумов растягивающих напряжений в зонах концентрации растягивающих напряжений в кровле выработок. Поэтому далее необходимо установить особенности работы крепей выработок в зоне влияния очистных работ в прибортовом массиве. К рассмотрению принята система разработки подэтажными штреками с торцевым выпуском руды (рис.2).

Расчет параметров крепи для использования на моделях выполнен согласно известной методике[**]. Для условий отработки принятого к рассмотрению подэтажа (расстояние до борта $H = 200$ м, число трещин на метр, $I = 6$) принята анкерная крепь со следующими параметрами: арматура АII; Ø18; $L = 2{,}2$ м; АII; 1×1 м. Анкера моделировались стержнями, диаметром $d = 18$ мм, плотностью стали 7500 кг/м^3, модулем Юнга $E = 2e + 11$ Па, коэффициентом Пуассона $v = 0{,}3$. Стержни закреплены в массиве на всю длину (2,1 м, 0,1 м выступает из шпура) что соответствует технологии установки анкеров. Анкера были разбиты на балочные конечные элементы, в пределах каждого стержня фиксировалось значение максимального растягивающего напряжения (рис.3).

Анализ полученных данных позволяет оценить степень влияния очистных работ на напряжения в крепи в условиях отработки прибортовых запасов. Напряжения в анкерах после обрушения в основном снижаются. Это вызвано следующими факторами:

- понижением горного давления в связи с изменением контура борта карьера и объемного веса пород после обрушения;
- понижением общего фона напряжений вследствие ликвидации зон разгрузки массива и концентрации напряжений;
- попаданием анкеров в зону сжимающих напряжений из-за перемещения точек концентраций сжимающих напряжений с боков к кровле, вызванного перераспределением напряжений в связи с обрушением;
- рост напряжений на некоторых участках в анкерах также объясняется перемещением точек концентраций напряжений по контуру.

Напряжения в крепи выработок в зоне разгрузки минимальны. Это позволяет рекомендовать к применению в выработках, расположенных в зоне разгрузки, другие виды крепей, в частности набрызгбетонную или комбинированную с уменьшенным диаметром анкеров.

Контур выработок в зоне концентрации напряжений после очистных работ деформируется крайне неравномерно, что вызвано сложным характером перераспределения напряжений на контуре под влиянием карьера и очистных работ. Однако скальный массив отличается высокой прочностью, деформации малы по величине. В этих условиях оптимальным видом крепи выработок является анкерная крепь с диаметром стержней 18 мм и металлической сеткой.

[**] Инструкции по креплению горных выработок на рудниках ОАО «Апатит». Апатиты, 2003.
Instructions for attachment of mine workings in the mines of Open Society «Apatite». Apatity, 2003.