

УДК 622.831.2: 622.273.2

И.Б. Ваулина

ВЗАЙМОДЕЙСТВИЕ СОВМЕСТНОЙ РАБОТЫ СИСТЕМЫ ТРЕХ ТЕЛ ПРИ ПОСЛОЙНОЙ ОТРАБОТКЕ ПОДКАРЬЕРНЫХ ЗАПАСОВ ТРУБКИ «ИНТЕРНАЦИОНАЛЬНАЯ» АК «АЛРОСА»

Предлагается численное решение задачи о напряженно-деформированном состоянии системы «кимберлит — вмещающие породы — закладочный массив» при послойной (нисходящей, двухстадийной) камерной отработке. Рассчитывается нормативная прочность кимберлитовых целиков и закладочного массива по критериям Кулона — Мора и Мизеса — Шлейхера — Боткина соответственно. В расчете учитываются свойства линейной наследственной вязкоупругости соленосных пород.

Ключевые слова: кимберлит, вмещающие породы, закладочный массив, математическое моделирование.

Семинар № 4

Разработка подкарьерных запасов трубки «Интернациональная» АК «Алроса» осуществляется с закладкой выработанного пространства. Искусственный массив создается из смеси песка и цемента и относится к твердеющим. Вмещающими трубку породами являются доломиты и соленосные породы Чарской свиты.

Если вопросы технологии закладочных работ и формирования закладочных массивов ставились и решались достаточно давно [1], то геомеханика закладочных массивов практически не изучена.

В настоящей работе на основе математического моделирования с применением метода конечных элементов (МКЭ) взаимодействия совместной работы системы «кимберлит — вмещающие породы — закладочный массив» с учетом реологических свойств и порядка отработки и закладки лент в слое проводится оценка нормативной прочности закладки и кимберлитовых целиков для нисходящего порядка отработки слоев в две стадии

применительно к условиям рудника «Интернациональный».

Согласно [1, 2] прочность твердеющей закладки называют нормативной, если возможно безопасное обнажение искусственного массива горной выработкой требуемых размеров в принятые проектом сроки.

Для нисходящей слоевой системы разработки в [2] приведена формула, которая применяется для расчета нормативной прочности закладки на рудниках АК «Алроса»:

$$\sigma_{cjk_h} = 2,8 \cdot \frac{\gamma_3 l^2 (1 + K_n)}{10^6 h_h}, \quad (1)$$

где K_p — коэффициент пригрузки на несущий слой, $K_p \leq 2$; h_h — мощность несущего слоя закладки; l — пролет очистной камеры, γ_3 — средний объемный вес закладочного массива.

Формула (1) получена методами теории сопротивления материалов и не учитывает целый ряд влияющих горно-геологических и горнотехнических факторов.

Таблица
Исходные данные

№	Материал	E, МПа	E _{кд} , МПа	Коэффициент Пуассона, μ	Удельный вес γ , Н/м ³	Угол ϕ , градус	Прочность σ_c , МПа
1	кимберлит	37900	-	0,25	24035	40	36,0
2	доломит	10500	-	0,25	21092	29	28,8
3	каменна соль	8450	-	0,33	21092	29	20,3
4	закладка 1 (M25)	3300	122	0,17	18600	37	2,87
5	закладка 2 (малопрочн.)	2830	58	0,24	19326	36	2,16

