УДК 658.012.011.56: 622.012

А.Г.ЛИТВИНОВ
Московский государственный горный университет

ПРОСТРАНСТВЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ УГОЛЬНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ НЕЙРОСЕТЕВЫХ МЕТОДОВ В СИСТЕМЕ SMART MINING

Рассматриваются основные компоненты и возможности программного комплекса автоматизации геолого-маркшейдерских работ Smart Mining. Обосновывается актуальность разработки такой системы. Описываются преимущества разработанной пространственной модели представления данных угольного месторождения в рамках этого комплекса над другими существующими моделями. Описываются разработанные эффективные программные методы и алгоритмы автоматизированного построения пространственной модели. Обосновывается актуальность и рассматриваются основные принципы и возможность внедрения интеллектуальных нейросетевых методов в систему Smart Mining.

This article examines the basic components and features of the Smart Mining geological-surveying automation computer software. Topicality of this software development is justified. Advantages of the developed 3D model of a coal field are described as compared with the other existent models. The article describes developed effective programming methods and algorithms for automated creation of 3D models. It proves the topicality and describes the major concepts and possibilities to introduce intellectual neural net methods into the Smart Mining software.

Особенностью работы геолого-маркшейдерской службы является необходимость оперирования большими объемами разнородной информации, накапливаемой десятками лет. Совместный анализ всех этих данных является очень трудоемким и скрупулезным процессом, где компьютерные информационные технологии могут принести наибольший эффект, взяв на себя стандартные операции и вычисления, снизив вероятность субъективных ошибок и обеспечив надежное хранение и быстрый доступ к большим массивам данных. Эффективность разработки информационной системы управления горными работами прежде всего определяется уровнем геолого-маркшейдерского обеспечения, которое включает решение задач подсчета запасов, учета добычи руд, формирование информационного базиса для планирования и управления горными работами, моделирование месторождения и т.д. Практически нет задач по маркшейдерскому учету добычи, базирующихся на цифровой модели месторождения и позволяющих в вынутых блоках любой геометрической формы выделять руду и вмещающие породы.

В 2003 г. в МГГУ, ЦСИ (г.Москва) нами были начаты работы по созданию программного комплекса автоматизации геолого-маркшейдерских работ Smart Mining. Вырабатывая концепцию будущего программного комплекса и определяя круг и приоритетность решаемых задач, мы поставили главной целью автоматизацию основной части расчетных и графических работ, а также создание механизма сбора, накопления и обработки геологической информации.

В основе системы лежит пространственная цифровая модель угольного месторождения. Структура модели разрабатывается таким образом, чтобы она содержала данные о геометрии угольного месторождения и его геолого-физических характеристиках, должна быть по возможности объектно-ориентированной, предоставлять удобный интерфейс для модификации объектов, анализа состояния месторождения как в целом, так и отдельных его объектов.

В качестве основы такой модели предлагается блочная структура, разработанная в МГГУ и запатентованная. В залежи выделяют геологические блоки. В качестве блоков (базисных объектов модели) используется призма, в основании которой находится шестиугольник. Верхние и нижние грани блоков моделируют двумя непрерывными и сглаженными поверхностями, проходящими соответственно через верхние и нижние граничные точки залежи с породой на участках скважин с последующей линеаризацией этих граней в каждом блоке. Это позволяет аппроксимировать рельеф кровли и почвы залежи. При этом содержание полезного ископаемого в нем определяют путем взвешивания концентраций полезного ископаемого проб, взятых на участках скважин, являющихся вершинами замкнутого контура, который имеет минимальную площадь и охватывает данный блок. Разбиение рудного тела на блоки такой формы позволяет наиболее точно представить геометрическую форму тела при минимальных затратах времени на математические расчеты. Из базисных объектов строятся более сложные объекты, представляющие интерес для дальнейшего анализа. К таким объектам можно отнести геологические пласты, горные выработки и т.д. Указанный способ представления объемных данных был выбран как основной при моделировании угольного месторождения, так как позволяет делать итеративные подсчеты ресурсов (запасов) при неизменной базе блокировки.

