УДК 622.284

А.Г.ПРОТОСЕНЯ, *д-р техн.наук, профессор* (*812*) *328-82-25*
К.Г.СИНЯКИН, *аспирант, sinyakin_07@mail.ru*
Санкт-Петербургский государственный горный институт (*технический университет*)

A.G.PROTOSENY, *Dr. in eng. sc., professor,* (*812*) *328-82-25*
K.G.SINYAKIN, *post-graduate student, sinyakin_07@mail.ru*
Saint Petersburg State Mining Institute (*Technical University*)

МОДЕЛИРОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ РУДНОГО МАССИВА В ЗОНЕ ВЛИЯНИЯ ОЧИСТНЫХ РАБОТ

По геологическим данным, полученным на Яковлевском месторождении, была разработана пространственная геомеханическая модель.

В ходе анализа напряженно-деформированного состояния были получены картины распределения горизонтальных напряжений и вертикальных смещений на границе рудной потолочины и карбоновой толщи. Установлено, что зона очистных работ существенно влияет на распределение напряжений и перемещений на границе рудной потолочины и карбоновой толщи. По результатам моделирования можно оценить возможность образования вертикальных водопроводящих трещин в рудной потолочине.

Ключевые слова: выработка, руда, зона ослабления, моделирование, напряжения, смещения, забой.

STRESS-STRAIN CONDITION OF THE ORE MASSIVE WITHIN THE SECOND WORKING MODELING

According to geological data received on the Jakovlevsky deposit, the spatial geomechanical model has been developed.

During the analysis of the is intense-deformed condition pictures of distribution of horizontal pressure and vertical displacement on border ore потолочины and карбоновой thicknesses have been received. It is established that the zone of clearing works essentially influences distribution of pressure and movings to border ore roof and carbonic thicknesses. By results of modeling it is possible to estimate possibility of formation of vertical water spending cracks in an ore roof.

Key words: mine, ore, zone of weakening, modeling, stress, displacement, face.

Разработка месторождений в сложных условиях под водоемами и водоносными горизонтами ведется с использованием искусственных или природных водозащитных перекрытий. На Яковлевском месторождении роль природного перекрытия будет выполнять рудная потолочина мощностью не менее 65 м. В этих условиях недопустимо образование водопроводящих трещин в породах карбона, которые могут стать причиной прорывов воды в горные выработки при строительстве перекрытия и ведении очистных работ. Важной задачей является оценка существующих деформаций и возможности трещинообразования вышележащей толщи, а так же прогноз этих явлений на различных этапах строительства защитного перекрытия. В настоящее время на горизонте – 370 м по результатам геомеханического мониторинга наибольшая интенсивность смещений

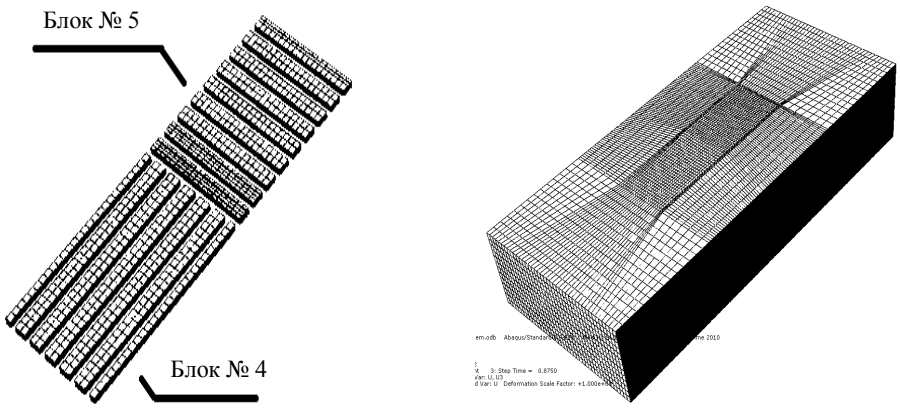


Рис.1. Конечно-элементная модель массива пород, вмещающего блоки № 4 и 5 гор. – 370 м

рудной толщи, вызванная ведением очистных работ, зафиксирована в районе блока № 5. По геологическим данным, полученным на Яковлевском месторождении, была разработана математическая модель, включающая два очистных блока № 4,5 (рис.1).

Модель представляла собой систему подготовительных и очистных выработок (заходок), которые последовательно проходятся и закладываются твердеющей смесью. Заходки разделены на выработки первой, второй и третьей очереди. Объем и состав моделирования определялся с учетом фактического состояния горных работ на руднике.

Модель представляет собой участок рудного массива размером 700×300×150 м, включающий выработки 4 и 5-го блоков в соответствии с планом горных работ. Размеры модели подбирались, исходя из условия незначительности влияния граничных условий на картину распределения напряжений и деформаций. Для исследования напряженно-деформированного состояния принята нелинейная модель деформирования массива.

Граничные условия задавались следующим образом: боковым граням запрещались перемещения по оси Z, нижней грани – по оси Y, торцевым граням – по оси X.

