

УДК 622.831:004

Игнатов Ю.М., доцент, к.н.
Кузбасский государственный технический университет имени
Т.Ф.Горбачева

Ignatov Yuri M, associate Professor.
T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University

МЕТОД РАЗВИТИЯ ПРОГНОЗНОЙ АНАЛИТИКИ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ УРОВНЯ УПРАВЛЕНЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ В ГОРНОМ ДЕЛЕ

A METHOD FOR DEVELOPING PREDICTIVE ANALYTICS TO IMPROVE THE LEVEL OF MANAGEMENT DECISIONS IN MINING

Для повышения надёжности принимаемых проектных решений необходимо увеличивать изученность геологического строения месторождения. Требуется производить обобщение накопленного материала, выявлять закономерности и особенности недр с целью прогноза горно-геологических условий разработки на нижележащие горизонты и соседние участки. Поэтому необходимо разработать систему контроля точности маркшейдерских планов по изображению на них исходных геологических условий залегания запасов полезного ископаемого и внедрять компьютерные технологии с новыми методами прогнозирования. Применение новых методов по дополнительному прогнозированию геологических условий приведёт к рациональному планированию горных работ и позволит значительно повысить эффективность и безопасность работы технологических комплексов.

Перспективным направлением развития системы прогнозной аналитики является использование программ искусственного интеллекта (ИИ). Их применение при создании методов обработки результатов разведки и оценке условий добычи полезных ископаемых является актуальным. Далее в статье мы описываем наши разработки, по созданию обучающей выборки для последующего применения программ ИИ при составлении документа «Горно-геологический прогноз выемочного участка».

ИИ используется для сбора и анализа данных о процессе добычи, для оптимизации его в режиме реального времени, выявления нарушений в работе оборудования, для предотвращения несчастных случаев и дорогостоящих простоев. ИИ даёт возможность формулирования и проверки гипотез, результатом которых является разработка «цифровых советчиков» операторов техники и линейного персонала. Работа этих

советчиков направлена на формирование обоснованных рекомендаций по управлению технологическим процессом путём выбора оптимальных режимов управления [1].

Долгосрочный успех использования ИИ требует его интеграции в существующие рабочие процессы. ИИ должен постоянно учиться и адаптироваться с учетом обратной связи с человеком. При внедрении ИИ в горнодобывающую промышленность его интеграция в существующую инфраструктуру обеспечивается с использованием компьютерного моделирования объектов и процессов.

Основной проблемой в системе управления технологическими процессами, является правильность оценки прогнозируемых условий работы, которые используются для составления паспортов горных выработок, проектов очистных работ и выбора горного оборудования. Методика оценки точности прогнозов отражает структуру аналитических систем данных и обеспечивает методологию сбора, обработки и анализа данных, на основе которого будут построены «цифровые советчики».

Компьютерное моделирование объектов и процессов в горнодобывающей промышленности выполняется по маркшейдерским планам [2]. Создаётся цифровой план горных выработок и производится наложение на него различных данных о свойствах горного массива. Это позволяет анализировать и прогнозировать развитие событий путём использования специализированного программного обеспечения, а затем производить расчёты и принятие решений.

Нами создан метод тектоно-физического анализа горного массива, на основании которого составляется обучающая выборка для ИИ. В методе приведён порядок расчёта 13 показателей свойств горного массива [3], и среди них наиболее важные:

- точность исходных данных;
- трещиноватость;
- вектор напряжённого состояния.

Точность данных оценивается по методу изложенному в нашей статье [3]. Оценка трещиноватости и напряжённого состояния выполняется на основе анализа следов воздействия этих напряжений и базируется на следующих положениях [4,5].

1. Процессы тектоно-физического воздействия сопровождаются сжатием или растяжением массива горных пород и определяют сейсмичность и деформируемость недр.

2. Напряжения растут с глубиной и концентрируются в окрестностях неоднородностей: разрывов, границ блоков, узлов складчатости.

