© С.В. Риб, В.Н. Фрянов, 2015

УДК 622.278

С.В. Риб, В.Н. Фрянов

РАЗРАБОТКА КОМПЛЕКСА ПРОБЛЕМНО-ОРИЕНТИРОВАННЫХ ПРОГРАММ ДЛЯ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ НЕОДНОРОДНЫХ УГОЛЬНЫХ ЦЕЛИКОВ

Обоснована актуальность исследований, направленных на установление закономерностей деформирования неоднородных угольных целиков с целью обеспечения их устойчивости и поддержания охраняемых целиками горных выработок в рабочем состоянии. Представлен алгоритм расчета параметров напряженно-деформированного состояния неоднородных угольных целиков посредством численного моделирования методом конечных элементов. Описывается структура комплекса проблемно-ориентированных программ, предназначенного для двухмерного моделирования геомеханических процессов.

Ключевые слова: массив горных пород, напряженно-деформированное состояние, численное моделирование, метод конечных элементов, неоднородный целик, программный комплекс, деформации, устойчивость, горная выработка, угольный пласт.

В данной работе рассматривается численное моделирование геомеханического состояния неоднородных ленточных целиков, посредством решения дифференциальных уравнений механики анизотропной среды методом конечных элементов (МКЭ) [1]. В настоящее время в СибГИУ разработан пакет программ для расчета напряженно-деформированного состояния (НДС) горных пород широкого класса задач геомеханики. Пакет реализуется с помощью алгоритма и программного обеспечения, разработанных на кафедре геотехнологии и адаптированные для решения поставленных задач. Модифицированный к задачам настоящей работы пакет программ CoalPillar [2] предназначен для моделирования процессов изменения смещений, напряжений и деформаций под влиянием структурной неоднородности пласта, природных полей напряжений и горных выработок в углепородном массиве. Авторские компьютерные программы разработаны на языке Фортран-90 в среде программирования Microsoft Developer Studio. Визуализация и обработка полученных результатов проводится с помощью программы Surfer.

Комплекс проблемно-ориентированных программ CoalPillar, в основе которого заложен сеточный метод конечных элементов, предназначен для двумерного моделирования (2D) геомеханических процессов в углепородном массиве с учетом влияния его слоистости и неоднородного строения в виде породных прослойков, твердых включений, плывунов, дизъюнктивных геологических нарушений и системы взаимовлияющих очистных и подготовительных выработок.

Комплекс состоит из четырех файлов исходных данных и четырех программ.

1) Файл исходных данных Massif.dat предназначен для ввода по стратиграфической геологической колонке мощности и свойств пород и угольных пластов.

2) Программа Convert.for предназначена для первичного формирования файла исходных данных Data.dat, с последующей его корректировкой.

3) Файл исходных данных Data.dat предназначен для ввода совокупности различных горно-геологических и горнотехнических данных в форме матриц. Ввод контура горных выработок, выработанного пространства, скважин, горной крепи, координат вертикальных линий на модели с учетом исследуемых зон.

4) Файл исходных данных Strain предназначен для приложения нагрузки к заданным в соответствии с решаемой задачей вершинам конечных элементов. Это необходимо при учете работы анкеров, секций механизированной крепи.

5) Файл исходных данных Displacements предназначен для ввода экспериментальных смещений пород и элементов крепи для настройки модели (по результатам шахтных измерений или физического моделирования).

6) Программа Discret.for осуществляет дискретизацию исследуемой геометрической модели углепородного массива в несколько этапов с выделением вначале четырехугольных зон с последующим делением их на треугольные конечные элементы.

7) Программа Derivation.for предназначена для расчета смещений, напряжений и деформаций.

