УДК 622.284
Д.Ю.ДОРДЖИЕВ, *аспирант, dimich_tpr-03@mail.ru*
Санкт-Петербургский государственный горный институт (технический университет)

D.Y.DORDZHIEV, *post-graduate student, dimich_tpr-03@mail.ru*
Saint Petersburg State Mining Institute (Technical University)

МОДЕЛИРОВАНИЕ ФОРМИРОВАНИЯ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ВОКРУГ ВЕРТИКАЛЬНОЙ ВЫРАБОТКИ В ТЕКТОНИЧЕСКИ-НАРУШЕННОМ МАССИВЕ

Рассмотрено влияние фронта очистных работ на напряженное состояние вокруг вертикальной выработки в тектонически-нарушенном массиве для уранового месторождения «Антей». С помощью компьютерного моделирования подтверждены натурные наблюдения.
***Ключевые слова*:** массив, неоднородность, тектоника, нарушение, выработка, напряжение, моделирование.

SIMULATION OF THE STRESS-STRAIN STATE FORMING AROUND THE VERTICAL MINE IN THE FIELD OF TECTONICALLY FRACTURED MASSIF

The influence of the front clean up of stress-strain state around a vertical mine of a tectonically fracture massif for a uranium deposit «Antey» is considered. By means of computer simulation it's have been confirmed by field observations.
***Key words*:** massif, inhomogeneity, tectonics, displacement, mine, strain, simulation.

Месторождение урановых руд «Антей» входит в состав Стрельцовского рудного узла, являющегося частью Южно-Аргунского рудного района, который расположен в юго-восточном Забайкалье на северо-западных склонах Аргунского хребта. Характерным для данного месторождения является блоковое строение горного массива и его местоположение в пределах крупной кальдеры, представляющей собой многоярусное геологическое образование. В верхнем этаже кальдеры залегает толща сложнодислоцированных пород чехла (липариты, туфы, андезито-базальты, алевролиты), а в нижнем – средне- и крупнозернистые варисские гранитоиды, относящиеся к гранитовому фундаменту.

Месторождение «Антей» непосредственно приурочено к интенсивно тектонически нарушенному пересечению разломов субширотного и меридионального простирания с широким развитием разрывных нарушений. В целом район характеризуется развитием самых разнообразных и сложных форм разрывных нарушений и типов блоковых структур.

Разрывные нарушения гранитного фундамента сформировались задолго до появления оруденения и оживлялись в пострудный период. Выделяются три зоны разломов: № 103, № 13, № 160. Зона № 13 – наиболее мощная, амплитуда смещения крыльев в ней 40-60 м. Разлом сопровождает интенсивное брекчивание, часто с зияниями, выполненными кварцем, флюоритом, кальцитом. Разлом № 160 имеет мощную (около 5 м) зону дробления и проходит исключительно в гранитах фундамента. Швы имеют как зоны

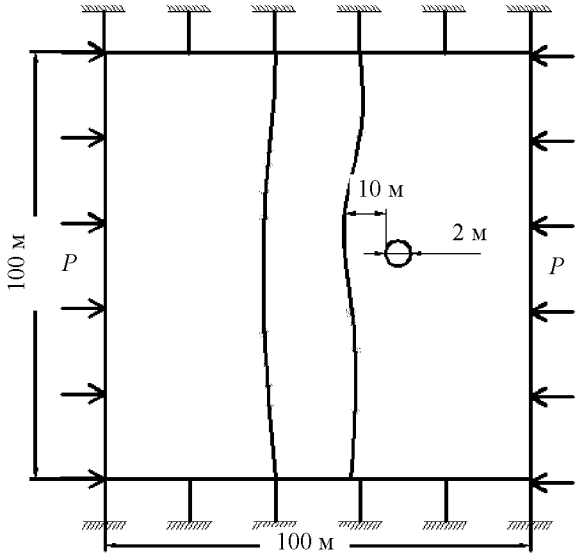


Рис.1. Расчетная схема конечно-элементной модели

дробления, так и тектонические трещины. Мощность полостей трещин от 2 до 10 см, полости представлены глинкой трения, карбонатами, реже хлоритом. Мощность зон дробления от 6 до 100 см. Плотность трещин 2-5 на 1 м. Трещины сколового характера с притертыми краями.

На границах вулканогенно-осадочных пород чехла и пород фундамента ярко выражено выклинивание и преломление швов разломов или изменение пространственной ориентации вплоть до переориентации нарушения (от северо-западного простирания в породах чехла к меридиональному в фундаменте), чем подтверждается наличие деформаций чехла и фундамента.

Гранитный фундамент дифференцирован на три разновидности гранитов: мелко- и среднезернистые лейкократовые граниты, биотитовые граниты и метасоматические порфировые граниты (гранитогнейсы). Все разновидности гранитов являются рудовмещающими, имеют нечеткие границы, полный набор их разновидностей повсеместно не выдерживается. Форма гранитных тел жильная, реже – линзообразная. Мощность тел не превышает первых десятков метров, размеры по простиранию – первых сотен метров.

