УДК 622.831

Д.Н.ПЕТРОВ, *канд. техн. наук, ассистент, petrovgs@mail.ru*
И.С.ДОЛГИЙ, *д-р техн. наук, профессор, (812) 328 82 65*
В.И.ОЧКУРОВ, *канд. техн. наук, доцент, (812) 328 82 65*
Санкт-Петербургский государственный горный институт (технический университет)

D.N.PETROV, *PhD in eng. sc., assistant, petrovgs@mail.ru*
I.S.DOLGY, *Dr. in eng. sc., professor, (812) 328 82 65*
V.I.OCHKUROV, *PhD in eng. sc., associate professor, (812) 328 82 65*
Saint Petersburg State Mining Institute (Technical University)

ВЛИЯНИЕ ТЕКТОНИЧЕСКИХ НАПРЯЖЕНИЙ И ГЕОЛОГИЧЕСКИХ НАРУШЕНИЙ В МАССИВЕ НА ПАРАМЕТРЫ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ВОКРУГ ВЫРАБОТОК

Приведены результаты математического моделирования формирования полей напряжений в слоистом массиве при различном соотношении вертикальных и горизонтальных напряжений. Сделана оценка степени влияния наличия и расположения крупного геологического нарушения на напряженное состояние вокруг горной выработки.

***Ключевые слова*:** напряжения, тектонические нарушения, очистная камера, массив.

INFLUENCE OF TECTONIC STRESSES AND GEOLOGICAL DISTURBANCES IN ROCK MASS ON THE PARAMETERS OF STRESS-STRAIN STATE AROUND MINE WORKINGS

The results of mathematical modeling of formation of stress fields in stratified rock mass under various vertical and horizontal stresses relation are presented. An assessment of influence of the presence and position of a great geological disturbance on a stress state around a mine working is considered.

***Key words*:** stresses, tectonic faulting, breakage heading, solid mass.

Целью исследования являлось решение задачи локализации в целиках и слоистой кровле камер перенапряженных областей при различных соотношениях вертикальных и горизонтальных напряжений, а также установление зависимости напряженного состояния массива вокруг камер от крупных тектонических нарушений.

Моделировался участок массива, сложенный основными породами и пачкой слоев, залегающих под углом 35°, в непосредственной близости от очистных камер. Физико-механические свойства пород слоистой толщи представлены ниже:

Обозначение	Модуль деформации, МПа	Коэффициент Пуассона
E_1, ν_1	50000	0,31
E_2, ν_2	10000	0,28
E_3, ν_3	2000	0,29
E_4, ν_4	15000	0,29
E_5, ν_5	100	0,3
E_6, ν_6	10000	0,28
E_7, ν_7	5000	0,29
E_8, ν_8	10000	0,28
E_9, ν_9	5000	0,3
E_{10}, ν_{10}	500	0,31

Геологическое нарушение моделировалось как прослойка мощностью 5 см пород, обладающих пониженными деформационными свойствами (модуль деформации 100 МПа). Рассматривалось два варианта расположения нарушения – через целик (рис.1, *а*) и через центр камеры (рис.1, *б*).

В моделях использовались две системы координат: одна для массива с начальными вертикальными напряжениями σ_y, горизонтальными σ_x; вторая для анализа НДС вокруг камеры и в целиках: напряжения, ориентированные вдоль напластования σ_1 (горизонтальные), по нормали к напластованию σ_2 (вертикальные), касательные σ_{12}.

Для универсальности полученных результатов и исключения привязки модели к конкретной глубине ведения горных работ исходное напряженное состояние задавалось отношением вертикальных σ_y и горизонтальных σ_x напряжений, при этом вертикальные напряжения условно приняты за единицу, а отношение широтных и горизонтальных напряжений изменялось в следующем диапазоне:

$$\sigma_x/\sigma_y = 1;\ \ \sigma_x = 1,\ \ \sigma_y = 1;$$

$$\sigma_x/\sigma_y = 2;\ \ \sigma_x = 2,\ \ \sigma_y = 1;$$

$$\sigma_x/\sigma_y = 5;\ \ \sigma_x = 5,\ \ \sigma_y = 1.$$

Соответственно, напряжения σ_1, σ_2, σ_{12} в кровле бокситового пласта, полученные при различных соотношениях σ_x/σ_y и представленные на рис.2-5, выражены в безразмерной форме, в долях от вертикальных напряжений в массиве σ_y.

