© В.М. Шек, 2005

УДК 622.001.57:681.3

В.М. Шек

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОБЪЕКТНО-ОРИЕНТИРОВАННОЙ МЕТОДОЛОГИИ ПРИ СОЗДАНИИ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫХ МОДЕЛЕЙ ГОРНОПРОМЫШЛЕННЫХ СИСТЕМ

Семинар № 10

«Горнопромышленная система [1, 2] – совокупность производств, предназначенных для разведки, добычи и комплексной, многостадийной переработки минерально-сырьевых ресурсов с выпуском конечной продукции различной степени интеграции».

В зависимости от целей исследований в качестве такой системы можно рассматривать широкий спектр объектов – от отдельного малого производства (разведочная партия, выемочный участок) до всей совокупности предприятий и организаций, занятых разведкой, добычей и переработкой минеральных ресурсов в мире. Естественно, что при такой большой вариабельности объектов исследований очень важно учитывать пространственное размещение элементов таких систем, влияние последнего на характер и результаты их взаимодействия.

Предметом труда горнопромышленных систем, их системообразующим признаком являются минерально-сырьевые ресурсы (на стадиях обработки с высокими технологиями – вторичные продукты, полученные из них). Поэтому основная часть этих систем выполняет функцию добычи полезных ископаемых путем разработки соответствующих месторождений. Следует отметить, что в связи с ростом этой области деятельности человечества сейчас наряду с «естественными» возникли и уже частично вовлекаются в производство техногенные месторождения минеральных ресурсов.

Исследуемые системы относятся к числу сложных, имеющих отличающиеся циклы жизни как по количеству и функциональности стадий последней, так и по «масштабу» длительностей выполняемых операций.

Исследование сложных систем всегда связано с моделированием их элементов или их совокупностей (*модели-объекты*), а также взаимодействия таких объектов (*модели-процессы*). При моделировании функционирования (жизни) этих систем используются оба вида моделей.

Нами [1, 2] было предложено использовать объектно-ориентированное моделирование, понимаемое как «процедура составления и реализации композитных моделей сложных систем с использованием компонент объектно-ориентированной методологии». Такое моделирование базируется на системном подходе и строится на следующих принципах: *соблюдение иерархичности и стадийности моделей; масштабируемость среды моделирования; сонаправленность (согласование) целей; единство информационной среды; пространственное структурирование элементов модели; унификация методов составления (синтеза) композиционных моделей*.

При моделировании большинства горнопромышленных систем первоочередным является моделирование месторож-

дения полезных ископаемых. Оно должно проходить в течение длительного периода времени на протяжении всех стадий жизни последнего: разведки; проектирования, строительства и функционирования эксплуатирующих его горных предприятий; проведения экологических мероприятий по недопущению (устранению) негативных последствий их деятельности. Поэтому в процессе моделирования месторождения создают и используют не одну, а совокупность (множество) моделей.

Рассмотрим подробнее процессы моделирования месторождений в части ведения цифровой горной графической документации, служащей основным источником пространственной информации для построения модели месторождения, а также ее визуальным отображением на различных стадиях моделирования.

Большинство этих моделей являются «описательными», то есть отображают пространственное размещение отдельных элементов месторождения, выделяемых по их количественным или качественным признакам (пласты, рудные тела, зоны нарушения сплошности массивов горных пород и т.п.), и относятся к моделям-объектам. «Твердые копии» таких моделей в виде планов, разрезов и объемных схем-чертежей используются специалистами (геологами, горняками, проектировщиками горных предприятий) и являются графической частью соответствующей документации.

Современные компьютерные системы геолого-маркшейдерского обеспечения в основном используют графические среды редактирования и отображения векторных изображений (AutoCAD, MicroStation и др.), позволяющие получать последовательности чертежей (моделей-объектов) путем «пополнения» предыдущих. Фактически основной частью «цифровой модели» месторождения в этом случае является множество файлов векторных или скалярных (пиксельных) форматов графических редакторов. Выборка требуемой модели (чертежа) производится, как правило, по имени файла и дате его создания.

