

УДК 622.831:004

Игнатов Ю.М., доцент

Роут Г. Н., доцент

Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф.
Горбачева

Ignatov Yuri M, associate Professor

Rout Gennady N., associate Professor

T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University

**СОЗДАНИЕ БАЗЫ ДАННЫХ ГОРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ
УСЛОВИЙ ДЛЯ КОМПЬЮТЕРНОЙ ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ
ПРИ ОЦЕНКЕ УСТОЙЧИВОСТИ КРОВЛИ****CREATION OF A DATABASE OF MINING AND GEOLOGICAL
CONDITIONS FOR COMPUTER PROCESSING OF INFORMATION IN
ASSESSING THE STABILITY OF THE ROOF**

В настоящее время, для решения задач повышения безопасности на горнодобывающих предприятиях, актуальными являются технологии применения цифровых моделей объектов, сформированных в цифровых кодах, которые воспринимает компьютер и может проводить обработку таких данных. Однако большой объем разнородной информации и не структурированность накопленной совокупности пространственных данных на шахтах значительно осложняют применения компьютерных технологий. Поэтому, для решения задач горного дела с применением компьютерной обработки, необходимо создавать данные в виде цифрового описания технологических объектов и геополей и включать их в выбранную геоинформационную систему (ГИС).

Реальные параметры и характеристики пространственных объектов во всех современных ГИС хранятся в атрибутивных таблицах и называются базами данных (БД). В качестве БД могут использоваться таблицы, паспорта, иллюстрации и т. п. Такие таблицы предложены в конце 1968 года доктором Э. Ф. Коддом и названы реляционными (от слова «relation» - отношение). Все ГИС «работают» именно с реляционными таблицами.

В атрибутивных реляционных таблицах ГИС записаны атрибуты (т.е. параметры = свойства = характеристики) графических объектов электронных слоев [1]. Эти данные всегда могут быть показаны пользователю в понятном для него «табличном» виде (столбцами) и строками (записями). Столбцы и строки должны иметь определенные свойства [1]:

– каждый столбец имеет уникальное для данной таблицы имя;

- столбцы таблицы при выводе данных на монитор упорядочиваются слева направо, т.е. столбец 1, столбец 2, ..., столбец n;
- строки таблицы не упорядочены (их последовательность определяется лишь последовательностью ввода в таблицу);
- в поле на пересечении строки и столбца любой таблицы всегда имеется только одно значение данных (значение атрибута = значение поля) и никогда не должно быть множества значений;
- всем строкам таблицы соответствует одно и то же множество столбцов, хотя в определенных столбцах любая строка может содержать пустые значения;
- все строки таблицы обязательно отличаются друг от друга хотя бы единственным значением, что позволяет однозначно идентифицировать любую строку такой таблицы.

Таким образом, для создания структуры интегрированной реляционной БД, необходимо определиться с информационными потребностями реализуемых в системе задач. БД может включать в себя текстовые и числовые данные, и первичные, наиболее ответственные пространственные данные – координаты точек маркшейдерской съемки. Пространственные объекты, моделируемые с помощью ГИС, имеют три формы представления [1]:

- объект в действительности;
- объект, представленный в БД;
- знак, который используется для отображения объекта на карте.

Пространственные типы объектов БД могут группироваться в слои, именуемые также покрытиями или темами. БД – это структурированный набор информационных файлов, хранящихся в одном каталоге и содержащих информацию о метрических и семантических свойствах, характеристиках и параметрах объектов цифрового плана.

После включения БД в ГИС дальнейшая обработка выполняется с использованием пакета программ системы управления базами данных (СУБД), которые свободны от всех ограничений, связанных с организацией хранения данных и спецификой запоминающих устройств.

Основные этапы по определению объектового состава и атрибутов в БД [1]:

- определение основного объекта (явления), в качестве которого, могут выступать, например горные выработки;
- установление системного отношения, посредством которого выбирается совокупность объектов, информацию о которых необходимо хранить;
- задание конкретных родовых имен объектов;
- выделение перечня основных задач;
- выделение атрибутов объектов, которые необходимы для решения поставленных задач, а также требований к точности значений этих

атрибутов;

- выяснение необходимости деления информации по иерархическому признаку;

- выяснение необходимости деления информации по тематическому признаку.