Напряженное состояние определялась исходя из того, что выработка расположена на глубине 500м и задавалась геостатитеческим полем напряжений с составляющими:

$$\sigma_x = \sigma_z = \lambda\gamma H, \quad \sigma_y = \gamma H, \qquad (1)$$

где γ – удельный вес пород, H – глубина заложения выработки, λ – коэффициент бокового распора пород, определяемый по формуле:

$$\lambda = \mathrm{tg}^2 \frac{90 - \varphi}{2}, \qquad (2)$$

здесь φ – угол внутреннего трения.

Таким образом, вертикальные напряжения составили $\sigma_y = 10$ МПа, а боковые и продольные $\sigma_x = \sigma_z = 7$ МПа.

Модель разбивалась на 108000 объемных 8-узловых элементов, размер которых в районе выработки составлял 0,2 м, а по мере удаления увеличивался и на границах модели доходил до 2 м.

В модели вмещающий выработки рудный массив заменялся нелинейно-деформируемой средой с физико-механическими характеристиками мартит-железно-слюдковой, рыхлой руды: модулем деформации $E = 2{,}3 \cdot 10^3$ МПа, коэффициентом Пуассона $\nu = 0{,}25$. Характеристики закладочного материала: модуль деформации $E = 5{,}92 \cdot 10^3$ МПа, коэффициент Пуассона $\nu = 0{,}25$. Для реализации нелинейного характера деформирования рудного массива использована упругопластическая модель Кулона-Мора со сцеплением 2,5 МПа и уголом внутреннего трения – 25°, сцепление закладочного материала – 2,84 МПа, а угол внутреннего трения – 27,3°.

По результатам моделирования были получены картины распределения горизон-

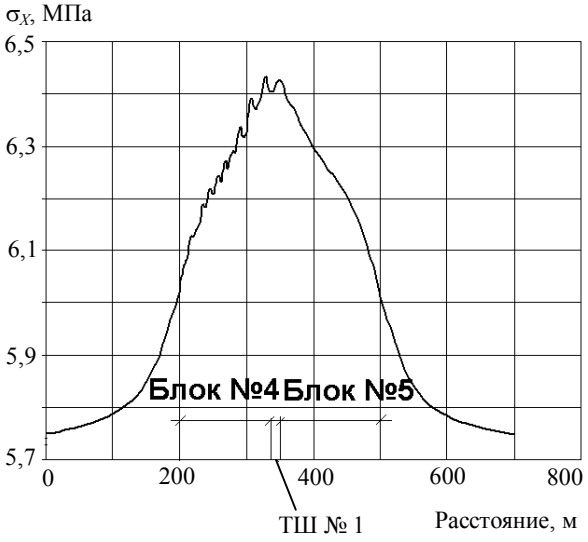


Рис.2. График изменения горизонтальных напряжений σ_X на границе рудной потолочины и карбоновой толщи

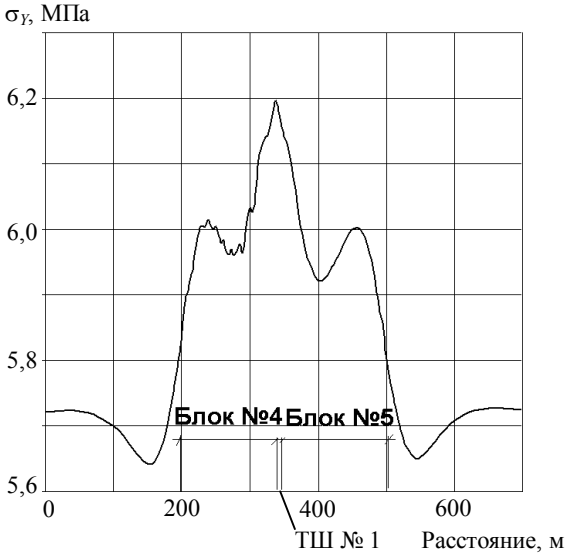


Рис.3. График изменения горизонтальных напряжений σ_Y на границе рудной потолочины и карбоновой толщи

тальных напряжений и вертикальных смещений на границе рудной потолочины и карбоновой толщи. Значения напряжений и смещений на границе рудной потолочины важны для определения возможности образования трещин разрыва и сохранения целостности рудной потолочины.

График изменения горизонтальных напряжений σ_X (рис.2) имеет очертание параболы, вершина которой расположена над технологическим штреком № 1, где имеет максимальное значение (6,43 МПа). При удалении от технологического штрека к границам блоков напряжения постепенно снижаются, стремясь к фоновым. Отмечается различие в плавности графика над блоками № 4 и № 5.

График горизонтальных напряжений σ_Y (рис.3) также симметричен относительно технологического штрека № 1 и имеет над ним максимум (6,2 МПа). График имеет локальные экстремумы над блоками. Над блоком № 4 σ_{min} = 5,96 МПа (64 м от ТШ № 1), σ_{max} = 6,02 МПа (100 м от ТШ № 1), над блоком № 5 σ_{min} = 5,92 МПа (64 м от ТШ № 1), σ_{max} = 6,01 МПа (120 м от ТШ № 1). Минимумы горизонтальных напряжений σ_Y приурочены к границам блоков № 4 (5,64 МПа) и № 5 (5,65 МПа) и находятся от них на удалении 43 и 42 м соответственно.

