

В.М. Шек, А.Г. Литвинов**АНТРОПОГЕННЫЕ МОДЕЛИ И РОБОТИЗАЦИЯ
В ГОРНОМ ДЕЛЕ**

Рассмотрены вопросы появления и использования нового класса горных систем – антропогенных, значение ГИС при работе с такими системами. Рассмотрен пример моделирования изменения антропогенных элементов в окрестностях очистного забоя угольной шахты с применением геоинформационных технологий.

Ключевые слова: горное дело, геоинформационные системы, моделирование, антропогенные горные системы.

Введение

Геоинформационные системы (ГИС) широко используются во всех сферах человеческой деятельности. В горном деле ГИС применяются как «информационный помощник эксперта (ЛПР)». Наши более чем двадцатилетние исследования и разработки были направлены на создание подсистем автоматизированного управления производством. Сложность таких ГИС для существующих системах управления высокомеханизированным производством не позволило перейти к их широкому внедрению. Мы уверены, что в системах управления производством следующего уровня (высокоавтоматизированного и роботизированного) такие ГИС будут основными компонентами.

Основные понятия

ГИС применяются на всех стадиях существования горнопромышленных систем:

- при поисковых исследованиях участков земной коры;
- при ведении геологоразведочных работ;
- при промышленной и эксплуатационной разведке месторождений полезных ископаемых;
- при проектировании горных предприятий;
- при осуществлении процессов ведения горных работ;

- на стадии консервации или ликвидации горного предприятия;

- для учета последствий функционирования горнопромышленной системы на окружающую среду (природные объекты).

Естественно, что на каждой из этих стадий применяемые ГИС и создаваемые с их помощью модели объектов и процессов имеют свои цели использования и особенности построения.

В основе всех ГИС горнопромышленных систем [1, 2 и др.] лежит построение модели месторождения полезных ископаемых. Модели объектов и процессов имеют много видов и особенностей, но все они должны быть открытыми и объектно-ориентированными. Кроме того, создаваемые модели должны быть динамичными и рассматривать изменчивость объектов и процессов в дискретные промежутки времени.

Известно, что используемые человеком системы можно разделить на природные, технические и природно-технические. Природные системы существуют помимо воли и желаний человека (суша, моря и океаны, реки, атмосфера и др.). Моделирование таких систем сводится к имитации функционирования составляющих их отдельных элементов и подсистем с целью определения законов их развития и планомерного использования раз-

личных природных ресурсов на благо человечества.

Технические системы являются целиком «творением ума и рук человека» (машины, агрегаты, механизмы, сооружения и др.), имеют конкретные цели, алгоритмы функционирования и, как правило, замкнутую структуру. Поэтому модели таких систем появляются до их «рождения» (создания) и служат в дальнейшем для оптимизации характеристик таких систем и получения наибольших функций полезности последних. Модели являются наиболее формализованными, и результаты моделирования – наиболее достоверными.

Однако, в больших системах (с участием человека) наиболее распространены композиции природных и технических систем (элементов), характерной особенностью которых является инвариантность способов и средств обеспечения их функционирования. Такие системы относятся к классу слабоформализованных систем, и на процессы их функционирования большое влияние оказывает человеческий фактор. Поэтому такие системы и описывающие их модели можно назвать антропогенными. Покажем, что рассматриваемые нами горнопромышленные системы относятся к этому классу систем.

Основной целью создания и эксплуатации большинства горнопромышленных систем является экстракция (добыча) полезных ископаемых и подготовка получаемых из них минеральных продуктов для использования в человеческой деятельности. Поэтому такие системы «привязаны» к определенным участкам земной коры (реже к водной или воздушной сферам), которые содержат полезные ископаемые. И многие элементы (подсистемы) этих участков (природных систем) входят в состав соответствующих горнопромышленных систем. Для доступа к ло-

кальным участкам (блокам) недр создается система горных выработок и сооружений (связанных антропогенных элементов), в которых размещаются и работают люди и технические системы (машины и механизмы, а также обеспечивающие подсистемы: энергетические, транспортные, воздухоподводящие, водоотливные и дренажные, дегазационные и др.). Поэтому такая композитная большая система, основой которой являются антропогенные элементы, относится к классу антропогенных систем.

Функционирование каждой геоинформационной системы приносит как позитивные (ценные минеральные продукты), так и негативные (образование пустот, деформация участков недр и земной поверхности, выброс (вынос) загрязняющих веществ в атмосферу и гидросферу, ущерб биосфере в пределах горного отвода при размещении поверхностного комплекса предприятия и отвалов, элементов инфраструктуры и т.д.) результаты. Отсюда следует рациональность использования системного подхода при создании и управлении функционированием любых горнопромышленных систем. Поэтому на успешных прогрессивных горных предприятиях применяют три класса управляющих критериев оценки: продуктивность (полезность), экологичность, безопасность.

