

Ю.Б. Хорохонов**ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ
ЭЛЕМЕНТОВ ПОДЗЕМНОЙ ГЕОТЕХНОЛОГИИ
В СРЕДЕ MSC NASTRAN**

Рассмотрены особенности проектирования элементов подземной геотехнологии с учетом напряженно-деформированного состояния горных массивов в среде MSC Nastran for Windows. Алгоритмы оптимизации позволяют исследовать влияние различных параметров на поведение целевой функции и управлять процессом поиска оптимального решения. Дан пример геометрической модели очистного блока для варианта камерно-столбовой системы разработки. Моделирование выполнено на базе горно-графической документации действующего рудника. С учетом данных особенностей определены параметры напряженно-деформированного состояния системы «порода кровли – целик» в варианте решения плоской задачи для упруго-пластического материала и спрогнозирован объем возможных обрушений пород из кровли очистных камер.

Ключевые слова: подземная геотехнология, проектирование, метод конечных элементов, горный массив, зоны горного давления.

Качество ведения горных работ определяется уровнем их технического обеспечения.

Исследования выполнены в ГОУ ПВО «Иркутский государственный технический университет» при финансовой поддержке ОАО «Бурятзолото» и ООО «Старательская артель «Кварц» [1–3]. Рассмотрены особенности проектирования элементов подземной геотехнологии с учетом напряженно-деформированного состояния горных массивов. Использован метод конечных элементов, реализованный в современной версии MSC Nastran for Windows. Он сочетает в себе мощные аналитические возможности процессора системы и относительную легкость работы с графическим интерфейсом Windows. Система включает препроцессорный, процессорный и постпроцессорный блоки.

Препроцессорный блок формирует геометрические модели, задает свойства используемых материалов, конечных элементов и вариантов граничных условий и внешнего воздей-

ствия различной природы, генерирует конечно-элементную сетку. На данном этапе допускается использование других CAD – совместимых продуктов (форматы DXF, IGES, ACIS, Parasolid и др.).

Конечно-элементные сетки (КЭС) пользователь формирует вручную на основе указанных опорных точек или авторазбиением (для сложных частей геометрической модели). Пользователь задает или выбирает из библиотек необходимые для проведения анализа характеристики материала или сечений материала, включая горные породы, руды, а также простые и сложные композиты. Ряд внешних факторов, оказывающих влияние на конструкцию или систему, учитывают набором способов нагрузки и закрепления конечно-элементной модели. Положительной является возможность системы работать с готовыми уже апробированными конечно-элементными моделями.

На всех этапах моделирования предусмотрены возможности отме-

ны (undo) и выполнения отмененной команды (redo) на любом уровне исполнения; расширяет возможности пользователя также встроенная в препроцессор справочная система и обеспечивается предварительное тестирование модели посредством обратной с пользователем. Она исключает ошибки при совпадении геометрических объектов или при неправильном соединении элементов. Она же обеспечивает промежуточные расчеты массовых и инерционных параметров и оценку условий закрепления модели. Этим выявляются потенциальные ошибки и сокращаются временные и материальные затраты. Завершает стадию формирования модели препроцессорный блок. Он выполняет пробный анализ точности, скорости и достоверности решений.

Ядро системы (процессорный блок) решает глобальную систему дифференциальных уравнений рассматриваемого физического процесса методом конечных элементов (МКЭ). Определяются параметры полей неизвестной величины в узловых точках конечно-элементной модели объекта; а относительно их – другие зависимые величины. Например, при решении задач прочности в качестве базового неизвестного используется вектор перемещения, на основе которого, в последующем, определяются вектора деформаций, напряжений и др.

Постпроцессорный блок визуализирует результаты счета. Здесь используется цветовая палитра в зависимости от интенсивности распределения изучаемых параметров. Например, при расчете объектов на прочность, отражаются значения векторов перемещений, деформаций, напряжений, сил, моментов и др. Ценным является особенность его настраиваться на любой тип решаемой задачи в зависимости от физики рассматриваемого процесса.

