



УДК 622.831.3:004.942

## КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РАЗМЕРОВ МЕЖДУКАМЕРНЫХ ЦЕЛИКОВ НА НАПРЯЖЕНИЯ В КРОВЛЕ КАМЕР

Т.С. Савельева<sup>1</sup>, В.А. Савельев<sup>2</sup>

<sup>1</sup>кандидат технических наук, доцент кафедры основ конструирования механизмов и машин, Государственное высшее учебное заведение «Национальный горный университет», г. Днепропетровск, Украина, E-mail: [ziborov@nmu.org.ua](mailto:ziborov@nmu.org.ua)

<sup>2</sup>старший преподаватель кафедры программного обеспечения компьютерных систем, Государственное высшее учебное заведение «Национальный горный университет», г. Днепропетровск, Украина

**Аннотация.** В работе проведены исследования напряженного состояния пород в кровле камер с использованием метода конечных элементов, достоверность которых подтверждена натурными экспериментами методом частотной разгрузки и звукометрическим методом.

*Ключевые слова:* камеры, междукамерные целики, напряженное состояние пород, достоверность теоретических расчетов.

## COMPUTER SIMULATION OF THE EFFECT OF INTERCHAMBER PILLARS SIZE ON STRESS STATE OF THE CAMERAS ROOF

T.S. Savelyeva<sup>1</sup>, V.A. Savelyev<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Ph.D., Associate Professor of Machinery Design Bases Department, State Higher Educational Institution “National Mining University”, Dnepropetrovsk, Ukraine, E-mail: [ziborov@nmu.org.ua](mailto:ziborov@nmu.org.ua)

<sup>2</sup>Assistant, State Higher Educational Institution “National Mining University”, Dnepropetrovsk, Ukraine

**Abstract.** The paper studied the stress state of rock in the roof of cameras using the finite element method, the accuracy of which is confirmed by physical experiments and sound-frequency discharge method.

*Keywords:* camera interchamber pillars, the stress state of rocks, the accuracy of the theoretical calculations.

**Введение.** Возникающие в настоящее время экологические, энергетические, сырьевые, демографические и продовольственные проблемы тесно связаны с наличием и эффективным использованием земельных ресурсов. Земля это и производительная сила в сельском хозяйстве, и основа для строительства и извлечения минерального сырья. Рост добычи полезных ископаемых влечет за собой увеличение числа полостей в земной коре, которые должны быть также эффективно использованы.



Для того, чтобы специально созданные камеры или вторично используемые могли долгое время служить людям, необходимо оставлять в недрах целики, то есть применять камерную систему разработки. Более 30% руды добывается камерной системой, на рудниках цветной металлургии удельный вес этой системы составляет около 25%. Камерная система разработки характеризуется высокими технико-экономическими показателями [1].

В кровле камер, которые создают при разработке месторождений камерно-столбовой системой, возникают растягивающие напряжения. Оценку прочности кровли камер обычно производят по величине именно этих напряжений, так как сжимающие на контуре кровли приближаются к нулю и не могут явиться причиной разрушения конструкции. Разрушение выработки может произойти в целиках под действием высоких сжимающих и касательных напряжений. Концентрацию касательных напряжений в углах сечения снижают путем закругления углов.

В связи со сложностью задачи о напряженно-деформированном состоянии пород вокруг выработок, неравномерностью распределения напряжений вокруг них, нельзя исследовать на прочность кровлю и целики, используя упрощенные методы сопротивления материалов. В настоящее время для расчетов напряжений в подземных конструкциях широко используется метод конечных элементов [2]. Для его использования важным вопросом является подтверждение достоверности теоретических расчетов, выполняемых этим методом.

**Цель работы.** Целью исследований данной работы является компьютерное моделирование напряженного состояния в кровле камер в зависимости от ширины целиков методом конечных элементов и проверка достоверности теоретических расчетов натурными исследованиями.

**Материал и результаты исследований.** Известно, что напряжения в целиках зависят от высоты целиков при отношении высоты к ширине не более двух [3]. Следовательно, в расчетах на прочность камер можно не учитывать высоту целиков, если выполняется условие, что высота  $H$  и ширина целиков  $b$  соотносятся как  $H/b > 2$ . Важное практическое значение имеют также выводы о том, что увеличение высоты камер относительно ее ширины не вызывает изменения напряжений вокруг них [1, 4]. У выработки большой высоты, в кровле растягивающие напряжения приближаются к нулю, а в стенках нет концентрации напряжений.

В данной работе с помощью компьютерного моделирования проведены исследования влияния ширины междукамерных целиков на напряжения в кровле камер. Использован метод конечных элементов. Расчетная схема представлена невесомой пластиной, ослабленной рядом прямо-



угольных отверстий. В периодически повторяющейся части расчетной схемы гравитационные силы представлены сосредоточенными силами в узлах конечных элементов, находящихся на горизонтальной границе полуплоскости. Вертикальные границы закреплены, и перемещение их исключено. В результате вычислений определяются значения напряжений в центре тяжести каждого элемента.

