

ОЦЕНКА НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ ВОКРУГ ПОДЗЕМНЫХ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК

Автор: докторант Сергей ЛУНГУ

Научный руководитель: проф., др., физ.-мат. наук Георге МОРАРУ

Технический Университет Молдовы

Абстрактный: При разработке месторождения полезных ископаемых подземным методом, а именно с применением камерного метода, очень важно оптимальное проектирование размеров несущих сооружений для поддержки горных выработок. Одним из важных несущих сооружений являются междукамерные целики. Для реализации конкретного расчета используются реальные данные, связанные с первым Кишиневским месторождением пильного известняка находившейся в рамках территории Республики Молдовы, и моделирование схемы расчета с использованием численного программного обеспечения ABAQUS 6.12.

Ключевые слова: горная выработка, целики, напряженное состояние.

1. Введение

При разработке месторождения полезных ископаемых подземным методом, а именно с применением камерного метода, очень важно оптимальное проектирование размеров несущих сооружений для поддержки горных выработок. Одним из важных несущих сооружений являются междукамерные целики. В научной литературе и практике проектирования междукамерных целиков встречаются множество методов расчета, в данной работе для расчета междукамерного целика используется процедура румынского ученого М. Стаматиу который считает, что целики должны быть рассчитаны по гипотезе неоднородного распределения напряжений и параболы горного давления которое концентрируется в потолочине выработке.

Для реализации конкретного расчета используются реальные данные, связанные с первым Кишиневским месторождением пильного известняка находившейся в рамках территории Республики Молдовы, и моделирование схемы расчета с использованием численного программного обеспечения ABAQUS 6.12.

2. Сведения о разработке Кишиневского I месторождения

В результате геолога – разведочных исследований Кишиневского I месторождения выявлены горные породы, принадлежавшие сарматским этажам (N_1S) и четвертичным отложениям (Q_1). В строение сарматских отложений входят разновидность пород известняка, а для пород залегающих выше пильных пластов характерны четвертичные отложения. Для лучшего представление о геологии месторождения, ниже приведена таблица с литологическим строением месторождения [4, 5].

В кровле разработанных камер встречаются довольно прочные и массивные разности органогена – обломочных и рифогенных известняков что обеспечивает устойчивую потолочину подземных выработок. В кровле как правило фиксируется «плита» перекристаллизованных либо рифогенных известняков прочность которых достигает ≈ 20 МПа, что обеспечивает устойчивость потолочины. Однако в некоторых зонах массива встречаются трещины незначительных размеров, в таких местах обычно проводятся ряд работ по укреплению потолочины вертикальными металлическими штангами которые крепятся с помощью быстротвердеющим цементом. Сами целики не нуждаются в подобном роде мероприятий так как за всю деятельность работ добычи полезного ископаемого, в целиках небыли обнаружены какие либо структуральные изменения.

3. Применение процедуры М. Стаматиу

Для оценки состояния целика очень важно заметить, что у боковых поверхностей МКЦ (междукамерных целиков) смещения больше, в середине целика – меньше. Поэтому распределение вертикальных напряжений в МКЦ вблизи контактов с вмещающими также неравномерно. Если целик

находится в упругом состоянии (действующие в нем напряжения еще не достигли его прочности), то наибольшие вертикальные напряжения действуют в периферийной части сечения, а в центральной части наблюдаются минимум вертикальных напряжений.

На контактах с кровлей и почвой поперечным деформациям МКЦ препятствуют силы сцепления и трения с вмещающими породами. Поэтому вблизи кровли и почвы в целиках за счет ограничения поперечных деформаций возникают сжимающие горизонтальные напряжения, величина которых сопоставима с действующими вертикальными напряжениями.

Исходя из сказанного выше в работе предлагается использовать процедуру М. Стаматиу, которая базируется на идее о расчете по гипотезе неоднородного распределения напряжений и параболы горного давления, которое концентрируется в потолочине выработки. Для этого в рисунке 1 приведены схема и результаты расчета МКЦ с применением предложенной процедурой.