Естественно, такая система моделирования (графического) месторож-дения, несмотря на возможности работы с элементами заданных типов (точек, линий, полигонов и др.), слоями и пр., не может стать объектно-ориентирован-ной, так как здесь и речи быть не может об инкапсуляции методов, полиморфизме и т.д.

Более продвинутыми в этом плане являются ГИС, работающие с атрибутивной информацией и поэтому позволяющие строить модели подсчета объемов (запасов полезных ископаемых) с учетом кондиций. Однако и здесь не могут быть созданы объектно-ориенти-рованные модели.

Имеется большое количество программных комплексов проектирования горных предприятий и ведения графической документации (DATAMINE, GEMCOM, MINESCAPE, SURPAC, MICROMINE, VULCAN, GEOLMARK и др.), позволяющие строить блочные модели месторождений для подсчета запасов полезных ископаемых, а также векторные 3D-изображения (модели) тел полезных ископаемых и горных выработок. Они имеют открытую модульную архитектуру, свойства гибкой настройки, наращивания, дружественный интерфейс с пользователями.

На стадии проектирования горного предприятия рассматриваются несколько альтернативных вариантов (стратегий) вскрытия и отработки месторождения с одновременным определением минимального промышленного содержания полезных компонентов. По каждому из вариантов проводится технико-экономическая оценка с целью выбора среди них наилучшего. При этом могут использоваться несколько видов экономико-математических моделей.

Но и здесь нет возможности использовать объектно-ориентированное моделирование, все модели «разовые»: на каждой стадии жизни месторождения при существенном изменении количества

и/или качества исходной информации все модели необходимо создавать заново.

В ЦСИ МГГУ разрабатывается информационно-интеллектуальная система [1,2] моделирования объектов и процессов функционирования горнопромышленных систем с использованием объектно-ориентированной методологии. Здесь необходимо оперировать с пространственными объектами, которые требуют возможности инкапсулирования графических объемных данных в множество однородных объектов (блоков) со стандартным информационным интерфейсом между ними.

Наиболее приемлемыми и понятийно простыми для пользователей-практи-ков были бы объекты этой методологии, схожие с геологическими блоками. Из многолетней практики [3 и др.] известно, что наибольшее распространение получили два метода подсчета запасов месторождений: метод геологических блоков и метод параллельных сечений. Существует несколько способов формирования геологических блоков. В подавляющем большинстве горных компьютерных систем при подсчете запасов используется модель с блоками в виде прямоугольных параллелепипедов. Проведенный анализ показал, что ни один из существующих способов формирования объектов-блоков не может быть использован в рамках объектно-ориентированного моделирования. Наибольшим препятствием здесь является невозможность обособленного изменения формы и/или свойств одного блока без совокупного изменения параметров других объектов множества.

Нами был предложен способ создания регулярных блоков [4] для математического описания массивов горных пород месторождения. Однако, для того, чтобы моделирование месторождений полезных ископаемых с использованием таких блоков было объектно-ориентированным, необходимо в системе компьютерного моделирования также создать базы данных и знаний объектно-ориентированными, позволяющими работать с COM-техноло-гиями.

В качестве блока (базисного объекта модели) в разрабатываемой системе используется призма, в основании которой находится шестиугольник. Верхние и нижние грани блоков одного слоя (пласта) моделируют двумя непрерывными и сглаженными поверхностями, проходящими соответственно через верхние и нижние граничные точки описываемого слоя с соседними (верхним и нижним) слоями, с последующей линеаризацией внешних (для слоя) граней в каждом блоке. Это позволяет аппроксимировать рельеф кровли и почвы слоя. При необходимости можно изменять (корректировать) форму блока(его высоту, наклоны верхней и нижней граней призмы) и местоположение в пространстве (перемещение вдоль вертикальной оси). Полученное множество блоков можно пополнять или усекать в произвольном порядке. Объект-блок имеет свои внутренние данные (пространственные и атрибутивные), унифицированный интерфейс.

Из подмножеств базисных объектов (групп сопряженных блоков, слоев) строятся более сложные объекты, представляющие интерес для дальнейшего анализа. К таким объектам можно отнести геологические пласты, пачки и свиты пластов, сложное рудное тело и т.д.

