

УДК 622.142.5:004. 94

Ю.М. Игнатов. С.А. Цыганков

МЕТОД ПОСТРОЕНИЯ ЦИФРОВОЙ ГОРНО-ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ СТРОЕНИЯ ГОРНОГО МАССИВА ДЛЯ АНАЛИЗА ЕГО СТРУКТУРЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГИС-ТЕХНОЛОГИИ

Предложен метод построения цифровой горно-геометрической модели горного массива для анализа его структуры и поиска опасных зон, основанный на использовании ГИС-технологии, горно-геометрических данных и цифрового маркшейдерского плана горных выработок.

Ключевые слова: метод, цифровая горно-геометрическая модель, горный массив, информационная технология.

На горных предприятиях Кузнецкого бассейна для повышения эффективности и безопасности работ геолого-маркшейдерской службой с привлечением методов геометрии недр выполняется прогноз горно-геологических условий и прогноз появления внезапных выбросов угля и газа. За последние 10 лет на шахтах Кузбасса произошло более 100 внезапных газодинамических явлений многие, из которых имели катастрофические последствия. Эти явления были вызваны несовершенством существующих методов прогнозов. К настоящему времени широкое распространение получили персональные компьютеры, которые позволяют создать качественно новый уровень решения задач прогноза. Поэтому задачи размещения горно-геометрических данных в цифровые маркшейдерские планы для компьютерного анализа горно-геологических условий и совершенствование методов прогнозирования являются актуальными.

В настоящее время на шахтах Кузнецкого угольного бассейна наиболее

широко применяются компьютеры для оцифровки картографических материалов путем сканирования и последующей векторизации по растровой основе. Инструкция по производству маркшейдерских работ указывает «Пользователи недр могут вести маркшейдерскую документацию в виде графических оригиналов (дубликатов) и цифровых моделей, позволяющих получать графические копии планов и т.д.» [5, п. 401]. Для выполнения векторизации используются наиболее популярные полнофункциональные САПР-пакеты (AutoCAD, MicroStation). Векторизация маркшейдерских планов производится с разделением по слоям в соответствии с нормативами точности горной графической документации. На горных предприятиях используются небольшие специализированные программы, разработанные или купленные для ведения геолого-маркшейдерской документации, оценки запасов и планирования горных работ. Такие области, как геометрия и геомеханика недр пока не обеспечиваются эффективными компьютерными программами.

На кафедре маркшейдерского дела, кадастра и геодезии Кузбасского государственного технического университета ведутся работы по созданию методики построения цифровой горно-геометрической модели пригодной для анализа строения горного массива с помощью ГИС-технологий. В основу модели положен принцип непрерывности геоинформационных полей путем преобразования координатно-привязанных данных по дискретным точкам скважин и точкам опробования при горных работах в непрерывные поля геомеханических характеристик. Для решения данной задачи проводятся экспериментальные и статистические исследования по выявлению закономерностей размещения полей геомеханических характеристик для шахт Кузнецкого угольного бассейна.

В разработанной нами методике за упорядоченную форму хранения и представления информации принят регулярно-ячеистый принцип организации данных [2]. Для описания данных за минимальную единицу площа-ди принимается ячейка правильной геометрической формы, а пространственно-распределенные признаки объектов хранятся в узлах регулярной сетки из ячеек. Значения показателя из точки замера с помощью интерполяции передаются в узлы сетки и хранятся в виде матриц. Изображение результатов осуществляется путем создания слоя покрытия из матрицы с результатами значения показателя в указанных ячейках. Далее координаты этих ячеек экспортируются из приложения вместе с информацией о свойствах горного массива в цифровой план горных выработок. Разработаны схемы генерации координатно-привязанных данных по дискретным точкам скважин и корректирующихся по отработанным участкам в непре-

рывные поля геомеханических ха-рактеристик. Наблюдения и измерения при горных работах в компьютерном варианте реализуются в виде дополнительного пакета цифровых матриц, описывающих более точно изменчивость гипсометрии пласта и устойчивость кровли.