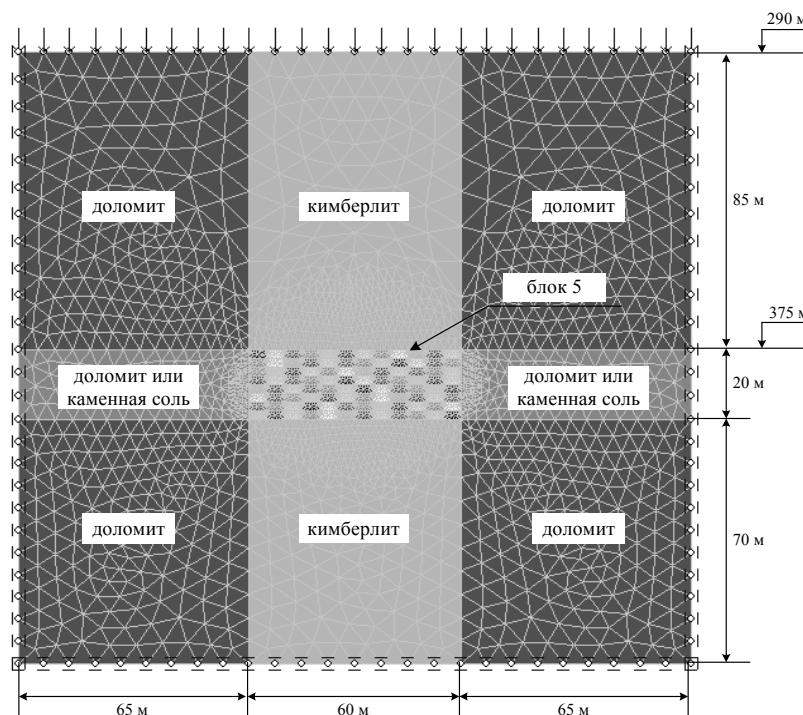


Рис. 1. Расчетная схема задачи

Задача решена для двух случаев, когда вмещающие породы являются доломитом и каменой солью. Рассматривается отработка блока №5, который находится на глубине 660 м от земной поверхности (375 м от дна карьера). Автором построена конечно-элементная модель расчетной области. На рис. 1 показана расчетная схема задачи.

Рассматривались два типа закладки, используемой на рудниках АК «Алроса»: Закладка 1 (несущая M 25), закладка 2 (малопрочная). Физико-механические показатели кимберлита и вмещающих пород (доломита, каменой соли), а также закладочного материала приведены в таблице. Реологические показатели ядра линейной ползучести каменой соли приняты

следующими $\alpha = 0,74$; $\delta = 0,0193$ час-0,26.

В начальный период времени (≈ 3 месяца) модуль деформации закладки принимали равным компрессионному модулю деформации. При прохождении второй (нижележащей) ленты считали, что закладка в первом слое имеет конечный модуль деформации (см. таблицу). Такая процедура, хотя и приближенно, но учитывала изменения свойств закладочного материала во времени.

Предполагалось, что лента проходится «мгновенно» и закладывается также «мгновенно». Период времени, через который моделировалась отработка новой камеры, составлял 6 суток. После отработки камеры начиналась ее закладка. Рассматривалась отработка 4 слоев с одинаковым количеством лент — 12.

Границные условия на вертикальных границах — отсутствие горизонтальных перемещений, на горизонтальной нижней границе — отсутствие вертикальных перемещений, на горизонтальной верхней границе — распределенная поверхностная нагрузка γH ($\gamma = 23\ 500$ Н/м³; $H = 290$ м).

Краевую задачу решали в 5 этапов, первым являлся расчет естественного поля напряжений, 2, 3, 4 и 5 этапами являлись отработка I, II, III и IV слоев соответственно.

Исходное напряженное состояние в окрестности рассматриваемого блока составило: $\sigma_x = 4,8 \div 6,2$ МПа, $\sigma_y = 6,2 \div 7,9$ МПа с коэффициентом бокового распора, равным 0,85.

Необходимую (нормативную) прочность на одноосное сжатие σ_{ck} кимберлита оценивали с применением критерия Кулона — Мора [3].

$$\sigma_{ck} = \frac{\sigma_1 - \chi(\varphi)\sigma_3}{\chi(\varphi)}, \quad (2)$$

где значение коэффициента $\chi(\varphi)$ вычисляется по формуле

$$\chi(\varphi) = \frac{2 + 4tg^2\varphi - \sqrt{(2 + 4tg^2\varphi)^2 - 4}}{2}, \quad (3)$$

σ_1, σ_3 — первое и третье главные напряжения, φ — угол внутреннего трения.

Из формул (2) и (3) видно, что величина нормативной прочности кимберлита на сжатие зависит от угла ее внутреннего трения (φ) и величины первого (σ_1) и третьего (σ_3) главных напряжений.

Необходимую (нормативную) прочность на одноосное сжатие закладочного массива оценивали с применением критерия Мизеса — Шлейхера — Боткина [4].

$$\sigma_{ck} = \frac{1+K}{2K} \left(\sigma_i + 3\sigma \frac{1-K}{1+K} \right), \quad (4)$$

где $\sigma_i = \sqrt{3J_2(D_\sigma)}$ — интенсивность напряжений, $\sigma = \frac{1}{3}J_1(\tilde{\sigma})$ — среднее напряжение, коэффициент K вычисляется по формуле

$$K = \sigma_p / \sigma_{ck}. \quad (5)$$

Из формулы (5) видно, что величина нормативной прочности закладки на сжатие характеризуется интенсивностью напряжений и средним давлением.

В расчетах принимали высоту и ширину ленты равными 5 м ($l = h = 5,0$ м); высоту несущего слоя закладки — 2,5 м ($h_H = 2,5$ м).

На рис. 2 сравнивается распределение прочности на сжатие по кимберлитовым целикам камер для упругопластической задачи для случаев, когда вмещающие породы являются доломитами и каменной солью (с учетом линейных реологических свойств).

