

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

УДК 004.942:622.1:528.94

Ю.М. Игнатов

СОВМЕСТНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГОРНО-ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ДАННЫХ И ЦИФРОВОГО МАРКШЕЙДЕРСКОГО ПЛАНА В ГЕОИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЕ ДЛЯ ПОИСКА ОПАСНЫХ ЗОН

На горных предприятиях для повышения эффективности и безопасности работ необходим достоверный прогноз горно-геологических условий, выполняемый геолого-маркшейдерской службой с привлечением методов геометрии недр. Основоположниками русской горно-геометрической школы считаются М.В. Ломоносов, В.И. Бауман, П.М. Леонтовский, П.К.Соболевский. Совершенствованию методики количественной оценки горно-геологических условий и геометрическим методам решения прогнозных задач посвящены работы П.П.Бастана, В.А. Букринского [1], Г.И. Вилесова, В.М. Гудкова, П.А. Рыжова, И.Н. Ушакова, И.В. Францкого и других.

К настоящему времени широкое распространение получили персональные компьютеры, которые позволяют выйти на качественно новый уровень решения горно-геометрических задач с последующим использованием полученных результатов при принятии проектных решений. Поэтому задачи анализа горно-геологических условий и размещения горно-геометрических данных в цифровые маркшейдерские планы являются актуальными.

Сегодня на мировом рынке компьютерных программ для горных предприятий работают десятки фирм, предлагающих большое количество программных продуктов различного класса. Мощные горные интегрированные системы (ИС) Gemcom, Surpac, Vulkan, MineScape, MineSight для месторождений с несложными геологическими условиями предоставляют горным инженерам большой набор инструментов для моделирования месторождений и планирования горных работ. Интегрированные системы на горных предприятиях Кузнецкого бассейна используются редко, так как они не способны решать проблемы для сложных месторождений и необходимо потратить много средств на начальное обучение персонала, причем с некоторыми программами способны работать только эксперты. Решение отдельных задач (построение изолиний) на ИС требует больших трудозатрат, а с помощью недорогих программ эти задачи решаются легко. Стоимость ИС слишком велика.

В настоящее время на шахтах Кузнецкого

угольного бассейна наиболее широко применяется оцифровка 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.» [8, 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.

Точечные объекты (маркшейдерские точки, скважины и т. д.) наносятся по фактическим координатам. Большим достоинством AutoCAD и MicroStation является обширный набор графических примитивов с широким подбором шрифтов, условных знаков, видов штриховки, мощный векторный и графический редактор. Эти системы имеют диалоговую оболочку на базе ниспадающих меню, возможность работы с мышью, универсальные средства обмена графическими файлами, как внутри системы, так и с другими системами. 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. Для приведения в единую систему уже решаемых на компьютерах задач и поиска путей решения других, актуальных для горного производства, необходимо теоретическое обоснование структуры цифровой информационно-геомеханической модели массива горных пород.

На кафедре маркшейдерского дела, кадастра и геодезии Кузбасского государственного технического университета ведутся работы по созданию концепции и принципов построения информационно-геомеханической модели массива горных пород с использованием ГИС-технологий. В основу модели положен принцип непрерывности гео-

информационных 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 проведены экспериментальные, и статистические исследования закономерностей размещения полей геомеханических характеристик для шахт Кузнецкого угольного бассейна. Разработаны схемы генерации координатно-привязанных данных в непрерывные поля геомеханических характеристик.

Сегодня для многих работ, выполняемых с использованием карт и планов, актуально решать задачи путем ввода базы данных в ГИС-оболочки: ArcView, MapInfo, ArcInfo, Atlas GIS, WinGis, Geograph, и другие [2]. Нами произведено исследование функциональных возможностей геоинформационных технологий (ГИС-технологии) для отображения горно-геологических условий угольных шахт Кузнецкого бассейна. ГИС-технология является интегрированной информационной системой, объединяющей концептуально, структурно и методически информационные системы АСУ, САПР, информационно-справочные системы, базы данных, системы документационного обеспечения. В ГИС-технологии базы данных соединены с модельными и расчетными функциями для манипулирования ими и преобразования их в пространственную картографическую информацию, и это позволяет создавать прогнозные планы с использованием разнородной информации, например, качественного типа пород и их количественных характеристик. ГИС-технология для ведения геолого-маркшейдерской документации может быть использована как совокупность информационных слоев по объектам шахтного поля (изогипсы пласта, линии геологических нарушений, подземные горные выработки, отработанные площади выемочных полей, положения очистного забоя) в виде полигональной, линейной и точечной топологии. Это дает возможность производить автоматизированное изготовление планов горных работ и других графических документов, расчеты теодолитных ходов, пополнение планов горных работ, ведение базы геологических данных, но не позволяет выполнять горно-геометрические прогнозы, так как нужна база данных в виде цифровой модели непрерывных полей геомеханических характеристик и прикладные модули.