Оруденение локализуется в фундаменте, главным образом вблизи рудоконтролирующих крутопадающих разломов субмеридионального простирания, и месторождение «Антей» локализовано исключительно в нарушениях № 13 и № 160. Глубина зоны оруденения не менее 1500 м при мощности от нескольких метров до первых десятков метров.

Особенностью геологического строения залежи на уровне 10-12 горизонтов является сближение разломов № 160 и № 13.

Разрывы сплошности пород у ядра разлома № 13 на горизонте 11 формируют дополнительное микро- и макротрещинное пространство, которое оказывает воздействие на характер распределения векторов действующих напряжений. По мере приближения к плоскости сместителя разлома № 13, массив горных пород переходит из объемного в плоское напряженно-деформированное состояние с преобладанием горизонтальных напряжений, действующих параллельно линии простирания тектонического нарушения. Такое поле напряжений может вызвать разрушение северо-восточной и юго-западной стенок вертикальных выработок, а также кровли и почвы горизонтальных выработок субширотной ориентации.

Целью исследования было влияние очистных работ на устойчивость вентиляционно-ходового восстающего, проводимого в подготавливаемом блоке на расстоянии 60 м по падению от фронта очистных работ и на удалении 10 м от рудовмещающего разлома № 160.

Расчетная схема конечно-элементной модели показана на рис.1 и представляет собой участок массива 100 × 100 м в плане, расчет велся с учетом тектонических сил $P = 3\gamma H = 42{,}9$ МПа и с учетом опорного давления от очистных работ $P_o = 1{,}25 \times \times \lambda\gamma H = 5{,}4$ МПа.

На первом этапе расчет велся только с учетом тектонических сил, что соответствовало ситуации, когда выработка не испытывала влияния очистных работ. На втором этапе, когда выработка испытывала влияние очистных работ, к ним добавлялось опорное давление, которое рассчитывалось, исходя

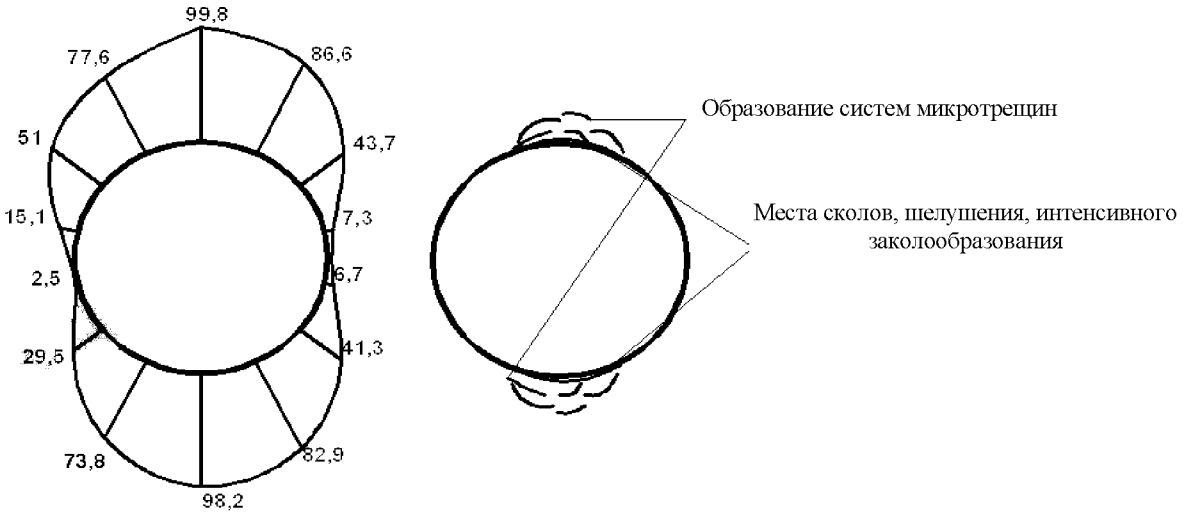


Рис.2. Эпюра распределения нормальных тангенциальных напряжений и схема разрушения вентиляционно-ходового восстающего

