

**УДК 622.1:744:004.92**

Роут Г. Н., доцент

Игнатов Ю.М., доцент

Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф.Горбачева

Gennady N. Rout, associate Professor

Yuri M. Ignatov, associate Professor

T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical

## **АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ГОРНЫХ ПОРОД**

### **ANALYSIS OF THE RESULTS OF COMPUTER MODELING OF THE STRESS-STRAIN STATE OF ROCKS**

Для угольных шахт разрабатываются организационные и технические мероприятия по предотвращению природных и техногенных аварий на основе прогнозной информации о свойствах горного массива, которая накапливается как в бумажном, так и цифровом формате и создание методов ее совместного анализа и хранения является актуальным. Перспективным направлением создания таких методов является использование геоинформационных систем (ГИС) для обработки исходных данных. К настоящему времени на всех шахтах выполнен переход к цифровым моделям объектов и создана цифровая горная графическая документация [1]. Для компьютерного моделирования месторождения необходимо цифровую графическую документацию дополнить базами данных с цифровым описанием геополей и выполнить геоанализ с прогнозированием и размещением результатов на цифровых маркшейдерских планах.

Нами разработана и опубликована методика компьютерного моделирования пластовых месторождений с привлечением ГИС [2]. Ее использование позволяет производить обработку данных, производить геоинформационное моделирование пакетами программ ГИС и произвести анализ результатов на цифровых маркшейдерских планах.

В данной статье описано применение указанной методики для компьютерного моделирования горного массива кровли пласта 70 шахты «Талдинская – Западная -2», приведены результаты выполненных прогнозов и сделана оценка сохранности подземных выработок. Компьютерное моделирование по пласту 70 производилось в следующем порядке:

- создание электронного плана горных выработок;
- создание базы с цифровым описанием массива горных пород;
- построение цифровых прогнозных планов свойств горных пород.

Для создания электронного плана горных выработок выполнено конвертирование векторных данных, из созданных на предприятиях цифровых

планов в программу ГИС. Сделан выбор программного продукта, который используется в качестве программного ядра ГИС.

ГИС является интегрированной информационной системой, объединяющей концептуально, структурно и методически информационные системы, АСУ, САПР, информационно-справочные системы, базы данных, системы документационного обеспечения. Все ГИС представляют собой пакеты программ и включают набор картографической информации и объем тематической атрибутивной информации, необходимый для решения конкретных прикладных и научных задач.

На мировом рынке коммерческих компьютерных программ имеется несколько интегрированных систем: Surpac, Mintec, Datamine, MineFrame, Micromine, MapInfo и другие. Перечисленные технологии обладают примерно одинаковыми функциональными возможностями, но для предприятий следует учитывать, что российский программный продукт системы Mineframe является приоритетным [3].

Геоданные ГИС – это многослойные электронные (цифровые) карты (картографическая составляющая ГИС) и базы данных (БД) (атрибутивная составляющая ГИС), между которыми существует строгая и неразрывная связь. В атрибутивных реляционных таблицах ГИС записаны атрибуты (т.е. параметры = свойства = характеристики) графических объектов электронных слоев. В качестве БД использованы таблицы, паспорта, иллюстрации и т. п. ГИС содержит инструменты позволяющие манипулировать числовыми параметрами объектов баз данных, и программно-аналитические средства для проведения их целевой обработки.

Создана база атрибутивных таблиц, жестко связанных между собой в которых содержится описание геомеханических свойств массива и эти свойства отражены на планах с цифровым описанием горно-геологических условий. К ним относятся: мощность пласта, мощность непосредственной кровли, гипсометрия пласта и др. Такие базовые факторы отражают геометрию пласта, строение толщи горных пород и минеральный состав. Все атрибутивные признаки массива разбиты на функциональные блоки: наименование признака; количественные характеристики; качественные характеристики; характеристики функциональных связей. Созданы цифровые матрицы с использованием пяти методов интерполяции (линейной, по усредненной поверхности, обратного взвешивания, полиномы, Кригинг).

Для построения прогнозных планов создана цифровая модель горного массива, в которой в качестве моделируемых показателей выступают значения характеристик массива точек рассматриваемой области. На прогнозных планах детально отображают тематические параметры, свойства, характеристики среды с помощью условного выделения [4] (цветом, штриховкой или символами) и выполнен поиск на планах аномальных зон. Обработка производилась в среде программных продуктов, используемых на предприятиях горной промышленности: AutoCAD, MapInfo, Mineframe используя предложенную схему обработки.