Очевидно, что создание и использование моделей в антропогенных системах, где необходимо учитывать пространственное размещение и конфигурацию, а, зачастую, и перемещение отдельных элементов, разнообразие и изменчивость их параметров, требует применения специальных средств и систем, наилучшими из которых являются ГИС.

Построение горных ГИС

Рассмотрим особенности построения антропогенных моделей для усло-

вий угольных месторождений. Очевидно, что описываемые понятия можно распространить на месторождения всех других типов полезных ископаемых. Кроме того, для получения большей контрастности суждений рассмотрим в первую очередь функционирование предприятий с подземным способом добычи угля.

В настоящее время [3, 4] подавляющее большинство систем геомоделирования осуществляют построение и исследование основных (по содержанию полезных компонентов) природных элементов горнопромышленных систем – пластов полезных ископаемых или рудных тел. Модели горных выработок представлены чаще всего планами горных работ (проекциями основных выработок на горизонтальную плоскость или почву вмещающего их пласта полезных ископаемых). Применяемые в меньшей степени аксонометрические 3D-модели не имеют «плотной» увязки с вмещающими эти выработки природными элементами. Поэтому чаще всего такие модели используются лишь для приближенного представления ситуации в антропогенной системе. Решения в связи с недостаточностью информации чаще всего принимаются оперативно для локальных (в пространстве) подсистем горного предприятия руководящими работниками этого предприятия («лицами, принимающими решения (ЛПР)») с помощью экспертных методов. До сих пор на большинстве горных предприятий применяют нарядные системы управления.

Слабое применение существующих систем геомоделирования (в том числе и геоинформационных) объясняется тем, что при их разработке используются методы, хорошо зарекомендовавшие себя в технических системах (военных, космических, промышленных, транспортных, телемеханических и т.д.). В антропогенных системах,

включающих в себя природные и «чисто антропогенные» элементы и подсистемы, которые не имеют «сильно связанного описания», таких методов недостаточно. И, кроме того, те из них, которые не учитывают стохастической природы атрибутивной информации о таких элементах (подсистемах), объективно не могут быть использованы для создания антропогенных моделей.

Для больших систем [5, 6] характерна невозможность создания одной универсальной модели ее состояния и функционирования. Моделирование проводится с применением системы взаимосвязанных в пространстве и времени моделей с различной степенью детализации описания объектов и процессов (масштабирование).

Например, при моделировании расширения системы горных выработок действующих шахт за счет проведения новых и удлинения существующих выработок возможно построение однолинейных 3D-моделей (tubes) с отображением динамики изменения количества и пространственных характеристик проходимых выработок. Одновременно можно строить в более крупном масштабе модели всех проходческих забоев с более детальным описанием объектов (элементов массива горных пород, технических систем и др.) и рабочих процессов.

Для этих моделей характерно достоверное описание пространственных параметров элементов (поверхности) горных выработок по результатам инструментальных съемок, проводимых периодически для отдельных участков каждой выработки. В процессе ведения горных работ происходит перераспределение напряжений в элементах массива горных пород, что приводит к их деформациям и перемещениям. Это приводит к соответствующим изменениям пространственных характеристик участков выработок, пройденных в этом массиве.

Приходится перестраивать модели выработок для сохранения адекватности их параметров реальным параметрам последних, используя результаты новых инструментальных съемок. Параллельно корректируются параметры моделей элементов технических систем, размещенных в этих выработках. Параметры элементов массивов горных пород (в первую очередь пространственные) определяются инструментально с помощью единичных разведочных шпуров и скважин, буримых нерегулярно с большим разрежением во времени и пространстве.

В результате такие антропогенные модели массива горных пород с пройденными выработками, в которых размещены оборудование и сооружения, будут наиболее адекватными описываемой антропогенной системе в части описания пространственных параметров выработок и размещенных в последних элементов технических систем. Адекватное модельное представление остальных определяющих параметров рассматриваемой антропогенной системы возможно лишь при совместном построении и исследовании системы разномасштабных антропо-