Используемые в ГИС типы атрибутивных данных [1]: символьное, целое, короткое целое, вещественное, десятичное, дата и логическое. В зависимости от того, какие типы атрибутивных данных содержат поля таблицы (столбцы) их называют числовыми, строковыми и т.п. Совокупность используемых типов данных со всеми вышеперечисленными их свойствами называется структурой таблицы векторного слоя ГИС. Простейшие операции, которые можно выполнять в ГИС с атрибутивными таблицами [1]:

- создание и просмотр таблицы (формирование ее структуры);
- редактирование структуры атрибутивной таблицы;
- добавление и удаление из таблицы отдельных (пустых) записей;
- упаковка записей.

Простейшие операции, которые можно выполнять в ГИС с атрибутивными данными [1]:

- ввод данных и просмотр записей в атрибутивной таблице;
- редактирование значений атрибутов;
- выбор данных по запросу;
- классификация данных с использованием математических методов;
- объединение и связывание данных двух и более таблиц.

Поскольку в ГИС существует неразрывная связь между графическими и атрибутивными данными, выполняя операции с атрибутивными данными, пользователь одновременно применяет их к графическим объектам ГИС.

Для решения задачи прогноза горно-геологических условий отработки с целью оценки устойчивости кровли в проектируемом очистном забое используются данные геологической разведки, исследования и замеры при производстве горных работ. Объективная оценка горно-геологических условий, выбор соответствующих рациональных параметров, типа механизированной крепи и конструктивной схемы ее секций в комплексно-механизированных и особенно автоматизированных очистных забоях – весьма актуальная задача. Прогнозная оценка классов кровли угольных пластов в очистных забоях может быть выполнена на основе научно обоснованных критериев и обобщающих классификаций.

Предложено несколько десятков критериев и классификаций для оценки устойчивости кровли: типизация кровли по устойчивости согласно действующей Инструкции по геологическим работам на угольных месторождениях Российской Федерации [2]; классификация пород по

обрушаемости в очистных выработках при залегании их непосредственно над угольным пластом приведена в [2].

Так, в основу классификации ВУГИ положено соотношение мощностей непосредственной кровли и пласта, которое с учетом коэффициента разрыхления обрушенных пород обеспечивает относительную полноту подбучивания основной кровли, что в свою очередь определяет степень ее влияния на призабойное пространство. Классификация определяет и типовые способы управления кровлей: полное обрушение; частичное обрушение; полное удержание кровли от обрушения.

Из разнообразия существующих классификаций кровель угольных пластов очистных забоев интерес представляют классификации, основные признаки которых в той или иной степени связаны с трудностью управления ими. Классификации кровель преследуют цель выбора способов и средств управления кровлей.

Управляемость кровли, по определению Ф. П. Глушихина, характеризует ее свойство подвергаться воздействию комплекса применяемых мероприятий по управлению и креплению. На это свойство оказывает влияние целый ряд факторов, среди которых доминирующими являются обрушаемость и устойчивость кровель, а также характер разрушения и перемещения пород над призабойным и выработанным пространствами.

Классификация кровель СЭВ по управляемости, принятая в 1977 г. состоит из двух классов: легкоуправляемые и трудноуправляемые кровли с критериями, разработанными в ИГД им. А. А. Скочинского в 1974 г. Эта классификация является приемлемой для механизированных очистных забоев, однако обладает недостатком, - отсутствием непрерывности ряда при разделении кровель на классы.

В зарубежной литературе более или менее четких классификаций пород кровель не приводится. Зарубежные ученые А. Лабасс, А. Уинстенли, Г. Эверлинг и др. указывают на значительные трудности управления «жесткой кровлей» и рекомендуют усиливать крепи очистных забоев или осуществлять закладку выработанного пространства. В монографии О. Якоби [3] приведено типовое строение пород кровли пластов, характер их разрушения и рекомендации по поддержанию кровли. Анализ данной типизации, построенной в основном по результатам моделирования на эквивалентных материалах, показывает, что она полезна, но содержит преимущественно качественные характеристики пород кровли и их сочетания. Типизация не позволяет однозначно оценить класс углевмещающих породных структур кровли по критерию горного давления и дать рекомендации по основным параметрам механизированных крепей. Для выработки рекомендаций требуется проведение опытно-экспериментальных работ.