Таким образом, в результате исследований установлено, что для отображения результатов геометризации в цифровых маркшейдерских планах необходима методика создания цифровой модели непрерывных полей горного массива.

В разработанной нами методике создания цифровой модели непрерывных полей горного массива за упорядоченную форму хранения и представления информации принят регулярно-ячеистый принцип организации данных [4]. Для описания данных за минимальную единицу пло-

щади принимается ячейка правильной геометрической формы, а пространственно-распределенные признаки объектов хранятся в узлах регулярной сетки из ячеек. Значения показателя из точки замера с помощью интерполирования 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 непрерывные поля геомеханических характеристик. 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 материалам разведочных скважин по десяти шахтным полям. Для построения цифровой матрицы использованы пять методов интерполяции (линейная, по усредненной поверхности, обратного взвешивания, полиномы, Кригинг). В геометрии недр установлено, что выбор метода интерполяции производится для каждого отдельного показателя в зависимости от соотношения дисперсий закономерной и случайной составляющих. При интерполяции по усредненной поверхности поверхность вычисляется путем взвешивания внутри круговой области в зависимости от радиуса круга и весовой функции. В методе обратного взвешивания весовые коэффициенты от точки оценки до ближайшего замера максимальные, а до всех соседних уменьшаются обратно пропорционально расстоянию, возведенному в степень. Алгоритм Кригинга включает построение вероятностной модели размещения данных и расчет среднего квадратичного отклонения ошибок определения. При Кригинге коэффициенты взвешивания устанавливаются так, чтобы вычисленное значение являлось несмещенным, а дисперсия ошибок наименьшая. Однако, в отличие от метода обратного взвешивания, при Кригинге оперируют понятием не геометрического расстояния, а статистического расстояния, которое определяется из моделей вариограмм, описывающих локальные особенности размещения показателя и отражающих анизотропию.

Разработанная методика описывает структуру информационно-геомеханической цифровой модели массива и решение в рамках этой модели следующих пользовательских задач: количественная оценка исходных параметров, расчет прогнозных характеристик путем статистических преобразований по цифровым планам для формирования таблицы «объект-свойства», анализ результатов и размещение их в матрицу исходных пара-

метров.

В разработанной методике цифровая 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» - X-B; У-С; «Высотная отметка гипсометрии» - Д; «Трещиноватость» - Е; «Газоносность» - F; 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.

Каждый прогнозный цифровой план, составляется по прочностным, упругим и другим механическим свойствам вмещающих пород и по показателю газоносности при вычислении в расчетном модуле. Производится вычисление интегральных характеристик при вычислении в отдельном модуле. 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 [6].

Данная методика создания цифровой модели горного массива позволяет разрабатывать систему поиска аномальных зон по геологическим условиям. Например, для горных предприятий Кузнецкого бассейна важной задачей является поиск зон появления внезапных выбросов угля и газа. Анализ литературных источников [3] и фактического, собранного автором, материала по шахтам Анжерская, Березовская, Бирюлинская, Северная, Центральная, Ягуновская, Первомайская об условиях появления внезапных выбросов, позволили сделать вывод, что основными природными факторами, влияющими на выбросоопасность угольных пластов, являются газоносность угля и физические свойства угля и горных пород. Факторами, формирующими газоносность пластов, являются степень метаморфизма, сорбционная способность, пористость, газопроницаемость, влажность и др. Выбросы могут происходить уже при газоносности более $10 \text{ м}^3/\text{т}$ при неблагоприятных геологических условиях, но для других условий эти значения могут существенно различаться. На проявление выбросоопасности влияют физические свойства пород. Участки, на которых зафиксированы выбросы, характеризуются изменением внешней формы пласта, приурочены к зонам вторичной складчатости и характеризуются раздробленными слабоустойчивыми породами кровли.

Таким образом, при разработке методов прогноза зон опасных по внезапным выбросам угля и газа, исходными данными являются газоносность угля, горно-геометрические параметры массива, прочностные, упругие и другие механические свойства вмещающих пород. Информации по гор-

ному массиву много, она является пространственно распределенной и должна быть количественно оценена и отражена 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 газоносности, гипсометрии, трещиноватости, устойчивости кровли угольных пластов.

