

М.М. Касьян, О.К. Носач, М.О. Лященко

МОДЕЛЮВАННЯ НАПРУЖЕНОГО СТАНУ МІЖКАМЕРНИХ ЦІЛИКІВ АРТЕМІВСЬКОГО РОДОВИЩА КАМ'ЯНОЇ СОЛІ

Змодельовано напружений стан міжкамерних ціликів Артемівського родовища кам'яної солі залежно від ширини останніх із застосуванням методу скінченних елементів.

МОДЕЛИРОВАНИЕ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ МЕЖДУКАМЕРНЫХ ЦЕЛИКОВ АРТЕМОВСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ КАМЕННОЙ СОЛИ

Смоделировано напряженное состояние междукамерных целиков Артемовского месторождения каменной соли в зависимости от ширины последних с использованием метода конечных элементов.

STRESS STATE SIMULATION OF INTERCHAMBER PILLARS OF ARTEMIVSK SALT DEPOSITS

The stress-strain state of interchamber pillars of Artemivsk rock salt deposit depending on width one and using finite elements method is simulated.

ВСТУП

Останнім часом при моделюванні геомеханічних процесів у гірському масиві використовують аналітичні та чисельні методи моделювання [1 – 4]. Перші базуються на математичних методах розв'язання крайових задач простими геометричними формами тіл і схем навантаження. Чисельні методи – не обмежені ні формою тіл, ні способом програми навантаження. Метод скінченних елементів (МСЕ) в даний час є стандартом при розв'язанні задач механіки твердого тіла, який враховує властивості гірських порід на основі будь-якої теорії міцності.

При моделюванні напруженого стану міжкамерних ціликів було поставлено за мету визначення необхідного розміру цілика при еліпсоїдній формі камери. Завдання

моделювання – покрокове вирішення низки завдань з розмірами ціликів від 20 до 6 метрів. Критерієм оцінки напруженого стану в ціликах прийняті головні мінімальні (стискаючі) напруження. За роботу була прийнята перша теорія міцності.

Згідно з даними геологічної служби ДП «Артемсіль» межа міцності солі на одноосьовий стиск складає 24 МПа. Враховуючи термін служби камери та реологічні процеси було прийнято рішення ввести коефіцієнт запасу 20%. Таким чином, межа стискаючих напружень дорівнює 19,23 МПа. Оцінка проводилась також за коефіцієнтом вилучення солі.

РЕЗУЛЬТАТИ МОДЕЛЮВАННЯ

Математичне моделювання за допомогою МСЕ було реалізовано у програмному

комплексі ANSYS. Задача вирішувалась в об'ємній постановці в масштабі 1:1, товщина моделі 10 м.

Модель об'ємна розрахункова звичайно-елементна з розбивкою на вузли (рис. 1).

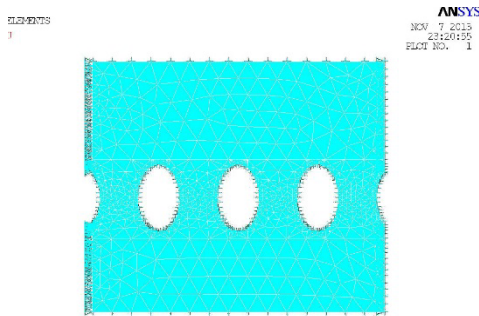


Рис. 1. Розрахункова модель

Моделювалась відробка пласта кам'яної солі Брянецький потужністю 32,5 м. Покрівля – шари ангідриту, мергелю, глинистого сланцю загальною потужністю 40 м – задавалась властивостями ангідриту. Підшова – шари доломіту, ангідриту, мергелю потужністю 30 м, властивості якої задавалися властивостями ангідриту. Спрощення властивостей покрівлі та підшови допускають тим, що найбільший інтерес викликають процеси деформації та руйнування пласта солі, що вміщує очисні камери. Глибина залягання пласта 300 м. Розміри моделі за простяганням – 118,5 м.

Найбільш небезпечний стан у цілику – на контурі камери, де виникають мінімальні головні напруження σ_3 . На картинах розподілу напружень і графіках $S_3 = \sigma_3$ – мінімальні (стискаючі) головні напруження, Па.

Як базовий варіант була розглянута традиційна схема для рудника – прямокутні камери розміром 25×17 м, міжкамерний цілик 22,5 м. Коефіцієнт вилучення 0,33. Розподіл мінімальних головних напружень наведено на рис. 2.