Исследования проведены по ре-зультатам измерений в разведочных скважинах и при горных работах по десяти шахтным полям. Для построения цифровой матрицы использованы следующие методы (линейной интерполяции, по усредненной поверхности, обратного взвешивания, полино-мы, Кrigинг). В геометрии недр уста-новлено, что выбор метода интерпо-ляции производится для каждого отдельного показателя в зависимости от соотношения дисперсий закономер-ной и случайной составляющих. При интерполяции по усредненной по-верхности поверхность вычисляется путем взвешивания внутри круговой области в зависимости от радиуса круга и весовой функции. В методе обратного взвешивания весовые ко-эффициенты от точки оценки до ближайшего замера максимальные, а до всех соседних уменьшаются обратно пропорционально расстоянию, возведенному в степень. Алгоритм Кrigинга включает построение веро-ятностной модели размещения данных и расчет среднего квадратичного от-клонения ошибок определения. При Кrigинге коэффициенты взвешива-ния устанавливаются так, чтобы дис-персия ошибок была наименьшая и используется статистическое расстоя-ния, которое определяется из моде-лей вариограмм, описывающих ло-кальные особенности размещения по-казателя и отражающих анизотропию.

В разработанной методике циф-ровая модель массива представлена как совокупность информационных

слоев в виде оперативных цифровых маркшейдерских планов горных выработок с нанесенными на них матрицами показателей свойств горного массива. Например, таблица «Матрица 1» хранит в базе данных столбцы: «Номер строки» - столбец А; «Координаты» - Х-В; У-С; «Высотная отметка гипсометрии» - Д; «Трещиноватость» - К; «Газоносность» - М; и др. В таблице «Матрица 1» каждая строка соответствует ячейке на плане. Трещиноватость выражают в относительной форме — числом трещин, приходящихся на 1 м расстояния по нормали к трещинам.

Прогнозные цифровые планы составляются по прочностным, упругим и другим механическим свойствам вмещающих пород, по показателю газоносности, по гипсометрии при вычислении в расчетном модуле. Производится вычисление интегральных характеристик. Структура месторождения, при построении цифровой горно-геометрической модели уточняется измерениями при горных работах. Наложение всех оперативных планов в виде отдельных слоев на цифровой план горных выработок дает полную ситуацию по составу и строению горного массива на участке прогнозирования.

Применение методики построения цифровой модели позволило разработать метод поиска опасных зон внезапных выбросов угля и газа. Анализ литературных источников [1] и фактического собранного материала о условиях и последствиях внезапных выбросов по шахтам: Анжерская, Березовская, Бирюлинская, Северная, Центральная, Ягуновская и Первомайская показали, что выбросы происходят при вскрытии горными выработками газодинамических зон. Такие зоны на угольных пластах в плане имеют форму эллипса и размерами

делятся на три типа (250-75, 500-100, 1250-125). Опасными зонами являются участки вблизи тектонических нарушений, так как подвергнутые тектоническому воздействию угли пластов приобретают характерные физико-механические и физико-химические свойства, определяющие возможность развязывания на данном пласте внезапных выбросов. В целом по Кузбассу выявляются текущими замерами газовыделений при проведении горных выработок сотни газодинамических зон. Случившиеся на шахтах Кузбасса газодинамические явления были приурочены к выбро-соопасным зонам.

На проявление выбросоопасности влияют внутрипластовые нарушения – флексуры, тектонические раздувы и пережимы пласта, изменения внешней формы пласта, а также внутрипластовые тектонические образования, для которых не характерны разрывные дислокации и изменения формы пласта. Пликативные дислокации проявляются в виде складок, флексур и мелких изгибов толши пород. Опасность представляет переходный тип нарушений от пликативных к дизъюнктивным – флексурные складки, распространенные на угольных месторождениях, которые можно рассматривать как нереализовавшийся разрыв. Опасные зоны встречаются горными работами в замках антиклиналей с длиной не более 400 м и величиной изгиба, измеряемой отношением высоты складки к ее длине, не меньше 1:50 и синклиналей аналогичной длины с величиной изгиба не менее 1:35.

Таким образом, при разработке методов прогноза границ опасных зон, исходными данными являются горно-геометрические параметры массива, прочностные, упругие и другие механические свойства вмещаю-