Исследования проводились для условий гипсовых рудников. Напряжения в кровле камер определены при ширине целиков  $b = 1, 3, 5, 8, 10$  и  $12$  м. Анализ значений  $\sigma_x$  в кровле камеры, позволяет судить о влиянии ширины целиков на напряжения в центре пролета. Результаты исследований показали тенденцию роста растягивающих напряжений в кровле камеры с уменьшением междукamerных целиков. Кроме того, хорошо прослеживается переход сжимающих напряжений в растягивающие для каждого из рассмотренных вариантов исследований. Результаты представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Растягивающие напряжения  $\sigma_x$  в кровле камеры в зависимости от ширины междукamerных целиков

Ширина целиков, м	1	3	5	8	10	12
Пролет камеры, м	8	8	8	8	8	8
Напряжения $\sigma_x$ в центре пролета камеры, $10^4$ Па	92,7	83,3	73,5	73,0	72,5	72,0
Напряжения $\sigma_x$ , %	100	90	79,2	78,7	78,2	77,7
Отношение ширины целика к пролету камеры.	0,13	0,38	0,63	1,0	1,25	1,5

Для подтверждения теоретических расчетов использовались методы натуральных измерений: частотной разгрузки и звукометрический. Измерение напряжений в целиках производили в условиях гипсового рудника. Среднее значение напряжения в целике, полученные методом частотной разгрузки, составили  $32,4 \cdot 10^4$  Па. Для этих же условий расчетные напряжения в целике по методу конечных элементов -  $30,4 \cdot 10^4$  Па. Расхождение между полученными теоретическими расчетами и натурными экспериментами не превышает 10%, что вполне допустимо.

По оценке звукоактивности целиков звукометрическим методом произведено ряд опытов в лабораторных условиях. Проведены исследования звукоактивности образцов гипса. Звукоактивность определяли с помощью звукового индикатора разрушения ЗИР-1. Эти опыты показали, что фактические напряжения в целиках, полученные звукометрическим методом,



соответствуют расчетным. Проведенные исследования показали достоверность результатов расчетов методом конечных элементов.

**Вывод.** Проведенные исследования показали, что ширина целиков  $b$  оказывает существенное влияние на напряжения в кровле камер только в том случае, если целик значительно меньше пролета камеры  $a$ . Это влияние сказывается только в том случае, когда  $b/a < 0,6$ . В практике рудников отношение  $b/a < 0,4$  не встречается. При таком отношении напряжения в кровле серии камер на 12-15% больше чем у одиночной камеры. Эта величина лежит в пределах точности подобных расчетов. Следовательно, в расчетах на прочность пролетов серии камер можно использовать данные о напряжениях, возникающих в кровле одиночной камеры, находящейся в аналогичных условиях, либо внести соответствующие поправки в эти расчеты в соответствии с данными исследований.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Борисенко С.Г. Технология подземной разработки рудных месторождений: учеб. для вузов / С.Г. Борисенко. – К.: Вища школа, 1987. – 262 с.
2. Зенкевич О.К. Метод конечных элементов в теории сооружений и в механике сплошных сред / О.К. Зенкевич, И.К. Ченг. – М.: Недра, 1974. – 230 с.
3. Хмарский В.В. Выбор рациональной высоты камер при разработке мощных крутых рудных месторождений / Хмарский В.В. // Автореферат кандидатской диссертации. – Днепропетровск, 1981. – 20 с.
4. Борисенко С.Г. Расчет междукамерных целиков на устойчивость / С.Г. Борисенко, В.В. Хмарский // Горный журнал. – М., 1978. – № 10. – С. 21 – 25.

УДК 681.518.25

## ДОСЛІДЖЕННЯ ВІДСТАНІ КУЛЬБАКА-ЛЕЙБЛЕРА У ЗАДАЧАХ МОДЕЛЮВАННЯ У КРЕДИТНОМУ СКОРИНГУ

О.М. Солошенко<sup>1</sup>

<sup>1</sup>аспірант, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», м. Київ, Україна, e-mail: [soloshenko\\_s@ukr.net](mailto:soloshenko_s@ukr.net)

**Анотація.** В роботі проведено теоретичне дослідження пошуку взаємозв'язку класичної відстані Кульбака-Лейблера та загальноприйнятих статистичних показників, що відображають щонайменше два напрямки практичного застосування у задачах бінарної класифікації, зокрема у задачах кредитного скорингу. Наведено особливості включення відстані Кульбака-Лейблера у розрахунок ключових індикаторів кредитного скорингу.

*Ключові слова:* відстань Кульбака-Лейблера, похідна Радона-Нікодима, ентропія, кредитний скоринг, скорингова карта, значення інформації, індекс стабільності популяції.

