

УДК 622.014.2:658.513.011.56:681.3

Т.А. Кувашкина, В.М. Шек

**ОСОБЕННОСТИ ПОСТРОЕНИЯ МАСШТАБИРОВАННОГО
ПРОСТРАНСТВЕННО-АТРИБУТИВНОГО БАНКА
ДАННЫХ ГОРНОПРОМЫШЛЕННОЙ СИСТЕМЫ**

Семинар № 10

Современные горнопромышленные комплексы [1] – сложные многофакторные образования природного и технологического происхождения, характеризующиеся как объект управления большими объемами разнородной информации в горных системах. Поэтому в архитектуру систем управления такими комплексами целесообразно включать банки данных, которые дают возможность доступа к совокупности взаимосвязанных данных, их интеграции и преобразованию.

Масштабируемый банк данных (МБнД) – это объектно-ориентированный банк данных, в котором пространственно-атрибутивная информация об объектах предметной области обрабатывается с соблюдением принципа ее одновременной классификации по иерархическому, пространственному и временному признакам.

Особенностью проектирования масштабированного банка данных является объектно-ориентированная методология представления данных о каждом объекте горнопромышленной системы.

Такая методология обработки информации позволяет осуществить полноценное объектное представление данных в банке и предоставляет разработчику инструмент, посредством которого можно отражать и учитывать при вычислениях сколь угодно сложные взаимосвязи между объектами [2]. Данные в таком банке организуются в соответствии с принадлежностью реально существующим объектам,

событиям или явлениям, описания которых хранятся в специальных структурах, называемых объектами банка данных или информационными объектами. Объект банка данных является, таким образом, компьютерной моделью предмета или явления рассматриваемой предметной области. В качестве своих атрибутов объект может включать одиночные параметры и массивы, другие объекты, а также процедуры, предназначенные для обслуживания хранимых в объекте данных.

Объектная организация данных, а также возможность включения одних объектов в состав других, автоматически обеспечивает иерархическую структуризацию информации.

Последовательная реализация объектно-ориентированного подхода предполагает, что информация об объекте не ограничивается только доменами: описание объекта включает также набор процедур, обслуживающих эти данные.

Основными компонентами МБнД горнопромышленной системы являются:

- модель данных для области разведки и добычи и переработки полезных ископаемых;
- средства логического заполнения банка различными типами информации, в том числе: данными по изученности/картографическими данными; данными по скважинам (каротажные кривые, керн); данными по разработке месторождений; данными по проектам (отчетам);

- методы ввода, хранения, обработки различных типов данных и форматов;
- интерфейсы для запросов, просмотра и выборки данных;
- интерфейсы связи с другими информационными системами или программными продуктами, отличными от используемой формы организации данных.

Масштабируемый банк информации горнопромышленной системы содержит данные о природных и техногенных объектах (рисунок). В группу «природные» отнесем такой объект как месторождение, который, в свою очередь, охватывает свиты пластов полезного ископаемого. В группу «техногенные» - шахта (рудник, карьер), которую можно декомпозировать на блоки и выемочные участки.

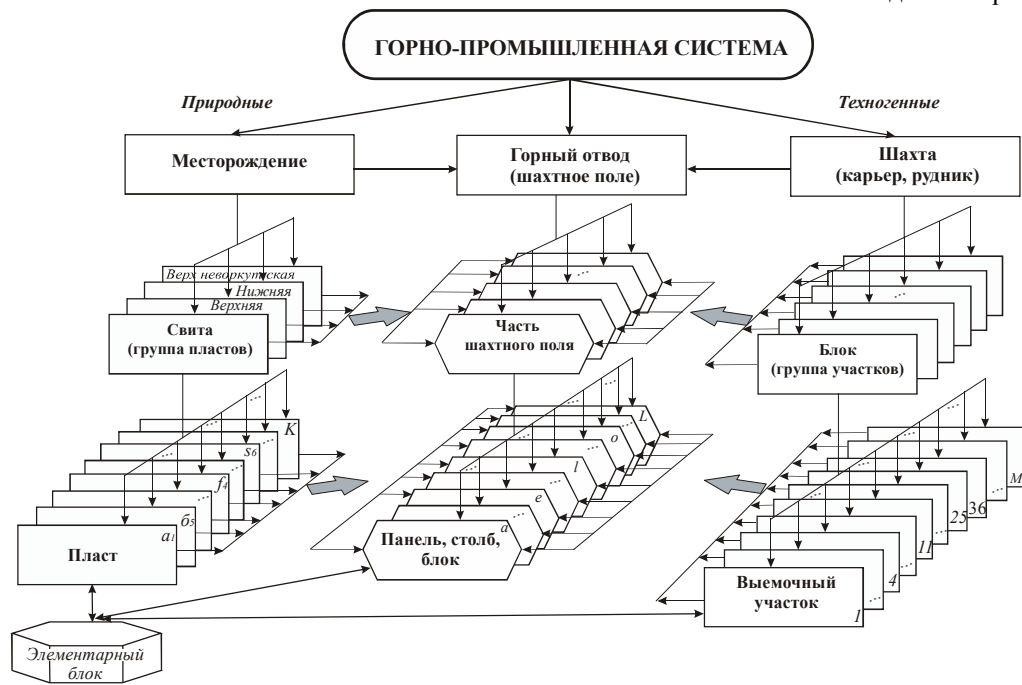
Таким образом, к группе «природные» относятся естественные элементы месторождения (тела полезных ископаемых,

Архитектура масштабированного банка информации горнопромышленной системы
геологические нарушения, вмещающие

породы). К группе «техногенные» относятся искусственные объекты (горные выработки, оборудование и сооружения в выработках).