Автором, в основу разработанного нового метода поиска, 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 поиска путем создания запросов. Первый оперативный прогнозный цифровой план в виде матрицы, составляется по почве пласта по высотным точкам нивелирных ходов при вычислении на первом этапе. При этом устанавливаются параметры и плановое положение осей вторичной складчатости по методу [5]. Размеры зоны и интенсивность повышенной трещиноватости вдоль осевой линии складки зависит от величины угла складки, который учитывается с помощью радиуса кривизны и механических свойств массива. Снимаются с плана координаты точек пересечения выработками осевой линии складки и вводятся в базу данных цифровой модели. Для вычисления радиуса кривизны необходимо ввести координаты трех точек вдоль изолиний. Радиус кривизны зависит от изменения простираения изолинии при входе и выходе из зоны трещиноватости. Таким образом, выявление осевой линии складки позволяет выделить зоны с наибольшими деформациями. Породы в таких зонах представлены в разрушенном состоянии с повышенной трещиноватостью. В этих зонах резко изменяется устойчивость кровли угольных пластов. На втором этапе цифровой план строится по показателю газоносности пласта. Производится вычисление интегральных характеристик (трещиноватость и др.) на третьем этапе. Наложение всех матриц в виде отдельных слоев на цифровой план горных выработок дает более полную ситуацию по тектонической и газовой составляющим. На рисунке приведены: цифровой маркшейдерский план, матрица ячеек, оперативный прогнозный цифровой план, встроенные в ГИС по пласту 27 шахты «Первомайская».

Метод компьютерного поиска опасных зон, активных по газодинамическим проявлениям основан на использовании языка запросов SQL (Structured Query Language) [7]. SQL может использоваться для выполнения запросов и для построения прикладных программ. Элементами SQL

являются так называемые предложения, по которым выполняются операции. Наиболее важны следующие: запросы; предложения редактирования, добавления и удаления данных; арифметические вычисления и операции сравнения; создание временных таблиц; группировка 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.

В MapInfo полученная выборка записывается во временную таблицу, которая «хранится» в рабочем наборе и (или) может быть сохранена в виде постоянной таблицы. **Selection** – стандартное имя результирующей таблицы. Кроме того, можно сохранить выборку в заданных столбцах (полях) постоянной таблицы, а также в так называемых «временных» колонках постоянной таблицы. Можно изменить стандартное имя результирующей таблицы Selection на любое другое, но, если оставить его неизменным, выборки будут именоваться автоматически: (Запрос1), (Запрос2) и т.д., при этом таблица Selection обновляется в результате каждого следующего выбора.

Выбранные по SQL-запросу графические объекты в окне карты показываются «как выбранные» и отмечаются как «выбранные записи» в исходной таблице. Их можно скопировать в обменный буфер Windows (Ctrl + C), а затем вставить в другую таблицу. Их можно удалить, а также изменить значения в отдельных столбцах. При этом изменения будут произведены и в исходной постоянной

таблице. Таким образом, выборку используют для выборочного редактирования данных в постоянных таблицах.

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 «ОК» - открывается атрибутивная таблица 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 «E». Далее, не выходя из окошка «с условием» из списка «Операторы» выбирается оператор «>» и с клавиатуры вводится число 4, And F >18. Отмечается флажок «Результат в список». Нажимается кнопка «ОК».

Таким образом, графические данные векторного слоя «Матрица1» выбираются по условию $\text{Трещиноватость} > 4 \text{ And Газоносность, } \text{м}^3/\text{т} > 18$

Открывается окно оператора и в нем содержится полученная выборка. Этот список открывается потому, что в формировании запроса был отмечен флажок «Результат в список». Если два выражения разделены словом And, то MapInfo извлекает из указанной таблицы строки, которые