8) Программа Parameter.for предназначена для формирования исходных файлов m6.dat и m6.bln, предназначенных для графического представления результатов расчетов в программе Surfer. Возможны следующие варианты результатов расчета параметров НДС: упругое решение нетронутого

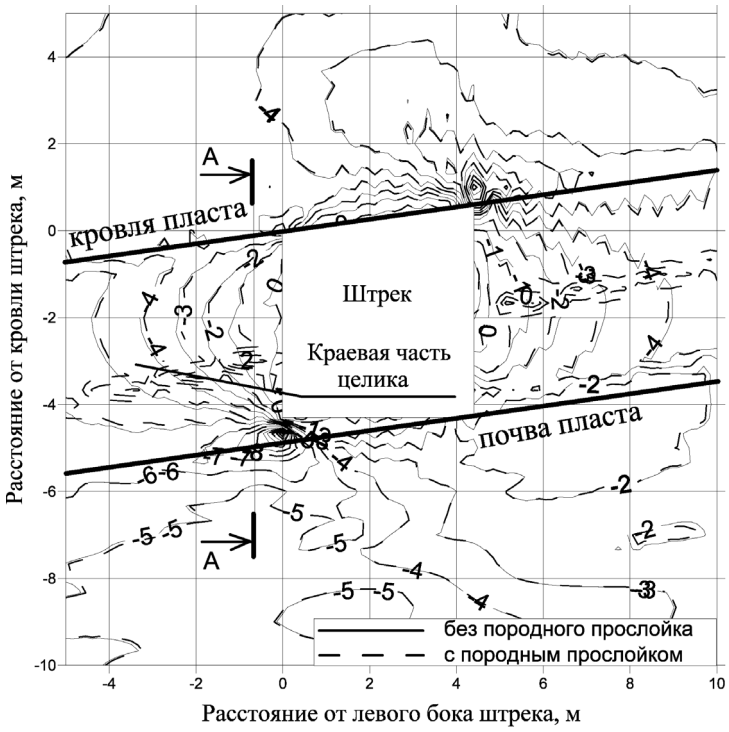


Рис. 1. Изолинии распределения полных горизонтальных напряжений при упругопластическом решении

массива; упругое решение массива с выработкой; упруго-пластическое решение с выработкой; упруго-пластическое решение с выработкой и с учетом времени.

Все программы комплекса запускаются и выполняются в среде Microsoft Developer Studio (MDS) в соответствии с порядком следования этапов работы комплекса.

Для тестирования программного комплекса проведен вычислительный эксперимент при отработке угольного пласта сложного строения в сравнении с пластом простого строения, т.е. с породным прослойком и без него.

Для вычислительного эксперимента использованы горно-геологические условия шахты «Алардинская» в Кузбассе по пласту 3–3а при отработке выемочного участка 3–39. Вынимаемая мощность пласта составляла 4,5 м, полная мощность пласта 5,0 м. Угол падения пласта 12 град.

Угольный пласт мощностью 5 м сложного строения, включает породный прослоек алевролита (мощность 0,3 м) с пределом прочности при сжатии 30 МПа, глубина от земной поверхности до кровли пласта 310 м. По пласту проведена горная выработка шириной 4,5 м, высотой 4,5 м, которая охраняется угольным целиком шириной 30 м от влияния выработанного пространства длиной 210 м.

Для оценки характера распределения напряжений решена двумерная задача теории упругости и пластичности о распределении напряжений в целике и вокруг подготовительной горной выработки при поэтапном переходе горных пород из упругого состояния к нелинейному деформированию с учетом повреждаемости горных пород.