3. Определение ориентировки главных нормальных напряжений при образовании разрывов производится с учётом свойства унаследованности «исторического» поля напряжений на современном геотектоническом этапе развития структур.

4. Большие деформации массива создают и большие остаточные напряжения, концентрирующиеся около разрывов.

5. Значения показателей трещиноватости, разломов, складок и других структурных элементов, определяют целостность массива.

Наличие планетарных систем трещин свидетельствуют о глобальных факторах, оказывающих влияние на формирование поля напряжений. Неоднородность поля напряжений по ориентировке и интенсивности указывает на преобладание региональных факторов.

В случае различия результатов, полученных в методе тектоно-физического анализа с измеряемыми параметрами реальных объектов, делается вывод, что на предыдущих этапах построения модели были допущены ошибки или неточности. Например, могут быть неправильно отобраны существенные свойства объектов, в процессе формализации могут быть допущены ошибки в формулах и т. д.

С применением метода тектоно-физического анализа горного массива создаётся модель геомеханических свойств массива, используя которую получаем прогнозный показатель устойчивости кровли изучаемого угольного пласта.

Расчёт прогнозных характеристик по цифровым планам для формирования таблицы «объект-свойства» и расчёт производных прогнозных значений коэффициента устойчивости кровли являются основой разрабатываемого нами пакета программ «Мониторинг поведения вмещающих пород» (МПП). Пакет может быть совмещен с ГИС-технологий и включает алгоритм принятия решений. Свойства полученных моделей собраны в графические и тематические базы данных, которые соединены с расчётными функциями. Это позволяет производить аналитические исследования показателей массива горных пород, выполнить поиск разных по устойчивости кровли зон и осуществить построение их границ. В модуле МПП создаются прогнозные планы, выполняется пространственный анализ.

Производится оценка угленосных площадей и построение прогнозных карт в цифровой форме и на бумажных носителях, доведения горных работ, а затем прогноз сопоставляется с фактическими показателями работы очистных забоев для создания обучающей выборки.

Модели ИИ базируются на использовании обучающей выборки, в которой заложены различные сочетания свойств горного массива. В создаваемой выборке, применяются классификации по алгоритмам распознавания образов. Задача распознавания состоит в том, чтобы на основе изучения характерных признаков относить новые площади шахтного поля к определённому классу с учётом опыта на отработанных площадях.

Мы создаём обучающую выборку, состоящую из классов с разной степенью эффективности работы очистного забоя. Набирается большое

число опытных данных и проводится деление объектов на классы. С учётом полученных опытным путём классов, как положение образов в n-мерном пространстве производится выбор алгоритма распознавания для вычисления обобщённых координат объектов по комплексу факторов. Способы вычисления степени «близости» классов рассчитываются в признаковом пространстве. В нашей работе использован алгоритм распознавания по разности расстояний от объектов до центров тяжести образов (классов) [3].

Разработанный метод позволяет классифицировать геологические условия для анализируемого пласта с использованием банка эталонных моделей изученных объектов, описанных множеством поисковых признаков и решить вопрос о классе изученности.

Банк эталонных моделей уже создан по 10 угольным пластам и далее пополняется. В каждом случае производится построение цифровых моделей угольных пластов в среде Micromine на основе реальных геологических данных. В рамках проекта решаются следующие задачи:

- подготовка и анализ исходных данных;
- применение методов интерполяции и построение поверхностей;
- создание цифровой модели кровли угольного пласта;
- создание блочной модели.

Цифровая модель массива горных пород, состоит из комплекта матриц показателей [3]. В разработанном методе базовым типом объектов, для изображения геополей являются регулярная ячейка, элемент разбиения поверхности линиями регулярной сетки из блочной модели пласта. Процесс создания сетки из ячеек заключается в том, что значения показателя из точки замера с помощью интерполирования передаются в узлы квадратной сетки и хранятся в виде матриц. Схемы генерации координатно-привязанных данных по дискретным точкам скважин в непрерывные поля геологических характеристик реализованы в программе Micromine при создании каркасной и блочной моделей.

