

## ПАРАМЕТРЫ ПОЛЯ НАПРЯЖЕНИЙ В РУДНО-КРИСТАЛЛИЧЕСКОМ МАССИВЕ ДО НАЧАЛА ВЕДЕНИЯ ГОРНЫХ РАБОТ

Выполнено численное моделирование напряженно-деформированного состояния рудно-кристаллического массива до начала ведения горных работ. Приведены результаты анализа закономерностей формирования поля напряжений нетронутого массива.

Установлено, что распределение напряжений в рудно-кристаллическом массиве, включающем руды и породы с различными физико-механическими свойствами (разница до двух порядков), существенно отличается от распределения по Диннику.

The numerical modeling of a tense-strained state of the ore-crystalline mass prior to the beginning of management of mining operations plumps. Assay values of regularities of formation of stress field of a virgin ground are adduced.

The stress distribution in the ore-crystalline mass is established, that, including ore and breed with different physical-mechanical properties (the difference up to two orders), essentially differs from distribution on Dinnic.

Поставленная задача об исследовании НДС вмещающего выработки однородного линейно-деформируемого массива горных пород решалась в плоской (двумерной) постановке, расчет велся на собственный вес, массив пород представлен линейно-деформируемой средой. Конечно-элементная модель представляет собой участок массива шириной 500 и глубиной 900 м. Схема геологического разреза модели представлена на рис.1, разрез соответствует профилю Ш-1800. Принятые величины физико-механических характеристик пород приведены в табл.1.

Для горизонтов 365, 395 и 425 м получены численные значения вертикальных и горизонтальных напряжений. Расстояние между висячим и лежащим боками рудного тела поделено на равные отрезки (общее количество – 12 штук). Расстояние между концами отрезков по гор.-365 м составляет около 20 м, по гор.-395 м – около 18 м, по гор.-425 м – около 15 м. Разная длина отрезков объясняется тем, что лежащий и висячий бока имеют разный угол наклона. В табл.2 и 3 сведены численные значения

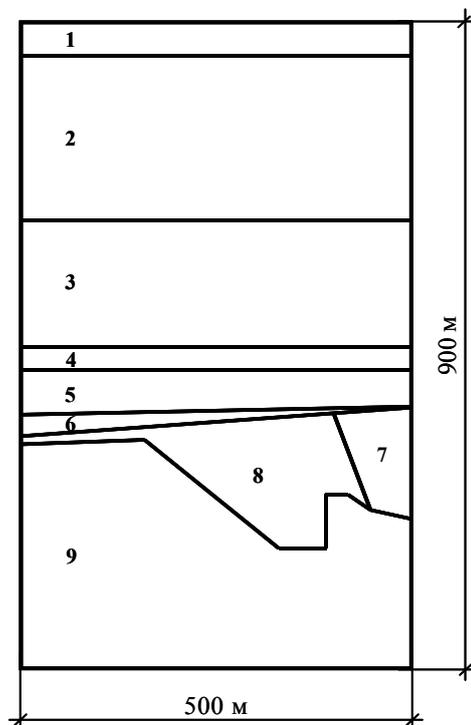


Рис.1. Схема геологического разреза конечно-элементной модели  
 1-9 – породы и грунты из табл.1

напряжений в точках по горизонтам. Общей закономерностью распределения напряжений в рудно-кристаллическом массиве является следующее.

Таблица 1

**Физико-механические свойства горных пород и грунтов**

Наименование грунта-породы	Характеристики		
	E, МПа	$\nu$	$\gamma$ , кН/м <sup>3</sup>
1. Третичные песчано-глинистые отложения	200	0,27	19,2
2. Мел, мергель	6300	0,24	27,3
3. Пески, песчаники, глины	480	0,32	22,6
4. Глины (бат-байосские)	460	0,34	28,2
5. Известняки (карбоновые, глинистые)	3640	0,29	29,0
6. Руды переотложенные (слабые)	600	0,26	34,0
7. Алевриты-филлиты (средней крепости)	75000	0,24	28,0
8. Руды рыхлые	500	0,26	34,4
9. Вмещающие кварциты	55000	0,26	29,0