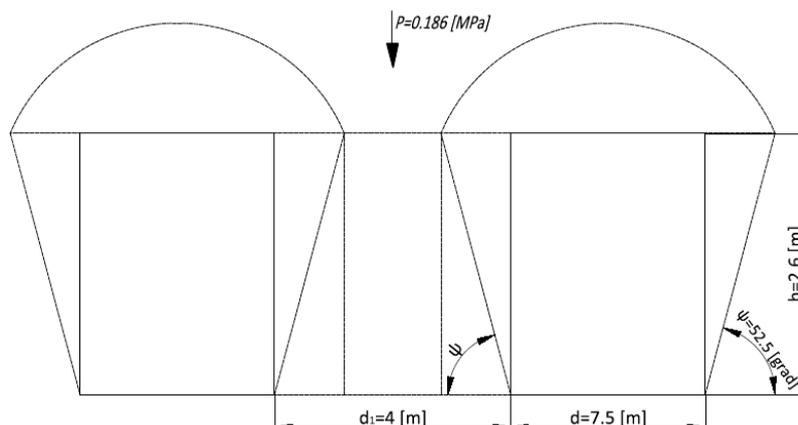


Рис 1. Схема расчета МКЦ методом М. Стаматиу.

Вследствие предложенной схемы [3] применяется следующая формула для расчета МКЦ:

$$d_1 = \left[\left(\frac{P}{\sigma_c} \right) + 2 \operatorname{ctg} \psi \right] \cdot h, \quad [m] \quad (1)$$

где:

$$P = \sum_{i=1}^3 \gamma_i \cdot H_i, \quad [MPa] \quad (2)$$

$$\psi = 45 + \frac{\varphi}{2}, \quad [grad] \quad (3)$$

Для определения ширины целика d_1 , используются следующие полученные результаты по формулам (1), (2) и (3):

Горное давление, которое влияет на горизонтальное сечение целика, $P=0.186$ МПа;

Соппротивление известняка на одноосное сжатье, $\sigma_c = 3.5$ МПа;

Угол внутреннего трения известняка, $\varphi = 15^\circ$;

Угол наклона поверхности скольжения $\psi = 52.5^\circ$;

$$d_1 = \left[\left(\frac{0.186}{3.5} \right) + 2 \operatorname{ctg} (52.5) \right] \cdot 2.6 = 3.9 \cong 4.0 \text{ м}$$

Принимаем величину МКЦ, $h = 2.6$ м, $d_1 = 4.0$ м, из этого исходит, что $h/d=0.65 < 2.0$.

Ориентируясь по размерам МКЦ и по принципу Сен – Венана о распределении напряжении в центральной по высоте части целика, выходит что вертикальные напряжения должны распределяться по сечению неравномерно.

4. Оценка состояния МКЦ с использованием МКЭ

После получения величины МКЦ, для определения напряжений в целике было использовано численное программное обеспечение ABAQUS 6.12. Для того чтобы получить более точные результаты вычисления, было смоделировано геологическое сечение по геологоразведочным скважинам 331, 333, 334, 125, 335, из геологоразведочного отчета Кишиневского I месторождения [5], после которой использовалась принятая схема расчета полученная после применения процедуры М. Стаматиу. Данные о физико-механических свойств полезного ископаемого (известняк) и вскрышных горных пород, были использованы из отчетов с результатами лабораторных исследований по первому Кишиневскому месторождению.