Работа с описанными объектами (моделирование) ведется с использованием моделей- процессов (модулей), реализующими соответствующие методы обработки информации. Обеспечение информационного обмена системы моделирования с другими системами обработки и представления информации (текстовыми и графическими редакторами, ГИС, СУБД и др.) осуществляют модули-моникеры.

В настоящее время для ввода пространственной и атрибутивной информации и осуществления визуализации, хранения и вывода промежуточных и конечных результатов моделирования программные комплексы AutoCAD и ArcView

3.1, электронные таблицы Excel, SQL-сервер.

Для объектно-ориентированного моделирования горнопромышленных систем на этапах проектирования и эксплуатации горных предприятий будут использоваться модели-объекты «Сегмент горной выработки», хранящие внутри себя данные о геометрии описываемого участка выработки, наличии и состоянии горных сооружений и оборудования, проектных и фактических параметров и режимов протекающих в них процессов. Это позволит осуществлять моделирование горно-техноло-гических объектов и процессов, сопряженное с моделированием горно-геологических объектов.

Для осуществления визуализации результатов непосредственно в системе объектно-ориентированного моделирования горно-геологических и горнотехнических объектов и процессов создаются соответствующие модули с использованием OpenGL. Это позволит расширить функции системы моделирования, сократить затраты времени и количество ресурсов, задалживаемых в настоящее время на преобразование данных, хранимых и создаваемых внутри нее, во внешние форматы используемых графических редакторов и ГИС.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Пучков Л.А., Шек В.М.* Методология объектно-ориентированного пространственно-временного моделирования горнопромышленных систем./ В сб. «20 лет кафедры Автоматизированные системы управления». – М.: МГГУ, 2000. – с. 8 – 14.

2. *Шек В.М.* Объектно-ориентирован-ное моделирование горнопромышленных систем. – М.: Изд-во МГГУ, 2000. –304 с.

3. *Коган И.Д.* Подсчет запасов и геолого-промышленная оценка рудных месторождений. – М.: Недра, 1974 г.

4. *Пучков Л.А. Шек В.М.* Патент № 2130548 от 26 сентября 1997 г. Способ определения количества полезного ископаемого в массиве горных пород.

Коротко об авторах

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

© А.Е. Толкачев, С.С. Кубрин, 2005

УДК 622.41:533.17:004.5

А.Е. Толкачев, С.С. Кубрин

СОЗДАНИЕ ПОДСИСТЕМЫ ГАЗОВОГО КОНТРОЛЯ

Семинар № 10

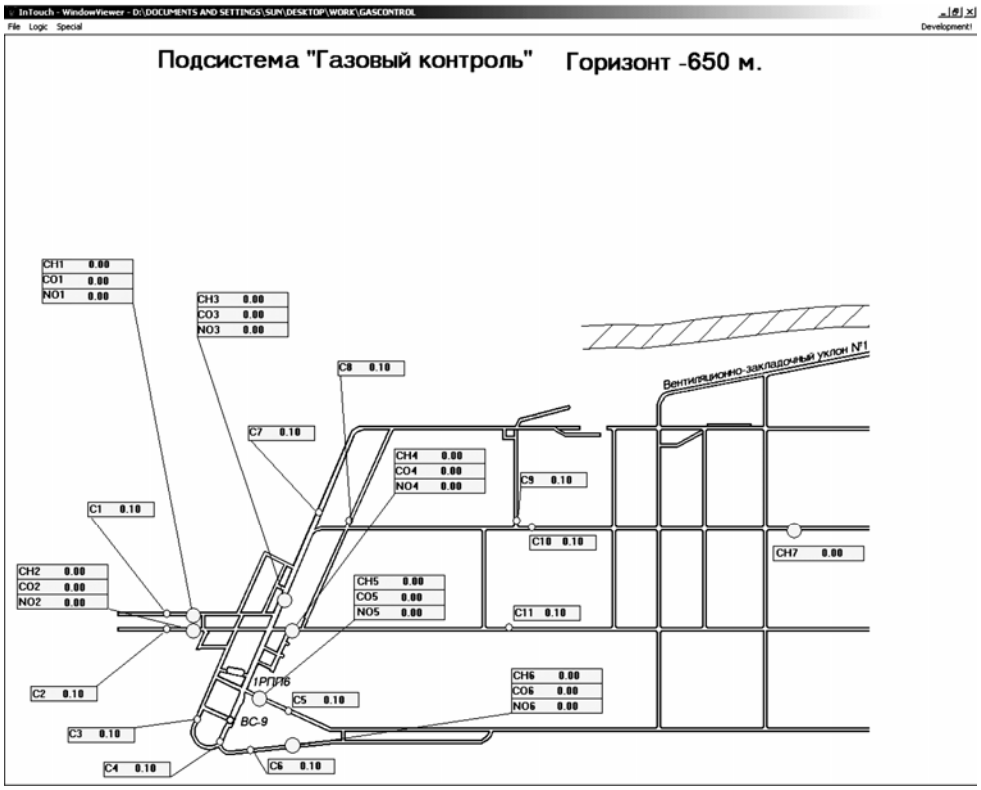
Важнейшим направлением обеспечения безопасности ведения горных работ связано с непрерывным контролем состояния атмосферы в подземной части рудника. Наиболее эффективно такой контроль осуществляется в рамках автоматизированной системы оперативного диспетчерского управления (АСОДУ) подсистемой газового контроля.