В методах решения задач при расчетах устойчивости горнотехнических сооружений используют методику расчета, базирующуюся на теории предельного равновесия. Прочностные показатели ряда литотипов, которыми сложены породные комплексы, в достаточной мере известны применительно к размеру отдельного образца. При расчетах массива горных пород применяют коэффициенты, учитывающие влияние трещиноватости на прочностные свойства массива горных пород. Построен по методике [2] прогнозный план деформированности горного массива по пласту 70. В методе базовым типом объектов для изображения геополей является ячейка (регулярная ячейка) — 2-мерный объект, элемент разбиения поверхности.

Анализ результатов геоинформационного моделирования горного массива, позволил выявить на плане зону повышенного напряженно - деформируемого состояния массива (см. рис.) в районе зоны №1. Аномальная зона №1 это флексура, в которой поверхность пласта на 35 метров отклоняется от аналитической поверхности, и в этой зоне интенсивность трещиноватости кровли угольного пласта в два раза выше, чем на остальной площади пласта. Такая аномалия возникла с появлением дополнительной локальной трещиноватости, вызванной складчатыми тектоническими дислокациями. Количество систем и их ориентировка обусловлены тектонофизическими законами проявления разрывных и складчатых деформаций в различных геологических условиях.

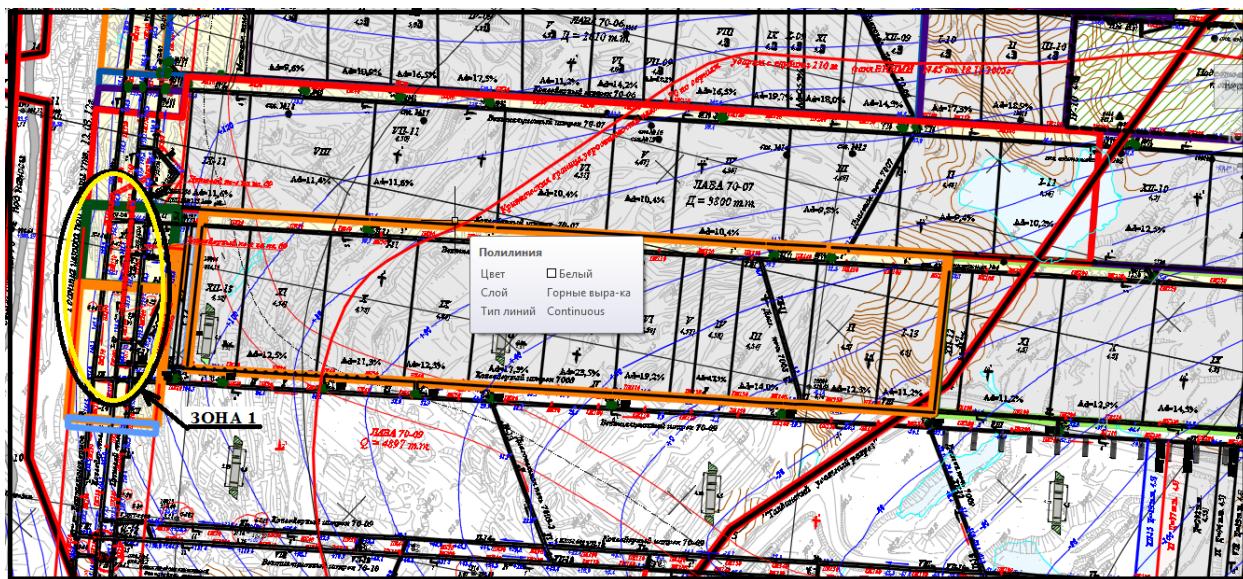


Рис. Прогнозный план деформированности горного массива по пласту 70

Разработанные паспорта крепления выработок, с применением сталеполимерной анкерной крепи и расчетной длины анкера менее 3,5 м, в зоне аномальной трещиноватости не эффективны. Визуальные наблюдения проведены по четырем выработкам общей протяженностью 6800 м, 4125 м из которых, капитальные выработки.

Путевой ствол пласта 70 пройден на длину 2526 м до гор. +180 м под углом 2-6 град. и оборудован монорельсовой подвесной дорогой. Назначение путевого ствола – перевозка людей, доставка материалов и оборудования.