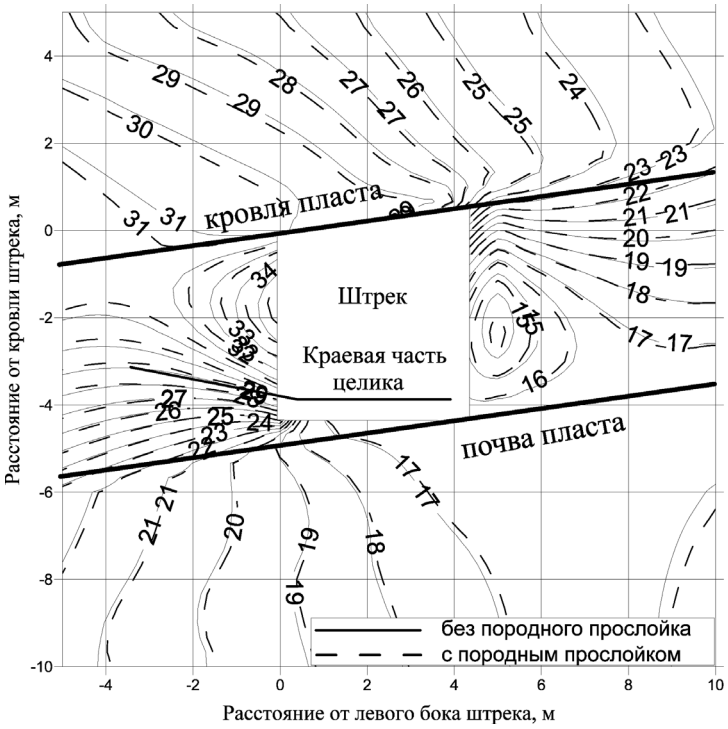


Рис. 2. Изолинии распределения горизонтальных смещений при упругопластическом решении

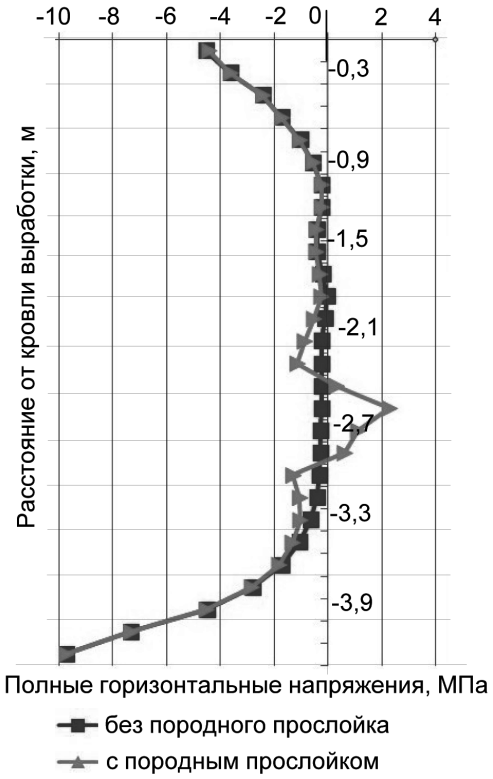


Рис. 3. Характер распределения полных горизонтальных напряжений в целике в зависимости от наличия породного прослойка по сечению А-А (рис. 1)

По результатам упругого решения существенное влияние породного прослойка на НДС целика и подготовительной выработки не выявлено. Установленные отклонения полных вертикальных напряжений в неоднородных целиках от однородных не превышают погрешность численного моделирования.

Качественные отличия обнаружены в распределении полных горизонтальных напряжений при упругопластическом решении задачи (рис. 1) и горизонтальных смещений (рис. 2). Отличие выявлено в краевых участках целика (рис. 3), т.е. в боках выработки и в краевой части пласта со стороны очистного выработанного пространства. Согласно графика рис. 3 в зоне расположения породного прослойка горизонтальные напряжения переходят от сжимающих к растягивающим, что приведет к выдавливанию пород прослойка в горную выработку.

Полученные результаты исследований удовлетворительно совпадают с результатами, приведенными в работе [3].

Таким образом, разработанный комплекс проблемно-ориентированных программ численного моделирования неоднородных целиков методом конечных элементов позволяет выявить влияние породного прослойка в пласте на НДС. Результаты исследований предлагается использовать на стадии разработки паспорта выемочного участка для обоснования параметров крепления и поддержания подготовительных выработок, охраняемых неоднородными угольными целиками.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Фадеев А.Б.* Метод конечных элементов в геомеханике. – М.: Недра, 1987. – 221 с.