Блок можно использовать в задачах оптимизации с ограничениями либо вернуться в структуры препроцессорного блока и повторить расчет, то есть оценить влияние вносимых изменений для доводки проектируемого изделия. Оптимизацию проектов может проводиться одновременно, то есть путем вариации параметров формы, размеров и свойств объектов, обрабатывая неограниченное число проектных характеристик и ограничений.

Алгоритмы анализа при оптимизации позволяют исследовать влияние различных параметров на поведение целевой функции и управлять процессом поиска оптимального решения. Кроме того, целевые параметры и ограничения могут быть определены пользователем в виде функциональных зависимостей расчетных и экспериментальных данных, что позволяет получать модификацию модели в соответствии с данными испытаний, то есть провести идентификацию модели и объекта в автоматическом режиме.

Использовано техническое обеспечение кафедры самолетостроения ИрГТУ.

Геометрическая модель представляет собой в сечении по простиранию залежи три симметрично расположенных целика размером 2х2 м, отстоящих друг от друга на расстоянии 6 м. Высота целиков 2 м (рис. 1). Размер конечно-элементной сетки – 0,5 м.

Моделирование выполнено на базе горно-графической документации рудника Бом-Горхон и по материалам изучения физико-технических свойств горного массива в районе экспериментальных работ.

Глубину горных работ определяли по совмещенным планам горных работ и земной поверхности; параметры выемочной единицы – по соответствующей блоковой карте. Прочностные характеристики пород кровли уста-

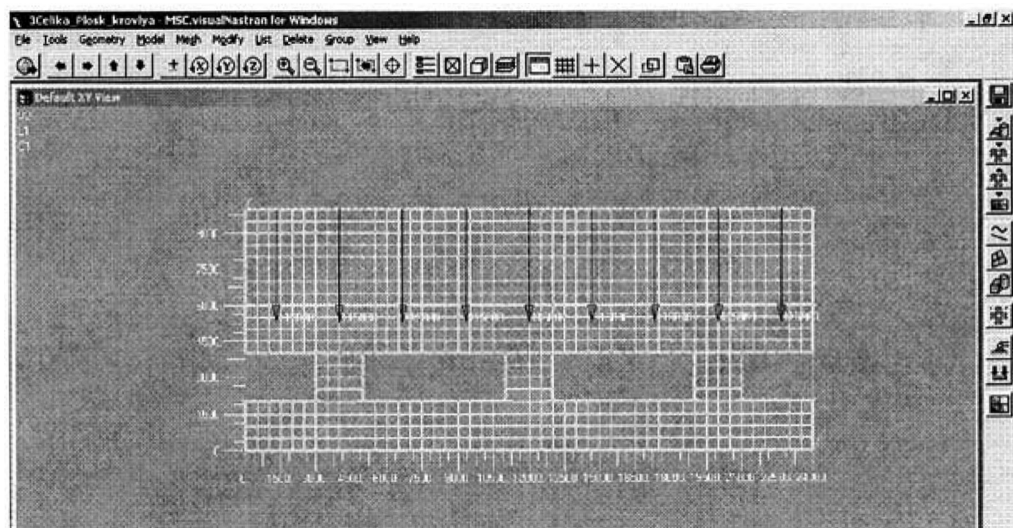


Рис. 1. Геометрическая модель камерно-столбовой системы разработки

новлены способом пенетрации массива, а их трещиноватость – по специальным замерам [1, 2]. Полевыми исследованиями установлены основные физико-механические характеристики вмещающих пород (гранитоиды): плотность – 2,7 т/м³; модуль упругости – 11,5 ГПа; модуль деформируемости – 14,0 ГПа; коэффициент Пуассона – 0,23; прочность в условиях одноосного сжатия – 160 МПа, в условиях одноосного растяжения – 10 МПа.

Параметры напряженно-деформированного состояния системы «порода кровли – целик» определены расчетами в варианте решения плоской задачи для упруго-пластического материала. Вектор результатов визуализирован диаграммой (рис. 2) в категориях «Перемещение узла по оси «У» и «Средние напряжения в верхних волокнах пластины».