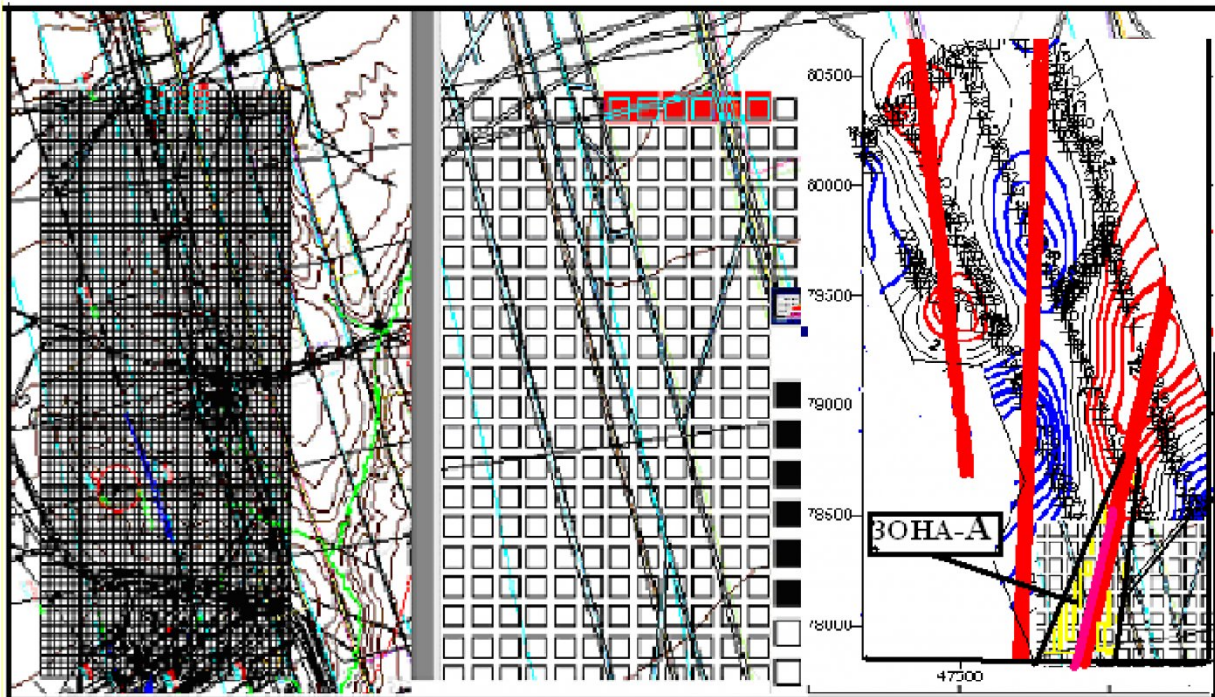


Рис.1 Цифровой маркшейдерский план, матрица ячеек, оперативный прогнозный цифровой план, встроенные в ГИС по пласту 27 шахты «Первомайская».

па плане ячейки, удовлетворяющие сразу двум условиям. На рисунке в прогнозном цифровом плане выделяется участок пласта «Зона-А» - зона опасная по газодинамическим проявлениям.

ВЫВОДЫ

1. Информационно-геомеханическая модель массива горных пород строится на точной геометрической основе, которой являются цифровой маркшейдерский план горных выработок.

2. Цифровой маркшейдерский план горных выработок является многослойным набором разнородных данных, отображающих пространственные, геологические и технологические параметры горного предприятия и должен проверяться через систему контроля точности, выполняемую путем сравнения расчетных погрешностей данных с допусками.

3. Выбор метода интерполяции и схемы гене-

рации 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.

4. Информационно-геомеханическая модель массива горных пород позволяет моделировать новые слои тематической информации, создавать прогнозные планы геомеханических характеристик, производить вычисление интегральных характеристик полей и является основой для разработки методов поиска аномальных зон.

5. Прогнозирование и решение инженерных задач осуществляется путем создания реализуемых функций в виде соответствующих алгоритмов в прикладных модулях в ГИС-технологиях

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Букринский В.А. Геометрия недр. – М.: «Недра», 1995. – 521с.
2. Геоинформатика. / Е. Г. Капралов, А. В. Кошкарев, В. С. Тикунов и др.; под ред. В. С. Тикунова. – М.: «Академия», 2005. – 480с.
3. Зыков В.С. Техногенная геодинамика. – Кемерово. Изд-во КузГТУ- 2006.-266с.
4. 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.
5. 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.
6. 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.
7. Игнатов Ю.М., Кирильцева Н.А. Анализ тематической информации в ГИС MapInfo. Методические указания по выполнению лабораторных работ для студентов специальности 090100 «Маркшейдерское дело» ГУ КузГТУ. – Кемерово, 2005. – 32 с.
8. 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 ГГТН России, 2004. – 120 с.

□ Автор статьи

Игнатов
Юрий Михайлович
-канд. тех. наук, доц., зав. каф.
маркшейдерского дела, кадастра
и геодезии КузГТУ
Тел. 8-906-933-6492
E-mail: mnoc@mail.ru