Максимальні стискаючі напруження виникають у нижніх кутах камер і досягають 26,8 МПа (рис. 3)

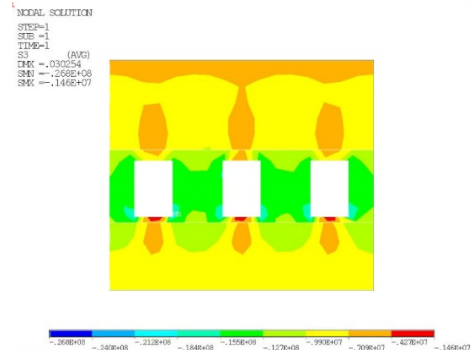


Рис. 2. Розподіл мінімальних головних напружень навколо камер прямокутної форми

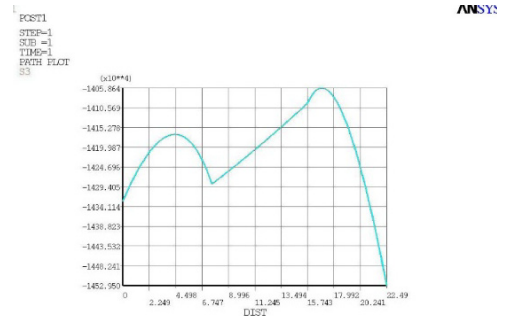


Рис. 3. Графік розподілу напружень у цілику

У цих ділянках буде відбуватися руйнування, бо межа міцності на одноосьовий стиск перевищена на 8%. По центральній осі цілика максимальні стискаючі напруження виникають на контурі середньої камери і складають 14,52 МПа, тобто руйнування цілика не відбувається.

При камерах еліпсоїдної форми моделювання проводилось при розмірах камер 28×17,3 м. Співвідношення висоти і ширини камери відповідають співвідношенню вертикальної та горизонтальної складових напружень у масиві. Ширина міжкамерного цілика 20 м.

У першому варіанті було розглянуто перерозподіл напружень при ширині цілика 20 м. При цьому коефіцієнт вилучення склав 0,27. Розподіл мінімальних головних напружень навколо камер зображено на рис. 4.

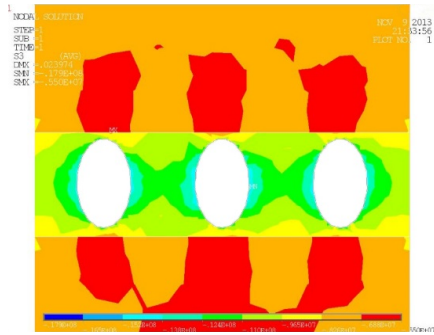


Рис. 4. Розподіл мінімальних головних напружень навколо камер (міжкамерний цілик 20 м)

Максимальні стискаючі напруження виникли на контурі камери по її поздовжній осі, тобто в центрі цілика і досягли

значення 14,4 МПа (рис. 5). В цих ділянках не буде відбуватися руйнування, бо межа міцності на одноосовий стиск не перевищена. По центру цілика мінімальні напруження складають 11,5 МПа.

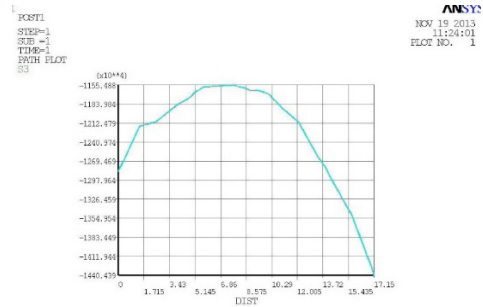


Рис. 5. Графік розподілу напружень у цілику

РЕЗУЛЬТАТИ РОЗПОДІЛУ НАПРУЖЕНЬ У ЦІЛИКУ ЗАЛЕЖНО ВІД ЙОГО ШИРИНИ

Таблиця

Форма камери і розміри, м	Ширина між камерного цілика, м	Коефіцієнт вилучення	Межа тривалої міцності, МПа	Межа миттєвої міцності, МПа	Відхилення між тривалою і миттєвою міцністю, МПа (+, -)	Цілик руйнується або ні, що необхідно для збільшення стійкості камери
Прямокутна 25×17	22,5	0,33	19,23	14,52	-4,71	ні
Еліпсоподібна 28×17,5	20	0,27	19,23	14,4	-4,83	ні
	17	0,296	19,23	17,14	-2,09	ні
	15	0,35	19,23	17,19	-2,04	ні
	12	0,40	19,23	18,40	-0,83	ні
	10	0,45	19,23	21,03	+1,80	Так, з часом, необхідно кріплення боків камер
	8	0,49	19,23	23,16	+3,93	Так, через деякий час, кріплення боків зводиться після виїмки камери
	6	0,56	19,23	26,67	+7,44	Так, руйнується миттєво, зберегти стійкість камери неможливо