Основой пространственной модели горного объекта в МБнД является блочная структура. В залежи выделяют геологические блоки. В качестве элементарных блоков (базисных объектов модели) используется призма (шестигранник), в основании которой находится шестиугольник. Согласно [3] разбиение рудного тела на блоки такой формы позволяет наиболее точно представить геометрическую форму тела при минимальных затратах времени на математические расчеты при решении производственных задач, например, подсчет полезного ископаемого на предприятии или месторождения в целом. Эта задача является важнейшей из совокупности решаемых задач, поскольку ее результаты используются при определении основных технико-экономических показателей горного объекта, таких как доход, рентабельность и др.

Из базисных объектов-моделей стро-



ятся более сложные объекты посредством методов комплексирования и «склеивания» моделей нижних уровней для дальнейших исследований. К таким объектам можно отнести геологические пласты, горные выработки и т.д.

МБнД содержит как пространственную (картографическую), так и атрибутивную информацию. Пространственной информацией (стандартные покрытия ArcInfo, шейп-файлы, растровые изображения, библиотечные слои ArcInfo) для угольной шахты, например, будут: топографические карты, разрезы, чертежи, графики, технологические схемы, а атрибутивной информацией – описание топологии сети горных выработок, данные по геологоразведочным скважинам, данные замеров динамики потоков газа, физические свойства вмещающей породы и полезного ископаемого и т.д.

Особенностью горнопромышленных систем является территориальное расположение производственных объектов, поэтому целесообразно в рамках управления такими объектами применять системы, оперирующие пространственными данными, например, ГИС

В модели данных ГИС ArcView (модель данных покрытия) пространственная информация скомбинирована с атрибутами. Графические данные хранятся в специальных индексированных двоичных файлах, оптимизированных для быстрого отображения и доступа к ним, а атрибутивные данные хранятся в таблицах, причем число записей в таблицах равно числу графических объектов в двоичных файлах. Связь между этими двумя типами данных осуществляется с помощью поля общего идентификатора [4]. Одноуровневая графическая информация объединяется в тематические слои карт (визуальных изображений на экране монитора ЭВМ). Причем эти слои имеют временную привязку и хранятся в динамическом хранилище изображений.

ГИС – незаменимый инструмент при создании интегрированных банков гео-

данных. Во-первых, она обеспечивает формирование банка картографических материалов, что не может сделать ни одна реляционная СУБД и, во-вторых, позволяет упростить запрос и реализовать быстрый поиск табличных и массивных картографических данных, осуществить оперативный доступ к ним. Поэтому наилучшим принципом для создания банка данных горного предприятия является геоинформационный.

Информация будет храниться в базах данных, к которым могут обращаться пользователи всех уровней иерархии.

Особенностью МБнД является то, что в любой момент времени при управлении объектом на любой стадии (проектирование предприятия, строительство, эксплуатация и консервирование) появляется возможность использовать готовые проектные решения, которые были выработаны ранее для других предприятий при относительно схожих природных факторах. То есть масштабируемый банк данных позволяет не просто накапливать информацию об объектах, но и использовать опыт отечественной и зарубежной горной промышленности. Имеющиеся проектные решения мы можем применять к выбранному объекту горной промышленности лишь частично, поскольку не существует двух одинаковых объектов, но есть схожие природные факторы (например, форма залегания пластов на некотором участке, структура, характер геологических отложений).

МБнД должен помогать принимать решения при управлении горнопромышленными системами разных уровней иерархии: от предприятия до отрасли.

Например, при анализе двух объектов (шахт) с помощью запросов должна извлекаться информация из нескольких таблиц нижних уровней иерархии, получаемая (генерируемая определенным образом) информация должна сохраняться далее в банке данных на этих, а также более высоком уровне иерархии. Таким

образом, анализируя различные объекты (например, угольные шахты, разрезы), можно выяснить нерентабельные предприятия (оценка на уровне отрасли), выработанные пространства которых можно использовать для захоронения производственных отходов (уровень региона или отрасли) или развивать добычу попутных полезных ископаемых, например, метана (уровень отрасли или государства).

Графическая информация в системе «Угольная шахта» будет представляться, например, в виде динамического пространственного образа – модели материальных потоков.

Согласно иерархической идеологии построения системы вся информация упорядочивается по идентичности пространственного масштабирования. Это масштабирование не является произвольным. Оно субъективно лишь постольку, поскольку отражает желание людей выявить наиболее характерные особенности организации наблюдаемых явлений. Сама же структурная организация этих явлений объективна и проявляется в существовании разномасштабных карт [1].

Для обработки пространственной информации горных предприятий необходимо разработать соответствующие методы и алгоритмы, процессы их отработки, а также связать создаваемые модели во времени для учета динамики изменения исследуемых систем.

В среде ГИС в терминах встроенного языка будут реализованы методы и алгоритмы обработки информации, позволяющие использовать разрабатываемый банк данных горнопромышленных систем для получения конкретной информации о требуемых объектах пользова-

телям различных уровней иерархии (по признаку управляемости). Например, центральные органы власти и управления интересуют информация о состоянии некоторого месторождения, и неинтересна информация о количестве добытого полезного ископаемого с определенного его участка, например, за сутки. А начальнику добычного участка важна информация о состоянии добывающего процесса и за сутки, и за смены. Эти запросы на обработку информации будут обрабатываться, естественно, параллельно и разными методами, используя «сопряженные массивы» данных с помощью соответствующих наборов моделей-процессов.