Краткий анализ классификации (типизаций) кровель показывает, что авторы предлагают различные критерии для оценки и отнесения кровель к одному из классов (групп) горно-геологических условий. При этом в качестве критериев предлагается учитывать: физико-механические характеристики горных пород и их свойства; закономерности процессов их разрушения, перемещения и взаимодействия с крепью и др.

Общим недостатком существующих классификаций кровель, применительно к механизированным крепям, является отсутствие четких количественных критериев, определяющих классы и параметры кровель, характеристику их взаимодействия, перемещения и деформирования. В основу критериев, определяющих класс кровли, должны быть положены качественные и количественные показатели взаимодействия основной и непосредственной кровель и механизированной крепи с характеристикой их параметров.

Таким образом, в создаваемую БД необходимо включить характеристики вмещающих пород по следующим факторам: по литологическому составу; по обрушаемости пород кровли; по устойчивости; по пределу прочности на сжатие; по интенсивности слоистости; по интенсивности трещиноватости.

Литологические составы вмещающих пород, отрабатываемых участков месторождения, оцениваются по материалам геологических отчетов, заключений по геофизическим исследованиям и технологическим картам горно-геологических прогнозов составленных геологическими службами шахт.

Способность части слоев кровли к свободному обрушению после передвижки, переноса или извлечения (разрушения) крепи называется обрушаемостью. Обрушаемость количественно характеризуется шагом обрушения, размером блоков, на которые слои разрушаются, мощностью толщ обрушающихся слоев.

Способность обнаженных и не поддерживаемых крепью нижних слоев пород кровли сохранять целостность и не выпадать в пространство очистной выработки называется устойчивостью кровли. Она характеризуется размерами и продолжительностью устойчивого состояния обнажений кровли на незакрепленном участке. Эти показатели должны использоваться для обоснования допустимого отставания крепления от выемки и при разработке мероприятий по предотвращению вывалов. Оценка устойчивости относится к непосредственной кровле или ее нижним слоям.

Классификация кровель по управляемости применительно к комплексно-механизированным очистным забоям впервые была предложена в работах [4,5] Она разработана в развитие классификации СЭВ и получила одобрение ряда советских специалистов [6], использована и опубликована в США [7]. Классификация включает три класса кровли

управляемости кровель: легкоуправляемые; среднеуправляемые; трудноуправляемые.

Обоснование показателей для оценки горно-геологических условий и включение их в БД.

Цифровое описание геополей осуществляется построением сетки из прямоугольных ячеек с перечнем значений показателей в узлах, в виде прогнозных матриц, с использованием прикладной программы в ГИС.

Основными прочностными характеристиками горных пород являются: модуль продольной упругости (модуль Юнга) E ; коэффициент Пуассона μ ; коэффициент пластичности k . Упругие и пластические свойства горных пород существенно влияют на процесс их разрушения. Модуль продольной упругости характеризует упругие свойства пород. Чем выше значение модуля продольной упругости породы, тем больше сопротивление разрушению она оказывает в процессе бурения и тем лучше она разрушается ударными нагрузками.

Для практических целей модуль упругости и коэффициент пластичности можно определять приближенно, пользуясь графиком деформации при вдавливании жесткого штампа в породу (по методу Л.А. Шрейнера). Модуль продольной упругости вычисляется по формуле:

$$E = P(1 - \mu^2) / d_m \cdot \varepsilon \quad (1)$$

Где: P - нагрузка для какой-либо точки экспериментальной кривой, соответствующая упругой деформации; d_m - диаметр опорной поверхности штампа, м; ε - упругая деформация горной породы при данной нагрузке, м. Коэффициент пластичности принимают равным отношению общей работы, затраченной для разрушения породы под штампом, к работе упругих деформаций.