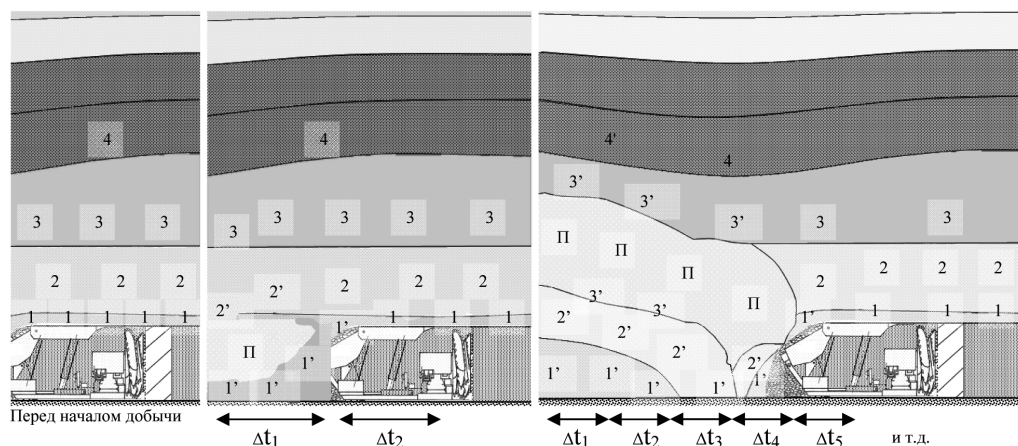
погенных моделей с применением методов искусственного интеллекта.

Первые разработки в этой области были осуществлены для моделирования изменения состояния массива горных пород при подземной добыче угля непосредственно в зоне ведения очистных работ [5, 6].

Примеры реализации

На рисунке приведена модель формирования антропогенных объектов (элементов выработанного пространства) из элементов природной среды в процессе очистной выемки угля в длинном очистном забое.

В процессе выемки угля при движении очистного комплекса позади него образуется «пустое» пространство. Блоки вышележащих породных пластов, находящиеся над ним, теряют опору снизу, выходят из равновесного состояния, трескаются, расслаиваются, деформируются и падают хаотично друг за другом в открытое пространство. После неплотного заполнения всего этого пространства трескающиеся и деформирующиеся далее блоки лежащих сверху пластов смещаются вниз, сдвигая и уплотняя лежащие под ними



Модель процесса образования антропогенных объектов из природных элементов: 1 – элементы пластов «ложная кровля»; 2 – элементы пластов основной кровли; 3, 4 – пласты налегающих свит; 1', 2', 3' и т.д. – антропогенные элементы; П – пустоты

массы. Процессы уплотнения со смешением блоков все большего числа вышележащих пластов постепенно затухают (чаще всего с образованием мульды оседания на дневной поверхности).

При таком подходе для ГИС-моделирования необходимо использовать антропогенные модели. Вначале создается геоинформационная геологическая 3D-модель участка земной коры в пределах горного отвода предприятия (от поверхности до самого нижнего продуктивного пласта или рудного тела). Создается совмещенная (синхронизированная) с ней антропогенная 3D-модель горных выработок и сооружений с привязкой к ним элементов используемых технических систем. Модели наполняются всеми имеющимися опытными и справочными атрибутивными данными, недостающая информация заносится с помощью алгоритмов вероятностного оценивания. Полученная композитная модель сохраняется как начальная (базовая).

Для получения численных результатов проводится имитационное моделирование с применением ГИС-технологий. Необходимые для моделирования стохастические данные генерируются на основе имеющихся разреженных в пространстве опытных данных (физико-механические свой-

ства пород в разведочных скважинах и выработках, пространственная модель залегания пластов с указанием крупных тектонических нарушений, справочные данные о геологическом строении региона и др.) для конкретных блоков с использованием нечеткой логики. Первые опытные расчеты были проведены для ряда очистных забоев угольных шахт Кузбасса. Подтверждена возможность использования данного метода моделирования для прогноза развития выработанного пространства и его влияния на окружающие природные элементы, технические и антропогенные объекты. Достоверность полученных результатов невысока, требуется увеличить количество определяющих факторов и создать «более тонкий» алгоритм моделирования.

При нынешнем уровне технического и технологического оснащения угольных шахт и отношении к окружающей среде производственники слабо заинтересованы в более информативном описании предмета их деятельности. Однако с неизбежным появлением насущной необходимости в полной автоматизации и, довольно скоро, роботизации всех процессов добычи полезных ископаемых данные способы моделирования будут очень и очень актуальны.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шек В.М., Дранишников П.С., Литвинов А.Г., Руденко Ю.Ф. Моделирование сплошной среды // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2009. – ОВ-2 Информатизация и управление. – С. 409–420.
2. Шек В.М., Литвинов А.Г. Построение геологических моделей месторождений полезных ископаемых (с анизотропией 4 уровня и выше) // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2010. – ОВ-5 Информатизация и управление. – С. 339–350.
3. Шек В.М., Литвинов А.Г., Руденко Ю.Ф. Высокие технологии с применением ГИС // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2010. – № 10. – С. 118–126.