Анализ напряжений проводился по двум уровням, расположенным на различном расстоянии от кровли очистных камер, параллельно углу залеганию слоев. Первый находился на удалении 0,3 м (середина первого слоя от кровли), второй – 1,6 м (середина пятого слоя). Отрицательные напряжения на графиках характеризуют сжимающие напряжения, положительные – растягивающие.

Модель с нарушением, проходящим через целик (рис.1, *а*).

На рис.2, 3 показано распределение горизонтальных, вертикальных и касательных напряжений. Горизонтальные напряжения σ_1 концентрируются в углах камер. В левом боку преобладают сжимающие напряжения, которые в зависимости от соотношения σ_x/σ_y изменяются от 1,2 до 12 σ_y. Для правого бока характерна разгрузка от напряжений с переходом в зону растягивающих напряжений, в модели с $\sigma_x/\sigma_y = 5$ их величина достигает 2 σ_y.

Вертикальные напряжения изменяются плавно и находятся в сжатой зоне. На расстоянии от пласта 1,6 м сжатие увеличивается до двух раз. Растягивающие напряжения наблюдаются в приконтурном слое в левом боку, со стороны падения, непосредственно в углах камеры, их величина не превышает $2\sigma_y$. С увеличением расстояния от камер в массив они снижаются и переходят в сжимающие. Горизонтальные напряжения – сжимающие, расположены в левом углу камеры. В приконтурном слое к центру они резко уменьшаются, достигают нулевых значений посередине камеры и переходят в растягивающие. При всех соотношениях σ_x/σ_y вертикальные и горизонтальные напряжения на удалении 1,6 м находятся в сжатой зоне. Касательные напряжения повторяют зависимость изменения вертикальных.

Характерным для всех моделей является то, что с удалением в массив величина касательных напряжений соизмерима с горизонтальными и вертикальными.

Наличие нарушения обуславливает резкие скачки напряжений от сжимающих к растягивающим в приконтактной области. Размер области достигает 3-4 м. С удалением от нарушения в массив напряжения выравниваются.

Модель с нарушением, проходящим через камеру (рис.1, *б*).

Распределение напряжений к данной модели показаны на рис.4, 5. Характер их изменения аналогичен описанному выше, с тем отличием, что скачок напряжений, вызванный нарушением, приурочен к кровле очистной камеры. Остальные закономерности остаются неизменными.

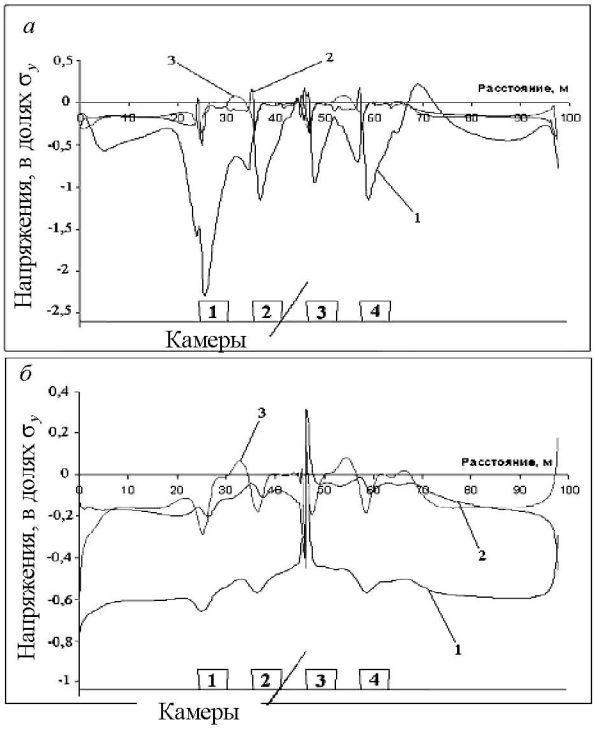


Рис.2. Распределение напряжений на расстоянии 0,3 м (*а*) и 1,6 м (*б*) от камер при соотношении $\sigma_x/\sigma_y = 1$ с нарушением, проходящим через целик