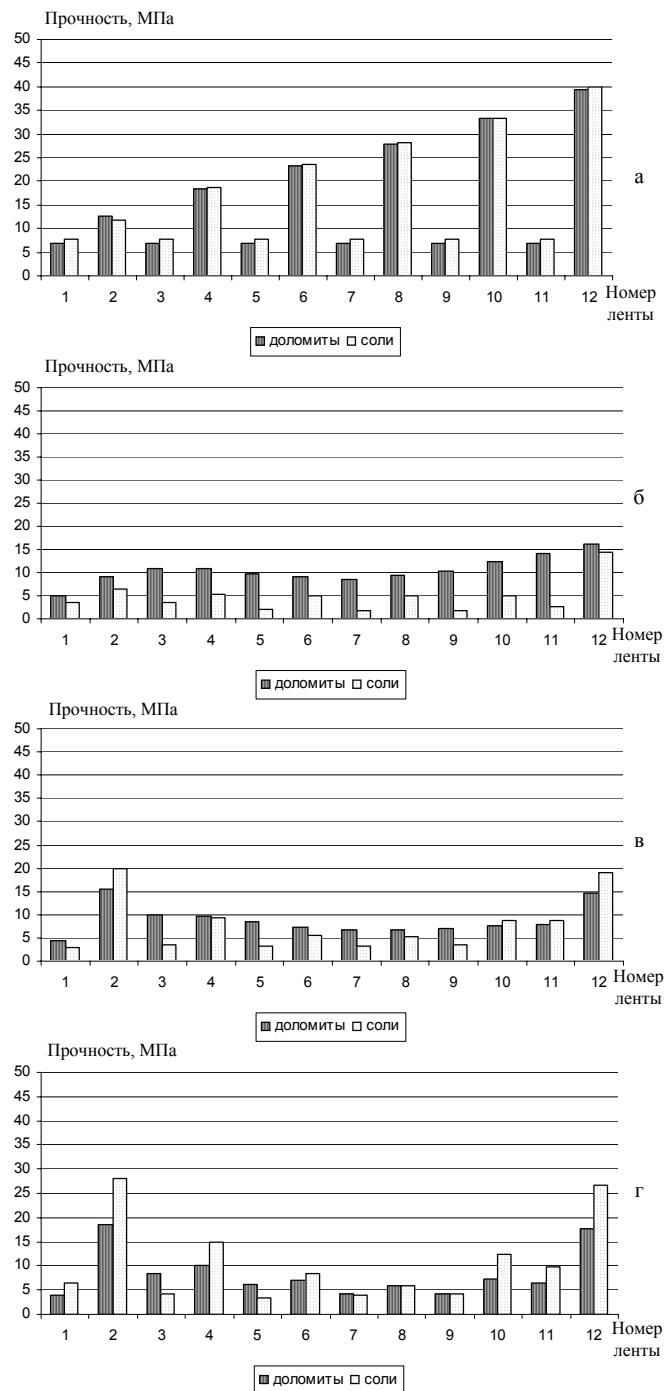


Рис. 2. Необходимая прочность на сжатие целиков при двухстадийной нисходящей отработке: а — в I — ом слое; б — во II-ом слое; в — в III — ем слое; г — в IV — ом слое; H = 375 м