2. *Риб С.В., Басов В.В., Никитина А.М., Борзых Д.М.* Численное моделирование геомеханического состояния неоднородных угольных целиков методом конечных элементов / Наукоемкие технологии разработки и использования минеральных ресурсов: сборник научных статей – Новокузнецк, 2014. – С. 123–128.

3. *Артемьев В.Б., Коршунов Г.И., Логинов А.К., Ютяев Е.П., Шик В.М.* Охрана подготовительных выработок целиками на угольных шахтах: Монография. – СПб.: Наука, 2009. – 231 с. ГИАБ

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Риб Сергей Валерьевич – старший преподаватель, e-mail: seregarib@yandex.ru
Фрянов Виктор Николаевич – доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой, e-mail: fryanov@sibsiu.ru,
Сибирский государственный индустриальный университет.

UDC 622.278

DEVELOP A SET OF PROBLEM-ORIENTED PROGRAMS FOR THE NUMERICAL MODELING OF THE STRESS-STRAIN STATE OF HETEROGENEOUS COAL PILLARS

Rib S.V.[1], Senior Lecturer, e-mail: seregarib@yandex.ru,
Frianov V.N.[1], Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of Chair, e-mail: fryanov@sibsiu.ru,
[1] Siberian State Industrial University, 654007, Novokuznetsk, Russia.

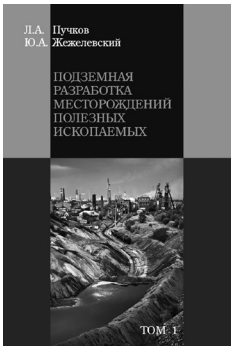
The urgency of research aimed at establishing patterns of inhomogeneous deformation of coal pillars in order to ensure their sustainability for maintaining protected entirely mine workings in working condition. An algorithm for calculating the parameters of the stress-strain state of inhomogeneous coal pillars by means of numerical simulation by finite element method. The structure of the complex problem-oriented program designed for two-dimensional modeling of geomechanical processes.

Key words: rock mass, stress-strain state, numerical modeling, finite element method, heterogeneous pillars, program complex, deformations, stability, working, coal seam.

REFERENCES

1. Fadeev A.B. *Metod konechnykh elementov v geomekhanike* (Finite element method in geomechanics), Moscow, Nedra, 1987, 221 p.
2. Rib S.V., Basov V.V., Nikitina A.M., Borzykh D.M. *Naukoemkie tekhnologii razrabotki i ispol'zovaniya mineral'nykh resursov: sbornik nauchnykh statei Novokuznetsk* (High-technologies of mineral mining and use: Collection of scientific papers), Novokuznetsk, 2014, pp. 123–128.
3. Artem'ev V.B., Korshunov G.I., Loginov A.K., Yutyaev E.P., Shik V.M. *Okhrana podgotovitel'nykh vyrabotok tselikami na ugol'nykh shakhtakh: Monografiya* (Pillar support of excavations in coal mines: Monograph), Saint-Petersburg, Nauka, 2009, 231 p.

НОВИНКИ ИЗДАТЕЛЬСТВА «ГОРНАЯ КНИГА»



Подземная разработка месторождений полезных ископаемых. Том 1
Пучков Л.А., Жежелевский Ю.А.
Год: 2015, второе издание
Страниц: 562
ISBN: 978-5-98672-389-1
UDK: 622.27
На единой теоретической и методической основе изложены вопросы вскрытия, подготовки шахтных полей и системы разработки угольных месторождений, что исключает дублирование материалов и способствует его лучшему усвоению. Обобщен передовой опыт вскрытия и подготовки шахтных полей угольных месторождений в России и за рубежом. Даны основные понятия и объяснение специальных терминов. Приведены методики оптимизации горно-технических параметров, выбора схем вскрытия и подготовки шахтных полей угольных месторождений, принципы конструирования вариантов систем разработки и определения основных параметров. Отдельный раздел посвящен разработке рудных месторождений.