Каркасная модель массива горных пород построена с использованием векторной модели маркшейдерского плана горных выработок и представляет собой сетку, натянутую на опорные точки модели. Для каждого типа моделей геотехнических объектов автоматически применяется специфическая процедура построения каркасной модели. После того как каркасная модель создана, она связывается с определенным элементом модели объекта и входит в её состав. На рис. 1, построен каркас по кровле пласта Болдыревский, шахты им. Кирова.

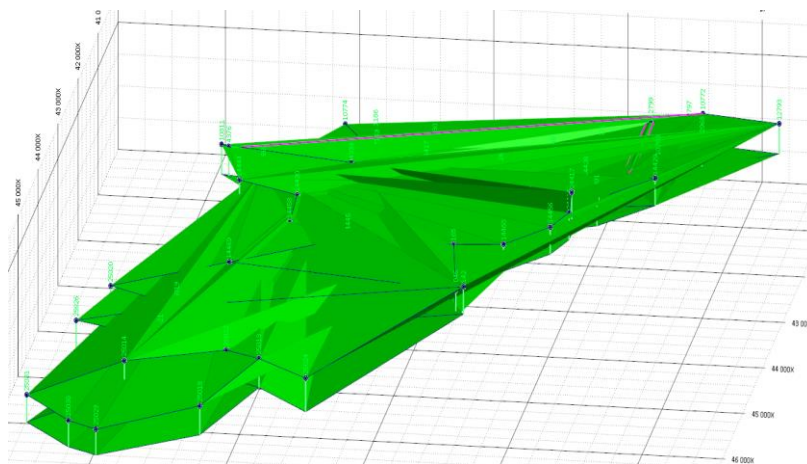


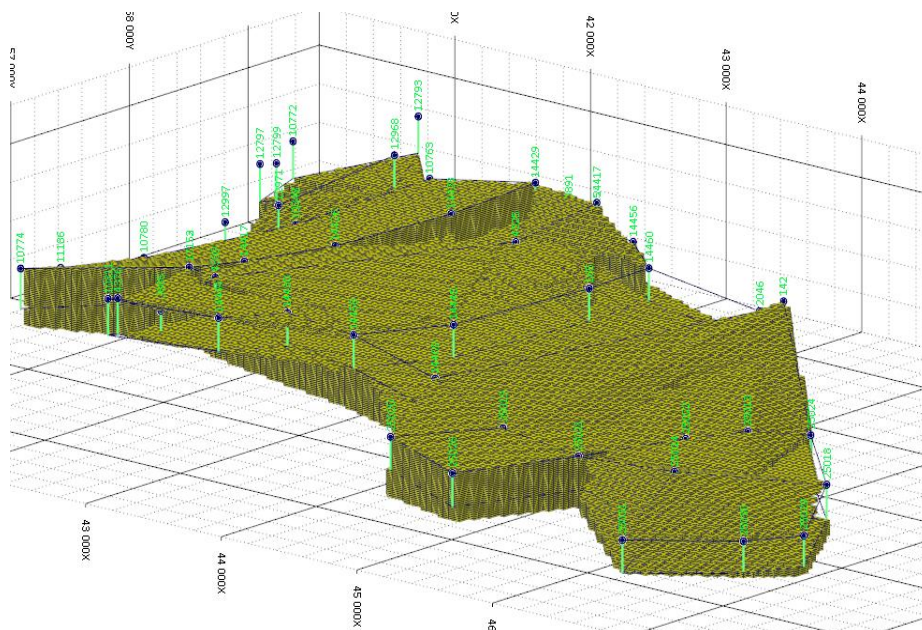
Рис. 1. Построенный каркас кровли пласта Болдыревский.

После построения каркаса необходимо визуально оценить полученный каркас рассмотрением его в различных ракурсах с помощью механизма управления сценами. Это помогает понять, в каком месте необходимо добавить сцепки, добавить или удалить точки в контурах.