Визуализация подтверждает существование областей как растягивающих (в кровле и почве очистных камер), так и сжимающих (в целиках и вокруг них) напряжений. Цветовая палитра позволяет оценить величину

напряжений и деформаций. Так, вокруг очистных выработок и в целиках напряжения достигают 1,6 до – 14,5 МПа, а в центре пролета расчетные деформации могут достичь: 9 мм кровле камеры. В почве они практически отсутствуют (0,02 мм). Расчетные напряжения в центре пролета составляют: в кровле камеры 1,6 МПа; в ее почве – 0,2 МПа.

Эквивалентные напряжения в кровле камеры не превышают 3,2 МПа и обеспечат значения коэффициента запаса прочности пород кровли в допустимых [2] пределах, т.е. $N_k = 10 / 3,2 = 3,12$ на контуре камеры. Наибольшая концентрация сжимающих напряжений приурочена к углам очистных камер, в которых эквивалентные напряжения не превысят 20 МПа, т.е. коэффициент запаса прочности в целиках достигнет $N_{ц} = 160 / 20 = 8$ на контуре целика, что также допустимо.

Отдельного внимания заслуживает выявленная картина распределения напряжений в кровле очистных камер. Изостаты растягивающих напряжений симметричны относительно

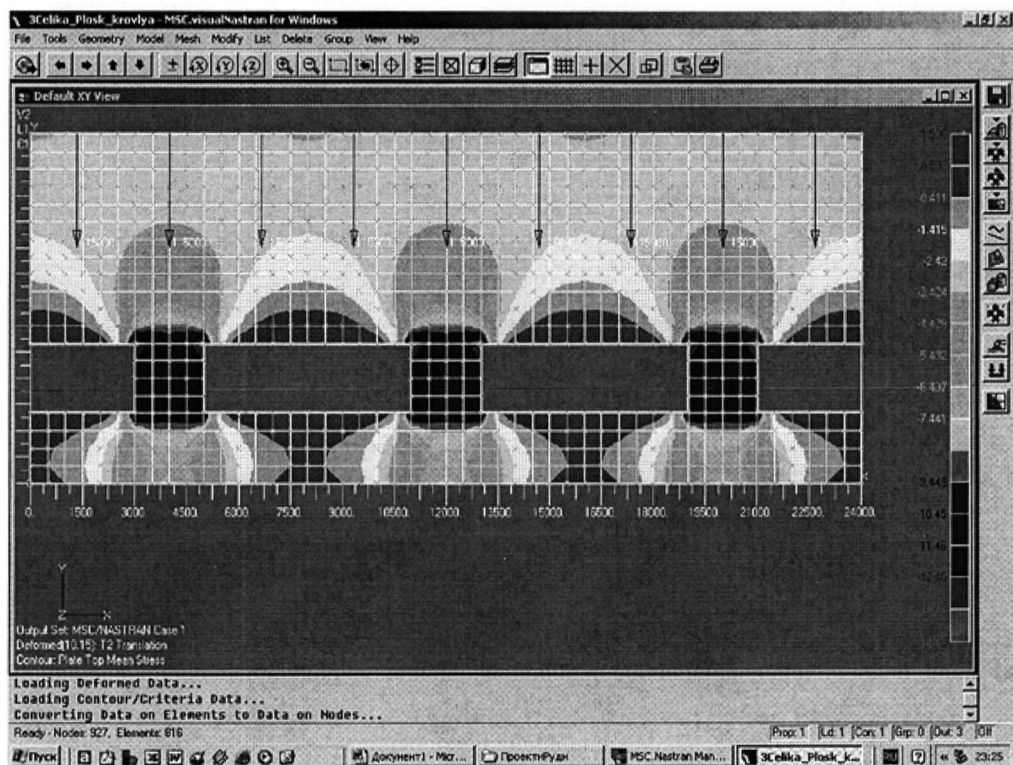


Рис. 2. Вектор решения задачи о напряженно-деформированном состоянии целиков камерно-столбовой системы разработки месторождения Бом-Горхон

но продольной их оси, имеют форму параболоидов и прослеживаются на глубину до 1 м в центральной части, убывая к бортам камер. Форма параболоида предопределяет размеры возможных обрушений пород из кровли очистных камер, если предельные напряжения будут достигнуты.