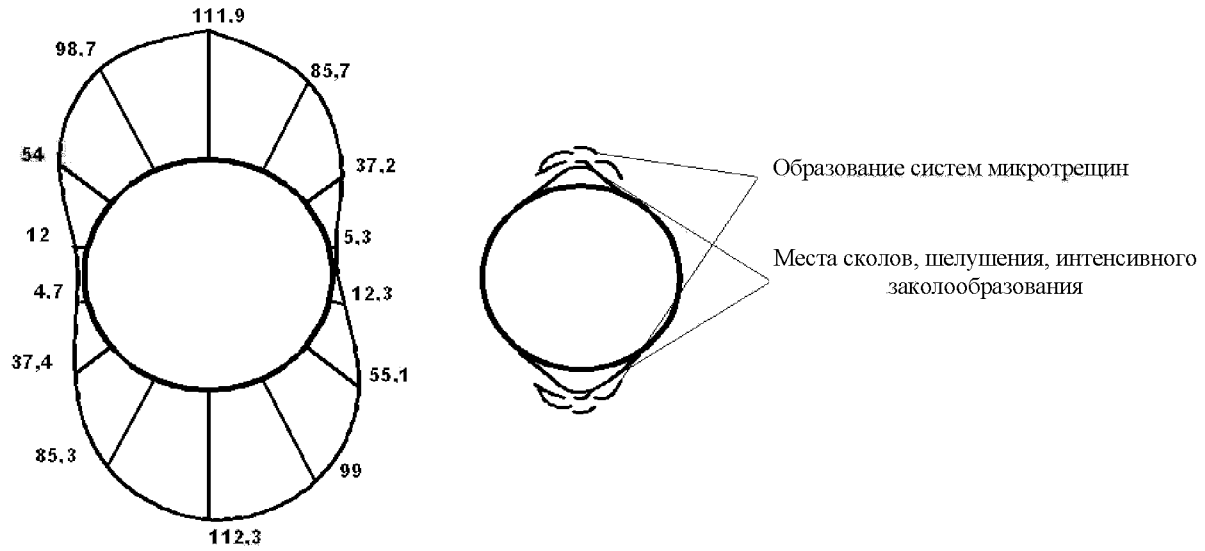


Рис.3. Эпюра распределения нормальных тангенциальных напряжений и схема разрушения вентиляционно-ходового восстающего при влиянии очистных работ

из данных, полученных на эквивалентных материалах профессором Н.З.Галаевым*.

По верхней и нижней грани моделируемого участка запрещались перемещения по оси *Y*. Сетка конечных элементов разбивалась так, чтобы на границе выработки размер элементов был наименьшим (≈ 0,15 м), а на периферии – увеличивался до 2 м. Массив моделировался изотропной линейно деформируемой средой, величины физико-механических характеристик пород принимались из следующих данных:

---

* *Галаев Н.З.* Моделирование камерной разработки методом эквивалентных материалов с применением динамометрического основания // Записки Лениградского горного института. 1961. Том XLIV. С.24-32.

Galaev N.Z. Modelling of heading-and-stall method by a method of equivalent materials with application dynamometrical bases // Proceedings of the Leningrad Mining institute. 1961. Volume XLIV. P.24-32.

Грунт-порода	E, МПа	ν	γ, кН/ м^3
Гранит	78000	0,22	26,9
Руда	45000	0,17	26

По данным, полученным профессором А.Н.Ставрогиным, предел прочности гранитов на одноосное сжатие $\sigma_{сж}$ изменяется от 180 до 216 МПа, а предел прочности на растяжение $\sigma_р$ = 8-9 МПа*.

На начальном этапе, в процессе и после проходки выработки, она испытывает воздействие достаточно высоких тектонических горизонтальных напряжений субширотной ориентации. На этой стадии в северной и южной стенках формируются системы микротрещин, повторяющие контур выработки, а при уровне напряжений, приближающихся к $0{,}7\sigma_{сж}$ возможно проявление горного давления в виде шелушения, интенсивного заколообразования или стреляния.

На рис.2 показаны эпюра распределения нормальных тангенциальных напряжений и схема разрушения. Максимальные значения составляют 99,8 МПа в северной части выработки и 98,2 МПа в южной части.

В дальнейшем, по мере приближения фронта очистных работ, вентиляционно-ходовой восстающий попадает в зону опорного давления от фронта очистных работ. В этой фазе направление действующих напряжений остается прежним, однако существенно возрастает величина действующих напряжений. Воздействие на выработку аналогично предыдущей стадии, но с бóльшим влиянием очистных работ (рис.3).

В результате визуальных наблюдений сотрудников Научного центра геомеханики и проблем горного производства под руководством А.А.Филинкова за разрушениями стенок вертикальных выработок на уровне горизонтов 11-12 установлено, что в большинстве случаев происходит отслоение горных пород в северной и южной стенках, что соответствует действующим максимальным напряжениям с азимутом 105°. Аналогичные наблюдения на уровне горизонтов 9-10 показывают, что максимальные напряжения имеют азимут 50°.

Предложенная методика расчета напряженного состояния может быть использована для прогноза устойчивости восстающих и формирования зон шелушения и интенсивного заколообразования в тектонически-нарушенном массиве.

Работа выполнена в рамках ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» за 2009-2013 гг.

* *Dordzhiev D.* Simulation of the deformation mode forming around the stope ore in the field of tectonically fractured massif // Challenges and solutions in mineral industry. Freiberg. 2009. P.159-164.