Коэффициент Пуассона характеризует отношение относительной поперечной деформации ε_1 , к относительной продольной деформации ε при растяжении или сжатии.

Кроме вышеописанных характеристик непосредственной кровли необходимо оценить: интенсивность трещиноватости; слоистость; и устойчивость пород. Интенсивность трещиноватости $W_{тр.}$ - это количество трещин, приходящихся на 1 м, в направлении перпендикулярном трещинам

$$W_{тр.} = 1 / l_{ср.} \quad (2)$$

Где: $l_{ср.}$ - среднее расстояние между трещинами, м.

В слабо трещиноватых породах $W_{тр.} < 1$, в породах средней трещиноватости $1 < W_{тр.} < 3$, в сильно трещиноватых породах $3 < W_{тр.} < 10$.

Интенсивность слоистости $W_{сл}$ кровли зависит от мощности слагающих ее слоев пород.

$$W_{\text{сл.}} = 1/h_{\text{ср.}} \quad (3)$$

Где: $h_{\text{ср.}}$ – средняя мощность слоев, м.

Устойчивость пород оценивается основным параметром - шагом обрушения основной кровли. Естественный шаг обрушения труднообрушающихся и весьма труднообрушающихся пород превышает соответственно 30 и 60 м в основных угольных бассейнах страны, а также по зарубежным данным.

На основании анализа производственно - экспериментальных исследований получены параметры для определения шага первичной, генеральной осадки L_1 (м) основной кровли в отличие от первичного обрушения ее нижних слоев, установленного рядом авторов [8,9]:

$$L_1 = 3,5 \sqrt{\sigma_p \sum H_i / 10\gamma} = A \psi \quad (4)$$

Где: σ_p - предел прочности пород основной кровли на разрыв, МПа; $\sum H_i$ - мощность несущих слоев основной кровли, м; γ - удельный вес пород основной кровли, кН/м³; А- величина, соответствующая определенному классу кровли; ψ - коэффициент увеличения шага осадки основной кровли, обусловленный наличием легкообрушающейся непосредственной кровли.

Выполненные в различных горно-геологических условиях исследования по применению механизированных крепей с различным уровнем рабочего сопротивления позволили разделить вторичные осадки кровли по степени интенсивности их проявления на умеренные, интенсивные и весьма интенсивные.

В условиях легкоуправляемых кровель могут иметь место умеренные вторичные осадки с шагом от 6—12 до 15—30 м с местными обрезами и вывалами кровли при недостаточном сопротивлении крепи.

В условиях среднеуправляемых кровель имеют место умеренные и интенсивные осадки с шагом от 10 до 25-40 м. Интенсивные вторичные осадки характеризуются одностадийным шагом сдвижения и двух стадийным обрушением пород основной кровли, включая нижние ее слои, создающие повышенные периодические смещения и обрушения.

В условиях трудноуправляемых кровель имеют место интенсивные и весьма интенсивные осадки. Первые проявляются с шагом 20-30 м, а вторые - с шагом до 40-60 м и более.

Исследованиями установлено, что отношение шага вторичных осадок к шагу первичной осадки кровли при одно стадийном и двух стадийном их проявлениях составляет соответственно 0,305 (около 1/3) и 0,625 (около 2/3).

Это осредненные характеристики для всего выемочного столба лавы, но инструкция по геологическим работам и практика горных работ требуют, чтобы при изменчивости типов кровли их границы уточнялись на

плане горных работ. Поэтому необходимо решать задачу зонирования горного массива по фактору устойчивости пород кровли угольного пласта с визуализацией результатов на прогнозных планах горных работ. Влияние переменной фактической мощности непосредственной кровли в очистном забое на параметры крепи должно оцениваться конкретно в каждом классе кровли дополнительно.

Авторами статьи предлагается расчет значений устойчивости кровли лавы и последующее зонирование участка произвести с помощью вычисленных шагов обрушения при вторичной осадке. Метод расчёта шагов обрушения кровли, для каждого слоя, основан на формулах проф. В. Д. Слесарева [7] и рассмотрен в нашей статье [8]. Практический опыт работ на шахтах показывает, что вторичный шаг осадки для основной кровли обычно составляет: для легко обрушаемой 4-6м, для кровли средней обрушаемости -8-12, для труднообрушаемой -16-20, для весьма труднообрушаемых 25-40.

