

УДК 622.831

С.Ю. Лобанов, А.Ю. Шумихина

О ВЛИЯНИИ СВОЙСТВ ЗАКЛАДКИ НА НЕСУЩУЮ СПОСОБНОСТЬ МЕЖДУКАМЕРНЫХ ЦЕЛИКОВ

Методами математического моделирования оценено влияние закладочного материала в очистных камерах на изменение степени нагружения междукамерных целиков.

Ключевые слова: несущая способность, камерная система разработки, гидравлическая закладка, модуль деформации, степень нагружения целика.

На Верхнекамском месторождении калийных и калийно-магниевого солей закладка очистных камер используется для ограничения оседаний земной поверхности и, в целом, не является несущим элементом камерной системы разработки.

В настоящее время на рудниках ВКМКС применяется гидравлическая закладка [1]. Степень заполнения камер при самотечной закладке может достигать 80-90 % [1]. Предполагается, что затвердевшая закладка не только уменьшает деформацию пород, слагающих водозащитную толщу, но и может оказывать упрочняющее воздействие на несущую способность междукамерных целиков. В этой связи для решения вопросов, связанных с определением параметров системы разработки при закладке выработанного пространства, необходимы исследования взаимодействия системы «закладка-междукамерный целик».

Анализ влияния физико-механических свойств и технологических параметров закладки на несущую способность целиков основывался на математическом моделировании изменения напряженно-деформированного состояния камерного блока. Схема геомеханических расчетов представлена на рис. 1.

Степень нагружения междукамерных целиков представляет некоторый интегральный критериальный показатель их напряженного состояния, непосредственно не связанный с распределением в конструкции компонент тензора напряжений.

Для условий ВКМКС расчетное значение степени нагружения определяется согласно действующему нормативному документу [2]:

$$C = \frac{P}{Q} = \xi_x \xi_0 \frac{\gamma l H_0}{b \sigma_n}, \quad (1)$$

где P – средняя нагрузка на целик; Q – несущая способность целика; ξ_x – коэффициент, учитывающий влияние межходовых целиков, ξ_0 – коэффициент, учитывающий изменение нагрузки на целики вследствие влияния различных горнотехнических факторов (пригрузка от солетвалов, опорное давление и др.); γ – объемный вес пород (0.022 МН/м^3); l – межосевое расстояние; H_0 – максимальное значение расстояния от земной поверхности до кровли целиков на рассматриваемом участке отработки; b – расчетная ширина междукамерных целиков; σ_n – расчетная несущая способность целиков.

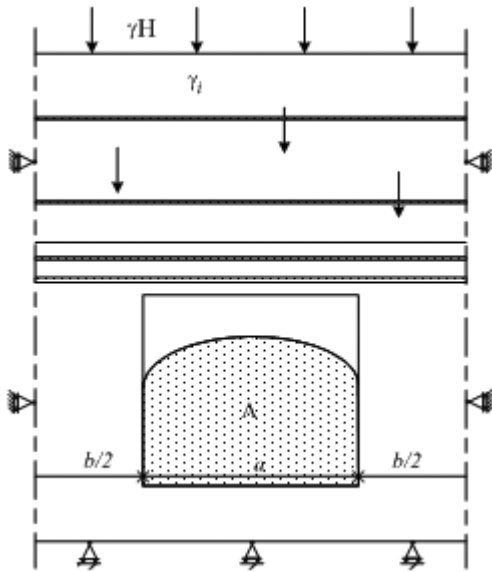


Рис. 1. Расчетная схема

Расчетная несущая способность междукамерных целиков оценивается по формуле

$$\sigma_n = k_f \sigma_m, \quad (2)$$

где k_f - коэффициент формы, характеризующий зависимость несущей способности от отношения ширины целиков (b) к их высоте (m); σ_m - агрегатная прочность пород в массиве.

Обоснование соответствия между степенью нагружения междукамерных целиков и инвариантами их напряженного состояния выполнялось методами математического моделирования [3]. Расчеты проводились для периодической системы однородных междукамерных целиков при горизонтальном залегании пластов. В качестве условия прочности принимался энергетический критерий

$$\sigma_i \leq \sigma_m, \quad (2)$$

где $\sigma_i = \sqrt{I_2(D_\sigma)}$ - интенсивность напряжений, определяемая величиной второго инварианта девиатора напряжений. Критерий (2) можно представить в виде