Глубина подземных выработок составляет ≈ 100 м, ширина разработанных камер 7,5м. В качестве нагрузки на МКЦ была использована гравитационная сила горных пород, полученная с модели геологического сечения. Для раздела граничных условий, по левой и правой вертикальной границе принята шарнирно-мобильная жесткость, а в нижней горизонтальной части сечения принята блокировочная жесткость. Для разделения расчетной модели на конечные элементы были использованы элементы типа CPS4R и CPS3, для более точных результатов о напряжениях, вблизи горных выработок построена равномерно распределенная сетка, по мере отдаления от равномерной сетки, по простиранию оставшейся поверхности расчетной схемы, используется свободная сетка деления. В результате, для расчета используются 158471 элементов и 158596 узлов.

Для оценки несущей способности целика очень важно знать предел прочности целика, если рассуждать иначе, и не брать в счет МКЦ как неоднородное тело, можно сказать что предел прочности целика может наступить в момент, когда вертикальные напряжения в МКЦ будут превышать величину прочности на сжатия известняковых проб, которая обычно определяется в лабораторных условиях, или $\sigma_c > [(\sigma_{11}^{max}, \sigma_{22}^{max})]$.

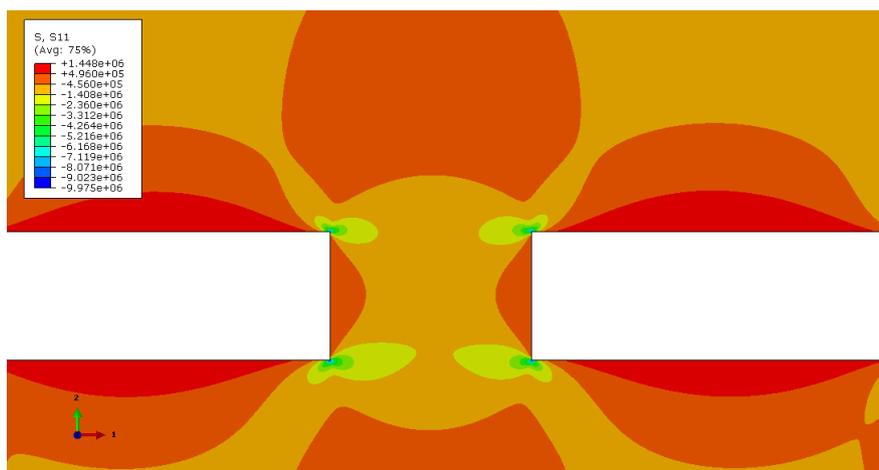


Рис 2. Поля напряжений σ_{11} в МКЦ.

Исходя из выше сказанного, и результатов, которые были полученные с помощью численного программного обеспечения ABAQUS 6.12, можно очень четко оценить, как распределяются вертикальные напряжения внутри целика. По полученным результатам видно что от середины целика до верхней его части, концентрация напряжений увеличивается, это говорит о форме возможного разрушения МКЦ, в этой части целика величина напряжений колеблется в пределах: $\sigma_{11}^{max} = 1.448$ МПа, $\sigma_{22}^{min} = -16,070$ МПа и $\sigma_{22}^{max} = 0.190$ МПа.

Анализируя касательные напряжения очень хорошо можно заметить, что концентрация разрушительных сил в углах МКЦ меньше чем в случае нормальных напряжений почти в два раза.