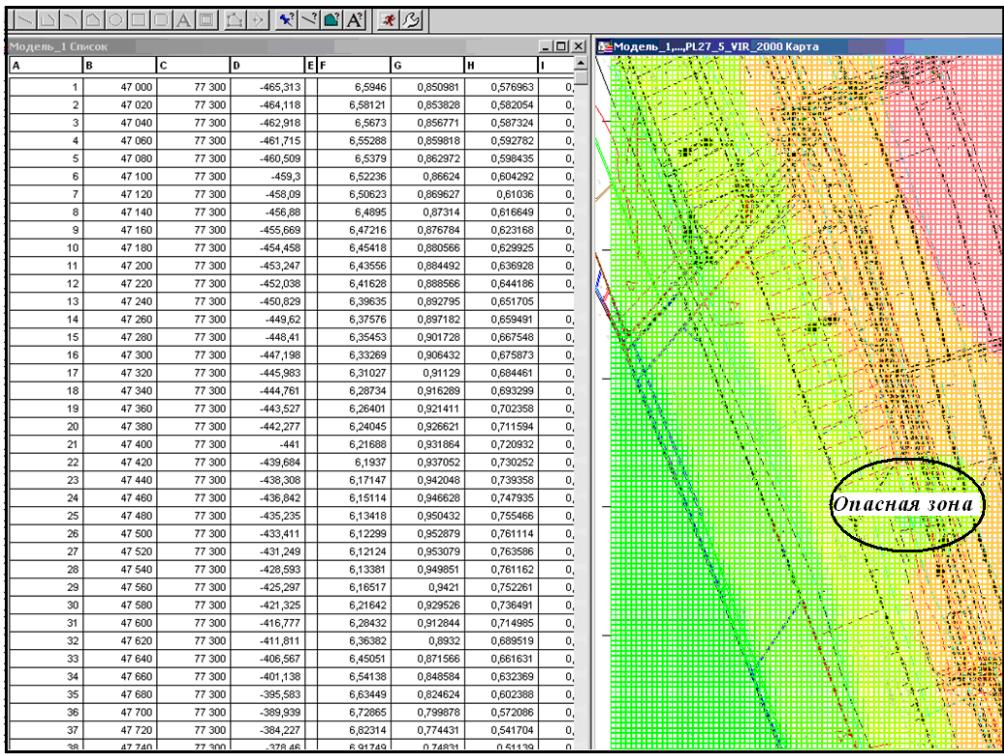
ших пород, газоносность угля и др. Такой информации по горному массиву много, она является пространственно распределенной и должна быть количественно оценена при анализе и цифровом моделировании. Гипсометрическое положение угольных пластов является результатом деформации угленосной толщи под воздействием дислокаций в течение всей тектонической жизни района. Вычисление дифференциальных характеристик поверхностей позволяет выявить закономерности совместного изменения гипсометрии, трещиноватости, устойчивости кровли и газоносности угольных пластов.

В основу нового метода поиска аномальных зон, принято положение, что первым признаком опасных зон являются резкие изменения внешней формы пласта, которые могут быть выявлены при математической обработке и вычислении производных показателей (градиентного поля) гипсометрических планов. Разрабатываемая автором система поиска опасных зон включает алгоритм построения тематических планов и создания запросов с использованием ГИС-технологий. Первый оперативный прогнозный цифровой план в виде матрицы, по высотным точкам нивелирных ходов создается при вычислении на первом этапе. При этом устанавливаются параметры и плановое положение осей вторичной складчатости по методу [3]. Размеры зоны и интенсивность повышенной трещиноватости вдоль осевой линии складки зависит от величины угла складки, который учитывается с помощью радиуса кривизны. Снимаются с плана координаты точек пересечения выработками осевой линии складки и вводятся в базу данных цифровой модели. Радиус кривизны зависит от изменения простирания изолинии при входе

и выходе из зоны трещиноватости. Для его вычисления необходимо ввести координаты трех точек вдоль изолинии. Построение на плане осевой линии складки позволяет выделить зоны с наибольшими деформациями. Породы в таких зонах представлены в разрушенном состоянии и с повышенной трещиноватостью [4]. На втором этапе цифровой план строится по показателю газоносности пласта. Производится вычисление интегральных характеристик на третьем этапе. Наложение всех матриц в виде отдельных слоев на цифровой план горных выработок дает более полную ситуацию по тектонической и газовой составляющим.

Построенная по предлагаемой методике цифровая модель строения горного массива пригодна для анализа его структуры с использованием ГИС-технологии. В ГИС оболочке есть стандартный набор математических методов. Метод построения тематических слоев позволяет выделять объекты по отдельным значениям из заданного поля таблицы. Программа сопоставляет каждому значению свой цвет. Выделение можно производить по числовым или нечисловым значениям. На рисунке приведен прогнозный цифровой план, построенный по методу диапазонов по фактору газоносности по пласту 27 шахты «Первомайская».