При подальшому моделюванні ширина цілика складала 17, 15, 12, 10, 8 і 6 м. При цьому коефіцієнт вилучення складав відповідно 0,286; 0,35; 0,4; 0,45; 0,49 і 0,54. Ре-

зультати моделювання наведені в таблиці.

Результати моделювання показали, що зі зменшенням ширини цілика мінімальні стискаючі напруження збільшуються на

контурі камери по її поздовжній осі, тобто в центрі цілика, а величина її змінюється від 14,4 МПа при ширині цілика 20 м до 28,67 МПа при ширині цілика 6 м.

При ширині цілика від 20 до 12 м межа міцності на одноосьовий стиск не перевищувалась. Подальше зменшення ширини цілика від 10 до 6 м призвело до руйнування цілика спочатку за часом (ширина цілика 10 м). Через те, що перевищена тривала міцність, необхідно кріплення боків камери (ширина цілика 10 м), а при ширині цілика 6 м відбувається раптове руйнування цілика. Зберегти стійкість камери неможливо (рис. 6).

Таким чином, аналіз результатів моделювання (рис. 7) свідчить про те, що при розмірах цілика 12 м і більше руйнування його не відбувається і система «камера – цілик» буде стійкою.

При цьому коефіцієнт вилучення складає 0,4, що на 7% вище базового варіанта. При розмірах цілика менше 7 м спостерігається його руйнування відразу після виймання камери.

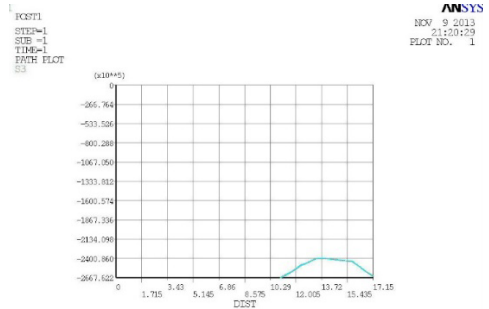


Рис. 6. Графік розподілу напружень в цілику

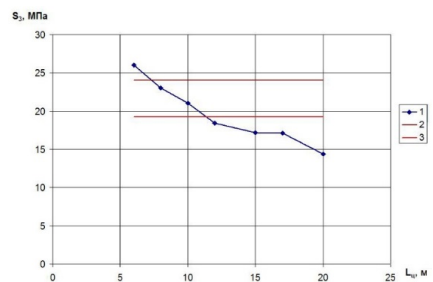


Рис. 7. Графік залежності мінімальних головних напружень S_3 від розміру міжкамерного цілика L_c



СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Уланов А.И. Математическое моделирование геомеханических процессов / А.И. Уланов // Научно-технический вестник Санкт-Петербургского государственного университета информационных технологий, механики и оптики, 2009. – С. 330 – 337.
2. Карасев М.А. Эффективное использование численных методов анализа для решения задач геомеханики / М.А. Карасев // Записки Горного института. – 2010. – Т. 185. – С. 161 – 165.
3. Фадеев А.Б. Метод конечных элементов в геомеханике / А.Б. Фадеев. – М.: Недра, 1987.
4. Рогозин Л.А. Задачи теории упругости и численные методы их решения / Л.А. Рогозин. – СПб.: Изд-во СПбГТУ, 1998.

ПРО АВТОРІВ

Касьян Микола Миколайович – д.т.н., професор, завідувач кафедри розробки родовищ корисних копалин Донецького національного технічного університету.

Носач Олександр Костянтинович – к.т.н., доцент, завідувач кафедри зорробки пластових родовищ Красноармійського індустріального інституту Донецького національного технічного університету.

Лященко Максим Олександрович – асистент кафедри розробки пластових родовищ Красноармійського індустріального інституту Донецького національного технічного університету.