Таким образом, при разработке масштабируемого банка данных как системы необходимо придерживаться следующих принципов:

- обеспечение долговременного и надежного хранения данных;
- обеспечение интерфейса связи со всеми приложениями (открытость системы);
- независимость от аппаратного обеспечения (масштабируемость архитектуры);
- открытость и расширяемость для новых требований и технологий;
- обеспечение возможности обработки, интерпретации и анализа всех хранящихся пространственно-атрибутивных данных.

Это позволит создать универсальный механизм работы с разнообразной пространственной и атрибутивной информацией в рамках любых горнопромышленных систем.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шек В.М. Объектно-ориентированное моделирование горнопромышленных систем. - М.: МГГУ, 2000, 304 с.

2. Гутштейн М.И., Гиригорн С.Л. Новый подход к проектированию банков данных. Семан-

тическая объектноориентированная технология. // Геоинформатика №1, 1999, с. 21-28.

3. Пучков Л.А. Шек В.М. Патент № 2130548. Способ определения количества полезного ископаемого в массиве горных пород.

4. Филиппова А.А. Геоинформационное моделирование распространения загрязнений в горно-промышленном регионе. Диссертация на соиска-

ние ученой степени канд. техн. наук. Москва, 2004.

Коротко об авторах

Кувашкина Т.А. – аспирантка,
Шек В.М. – профессор, доктор технических наук,
кафедра «Автоматизированные системы управления», Московский государственный горный университет.



© С.Г. Чудинов, С.С. Кубрин,
А.В. Ландер, 2005

УДК 622.272:622.014.2:658.513.011.56:681.3

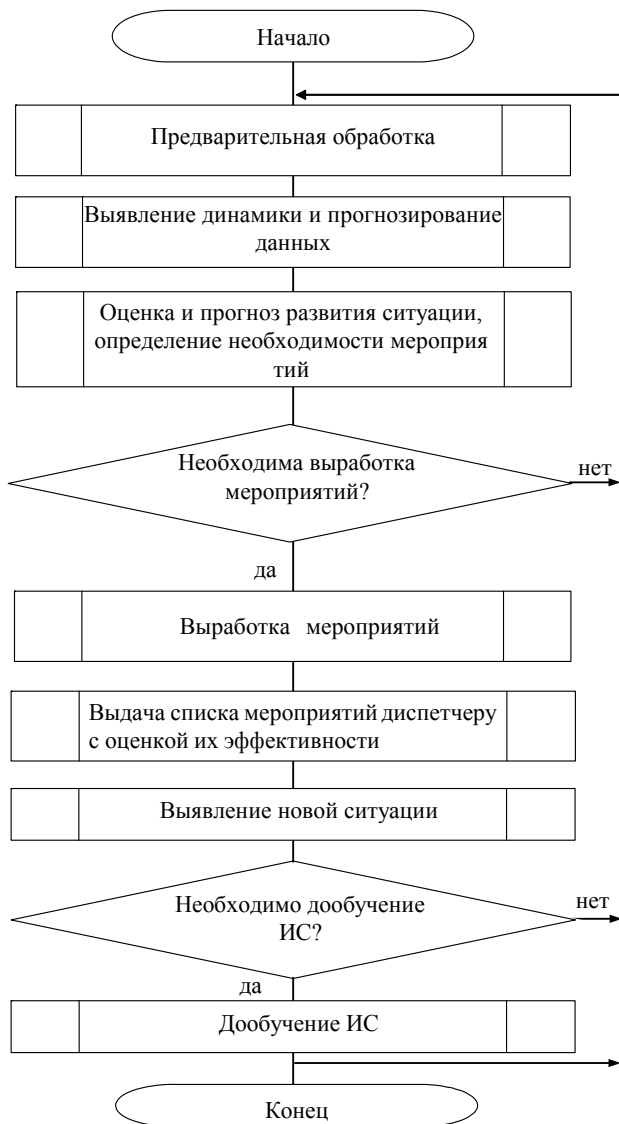
С.Г. Чудинов, С.С. Кубрин, А.В. Ландер

АСПОЗНАВАНИЕ И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ СИТУАЦИИ В ШАХТЕ

Семинар № 10

В настоящее время широко распространены автоматизированные системы оперативно диспетчерского управления (АСОДУ), позволяющие повысить безопасность работы персонала в шахте, оперативно предоставить данные по различным параметрам, помогающие облегчить работу диспетчера. Несмотря на широкие возможности, которые предоставляют автоматизированные системы контроля и управления производством решающую роль лица принимающего решение (ЛПР) играет диспетчер. Диспетчер должен обладать опытом работы на руднике. То есть знать технологические процессы, конфигурации выработок, маршру-

ты выхода из подземной части рудника и т.д. Однако, наиболее слабым звеном в цепи система-человек является ЛПР. Человеческий фактор играет большую роль при вынесении управленческих решений на производстве. В аварийных ситуациях диспетчер должен правильно оценивать обстановку в выработках, решать задачи эвакуации персонала в случае аварии, вводить в действие план ликвидации аварий (ПЛА). Таким образом, горному диспетчеру крайне необходима подсистема поддержки принятия решения с заложенным списком мероприятий и действий по каждому мероприятию по ликвидации аварий - компьютерный аналог "Плана ликвида-



Общий алгоритм работы подсистемы

ции аварий”. Такая подсистема снизит нагрузку на горного диспетчера во время ввода в действие плана ликвидации аварий, автоматизировать ряд мероприятий, действий, распределить задачи между оперативным персоналом (операторы газового контроля, электроснабжения, телефонной станции, горный диспетчер).