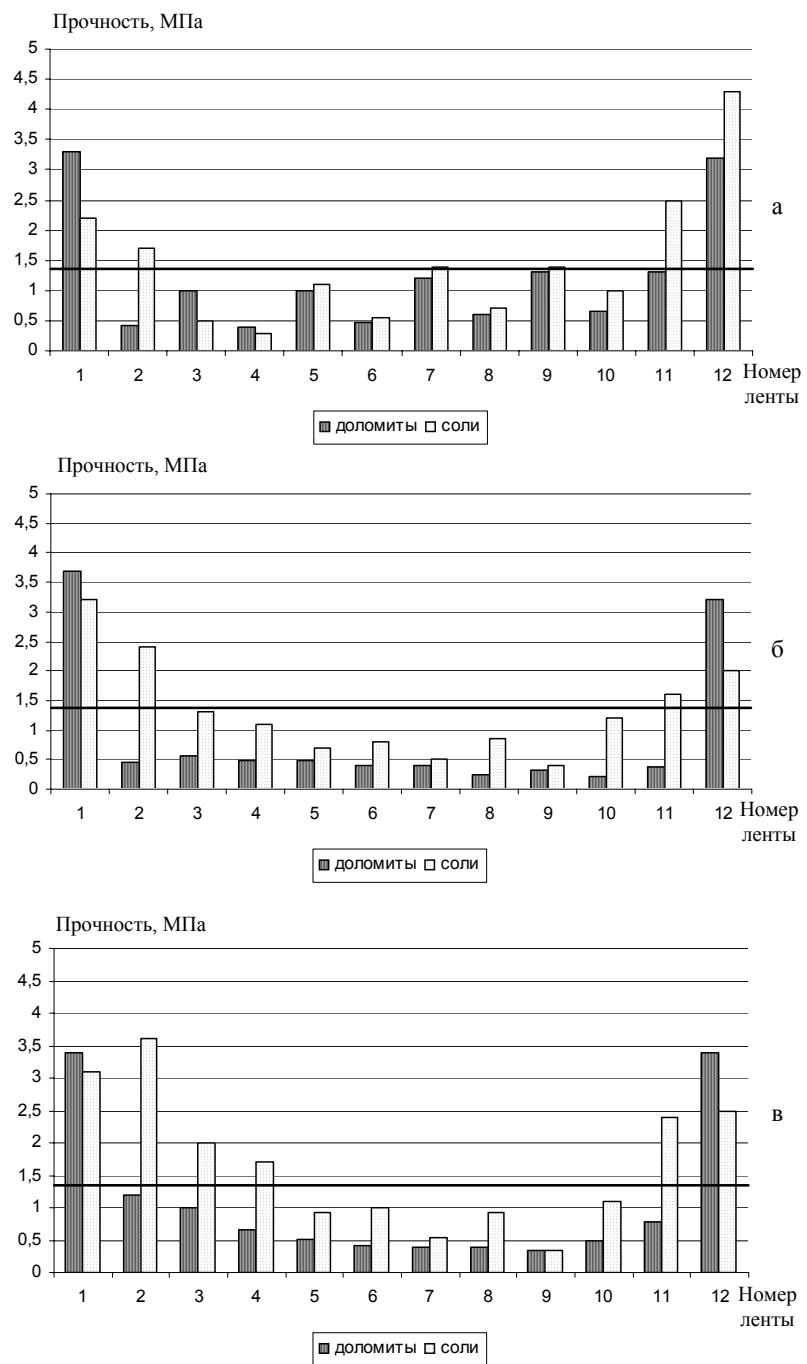


Рис. 3. Необходимая прочность на сжатие закладки при двухстадийной нисходящей отработке: а — в I — ом слое при прохождении II-го; б — во II-ом слое при прохождении III — го; в — в III — ем слое при прохождении IV — го; Н = 375 м

Так как модули закладки еще не достигли своих конечных значений, то всю нагрузку кимберлитового слоя оставшиеся целики берут на себя, поэтому прочность четных целиков возрастает по мере того, как их остается все меньше (см. рис. 2). Во втором и последующих слоях прочность целиков возрастает по мере удаления от центра слоя. Но первый целик имеет минимальную прочность, так как отрабатывает «мгновенно» в нулевой момент времени. По мере увеличения номера слоя необходимой прочности на сжатие целиков требуется все меньше. Прочность целиков, необходимая для сохранения их целостности, требуется больше в случае, когда вмещающие породы являются каменной солью, но незначительно.

В соответствии с формулой (1) нормативная прочность на сжатие $\sigma_{ck} = 1,33$ МПа (при $K_n = 1,5$) независима от положения камеры в слое.

На рис. 3 сравнивается распределение прочности на сжатие по за-

кладкам камер для упругопластической задачи для случаев, когда вмещающие породы являются доломитами и каменной солью (с учетом линейных реологических свойств).

Из рис. 3 видно, что в крайних лентах слева и справа закладка должна быть большей прочности. Значения ее будут уточняться в процессе дальнейших исследований.

В первом и втором слоях в камерах второй очереди прочность закладки может быть меньше, чем в камерах первой очереди. Первый слой следует закладывать достаточно прочной закладкой, так как он воспринимает нагрузку от горного давления. В последующих слоях прочность закладки может быть снижена в среднем в 2 раза по сравнению с расчетной по формуле (1).

В окружении солей закладка требует значительно большую прочность, чем в окружении доломитов, так как соленосные породы склонны к незатухающим деформациям ползучести.

*Исследования выполнены при финансовой поддержке РФФИ
(проект 09-08-99075-р_офи).*

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Монтианова А.Н. Формирование закладочных массивов при разработке алмазных месторождений в криолитозоне. М.: «Горная книга», 2005.
2. Закладочные работы в шахтах: справочник / Под ред. Д.М. Бронникова, М.Н. Цыганова. М.: «Недра», 1989.
3. Беляев Н.М. Сопротивление материалов. М.: «Наука», 1976.
4. Малинин А.Г. Струйная цементация грунтов. Пермь: «Пресстайл», 2007.

ГЛАБ

Коротко об авторе

Ваулина И.Б. — инженер научно-исследовательского и проектного института галургии ОАО «Галургия», тел. (3422) 10-41-48, e-mail: vaulinka@mail.ru)