1 – горизонтальные; 2 – вертикальные; 3 – касательные

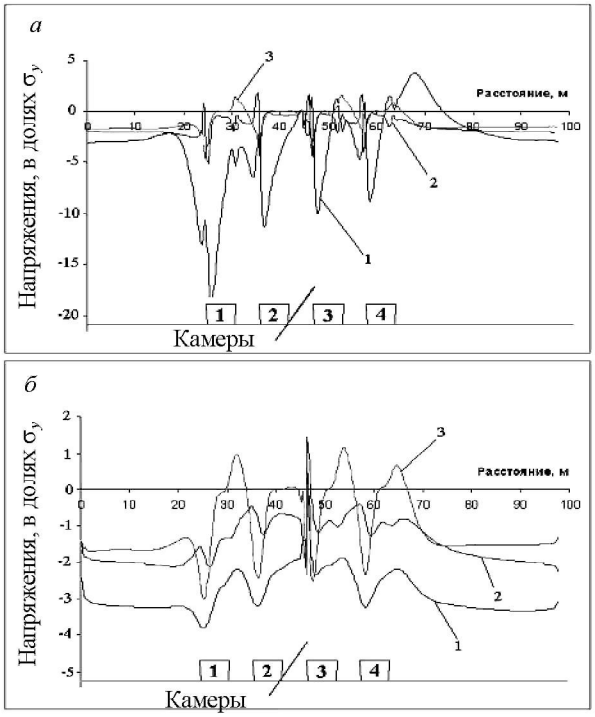


Рис.3. Распределение напряжений на расстоянии 0,3 м (*а*) и 1,6 м (*б*) от камер при соотношении $\sigma_x/\sigma_y = 5$ с нарушением, проходящим через целик

1 – горизонтальные; 2 – вертикальные; 3 – касательные

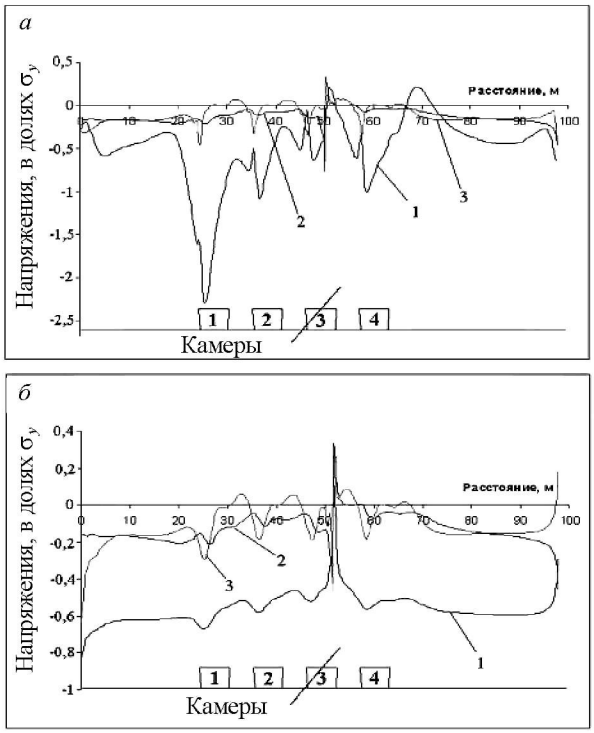


Рис.4. Распределение напряжений на расстоянии 0,3 м (*а*) и 1,6 м (*б*) от камер при соотношении $\sigma_x/\sigma_y = 1$ с нарушением, проходящим через целик