Для повышения уровня безопасности, необходимо расширить функции подсистемы, реализующей план ликвидации аварий. Другими словами изменить подход к оценке ситуации в подземной части шахты. На сегодняшний день используется подход “по сигналу”, то есть после того, как произошла авария, вводится в действие план ликвидации аварии. Такой подход не позволяет выявить возможность возникновения аварии.

При использовании автоматизированных систем непрерывного мониторинга атмосферы и состояния массива в шахте появилась возможность диагностирования ситуации, и прогнозировать ее развитие. Тогда, если возможность возникновения аварии выявлена, то появляется время для выработки мероприятий по ее недопущению или снижению последствий и предотвращению травматизма и гибели шахтеров. Следовательно, необходимо использовать подход непрерывного контроля обстановки в шахте с оценкой ее с точки зрения безопасности.

Подход, основанный на непрерывном мониторинге ситуации в подземной части шахты реализуется на основе алгоритма, приведенного на рис. 1. Рассмотрим подробнее его блоки. Математическая модель предварительной обработки данных снижает влияния случайной составляющей в данные, собираемые с сельсинов и датчиков. Сглаживание производится с помощью многочленов, приближающих по ме-

тому наименьших квадратов группы из трех опытных точек:

$$\tilde{y}_0 = \frac{1}{3}(y_{-1} + y_0 + y_{+1});$$

$$\tilde{y}_{-1} = \frac{1}{6}(5y_{-1} + 2y_0 + y_{+1});$$

$$\tilde{y}_{+1} = \frac{1}{6}(-y_{-1} + 2y_0 + 5y_{+1});$$

где y_0 , y_0^* – значение исходной и сглаженной информации в средней точке; y_{-1} , y_{-1}^* – значение исходной и сглаженной информации в левой точке; y_{+1} , y_{+1}^* – значение исходной и сглаженной информации в правой точке.

Для прогнозирования значений используется метод экспоненциального взвешенного среднего (процессы скользящего среднего) – ряд весов убывающих по экспоненциальному закону. Данные с датчиков поступают дискретно с большой частотой. Прогноз вычисляется по формуле:

$$u_t = u_{t-1} + a(d_t - u_{t-1}),$$

где u_t – прогнозируемое значение данных; u_{t-1} – прошлый прогноз текущего значения данных; d_t – текущее значение данных; a – коэффициент чувствительности экспоненциального среднего, принято $a = 0,2$.

Точность прогноза оценивается с помощью метода «стандартного отклонения» ошибки:

$\sigma_t = k * MAD_t$, где k – константа пропорциональности, принята равной 1,25; $MAD_t = a |e_t| + (1-a)MAD_{t-1}$ – среднее абсолютное отклонение ошибки, e_t – ошибка прогноза.

Для определения степени случайности изменения значений используем метод «следающего контрольного сигнала»:

$$T_t = \bar{e}_t / MAD_t,$$

где $\bar{e}_t = ae_t + (1-a)\bar{e}_{t-1}$ – экспоненциально взвешенная ошибка. Пороговые значения контрольного сигнала приведены в табл. 1.

Таблица 1

Уровень доверия %	Пороговое значение контрольного сигнала ($a=0,2$)
80	0,54
90	0,66
95	0,74
98	0,81
100	1,00

Для оценки ситуации были выделены шесть возможных состояний:

- штатное;
- тревожное;
- предаварийное;
- аварийное;
- ликвидация аварии;
- ликвидация последствий аварии.

Ситуация в шахте является совокупностью состояний в выработках. Для определения состояния в выработках используются текущие и прогнозные данные, полученные в результате вычислений на основе приведенных моделей. Каждая выработка включает ряд датчиков с различными показателями. Определения состояния выработки в соответствии с базой правил (табл. 2). С помощью логического вывода и базы знаний вырабатывается список мероприятий, направленных на снижение вероятности возникновения аварий.

На последующих этапах производится выявления новых, не описанных экспертами ситуаций и производится при необходимости дообучение подсистемы.

Таблица 2
Состояния выработок

Выработка	Датчик1		Датчик2		Датчик3		..	Состояние
	Мин	Макс	Мин	макс	мин	макс		
Выработка вент закл. Гор -620 м	0,4 %	0,5 %	20 °С	30 °С	5 м/с	3 м/с	..	Штатное
Выработка вент закл. Гор -620 м	0,5 %	0,6 %	Любое	Любое	Любое	Любое	..	Предаварийное
Выработка вент закл. Гор -620 м	Любое	Любое	30 °С	50 °С	Любое	Любое	..	Тревожное
Выработка вент закл гор -580 м	0,3 %	0,5 %	20 °С	30 °С	3 м/с	5 м/с	..	Штатное
Выработка вент закл гор -580 м	0,5 %	0,6 %	Любое	любое	Любое	Любое	..	Предаварийное

Предложенный подход к построению подсистемы план ликвидации аварий предназначен для интеграции ее в АСО-ДУ, с целью использования преимущества непрерывного мониторинга ситуации. Это

позволит снизить влияние человеческого фактора на вынесение управленческих решений и повысить безопасность работ под землей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Методы* прогнозирования экономических показателей. – М., Финансы и статистика, 1986.
2. *Теория* прогнозирования и принятия решений. – М.: Высшая школа, 1977.
3. *Построение* экспертных систем. – М.: Мир, 1987.

Коротко об авторах

Чудинов С.Г. – магистр,
Кубрин С.С. – доктор технических наук, профессор,
Ландер А.В. – кандидат технических наук, доцент,
Московский государственный горный университет.