Подсистема газового контроля состоит из трех уровней. Нижний уровень включает в себя совокупность дискретных для определения положения устройств и состояния оборудования и аналоговых датчиков для непосредственного измерения концентраций газов в рудничной атмосфере. Это датчики концентрации водорода, метана, оксида углерода, диоксида азота и скорости воздушного потока. Общее количество измерительных приборов на всех горизонтах составляет порядка 130 датчиков. Для адекватного представления о состоянии атмосферы в руднике были определены оптимальные места расстановки датчиков

В состав среднего уровня входят программируемые логические контроллеры, обеспечивающие: сбор и предварительную обработку информации, реализацию алгоритмов автоматических действий и выдачу управляющих воздействий на исполнительные механизмы. Этот уровень состоит из контроллеров Commander-TX101, которые осуществляют первичную обработку данных поступающих с нижнего уровня. На этом уровне производится автоматизация действий, которые необходимо выполнить при превышении допустимой концентрации газа в выработке, например, отключение электроэнергии. Установка допустимых уровней (уставок) осуществляется программным путем на верхнем уровне.

Верхний уровень включает в себя автоматизированные рабочие места горного диспетчера и операторов газового контроля и энергоснабжения и сервера базы данных. На этом уровне осуществляется контроль состояния технологического оборудования, анализ концентрации газов и отображение всего этого на мнемосхемах горизонтов (рисунок). Оператор или горный диспетчер в рамках своих полномочий могут осуществлять дистанционный пуск и остановку агрегатов с проверкой логических условий пуска и останова. В базы данных производится протоколирование событий, ведение архивов, с помощью специализированных запросов производится формирование и выдача отчетной документации.

Информирование оператора газового контроля осуществляется цветом, звуковым сигналом и выводом сообщения в журнал событий с обязательным квитированием аварийных событий. Используется следующие цвета условного обозначения датчика: нормальной уровень концентрации - зеленный, критической (предаварийный) - желтый, аварийной – красный. Также производится самодиагностика работы оконечных устройств. При не рабочем состоянии датчика, его условное обозначение окрашивается в синий цвет. Динамику изменения концентрации газов можно просматривать в виде графиков. Для этого достаточно выбрать требуемые датчики, анализируемый период времени и масштаб вывода.



Мнемосхема горизонта 650 подсистемы газового контроля

На каждый датчик использовалось по 5 тегов: три на отображение концентрации газа в выработке, два на работу, для программирования уставок в контроллерах. Для сохранения истории использовались специальные теги, так называемые исторические тренды, в которые записывалась информация об изменении параметров датчиков. Кроме этого на группу датчиков добавлено по одному тегу. Общее число тегов получилось чуть больше 800.

Таким образом, описанная подсистема позволяет легко настраивать уставки датчиков, выполнять все необходимые функции мониторинга и обеспечивать автоматические действия по отключения питания. Наличие в подсистеме возможности самодиагностики повышает уровень безопасности в руднике.