Источниками информации для формирования пространственной модели угольного месторождения являются: данные разведочного бурения, данные, получаемые в ходе проходческих работ, данные, получаемые в ходе очистных работ, данные из других источников.

К настоящему моменту в ЦСИ разработаны основные компоненты программного комплекса Smart Mining. В систему были загружены реальные данные по Воркутинскому угольному месторождению, в частности стратиграфическая информация разведочного бурения и контуры выхода угольных пластов на поверхность, необходимые для определения их границ. На основе загруженных данных были выполнены основные расчеты блочной структуры пространственной модели Воркутинского угольного месторождения. Сравнение результатов подсчета ресурсов полезного ископаемого по отдельным участкам с данными ручного подсчета показало высокую точность выполненных расчетов и, следовательно, точность представления разработанной пространственной моделью угольного месторождения. Был достигнут высокий уровень интеграции между разработанной системой и географической информационной системой ArcView, что также позволило эффективно использовать весь широкий спектр предоставляемых ею функций для дальнейшего анализа пространственных геоданных.

Вышеописанный способ предполагает наличие точных данных о координатах граничных точек залежи, для которой определяется запас того или иного полезного ископаемого. На практике такие данные чаще всего получают из маркшейдерских стратиграфических колонок по отдельным скважинам. Однако по стратиграфии можно определить только граничные точки горных пластов и не более того. Эту работу выполняет маркшейдер. Граничные точки неугольных геологических пластов получить очень трудно, следовательно, и пространственную модель таких пластов по данным стратиграфии построить невозможно.

Актуальность решения описанной выше проблемы определяется необходимостью решения еще одной задачи. Эта задача состоит в определении запасов и количества шахтного метана, которое можно извлечь из угольного месторождения для его промышленного использования. Для этого необходимо точно знать пространственное расположение не только угольных пластов, но и пластов других пород, так как именно их физические свойства определяют газопроницаемость горной породы.

Для решения поставленной задачи, с моей точки зрения, целесообразно применение нейросетевых методов. Наиболее оптимальным является применение LVQ (Learning Vector Quantization)-сетей, которые вы-

полняют кластеризацию и классификацию векторов входа. Эти сети являются развитием самоорганизующихся сетей Кохонена.

Задачей разработанной нейронной сети является интерполирование стратиграфических данных, известных только в определенных участках угольного месторождения, на все его пространство.

Рассмотрим процесс обучения нейросети. Сначала отбирают скважины, которые являются вершинами замкнутого контура, имеющего минимальную площадь и охватывающего данный блок. Стратиграфическая колонка по каждой найденной скважине делится на небольшие равные участки, для которых известны координаты *X*, *Y* и высота над уровнем моря *Z*.

Массив этих трех координат по всем найденным скважинам составляет обучающий массив векторов входа для разработанной нейронной сети. Целевой вектор представляет собой матрицу S2 × 1, где S2 – количество различаемых нейросетью классов (в нашем случае класс определяется индексом породы).

Нейросеть состоит из двух слоев: конкурирующего слоя Кохонена, который выполняет кластеризацию векторов, и второго, линейного, который соотносит кластеры с целевыми классами, заданными пользователем.

После обучения такой сети по нескольким скважинам она способна определять литологический разрез (породу) любого заданного элементарного блока пространственной модели угольного месторождения внутри контура скважин, стратиграфия которых была использована при обучении. Совокупности элементарных блоков одного класса (породы) составляют отдельные геологические пласты. Таким образом, разработанная нейросеть действительно решает поставленную задачу построения неугольных (неиндексированных) геологических пластов.

Описанный выше нейросетевой метод в данный момент проходит тестирование, предполагается его дальнейшее внедрение в систему Smart Mining.

Таким образом, быстроразвивающийся программный комплекс автоматизации геолого-маркшейдерских работ Smart Mining, предоставляет: надежную и эффективную пространственную модель месторождения полезных ископаемых, точные и одновременно быстрые алгоритмы и интеллектуальные методы ее построения и анализа, дружественный интерфейс взаимодействия с пользователем.

Научный руководитель д.т.н. проф. *В.М.Шек*