© А.С. Жуков, К.Ю. Кутейников,

В последнее время все чаще стали появляться на слуху понятия "аутентификация" и "верификация". Для специалистов в области биометрии эти понятия не составляют труда. Но для нас, простых обывателей, сталкивающимися с ними почти каждый день (например, при работе с компьютером или при денежных операциях через банкомат), эти понятия совершенно не знакомы, что, безусловно, является большим минусом, так как в скором будущем, в рамках проекта "Электронная Россия", биометрические технологии прочно войдут в нашу жизнь, усовершенствовав методы идентификации личности. Эта необходимость вызвана тем, что при подтверждении личности путем ее сличения с фотографией в документе велика вероятность ошибок. Целью внедрения биометрической информации является необходимость более достоверной "привязки" личности субъекта к предъявляемому документу. Это позволит значительно уменьшить вероятность использования поддельных и недействительных документов, а также повысить общий уровень безопасности.

Что же касается аутентификации и верификации, то тут, если разобраться, все просто. Оба эти понятия происходят от идентификации. Идентификация – это одно или большее количество измерений биометрической характеристики со считывающего устройства, которые преобразуются в пригодную для использования цифровую форму и затем сравниваются:

- с единственным шаблоном, соответствующим проверяемому человеку. Шаблон выбирается по предварительно вводимому номеру или коду. Результаты сравнения возвращаются приложению – такая процедура называется верификацией или

сравнением "один к одному". Результатом сравнения обычно является число – вероятность того, что сравниваемые шаблоны принадлежат одному лицу. Затем, с использованием какого-либо математического критерия, принимается решение об идентичности шаблонов;

- со всеми зарегистрированными шаблонами (без предварительного выбора шаблона и ввода номера или кода). В качестве результата возвращается список нескольких наиболее похожих шаблонов (с наибольшими вероятностями, полученными при сравнении). Затем, как и в предыдущем случае, с использованием какого-либо математического критерия, принимается решение об идентичности шаблонов. Такая процедура называется аутентификацией или сравнением "один ко многим". Об этих понятиях можно говорить много и посветить им не один десяток статей, но сейчас не об этом. Поговорим о грядущем, о биометрии.

Очень скоро с помощью внедренных биометрических технологий будет проходить идентификация человека по уникальным для каждого биологическим особенностям. Основные, используемые в настоящее время биометрические параметры это: кисть руки, черты лица, термограмма лица, температурная карта лица, голос, подпись, радужная оболочка глаза, папиллярный узор пальца и фрагменты генетического кода. На основе этих характеристик существуют одноименные способы распознавания. Все они уникальны и универсальны.

Одним из простейших способов является распознавание по кисти руки, основанное на анализе трехмерного изображения кисти. На сегодняшний день данный способ достаточно широко распространен, но не очень надежен. Это связано, в первую очередь, с

большой вариабельностью формы кисти. Плюсом можно считать малый размер математического "описания" кисти (длина "описания" составляет примерно 10 байт).

Следующим по сложности и частоте использованию является метод распознавания черт лица. Данный способ основан на анализе большого количества параметров, таких как цвет, форма, контраст, черты и т.д. Системы подобного рода в настоящее время имеют недостаточную надежность распознавания из-за больших ограничений, связанных с освещенностью и ракурсом лица во время ввода параметров идентификации, но распространены достаточно широко (около 15 % рынка).

Распознавание по термограмме лица основано на результатах исследований, которые показали, что термограмма, т.е. схема расположения кровеносных сосудов лица (вены, артерии), является уникальной для каждого человека. Система позволяет провести идентификацию даже в случае, когда человек находится в другом конце неосвещенной комнаты. Такие факторы, как температура тела, охлаждение кожи лица в морозную погоду, естественное старение организма человека, использование специальных масок не влияют на точность термограммы. Однако и здесь есть свой минус – это высокая стоимость. Метод распознавания по температурной карте лица очень похож на распознавание по термограмме лица. Главным отличием является то, что в этом случае учитываются температурные особенности самой кожи лица, хотя они и зависят от расположения кровеносных сосудов. Уникальность и устойчивость метода пока еще недостаточно доказаны, но при определенных условиях он показывает отличные результаты.

Надежная идентификация человека по голосу пока остается неразрешимой проблемой. Хотя человеческое ухо и мозг являются наиболее совершенными инструментами идентификации, зачастую мы не узнаем голоса, которые слышим по телефону. Основная проблема заключается в большом разнообразии проявлений голоса человека:

он может меняться в зависимости от настроения, состояния здоровья, от возраста и т.д.

Идентификация человека по его подписи – достаточно надежный метод биометрической идентификации личности, однако процедуры распознавания пока слишком сложны и неудобны в применении. Представьте себе, что для получения доступа Вам придется расписываться привязанной ручкой на вмонтированном в стену, дверь или стол планшете. Возможно поэтому этот метод является пока экзотикой и не находит серьезного применения.

Идентификация по радужной оболочке глаза имеет высокую степень надежности, однако, соответствующие устройства ввода изображения радужной оболочки глаза имеют пока довольно высокую стоимость. Вдобавок – существуют проблемы, связанные с процедурой сканирования. Устройство сканирования, фактически, является высококачественной телекамерой, что определяет некоторые неудобства, связанные с размером камеры и собственно процедурой сканирования.

Сейчас же наиболее часто используемый метод – это распознавание папиллярного узора пальца. Проверка отпечатков пальцев проходит на основе анализа и сравнения папиллярных узоров. При сравнении соответствующих процедур идентификации по надежности метод сопоставим разве что только с идентификацией радужки глаза, однако соответствующие устройства ввода этого метода имеют более низкую стоимость. Папиллярный узор пальца человека является уникальной биометрической характеристикой: во всем мире нет двух человек с одинаковым узором. Однако существует одно предубеждение против этого способа, у многих людей появляется ассоциация с преступниками, ведь долгое время это было их "привилегией".