1 – горизонтальные; 2 – вертикальные; 3 – касательные

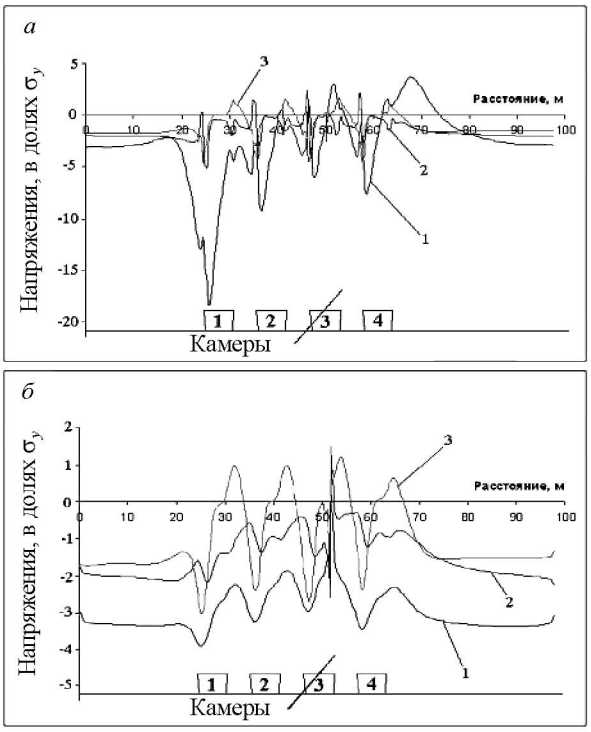


Рис.5. Распределение напряжений на расстоянии 0,3 м (а) и 1,6 м (б) от камер при соотношении $\sigma_x/\sigma_y = 5$ с нарушением, проходящим через целик

1 – горизонтальные; 2 – вертикальные; 3 – касательные

Результаты моделирования напряженного состояния в массиве

Начальные напряжения, МПа			Максимальные напряжения (в долях σ_y) на расстоянии 0,3 м от камер			Максимальные напряжения (в долях σ_y) на расстоянии 1,6 м от камер		
σ_y	σ_x	σ_x/σ_y	σ_1	σ_2	σ_{12}	σ_1	σ_2	σ_{12}
1	1	1	1,2(0,2)	0,5(0,1)	0,2	0,6(–)	0,2(–)	0,3
1	2	2	3,8(0,4)	1,6(0,4)	1,5	1,4(–)	0,4(–)	0,7
1	5	5	12(2)	5(2)	5	3(–)	1,5(–)	2,5

Примечания: 1. σ_1, σ_2, σ_{12} – горизонтальные, вертикальные и касательные напряжения в массиве относительно принятой системы координат.

2. Без скобок указана величина максимальных сжимающих напряжений, в скобках – растягивающих.

В таблицу сведены результаты моделирования по обеим расчетным схемам. Значения напряжений взяты для второй справа камеры как наиболее представительные.

По результатам моделирования можно сделать следующие выводы.

Увеличение отношения природных напряжений в массиве σ_x/σ_y от 1:1 до 5:1 приводит к нелинейному изменению напряженного состояния в кровле камер. При $\sigma_x = \sigma_y$ максимальные вертикальные напряжения σ_2 в приконтурном слое уменьшаются вдвое, в глубине кровли ниже начальных в пять раз. При $\sigma_x = 2\sigma_y$ напряжения σ_2 на контуре увеличиваются в 1,6 раза и с глубиной снижаются. При $\sigma_x = 5\sigma_y$ в угловой зоне приконтурного слоя напряжения σ_2 самые высокие (увеличение до пяти раз). На расстоянии 1,6 м концентрация снижается до 1,6 раза. Горизонтальные напряжения в приконтурном слое увеличиваются от 1,2 до 2,4 раз, на глубине 1,6 м ниже исходных на 30-40 %. Выемка руды в камерах создает концентрацию напряжений в угловых зонах кровли камер со стороны восстания, причем нормальные к напластованию напряжения существенно зависят от горизонтальной составляющей природного поля напряжений. Напряжения, ориентированные по напластованию, с удалением от кровли уменьшаются, причем концентрация отмечена только в приконтурном слое. На глубине 1,6 м в кровле камер и над опорными целиками напряжения, ориентированные по напластованию, снижаются. Таким образом, в кровле камеры образуется зона, разгруженная от природных напряжений. Причиной снижения напряжений в кровле является податливость целиков.

Наличие наклонного нарушения малой (0,05 м) мощности, заполненного слабым материалом, влияет только на характер распределения напряжений в приконтактной области. На общую картину НДС массива в панели влияние нарушения незначительно. Это объясняется незначительной мощностью и деформационными свойствами нарушения, заданными в начальных условиях.