Таким образом, модуль компьютерного прогнозирования устойчивости кровли пласта для технологической карты прогноза состоит из четырех этапов.

1. Выбор выемочного поля и создание графического файла.
2. Создание базы данных.
3. Построение тектонофизической модели кровли выемочного участка лавы, с оценкой степени анизотропии и выделением участков повышенной трещиноватости.
4. Вычисление вторичного шага осадки основной кровли и по его параметрам произвести зонирование выемочного столба.

Выводы

1. Установлена структура и содержание интегрированной реляционной БД, реализуемой в системе ГИС для решения задачи оценки устойчивости кровли.
2. Предложен метод зонирования горного массива, по фактору геологических условий, с применением геоинформационного моделирования объектов геотехнологии и горного массива в цифровом виде.
3. Предложен модуль компьютерного прогнозирования устойчивости кровли с элементами многоуровневого интеллектуального анализа.

Список литературы

1. Игнатов Ю.М. Правила цифрового описания пространственной информации [Текст]: методические указания по выполнению лабораторных работ по курсу «Основы и технологии ГИС при разработке полезных ископаемых» для студентов специальности 130402 «Маркшейдерское дело» ». Ю. М. Игнатов, Н. А. Кирильцева; ГУ КузГТУ. - Кемерово, 2007. - 43 с.

2. Инструкция по геологическим работам на угольных месторождениях Российской Федерации. СПб, 1993. 147с.
3. Якоби О. Практика управления горным давлением. М. Недра. 1987. 566с.
4. Коровкин Ю.А. О классификации кровель в комплексно-механизированных очистных забоях. Уголь, 1980, №1, с. 18-22.
5. Докукин А.В., Коровкин Ю.А, Яковлев Н.И. Механизированные крепи и их развитие. М., Недра, 1984.
6. Хорин В.Н. Выемка тонких пластов. М. Недра, 1984.
7. Syd S. Peng, H.S. Chiang. - Longwall mining. New York, 1984
8. Борисов А.А. Механика горных пород и массивов. М.: Недра, 1980. 360с.
9. Игнатов Ю.М., Калинин С.И., Роут Г.Н., Гагарин А.А. Анализ результатов оценки устойчивости кровли пласта для совершенствования методики горно-геологического прогноза выемочного участка // Вестник Научного центра ВостНИИ по промышленной и экологической безопасности. 2022. № 2. С. 30–40.

References

1. Ignatov Yu. M. Rules of digital description of spatial information [Text]: guidelines for performing laboratory work on the course "Fundamentals and technologies of GIS in the development of minerals" for students of the specialty 130402 "Surveying". Yu. M. Ignatov, N. A. Kiriltseva; GU KuzSTU. - Kemerovo, 2007. - 43 p.
2. Instructions for geological work on coal deposits of the Russian Federation. St. Petersburg, 1993. - 147с.
3. Yakobi O. Practice of rock pressure management. M. Nedra. 1987. 566с.
4. Korovkin Yu.A. On the classification of roofs in complex mechanized treatment faces. Coal, 1980, No. 1, pp. 18-22.
5. Dokukin A.V., Korovkin Yu.A, Yakovlev N.I. Mechanized supports and their development. M., Nedra, 1984.
6. Khorin V.N. Excavation of thin layers. M. Nedra, 1984.
7. Syd S. Peng, N.S. Chiang. - Longwall mining. New York, 1984
8. Borisov A.A. Mechanics of rocks and massifs. M.: Nedra, 1980. 360с.
9. Ignatov Yu.M., Kalinin S.I., Routh G.N., Gagarin A.A. Analysis of the results of assessing the stability of the roof of the formation for improving the methodology of mining and geological forecast of the excavation site // Bulletin of the VostNII Scientific Center for Industrial and Environmental Safety. 2022. No. 2. pp. 30-40.