Блочная модель элемента может быть построена при наличии у него замкнутой каркасной модели. Параметры блочных моделей для отдельных показателей являются общими для всех моделей объектов. Задаётся точка отсчёта блочной модели, которая указывает, откуда будет отсчитываться построение сетки модели. В полях координаты начала и конца модели необходимо указать координаты, в пределах которых будет построена блочная модель. Размер блока по осям X, Y, Z – длина стороны основного блока, устанавливается при специальных вычислениях. Конкретная реализация отдельного природного фактора, случайное поле, для которого известен лишь ограниченный объем измерений в области.

В теории случайных полей такое представление является линейной фильтрацией, с помощью которой можно выделять из случайного поля природного фактора полосу наиболее низкочастотных изменений или высокочастотные составляющие, связанные с локальными изменениями исследуемого поля.

Возможность такого представления вытекает из теоремы Котельникова, согласно которой любое двумерное поле может быть определено его отсчётами, взятыми в узлах прямоугольной сетки с интервалами $1/2 \omega_x$; $1/\omega_y$. Так на рис. 2, представлена блочная модель по контурам толщи пород кровли пласта Болдыревский шахты им. Кирова с размерами блоков $10 \times 10 \times 10$.



Создание банка моделей эталонных объектов позволяет производить классификацию новых объектов, определяться с выводами о методах дальнейшего изучения объектов и использовать в программах ИИ. Разрабатываемый метод по дополнительному прогнозированию геологических условий позволит значительно повысить эффективность и безопасность работы на горных предприятиях.

1. В результате данных исследований разработан метод цифрового описания горного массива, который позволяет интегрировать цифровой план горных выработок в геоинформационную систему с последующей обработкой данных пакетами ИИ.

3. Наличие связанных баз атрибутивных данных о геомеханических свойствах горных пород с цифровыми планами горных выработок позволяют моделировать новые слои тематической информации, создавать прогнозные модели горно-геологических условий.

Список литературы:

1. Применение искусственного интеллекта и перспективы развития аналитических систем больших данных в горной промышленности. М.В. Рыльникова, Д.А. Клебанов, М.А. Макеев, М.В. Кадочников. – Горная Промышленность, 2022, №3. С. 89–92.

2. 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.И. Латагуз. – Вестник Кузбасского государственного технического университета, 2018. № 1. С. 84–93.

3. Создание цифровой модели массива горных пород и результаты использование её для решения задач. Ю.М. Игнатов, А.А. Гагарин, Л.Е. Мякишева. – Вестник Научного центра ВостНИИ по промышленной и экологической безопасности. 2019. № 1. С. 90–100.

4. Зыков В.С. Внезапные выбросы угля и газа и другие газодинамические явления в шахтах. – Кемерово. ООО «Фирма ПОЛИГРАФ» 2010.– 334с.

5. Гзовский М.В. Основа тектонофизики. – М.: Наука, 1975. 536 с.

References

1. Application of artificial intelligence and prospects for the development of big data analytical systems in the mining industry. M.V. Rylnikova, D.A. Klebanov, M.A. Makeev, M.V. Kadochnikov. – Mining Industry, 2022, No. 3. pp. 89-92.

2. 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.I. Lataguz. – Bulletin of the Kuzbass State Technical University, 2018. No. 1. pp. 84-93.

3. Creation of a digital model of a rock mass and the results of using it to solve problems. Yu.M. Ignatov, A.A., Gagarin, L.E. Myakisheva. – Bulletin of the VostNII Scientific Center for Industrial and Environmental Safety. 2019. No. 1. pp. 90-100.

4. Zykov V.S. Sudden emissions of coal and gas and other gas dynamic phenomena in mines. – Kemerovo. ООО "Firm POLYGRAPH" 2010.– 334s.

5. Gzovsky M.V. The basis of tectonophysics. – M.: Nauka, 1975. 536 p.