Ни одна из перечисленных выше биометрических технологий распознавания на данный момент не является на 100 % надежной. Не смотря на постоянный технический прогресс, вероятность ошибки или

возможность применения в лучших случаях достигают 90–95 %. Для обеспечения максимальной применимости и уменьшения возможности ошибки применяют комбинации биометрических технологий – много-модальную биометрию.

Существует еще один метод идентификации личности, который дает безошибочные результаты – это идентификация по фрагментам генетического кода. Ни одна из персональных характеристик человека не может сравниться по надежности с генетическим кодом человека. Однако практические способы идентификации, использующие уникальные особенности фрагментов ДНК, в настоящее время применяются редко по причине их сложности и очень высокой стоимости.

Использование на практике всех этих методов идентификации, а точнее их совокупности и приведет к смене документов, удостоверяющих личность. Кардинального изменения могло бы и не потребоваться, достаточно было бы добавить машиносчитываемые поля или штрих-код в документ, но достаточно большое количество информации (об отпечатках пальцев, ДНК...) просто невозможно на них уместить. Альтернативой является пластиковая карточка со встроенным микрочипом. Доступ к информации, записанной на микрочипе удостоверения личности, будет закрыт личным кодом владельца документа. Ее аналог — бесконтактная смарт-карта, обладающая операционной системой, достаточной скоростью передачи и механизмами защиты.

Например, новый заграничный паспорт будет представлять собой пластиковую карточку с биометрической информацией (цифровой портрет, цифровой снимок отпечатка пальца с объемом данных 35 Kb), личными сведениями (ФИО, год рождения, место рождения, гражданство и т.д.), служебной информацией и электронным носителем (64Kb). Все эти нововведения предполагают максимальную совместимость с международными стандартами, готовность для перехода к безвизовому режиму с США и Евросоюзом и легкий способ внедрения. Биометрические данные представителя удостоверения будут сканироваться и проверяться с помощью мобильных или стационарных устройств, которыми будут оснащены пропускные пункты. Целостность паспортов является существенным фактором безопасности глобальной транспортной системы, а уверенность органов пограничного контроля в целостности проездных документов государства способствует упрощению формальностей пограничного контроля. Эффективный обмен данными между органами различных стран будет способствовать борьбе с терроризмом и организованной преступностью по всему миру.

Несмотря на то, что биометрия — сравнительно новая область современных информационных технологий, мировой рынок биометрических систем уже сегодня представлен десятками известных фирм. Биометрический рынок развивается быстрыми темпами, уже в 2003 году объем рынка составил более 1 млрд долларов, что опередило самые оптимистические прогнозы.

Коротко об авторах

Жуков А.С., Кутейников К.Ю. – студенты, кафедра «Автоматизированные системы управления», Московский государственный горный университет.

© **В.М. Аленичев, В.И. Суханов,**
2005

УДК 622.271.3.06:004.925.84

В.М. Аленичев, В.И. Суханов

ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ РАСЧЕТА ОБЪЕМОВ ПОЛЕЗНОГО ИСКОПАЕМОГО НА ПОГОРИЗОНТНЫХ ПЛАНАХ

Семинар № 10

Моделирование месторождений на основе погоризонтных качественных планов и поперечных геологических разрезов предполагает, что границы залежей и отдельных тел в сечениях аппроксимируются ломанными линиями [1]. Поэтому одной из важнейших задач при формировании карьерного пространства является оценка точности определения объемов полезного ископаемого в планируемых контурах отработки. При компьютерном моделировании в «САПР Карьер» сложноструктурных залежей на основе погоризонтных качественных планов в распоряжении расчетных программ имеются контура различных горных масс, в том числе полезного ископаемого по подошве и кровли уступов (горизонтам карьера) [2].

Ниже рассматриваются различные варианты оценки объемов, отличающиеся числом привлекаемых контуров рудных тел со смежных горизонтов и гипотезами относительно расположения границы тела между горизонтами.

При использовании погоризонтных качественных планов погрешность оценки объема рудного тела, моделируемого обобщенным цилиндром (произвольная форма основания и вертикальные стенки), складывается из погрешности задания

контура на горизонте и неопределенности положения рудного тела между сечениями на горизонтах. Рассмотрим уступ, содержащий рудное тело (рис. 1). Для расчета объемов тела при известном расположении его контура на горизонте определяется площадь:

$$S = 0.5 \sum_{i=1}^n (x_{i-1}y_i - x_i y_{i-1}),$$

где n – число вершин замкнутого контура; x_i, y_i – координаты точек контура; $x_0 = x_n, y_0 = y_n$ – условие замкнутости контура.

Объем рудного тела вычисляется как $V = S h$. В этом случае ошибка, вызванная незнанием положения профиля рудного тела в вертикальном сечении, при аппроксимации границы профиля отрезком прямой может быть оценена в среднем как произведение длины периметра на площадь треугольника неопределенности

$$\Delta V = \pm \frac{a}{2} Ph,$$

где P – длина периметра контура; $a = h \operatorname{ctg} \gamma$ – величина смещения контура на вышележащем горизонте (средняя или максимальная в зависимости от цели оценивания); h – высота уступа; γ – угол падения залежи.