Вмещающие породы являются материалом, на два порядка более жестким, чем рыхлые руды. Модуль деформации вмещающих пород и межрудных прослоек изменяется в пределах 50000-75000 МПа. Модуль деформации руд находится в пределах 400-1000 МПа. Равновесие в нетронутом массиве характеризуется концентрацией напряжений в более жесткой среде (вмещаю-

щие породы) и разгрузкой слабой среды (рыхлые руды). Напряжения «перетекают» в те породы, которые могут накопить их в большей мере, чем соседние разновидности пород. Согласно геологическому разрезу (рис.1) вмещающие породы образуют чашу, наполненную рудой. Стенки и дно этой чаши представлены кварцитами и филлитами, накапливающими излишки напряжений, которые руда, в силу малой прочности, накопить не может. Руда в чаше оказывается разгруженной от напряжений.

Расчетные значения напряжений (табл.2 и 3) подтверждают этот факт. Величина напряжений на границе руд и вмещающих пород (точка 1, гор.-365 м) составляет 18,3 МПа и обусловлена концентрацией напряжений в более прочной среде. В точке 2 наблюдается снижение напряжений на 30 % до 12,96 МПа, так как точка 2 находится в рудном массиве (слабой среде), но влияние прочных вмещающих пород достаточно ощутимо. Далее наблюдается постепенное снижение уровня напряжений по мере удаления от вмещающих крепких пород до 1,81-3,76 МПа в точках 11 и 10 соответственно. При переходе из рудного тела во вмещающие породы (точка 12) всякого бока уровень напряжений резко возрастает до 21,1 МПа. Описанная закономерность сохраняется и для горизонтов 395 и 425 м.

Таблица 2

**Вертикальные напряжения (по оси Y)**

Горизонт, м	Значение напряжений, МПа											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
-365	18,36	12,96	11,03	9,59	8,43	7,44	6,58	5,84	4,64	3,76	1,81	21,1
-395	13,70	10,31	9,05	7,92	6,11	5,41	4,88	4,59	4,52	3,29	1,48	18,5
-425	11,84	8,41	7,31	6,29	5,43	4,67	4,14	5,52	8,46	5,36	2,57	24,5

Таблица 3

**Горизонтальные напряжения (по оси X)**

Горизонт	Значение напряжений, МПа											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
-365	5,06	2,54	2,59	2,50	2,39	2,32	2,28	2,29	2,29	2,27	2,72	7,19
-395	3,73	1,53	1,76	1,93	2,09	2,25	2,41	2,54	2,49	2,42	2,89	6,20
-425	3,64	1,17	1,49	1,80	2,08	2,38	2,78	3,41	2,05	1,0	0,80	5,03