$$K = \sigma_i / \sigma_m \leq 1 \quad (3)$$

Выполненные многовариантные расчеты показали [3] устойчивую взаимосвязь показателя C , вычисленные по формуле (1), со значением параметра K^* , которое соответствует максимальной величине K , действующей по всей ширине или высоте целика. Таким образом,

$$C = K^*. \quad (4)$$

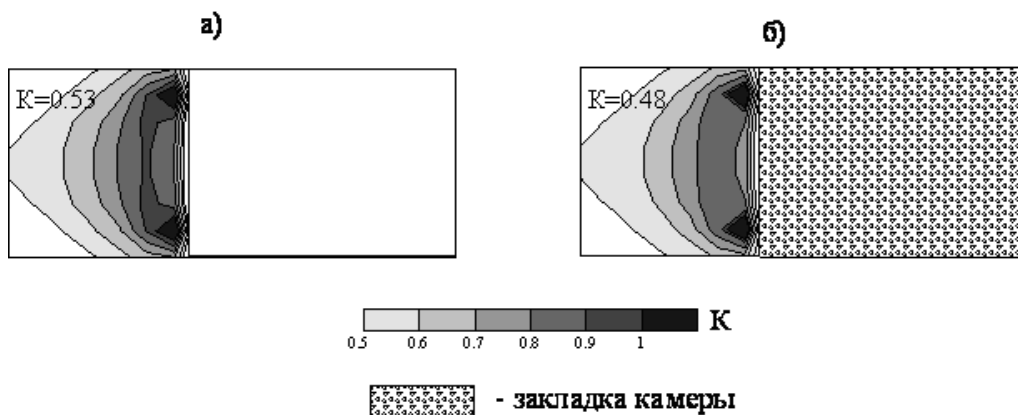


Рис. 2. Распределение критериального параметра K в сечении целика

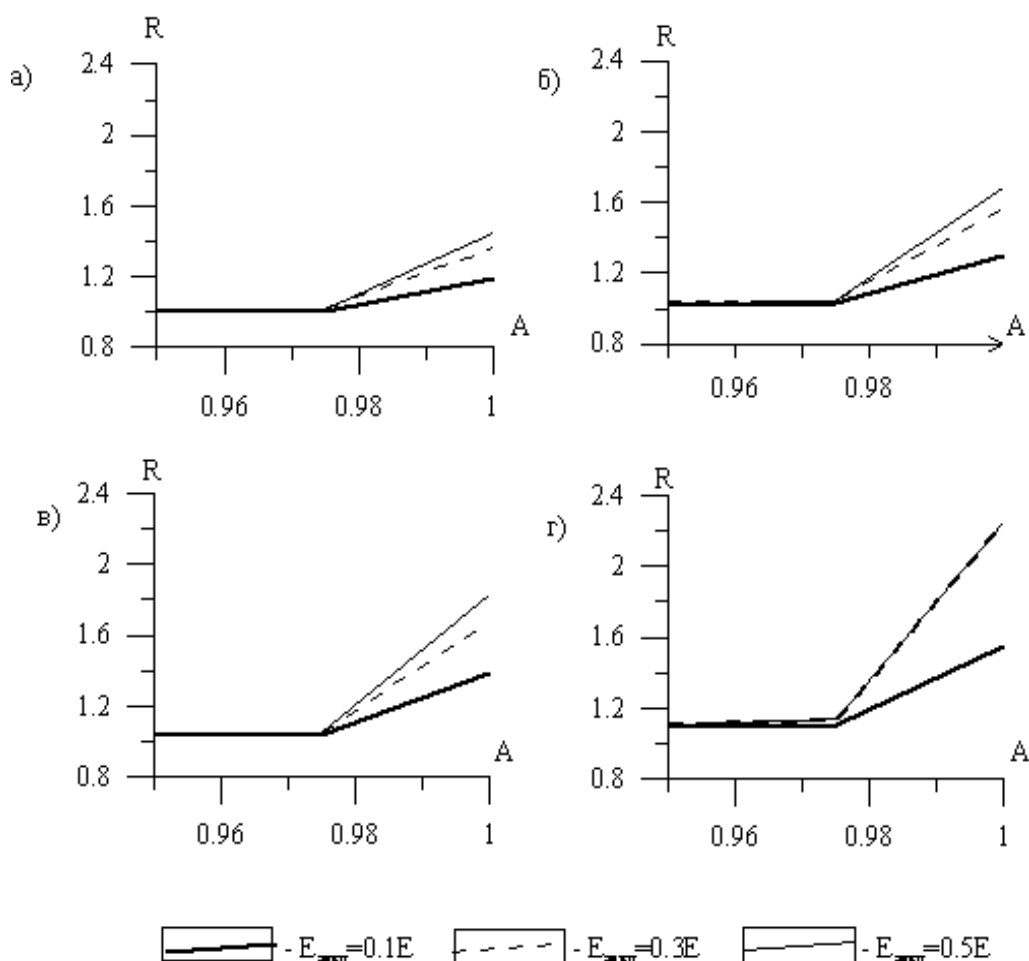


Рис. 3. Изменение относительной степени нагружения целиков при различных параметрах обработки: а) $C = 0,3$; б) $C = 0,4$; в) $C = 0,5$; г) $C = 0,7$