4. Шек В.М. Применение геоинформационных технологий в горном деле / Доклады 7-го горнопромышленного форума МАЙ-НЕКС Россия 2011, 4–6 октября 2011. Москва. www.minexrussia.com/2011/materials
5. Шек В.М., Кубрин С.С. Геоинформационные системы для исследования опасных горнодинамических явлений // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2013. – ОВ-5 Информатизация и управление. – С. 103–112.
6. Шек В.М., Пасечник И.А. Моделирование обрушения горных пород в очистных забоях угольных шахт // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2010. – ОВ-5 Информатизация и управление. – С. 363–368. **ГИАС**

Шек Валерий Михайлович – доктор технических наук, профессор,

e-mail: shek@geotwo.ru, ИТАСУ НИТУ «МИСиС»,

Литвинов Александр Геннадиевич – кандидат технических наук,

директор по информационным технологиям, ООО «Гео2», e-mail: alex@geotwo.ru.

UDC 504.062

ANTHROPOGENIC MODELS AND ROBOTICS IN MINING

Shek V.M., Doctor of Technical Sciences, Professor, e-mail: shek@geotwo.ru,

Institute of Information Technologies and Automated Control Systems,

National University of Science and Technology «MISiS», 119049, Moscow, Russia,

Litvinov A.G., Candidate of Technical Sciences, Director of Information Technology,

e-mail: alex@geotwo.ru, LLC «Geo2», Moscow, Russia.

The article examines the emergence and use of a new class of mountain systems – anthropogenic, the value of GIS when working with such systems. An example of simulation of changes in anthropogenic elements in the vicinity stope coal mines with the use of geoinformation technologies.

Key words: mining, geographic information systems, simulation, anthropogenic mountain system.

REFERENCES

1. Shek V.M., Dranishnikov P.S., Litvinov A.G., Rudenko Yu.F. *Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten'*. 2009. Special Issue 2 Informatizatsiya i upravlenie, pp. 409–420.

2. Shek V.M., Litvinov A.G. *Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten'*. 2010. Special Issue 5 Informatizatsiya i upravlenie, pp. 339–350.

3. Shek V.M., Litvinov A.G., Rudenko Yu.F. *Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten'*. 2010, no 10, pp. 118–126.

4. Shek V.M. *Doklady 7-go gornopromyshlennogo foruma MAINEKS Rossiya 2011*, 4–6 oktyabrya 2011. Moskva (VII MINEX Russia Mining and Exploration Forum 2011 Proceedings, 4–6 October 2011, Moscow) www.minexrussia.com/2011/materials

5. Shek V.M., Kubrin S.S. *Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten'*. 2013. Special Issue 5 Informatizatsiya i upravlenie, pp. 103–112.

6. Shek V.M., Pasechnik I.A. *Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten'*. 2010. Special Issue 5 Informatizatsiya i upravlenie, pp. 363–368.



**РУКОПИСИ,
ДЕПОНИРОВАННЫЕ В ИЗДАТЕЛЬСТВЕ «ГОРНАЯ КНИГА»**

АНАЛИТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭРЛИФТНОГО ПОДЪЕМА ПУЛЬПЫ ПРИ СКВАЖИННОЙ ГИДРАВЛИЧЕСКОЙ ТЕХНОЛОГИИ ДОБЫЧИ УГЛЯ

(№ 1053/07-15 от 14.05.15, 9 стр.)

Мельник Владимир Васильевич – доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой,

Федоров Анатолий Сергеевич,

МГИ НИТУ «МИСиС», e-mail: msmu-prpm@yandex.ru.

Статья посвящена разработке методики расчета производительности эрлифтов. Проанализированы результаты ранее выполненных работ научно-исследовательских и проектных институтов. Рекомендованы рациональные режимы функционирования эрлифтов при скважинной гидротехнологии добычи угля.

Ключевые слова: эрлифт, движущаяся гидросмесь, производительность эрлифта.

ANALYTICAL STUDY OF AIR-LIFT LIFTING PULP IN BOREHOLE HYDRAULIC MINING TECHNOLOGY COAL

(No. 1053/07-15 from 14.05.15, page 9)

Melnik V.V.¹, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of Chair, Fedorov A.S.¹,

Mining Institute, National University of Science and Technology «MISiS», 119049, Moscow, Russia.

The article is devoted to the development of a methodology for calculating performance airlifts. The results of earlier work of research and design institutes. Recommended rational modes of operation modes airlifts during borehole hydrotechnologies coal.

Key words: airlift, moving hydraulic fluid, performance airlift.