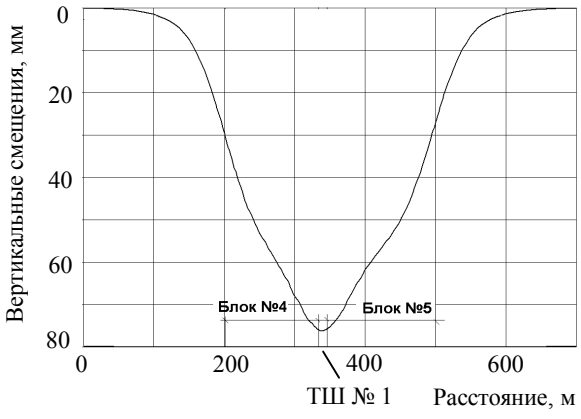


Рис.4. График вертикальных смещений на границе рудной потолочины и карбоновой толщи

На рис.4 представлен график вертикальных смещений на границе рудной потолочины и карбоновой толщи. Из графика видно, что на границе рудной потолочины и карбоновой толщи максимум вертикальных осадок расположен над технологическим штреком и составляет при отработке 1-го слоя блоков № 4 и № 5 76 мм.

По представленным расчетным значениям можно заключить, что величины горизонтальных напряжений на верхней границе рудного тела (6,2-6,4 МПа) превосходят прочность известняка на растяжение

(3 МПа) и могут быть достаточными для формирования трещин разрыва в рудной потолочине*.

В двух обследуемых выработках гор. – 370 м ОЗ № 6 блок 5 и ОЗ № 13 блок 6 отмечен капеж воды, чего ранее выявлено не было. Сопоставляя места проявления воды в очистных заходках с изолиниями максимальных осадок, полученных за 7 месяцев наблюдений (рис.5), можно заключить, что капеж проявляется как в местах максимальных осадок (130-90 мм), так и в местах относительно небольших осадок (50 мм).

Очистная заходка № 13 (блок 6) пройдена в слоистых, относительно прочных карбонатизированных гидрогематитовых и железнослюдково-мартитовых рудах. Выработка пройдена комбайном, между двух бетонных полос. Согласно изолиниям смещений рудной толщи, очистная заходка № 13 находится в области с осадками до 50 мм (рис.5). Капеж проявляется на поверхности заложенной выработки № 14. Капли воды образуются на разделе рудный разделительный целик – закладочный массив и растекаются по поверхности закладочного массива.

Очистная заходка № 6 (блок 5) пройдена по гидрогематитовой руде и железнослюдково-мартитовой руде комбайном, вприсечку к закладочному массиву очистной заходки № 5.

Согласно изолиниям смещений рудной толщи, очистная заходка № 5 находится в области с максимальными осадками от 90 до 140 мм (рис.5). Вода сочится

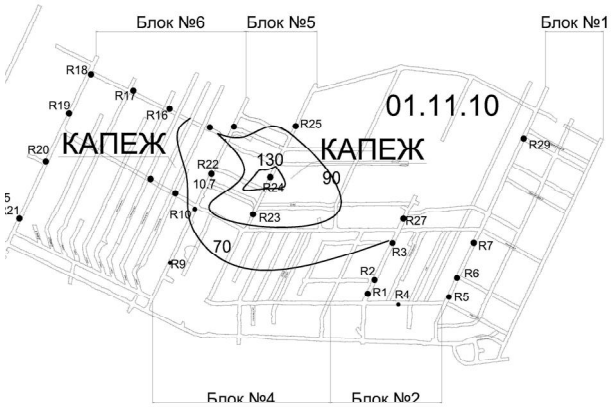


Рис.5. Места обнаружения капежа в выработках

по закладочному массиву выработки очистной заходки № 5 из контакта рудный разделительный целик – закладочный массив увлажняя рудный разделительный целик и поверхность заложенной выработки.

Очистные заходки № 6 и № 13 пересекают различные типы руд, однако в обоих случаях появление воды связано с местами залегания гидрогематитовой руды.

Появление воды в очистных заходках гор. – 370м говорит о возможности образования водопроводящих трещин в рудной потолочине. Для точного определения происхождения воды, проявившейся в выработках, необходим отбор проб и гидрогеологический анализ.

Научно-исследовательская работа выполнена в рамках реализации ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013 гг.

* *Протосеня А.Г.* Геомеханическое обоснование параметров водозащитной потолочины и защитного перекрытия при освоении Яковлевского месторождения / А.Г.Протосеня, Д.А.Потемкин // Записки Горного института. СПб, 2006. Т.168. С. 127-136.

Protosenya A.G. Geomechanical substantiation of the parameters potolochiny waterproof and protective overlap during the development of the Yakovlev field / A.G.Protosenya, DA.Potemkin // Notes of the Mining Institute. Saint Petersburg, 2006. V.168. P.127-136.