Конвейерный ствол пройден с поверхности на длину 2600 м до гор. +193,6 м под углом 2-7 град. и оборудован тремя ленточными конвейерами ЗЛЛ-1200. Назначение конвейерного ствола – транспортировка горной массы на угольный склад и выдача из шахты исходящей струи воздуха. Устьевая часть стволов закреплена бетонной крепью. Далее на длину до 100 м установлена арочная металлическая крепь типа А13-22 с перетяжкой бортов и кровли железобетонной затяжкой. Остальная часть стволов закреплена сталеполимерными анкерами.

Вентиляционный ствол пройден с поверхности на длину 2210 м до гор. +180 м. Крепление ствола выполнено сталеполимерными анкерами.

Кровля пласта 70, представлена алевролитом мелкозернистым, трещиноватым, от слабоустойчивого, до неустойчивого. Мощность непосредственной кровли 3,5-4,0 м, Кроме того, в кровле, на контакте с угольным пластом, залегает пачка углистого аргиллита весьма склонного к отслоению; Мощность ложной кровли 0,1-0,5 м. Основная кровля пласта мощностью 22-33 м из переслаивающихся пород (песчаник, алевролит) средней устойчивости.

В результате визуальных наблюдений определены зоны, как удовлетворительного состояния крепления, так и аварийных участков требующих принятия экстренных мер по ремонту крепи горных выработок. В результате визуальных наблюдений, отмечены участки с неудовлетворительным креплением и наличие критических деформаций контура и элементов крепи путевого ствола в районе ПК136-200, конвейерного ствола в районе ПК152-202.

Причинами увеличения интенсивности деформации на данных участках обследованных выработок являются:

- недостаточная точность прогноза исходных данных для обоснования параметров анкерной крепи;
- влияние, не выявленной ранее, аномальной зоны повышенной трещиноватости.

Анализ проведенных исследований показывает необходимость корректировки технической документации для ремонта крепи действующих наклонных стволов с учетом результатов прогнозирования по предложенному методу.

## Выводы

В результате выполненных работ получены следующие результаты:

1. Опробована методика построения цифровой модели массива горных пород, которая базируется на положении, что картографической основой цифрового моделирования горного массива являются маркшейдерские планы, а формой визуализации площадных геологических объектов – совокупность ячеек из генерированных матриц.

2. Применены три метода прогнозирования горно-геологических условий с привлечением ГИС, которые позволили создать прогнозный план горно-геологических условий и произвести поиск опасных зон.

3. Произведено сравнение результатов прогноза с материалами оценки геологических условий, полученных при ведении горных работ. Проверка показала, что при попадании горных выработок в прогнозируемую аномальную зону, произошли критические деформации контура и элементов крепи.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Инструкция по геологическим работам на угольных месторождениях Российской Федерации. — СПб., 1993. — 147 с.

2. Гагарин А.А. Цифровое описание горно-геологических условий для анализа, прогнозирования и визуализации результатов на маркшейдерских цифровых планах / А.А. Гагарин, Ю.М. Игнатов, Г.Н. Роут, М.М. Латагуз // Вестник Кузбасского государственного технического университета. — 2018.

3. Анализ маркшейдерских цифровых планов для последующего включения их в геоинформационную систему /А.А.Гагарин , Ю.М. Игнатов, Г.Н. Роут, М.М. Латагуз. // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2017. – № 1. – С. 165-169.

4 Межгосударственный стандарт. Горная графическая документация. Изображение элементов горных объектов. – Введ. 01.01.1980. – переизд. 01.06.2002. – М.: ВНИИНМАШ. – 1980. – 15 с.

## References

1. Instructions for geological work on coal deposits of the Russian Federation. — St. Petersburg, 1993. — 147 p.

2. Gagarin A.A. Digital description of mining and geological conditions for analysis, forecasting and visualization of results on digital surveying plans / A.A. Gagarin, Yu.M. Ignatov, G.N. Routh, M.M. Lataguz // Bulletin of the Kuzbass State Technical University. — 2018.

3. Analysis of digital surveying plans for their subsequent inclusion in the geoinformation system / A.A.Gagarin, Yu.M. Ignatov, G.N. Routh, M.M. Lataguz. // Bulletin of the Kuzbass State Technical University. – 2017. No. 1. pp. 165-169.

4 Interstate standard. Mining graphic documentation. Image of elements of mountain objects. – Introduction. 01.01.1980. – reprint. 01.06.2002. – Moscow: VNIINMASH. – 1980. – 15 p.