Метод тематического запроса – выборка тематических данных основан на использовании языка запросов SQL (Structured Query Language). SQL может использоваться для выполнения запросов и для построения прикладных программ. Элементами SQL являются так называемые предложения, по которым выполняются операции. Наиболее важны следующие: предложения редактирования, добавления и удаления данных; арифмети-



Маркшейдерский оперативный прогнозный цифровой план, встроенный в ГИС по пласту 27 шахты «Первомайская»

ческие вычисления и операции сравнения; создание временных таблиц; группировка; запросы и другие. С помощью SQL-запросов можно фильтровать, сортировать и группировать данные, вычислять суммы, минимальные, максимальные и средние значения и т.п. Поэтому выборка по SQL-запросу всегда содержит набор графических объектов с их атрибутами.

Например необходимо выбрать из таблицы «Матрица1» все ячейки в которых трещиноватость более 4, и газоносность более $18 \text{ м}^3/\text{т}$. Для этого выполняются следующие действия создания запроса 1:

1. В меню «Окно» \Rightarrow «Новый список...» - открывается список слоев карты, выбирается слой «Матрица1» и «OK» - открывается атрибутивная таб-

лица этого слоя с полным набором объектов.

2. Далее меню «Запрос» \Rightarrow «SQL-запрос...» - открывается окно «SQL-запрос», в котором вводится в заданной форме предложения запроса. Курсор помещается в окошко с подписью «из таблиц...», в выпадающем списке «Таблицы» выбирается слой «Матрица1» - название слоя появляется в окошке «из таблиц...». Далее курсор помещается в окошко с надписью слева «с условием» и в него вносится аналогичным образом из списка «Колонки» значение «K». Далее, не выходя из окошка «с условием» из списка «Операторы» выбирается оператор «>» и с клавиатуры вводится число 4, And M >18. Отмечается флагок

«Результат в список». Нажимается кнопка «OK».

Таким образом, графические данные векторного слоя «Матрица1» выбираются по условию Трещиноватость > 4 And Газоносность, м³/т > 18

На рисунке в прогнозном цифровом плане выделяется участок пласта «Опасная зона» - зона опасная по газодинамическим проявлениям.

Таким образом, цифровая горно-геометрическая модель массива горных пород строится на точной геометрической основе, которой являются цифровой маркшейдерский план горных выработок. Выбор метода интерполяции и схемы генерации координатно-привязанных данных

по дискретным точкам скважин и точкам опробования при горных работах в непрерывные поля геомеханических характеристик производится для каждого отдельного показателя в зависимости от соотношения дисперсий закономерной и случайной составляющих в изменчивости. Цифровая горно-геометрическая модель массива горных пород позволяет создавать новые слои тематической информации, строить прогнозные планы геомеханических характеристик, производить вычисление интегральных характеристик полей и является основой для разработки и применения методов поиска аномальных зон.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Зыков В.С. Техногенная геодинамика. Кемерово. Изд-во КузГТУ- 2006.-266с.
2. Игнатов Ю.М., Махраков И.В., Игнатов М.Ю. Компьютерный прогноз геологического строения и геомеханических свойств с помощью анализа цифровых моделей массива горных пород. – Вестник Кузбасского государственного технического университета. –№ 5. 2006. – С. 72-75.
3. Игнатов Ю.М., Игнатов М.Ю. Метод цифровой фильтрации для прогноза устойчивости кровли угольных пластов. Природные и интеллектуальные ресурсы Сибири/ Материалы 11-й Междунар. науч.-практич. конф. – Кемерово, 2006. – С. 124-126.
4. Игнатов Ю.М Использование информационно геомеханической модели строения горного массива для проектирования. Безопасность жизнедеятельности предприятий в промышленно развитых регионах/ Материалы V11 Междунар. науч.-практич. конф. – Кемерово, 2007. – С. 223-225.
5. Охрана недр и геолого-маркшейдерский контроль. Инструкция по производству маркшейдерских работ (РД 07-603-03) / кол. авт. – М.: ФГУП Государственное предприятие НТЦ по безопасности в промышленности ГГН России, 2004. – 120 с. [\[PDF\]](#)

Коротко об авторах –

Игнатов Ю.М. –кандидат технических наук, доцент, зав. кафедрой,
Цыганков С.А. – аспирант,
кафедра Маркшейдерского дела, кадастра и геодезии КузГТУ, E-mail: mnoc@mail.ru