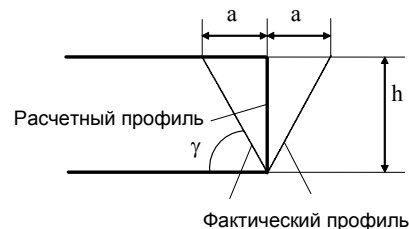






Рис. 1. Сечение рудного тела на уступе

Таблица 1

Сравнительные параметры основных фигур

Фигура	Параметры
 Круг радиуса R	$P = 2\pi R$, $S = \pi R^2 = 1$, $R = \sqrt{1/\pi}$, $\rho = 2\sqrt{\pi} = 3.5449$
 Квадрат со стороной b	$P = 4b$, $S = b^2 = 1$, $b = 1$, $\rho = 4.0$
 Прямоугольник со сторонами c , d	$P = 2c + 2d$, $S = cd = 1$, $c = 5$, $d = 0.2$, $\rho = \frac{2}{c} + 2c = 10.4$
 Эллипс с полуосями c , d	$P = \pi(1.5(c + d) - \sqrt{cd})$, $S = \pi cd = 1$, $c = 2.5$, $d = 0.127$, $\rho = 10.6092$

Относительная погрешность оценки объема тела в уступе будет равна

$$\frac{\Delta V}{V} = \frac{a}{2} * \frac{P}{S} = \frac{a}{2} \rho,$$

где ρ – отношение длины периметра к площади контура, характеризующее концентрацию тела вблизи центра масс (массивность, сложность контура фигуры).

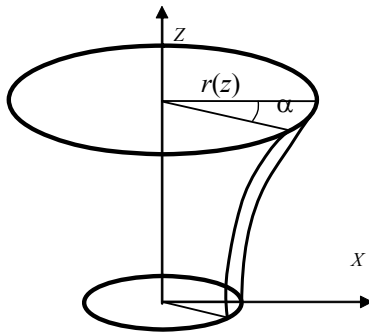
При фиксированной площади, чем меньше ρ , тем ближе контур тела к кругу. Величина ρ растет, если тело начинает вытягиваться в направлении простирания залежи или превращается в дайку (прослойка между вмещающими породами). В табл. 1 приведены различные фигуры единичной площади с последовательно возрастающими значениями параметра ρ .

Погрешности определения объема при выдержанном падении пластообразной залежи (тела) компенсируются. При непостоянных углах падения залежи в пределах высоты уступа в расчетах следует принимать среднюю разность смещений контуров у кровли и подошвы уступа, т.е.

$$a = a_1 - a_2,$$

где a_1 , a_2 – средние смещения (с учетом знака) соответственно левого и правого бока залежи на смежных горизонтах.

Оценка объема при моделировании рудных тел обобщенными цилиндрами может достигать значительных величин для сложноструктурных месторождений. Для ее снижения необходимо изменить алгоритм расчета, учитывающий интерполяцию не нулевого, а более высоких порядков. При интерполяции первого порядка необходимо дополнительно учесть контур того же самого тела на вышележащем горизонте. В этом случае аппроксимация границы тела между горизонтами представляется линейной интерполяцией между границами подошвы и кровли тела на уступе, что соответствует обобщенному конусу. Погрешность оценки объема в этом случае обусловлена отклонением фактической границы тела между горизонтами от интерполирующей линейчатой поверхности [3]. Данная информация в модели месторождения, созданной на основе погоризонтных качественных планов, отсутствует и, следовательно, оценить влияние этих погрешностей не представляется возможным. Экспериментально установлено, что выбор шага аппроксимации сечений рудных тел, совпадающего с высотой уступа, вполне приемлем для большинства рудных месторождений [4]. При этих условиях расчет объема для ко-



нического тела следует производить по формуле [1]

$$V = 1/3 (S_n + S_k + \sqrt{S_n S_k}) h, \quad (1)$$

где S_n – площадь контура тела на подошве уступа; S_k – площадь контура тела на кровле уступа; h – высота уступа.

При допустимой точности аппроксимации контуров однородных горных масс [1, 2] объем конуса можно вычислять по выражению

$$V = 1/2 S_n h + 1/2 S_k h = 1/2 (S_n + S_k) h,$$

что соответствует аппроксимации конуса двумя обобщенными цилиндрами с основаниями по подошве и кровле и высотой, равной половине высоты уступа.

Объем полезного ископаемого в этапе отработки, включающем m уступов высотой равной h , определяется с учетом последней аппроксимации по формуле:

$$V = \sum_{i=1}^m 0.5(S_{ni} + S_{ki})h_i = (0.5S_{n1} + S_{n2} + \dots + S_{nm} + 0.5S_{km})h$$

При постоянном угле падения выше написанная формула принимает вид

$$V = \sum_{i=1}^m S_{ni} h.$$

Последнее обстоятельство существенно упрощает проблемы автоматической идентификации принадлежности контуров на соседних горизонтах одному и тому же телу. Решение этой про-

Рис. 2. Сектор аппроксимации тела

блемы требует участия геолога и хранения информации о связях контуров на различных горизонтах в модели месторождения.

Перед анализом квадратичной интерполяции боковых граней предварительно покажем, что при аппроксимации профиля тела на вертикальном сечении кривыми второго порядка площади горизонтальных сечений являются полиномом от высоты сечения. Рассмотрим разбиение тела на сегменты (рис. 2) с центральным углом α . Для единичного сектора, радиус которого равен

$$r(z) = a_0 + a_1 z + a_2 z^2,$$

площадь сектора определяется по формуле:

$$S^\alpha(z) = \frac{\alpha \pi r(z)^2}{2\pi} = 0.5\alpha r(z)^2 = 0.5\alpha(a_0 + a_1 z + a_2 z^2)^2$$

Принимая

$$S_0^\alpha = 0.5\alpha a_0^2; S_1^\alpha = \alpha a_0 a_1; S_2^\alpha = 0.5\alpha(2a_0 a_2 + a_1^2); S_3^\alpha = \alpha a_1 a_2; S_4^\alpha = 0.5\alpha a_2^2,$$