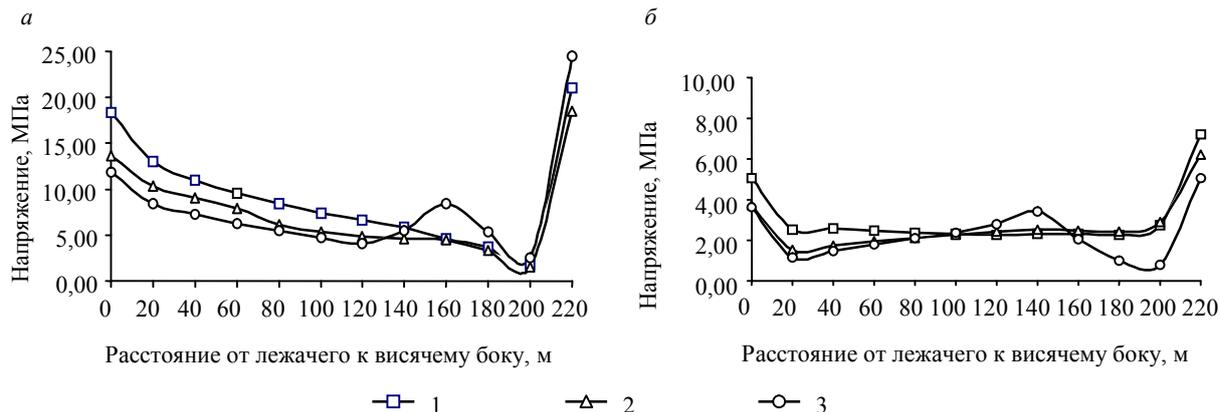


Рис.2. Распределение вертикальных (а) и горизонтальных (б) напряжений в рудном теле Яковлевского рудника  
1 – гор.–365 м; 2 – гор.–395 м; 3 – гор.–425 м

При увеличении глубины горизонтов следовало бы ожидать увеличения общего уровня напряжений. Однако расчетные значения напряжений для гор.–395 м меньше аналогичных для гор.–365 м, а значения напряжений по гор.–425 м меньше, чем для гор.–395 м. С увеличением глубины горизонта происходит постепенное приближение к днищу породной чаши. Поэтому ожидаемого роста напряжений не происходит. Прочные породы днища разгружают рудный массив аналогично стенкам. Динамика изменения вертикальных и горизонтальных напряжений в рудном массиве по горизонтам показана на рис.2.

Реальный геологический разрез неоднородного линейно-деформируемого массива характеризуется неоднородностью строения: чередованием различных руд, наличием большого количества межрудных прослоек.

В том случае, когда мощность руд, отличающихся от БЖР физико-механическими свойствами, сопоставима с общими размерами рудного тела, усреднение свойств ведет к искажению реальной картины распределения напряжений.

Модуль деформации железно-сланцево-марититовых ( $E = 500-800$  МПа) отличается от аналогичного модуля руды маритит-гидрогематитовой ( $E = 3000$  МПа) в среднем в шесть раз. В таких рудах следует ожидать несколько большей концентрации напряжений, чем в БЖР. Еще ярче эта картина про-

явится при учете в расчетах наличия межрудных прослоек (межрудный сланец, кварцит), модуль деформации которых на два порядка выше ( $E = 30000-40000$  МПа) модуля деформации БЖР. Такие «жесткие» прослойки являются сильными концентраторами напряжений.

Для качественной и количественной оценки влияния неоднородности строения рудно-кристаллического массива на распределение напряжений в изначальную расчетную схему внесены следующие изменения. Согласно геологическому разрезу III-1800 наиболее сильное влияние на общую картину распределения напряжений оказывают прослойки сланца (мощностью до 10 м) и массив маритит-гидрогематитовой руды (мощностью до 50 м). Для межрудного сланца приняты следующие физико-механические характеристики: объемный вес  $\gamma = 37$  кН/м<sup>3</sup>, модуль деформации  $E = 40000$  МПа, коэффициент Пуассона  $\nu = 0,22$ , для маритит-гидрогематитовой руды:  $\gamma = 32$  кН/м<sup>3</sup>,  $E = 3000$  МПа,  $\nu = 0,24$ .

На рис.3 дана эпюра распределения вертикальных напряжений, а также расположение точек, численные значения напряжений в которых по горизонтам приведены в табл.4. Общие закономерности, выявленные при рассмотрении рудного массива как однородной среды, подтвердились и в этом случае: вмещающие породы значительно разгружают рудный массив от напряжений. При появлении в слабой среде (массив БЖР)