Таким образом:

1. Элементы подземной технологии могут быть эффективно спроектированы и оценены в системе MSC Nastran for Windows.

2. Процессор системы обеспечивает получение достаточного спектра полезных для производства результатов. В данном случае подтверждена правомерность оставления целиком с

указанными в геометрической модели размерами.

3. Модель Бом-Горхонском месторождении может быть использована для обоснования безопасных параметров выемочных единиц в других эксплуатационных блоках. Поправки вводят только на глубину горных работ и компоненты вертикальных и горизонтальных сил. Последние уточняют экспериментально.

4. Предельные деформации, полученные в результате моделирования, могут быть использованы для обоснования инструментария маркшейдерских работ и для учета поправок на глубину и конфигурацию зон горного давления.

1. Хорохонов Ю.Б. Оценка устойчивости опорных целиков Ирокиндинского месторождения / Современные технологии освоения минеральных ресурсов. Выпуск 3. – Красноярск, 2005. – С. 246–251.

2. Хорохонов Ю.Б., Кудрявцев А.А. Моделирование напряженно-деформированного состояния элементов камерно-столбовой системы разработки / Современные техноло-

гии освоения минеральных ресурсов. Выпуск 5. – Красноярск, 2007. – С. 137–141.

3. Хорохонов Ю.Б., Волохов А.В. Элементы системы контроля за движением горного массива на руднике Бом-Горхон / Современные технологии освоения минеральных ресурсов. Выпуск 6. – Красноярск, 2008. – С. 188–198. **ТИАБ**

КОРОТКО ОБ АВТОРЕ

Хорохонов Юрий Борисович – профессор, e-mail: Horohonov@istu.edu, Иркутский государственный технический университет.

UDC 622.272:004

FEATURES OF THE DESIGN ELEMENTS OF THE UNDERGROUND GEOTECHNOLOGY IN THE LIGHT OF THE STRESS-STRAIN STATE OF MOUNTAIN RANGES IN THE MSC NASTRAN FOR WINDOWS

Khorokhonov Yu.B., Professor, e-mail: Horohonov@istu.edu, Irkutsk State Technical University, Irkutsk, Russia.

Optimization algorithms make it possible to study the influence of various parameters on the behavior of the target function and manage the process of finding the optimal solutions. An example of geometric model purification unit for the version of room-and-pillar system development. Modeling done on the basis of mining and graphic documentation of existing mines. In view of these features define the parameters of stress-strain state of «rock roof-pillar» alternative solutions in a plane problem for the elastic-plastic material and predict the amount of obrusheny rocks from the roof of cleaning the cells.

Key words: underground Geotechnology, design, finite element method, mining massif, mining pressure zone.

REFERENCES

1. Khorokhonov Yu.B. *Sovremennye tekhnologii osvoeniya mineral'nykh resursov. Vypusk 3.* (Modern technologies of mineral resources development, issue 3), Krasnoyarsk, 2005, pp. 246–251.

2. Khorokhonov Yu.B., Kudryavtsev A.A. *Sovremennye tekhnologii osvoeniya mineral'nykh resursov. Vypusk 5* (Modern technologies of mineral resources development, issue 5), Krasnoyarsk, 2007, pp. 137–141.

3. Khorokhonov Yu.B., Volokhov A.V. *Sovremennye tekhnologii osvoeniya mineral'nykh resursov. Vypusk 6* (Modern technologies of mineral resources development, issue 6), Krasnoyarsk, 2008, pp. 188–198.



Хищническое ведение открытых горных работ может превратить Землю в безжизненную пустыню. Будьте осмотрительны.