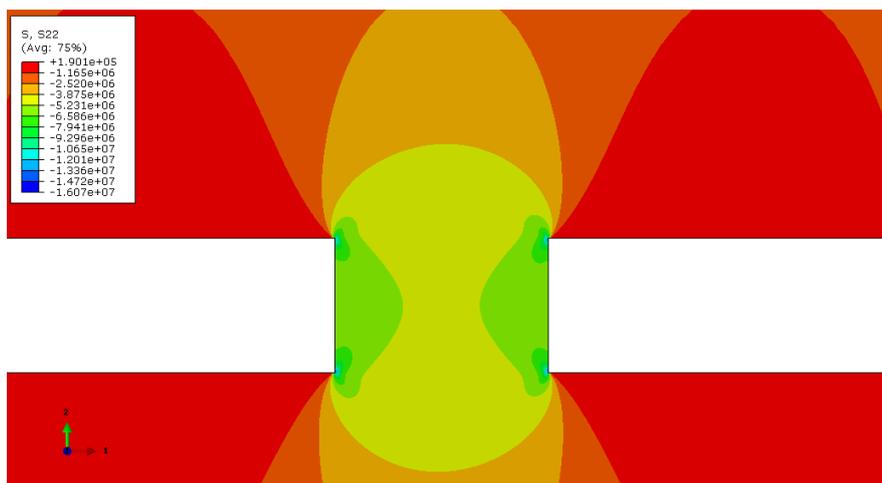


Рис 3. Поля напряжений σ_{22} в МКЦ.

Выводы

Анализируя то как распределяются напряжения в целике и вокруг выработок, можно сказать что принцип Сен – Венана оправдан исходя из того что и ширина целика больше чем его высота. Изучая карту полей напряжений можно предположить, что неравномерность распределения напряжений в МКЦ может зависеть и от того как распределена вертикальная нагрузка на целик, которая зависит от литологической структуры горного массива, даже несмотря на то что целик был изучен как однородное упругое тело.

Исходя из оценки результатов заметно, что в местах, где могут появиться дислокации, которые приводят к разрушению МКЦ, нормальные вертикальные напряжения больше чем сопротивление на сжатие материала МКЦ, то что и характеризует наибольшее их влияния на состояние целика. Так как в расчетной схеме численного программного обеспечения ABAQUS 6.12 небыли использованы такие свойства как угол внутреннего трения и сцепления матерьяла, возможно, что это тоже влияет на состояние МКЦ. Естественно, что здесь невозможно не затронуть и пластическое состояние тело, над которым предстоит дальнейшая работа.

Литература

1. BRAJA M. Das: Advanced Soil Mechanics, 3rd Ed. Taylor&Francis, New York 2008.
2. DAVIS R.O., SELVADURAI A.P.S.: Plasticity and Geomechanics, Cambridge Univ. Press 2002.
3. MORARU Gh., BÂRCĂ M.: Darea de seamă la contractul nr. 4-99-c, Tema: „Studiul privind stabilitatea suprafeței terestre în sectorul Râșcani amplasată în zona abatajelor minei Chișinău”, Chișinău 1999.
4. POPESCU Al., TODORESCU A.: Mecanica rocilor în minerit. Editura Tehnică, București 1982.
5. Proiect de lucru Nr. 2904, Obiectul: Exploatarea blocurilor BI și B XI zăcămintul Chișinău I de calcar poros, S.A. Institutul „INMACOMPROIECT”, Chșinău 1996.
6. Raportul de explorare a zăcămintului Chișinău I de calcar poros, în blocul B XI, Cartea I, Ministerul Industrii Materialelor de Construcții, Partidul de explorări „MOLDGEOSTROM”, Chișinău 1989.
7. SM 252 :2004 „Pietre și blocuri pentru pereți tăiate din roci”, Ediție oficială, Departamentul „Moldova-Standard,, Chișinău 2004.
8. TODORESCU A.: Proprietățile rocilor. Editura Tehnică, București 1985.
9. БОРИСОВ А.А.: „Механика горных пород и массивов”, МОСКВА «НЕДРА» 1980
10. ГОЛИК В.И., Исмаилов Т.Т.: Управление состоянием массива. Издательство « Мир горной книги», Москва 2008.
11. МАКАРОВ А.Б.: Практическая геомеханика. Издательство «Горная книга», Москва 2006.
12. ZIENKIEWICZ O.C., Taylor R.L.: The Finite Element Method, 5th Ed. Oxford 2000.
13. WU H.C.: Continuum Mechanics and Plasticity. Chapman&Hall/CRC, Boca Raton 2005.
14. YU H.-S.: Plasticity and Geotechnics. Springer 2006.
15. ABAQUS Analysis User’s Manual, Ver. 6.12. Dassault Systèmes, 2012.