Установленное соответствие в виде соотношения (4) имеет принципиально важное значение для расчета междукамерных целиков, поскольку величина параметра K^* непосредственно связана с распределением напряжений в целике. В отличие от расчетной степени нагружения C , K^* отражает особенности напряженного состояния междукамерных целиков, обусловленные всем разнообразием горнотехнических и горно-геологических

условий камерной системы разработки, включая и наличие закладки.

Используя предложенный подход можно оценить влияние закладки на изменение несущей способности междукамерных целиков и соответственно изменения степени их нагружения. Из выражений (1), (3) и (4)

$$\frac{Q_{\text{закл}}}{Q_{6/3}} = \frac{C_{6/3}}{C_{\text{закл}}} = \frac{K_{6/3}^*}{K_{\text{закл}}} = R, \quad (5)$$

где $Q_{\text{закл.}}$, $Q_{6/3}$ – соответственно несущая способность целика при нали-

чий закладки и при ее отсутствии; $C_{закл}$, $C_{б/з}$ – соответственно степень нагружения целика при наличии закладки и при ее отсутствии; $K_{закл}^*$ и $K_{б/з}^*$ нормированные на предел прочности силвинита при сжатии максимальные значения интенсивности напряжений, действующие по всей ширине целика при наличии закладочного материала в камере и без закладки.

Численная реализация данной задачи проводилась в упругой постановке методом конечных элементов в перемещениях [4] с дискретизацией рассматриваемой области на треугольные элементы первого порядка. Оценка изменения несущей способности междукамерных целиков при наличии в камере закладочного материала проводилась с использованием соотношения (5), путем сопоставления распределения нормированной интенсивности напряжений (параметра K) при наличии в камере закладки (рис. 2, а) и без нее (рис. 2, б).

При математическом моделировании варьировались параметры камер-

ной системы разработки: исходная степень нагружения целиков ($C=0,3 - 0,7$), свойства закладочного материала ($E_{закл} = 0,1 - 0,5 ГПа$) и степень заполнения камер ($A=0,5 - 1,0$) [5].

На рис. 3 иллюстрируется влияние закладки на несущую способность междукамерных целиков. Как показывают выполненные расчеты, вне зависимости от свойств закладочного материала, при неполном заполнении камер она не оказывает значительно влияния на несущую способность целиков. Исключение составляют податливые целики ($C=0,7$), где наличие закладки проявляется при коэффициенте закладки больше 0,8. При $A \rightarrow 1$ упрочняющее воздействие закладки становится существеннее и в зависимости от свойств закладочного материала и исходной несущей способности целиков повышается в 1,2 ($E_{закл} = 0,1E$) - 1,7 ($E_{закл} = 0,5E$) раз. С увеличением степени заложения камер эффект закладки становится более выраженным.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Борзаковский Б.А., Папулов Л.М. Закладочные работы на Верхнекамских калийных рудниках.- Москва: Недра, 1994.
2. Указания по защите рудников от затопления и охране подрабатываемых объектов в условиях ВКМКС. С.-П., 2008.
3. Барях А.А., Самоделкина Н.А. Расчет устойчивости опорных целиков для условий отработки Верхнекамского калийного месторождения// ФТПРПИ.- 2006.- №6.
4. Зенкевич О. Метод конечных элементов в технике. М.: Мир, 1975.
5. Константинова С.А., Асанов В.А. Физико-механические свойства закладочного материала различного возраста// Маркшейдерия и недропользование. – 2010.- №5 (49). **ИДБ**

Коротко об авторах

Лобанов С.Ю. – кандидат технических наук, научный сотрудник лаборатории Механики горных пород, Горный институт УрО РАН, Пермь,
Шумихина А.Ю. - кандидат технических наук, старший научный сотрудник лаборатории Механики горных пород, Горный институт УрО РАН, Пермь,
anastasy@mi-perm.ru, arc@mi-perm.ru