получим

$$S^\alpha(z) = S_0^\alpha + S_1^\alpha z + S_2^\alpha z^2 + S_3^\alpha z^3 + S_4^\alpha z^4.$$

Порядок полинома оказался равным четвертой степени, который в свою очередь можно аппроксимировать (без существенной потери точности) полиномом, например, второй степени. В этом случае входящие в полином коэффициенты можно представить через наблюдаемые в модели величины. Интерполяция площади сечения тела полиномом второго порядка вида

$$S(z) = a_0 + a_1 z + a_2 z^2$$

позволяет уточнить расчет объема за счет привлечения дополнительной информации. Полагая

$$S(0) = S_n, S(h) = S_k, S(2h) = S_{k2},$$

где S_n , S_k – площадь соответственно подошвы и кровли оцениваемого тела; S_{k2} –

Таблица 2
Сравнение способов оценки объема тел

Тела	Площади			Варианты оценки объема						
	S_{Π}	S_{κ}	$S_{\kappa 2}$	V_1	$\Delta V_1, \%$	V_2	$\Delta V_2, \%$	V_3	$\Delta V_3, \%$	V_4
	1	1	1	1	0	1	0	1	0	1
	1	2	3	1	33	1,5	0	1,47	1	1,5
	1	2	1	1	38	1,5	7	1,47	9	1,62
	2	1	2	2	46	1,5	10	1,47	8	1,37

площадь кровли тела на следующем горизонте.

Решая систему уравнений, получим:

$$a_0 = S_{\Pi};$$

$$a_1 = 1/h (-1.5 S_{\Pi} + 2 S_{\kappa} - 0.5 S_{\kappa 2});$$

$$a_2 = 1/h^2 (0.5 S_{\Pi} - S_{\kappa} + 0.5 S_{\kappa 2}).$$

При $z = 0.5h$ получаем площадь сечения по средней высоте оцениваемого уступа

$$S = 0.375 S_{\Pi} + 0.75 S_{\kappa} - 0.125 S_{\kappa 2}$$

и оценку объема

$$V = 1/3 h/2 (S_{\Pi} + S + \sqrt{S \cdot S} + S + S_{\kappa} + \sqrt{S \cdot S_{\kappa}}). \quad (2)$$

Для сравнения приведем оценку различных способов расчета объемов:

$$V_1 = S_0 h;$$

$$V_2 = 1/2 (S_{\Pi} + S_{\kappa}) h,$$

$$V_3 = 1/3 (S_{\Pi} + S_{\kappa} + \sqrt{S \cdot S_{\kappa}}) h;$$

$$V_4 = h/6 (S_{\Pi} + 2 S + \sqrt{S \cdot S} +$$

$$+ S_{\kappa} + \sqrt{S \cdot S_{\kappa}}).$$

Для разных исходных данных о площадях сечений и $h = 1$ сравнительные характеристики способов расчета объемов приведены в табл. 2.

$$\Delta V_i = 100 |(V_i - V_4)| / V_4$$

Ошибки определения объемов тел, как видно из табл. 2, существенно зависят от их эталонной конфигурации. Минимальная ошибка достигается для столбообразных тел при всех способах оценивания, а для конических тел только при линейной интерполяции.

При интерполяции залежей произвольной формы полиномами нулевого и первого порядка ошибка подсчета объемов достигает соответственно 46 и 8 %, а для полусуммы площадей – 10 %. Следовательно, для снижения ошибки подсчета объемов достаточно пользователю системы «САПР Карьер» принять по исходной геологической документации

анализируемого месторождения эталон- ные конфигурации тел.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 *Аленичев В.М.* Компьютерное планирование горных работ на карьерах: Учебное пособие. – Екатеринбург: – Изд-во УГГГА. 1998. – 96 с.

2 *Аленичев В.М., Суханов В.И., Хохряков В.С.* Моделирование природно-сырьевых технологических комплексов (горное производство) / Под ред. В.Л. Яковлева. – Екатеринбург: – УрО РАН, 1998. – 147 с.

3 *Корн Г., Корн Т.* Справочник по математике (для научных работников и инженеров). – М.: Наука. 1973. – 831 с.

4 *Введение в геоинформатику горного производства: Учебное пособие/ Под ред. В.С. Хохрякова.* – 2-е изд., переработанное и дополненное. – Екатеринбург: Издательство УГГГА, – 2001. – 198 с.

Коротко об авторах

Аленичев В.М. – профессор, доктор технических наук, главный научный сотрудник Институт горного дела УрО РАН,
Суханов В.И. – доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой ГОУ ВПО «УГТУ-УПИ».

ДИССЕРТАЦИИ

ТЕКУЩАЯ ИНФОРМАЦИЯ О ЗАЩИТАХ ДИССЕРТАЦИЙ ПО ГОРНОМУ ДЕЛУ И СМЕЖНЫМ ВОПРОСАМ

<i>Автор</i>	<i>Название работы</i>	<i>Специальность</i>	<i>Ученая степень</i>
ЧИТИНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ			
ЖИГАРЕВ Дмитрий Владимирович	Учет закономерностей формирования дождевого стока с урбанизированных территорий при защите водных объектов от загрязнения	25.00.36	к.т.н.
КИЛИН Владимир Иванович	Интенсификация процессов сухой магнитной сепарации магнетитовых руд	25.00.13	к.т.н.
ЛЕЖНЕВ Анатолий Арнольдович	Исследование закономерностей процесса разделения минеральных смесей в акустическом волновом поле	25.00.13	к.т.н.