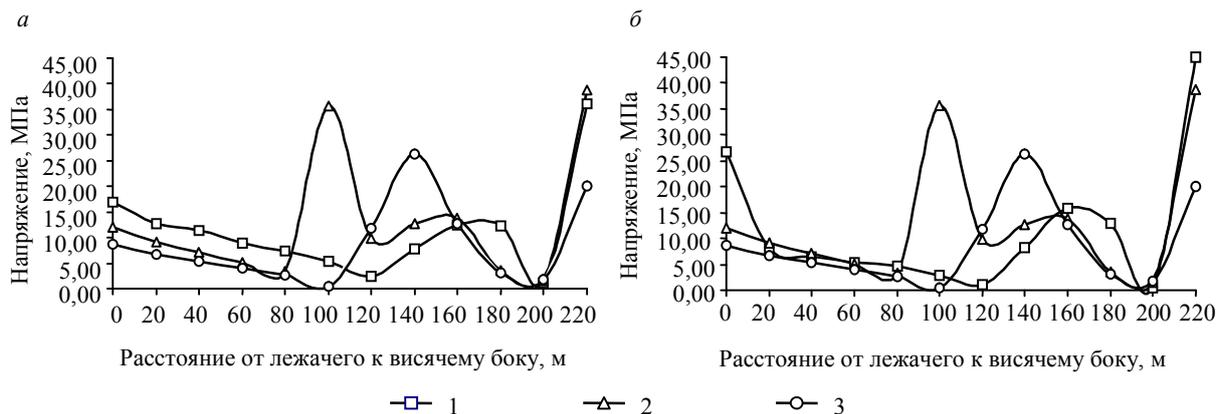


Рис.3. Распределение вертикальных напряжений в рудном теле Яковлевского рудника: а – рудный массив представлен неоднородной линейно-деформируемой средой; б – неоднородной нелинейно-деформируемой средой  
1 – гор.–365 м; 2 – гор.–395 м; 3 – гор.–425 м

Таблица 4

**Вертикальные напряжения (по оси Y, неоднородная линейно-деформируемая среда)**

Горизонт, м	Значение напряжений, МПа											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
–365	16,90	12,60	11,40	8,85	7,44	5,27	2,46	7,79	12,50	12,20	1,05	36,00
–395	12,10	9,20	7,11	5,17	3,24	35,70	9,89	12,70	13,90	3,50	1,50	38,70
–425	8,74	6,75	5,30	4,04	2,70	0,50	11,80	26,20	12,73	3,18	1,80	20,00

Таблица 5

**Вертикальные напряжения (по оси Y, неоднородная нелинейно-деформируемая среда)**

Горизонт, м	Значение напряжений, МПа											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
–365	26,74	8,00	6,44	5,37	4,68	2,92	1,19	8,23	15,72	12,94	0,50	45,00
–395	6,76	5,78	4,45	3,52	2,52	48,65	0,73	14,37	16,56	15,48	0,62	40,00
–425	5,59	5,13	4,39	3,82	2,81	28,97	11,16	4,33	16,21	2,00	5,00	42,00

более «жестких» включений общая картина распределения напряжений заметно меняется. Покажем это на примере вертикальных напряжений.

Уровень напряжений при переходе из массива БЖР в массив мартит-гидрогематитовых руд возрастает в 1,5-2 раза (с 5-8 до 12 МПа) на гор.–365 м; в 3-4 раза (с 3-5 до 13-14 МПа) на гор.–395 м; в 3-5 раз (с 3-4 до 13-13,5 МПа) на гор.–425 м. Массив мартит-гидрогематитовых руд, таким образом, является зоной повышенных напряжений по сравнению с массивом БЖР.

Значительно резче эффект концентрации напряжений проявляется при появлении в массиве БЖР междурудного сланца.

Сланец, как более «жесткий» материал, накапливает напряжения до уровня 13 МПа на гор.–365 м; 35 МПа на гор.–395 м; 26,3 МПа на гор.–425 м. Наличием такого включения объясняются скачки напряжений на рис.3 (табл.5), где уровень напряжений в прослойке сланца сравним с уровнем напряжений во вмещающем массиве пород (крайние точки графиков, соответствующие границе рудного массива с вмещающими породами). В целом, достаточно равномерное распределение напряжений в однородном рудном массиве (см. рис.2) сменилось скачкообразным распределением в массиве неоднородном (рис.3), где пики напряжений приходятся на более «жесткие» в сравнении с БЖР включения.