Коротко об авторах

Толкачев А.Е. – студент,
Кубрин С.С. – профессор,
кафедра «Экономика и планирование горного производства», Московский государственный горный университет.

© В.М. Аленичев, В.И. Суханов, 2005

УДК 622.271.3.06:004.9

В.М. Аленичев, В.И. Суханов

КОНЦЕПЦИЯ ФОРМИРОВАНИЯ КАРЬЕРНОГО ПРОСТРАНСТВА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИНФОРМАЦИОННОЙ ТЕХНОЛОГИИ

Семинар № 10

Рассматриваемая концепция информационной технологии проектирования и планирования открытых горных работ базируется на геотехногенной структуре как совокупности геологических объектов и пространственно связанных с ними техногенных образований, образующих единую систему согласованно изменяющихся элементов во времени, представляемых совокупностью слоев, характеризующихся определенным тематическим содержанием и поэтапном формировании карьерного пространства.

Сущность поэтапного формирования состоит в увеличении пространственных параметров карьера путем последовательного включения в его границы прирезаемых участков (объемов). В общем случае этап горных работ (очередь) характеризуется высотой, размерами в плане, отметкой нижнего и верхнего горизонтов, числом уступов и различного рода площадок, высотой уступов и углами их откосов, количеством горной массы, пустых пород и полезного ископаемого, технологическими коэффициентами.

При построении контура «микроэтапа», включаемого в конкретный временной интервал планирования, учитываются границы ранее построенных «микроэтапов». Это позволяет при планировании реализовать принцип аддитивности – объединение на горизонте контуров прирезок отдельных «микроэтапов» в этап, соответствующий интервалу планирования во времени, в том числе полученных на предыдущих промежутках планирования (месяц, квартал, год). При этом достаточно обеспечить в границах планового положения горных работ на планируемый период визуальное различие между контурами, отражающими планируемое состояние горных работ по отдельным календарным промежуткам, из которых складывается период планирования. При построении таблицы горно-геометри-ческого анализа (ТГГА) положение нижней бровки прирезок по уступам на конец планируемого периода (пятилетка, год, квартал, месяц, неделя) определяется объединением всех прирезок для календарных периодов, целиком лежащих в заданном пользователем периоде планирования.

Для программной реализации этих требований с каждым контуром «микроэтапа» связывается информация о технологических параметрах этапа в целом. В силу сказанного, для сохранения целостной картины не рекомендуется изменять период планирования при построении прирезок на вышележащих горизонтах этапа. В процессе проведения расчетов возможна корректировка технологических параметров по еще не спланированным горизонтам этапа. Изменению параметров для спланированного горизонта должен предшествовать откат геометрических построений на нижележащий смежный горизонт, прогнозируемое состояние горных работ на котором удовлетворяет пользователя.

Пространственное формирование «микроэтапа» в компьютерной технологии проводится относительно заданных параметров (местоположения и протяженности) нижней бровки нижнего уступа, относительно которого планируется развитие горных работ, с учетом подвигания фронта, размеров различного рода площадок, углов откоса уступов и минимально

допустимых радиусов искривления фронта работ по горизонтам отработки.

В принятой концепции моделирования развития горных работ на карьерах введены термины «исходный фронт прирезки» и «планируемой фронт прирезки». Под термином «исходный фронт прирезки» понимается часть нижней бровки фактического уступа, относительно которой планируется развитие горных работ в этапе. Под термином «планируемой фронт прирезки» понимается положение нижней бровки, соответствующее планируемому положению уступа.

Ширина «прирезки» зависит от величины подвигания нижнего уступа в этапе и задается пользователем. При выборе местоположения «прирезки» пользователь учитывает горно-геологичес-кие и технологические условия разработки, пространственное размещение и качественные свойства полезного ископаемого по уступам в зоне планируемого этапа развития горных работ. Технологические параметры по этапу разработки задаются в диалоговом окне «Технологические параметры этапа» (рис. 1).

Технологические данные включают

1) отметки горизонтов по карьеру;

2) углы откоса уступов;

3) ширину площадок (рабочих, транспортных, предохранительных берм и т. д.) на кровле уступов (для нижнего уступа в этапе указывается величина его подвигания;

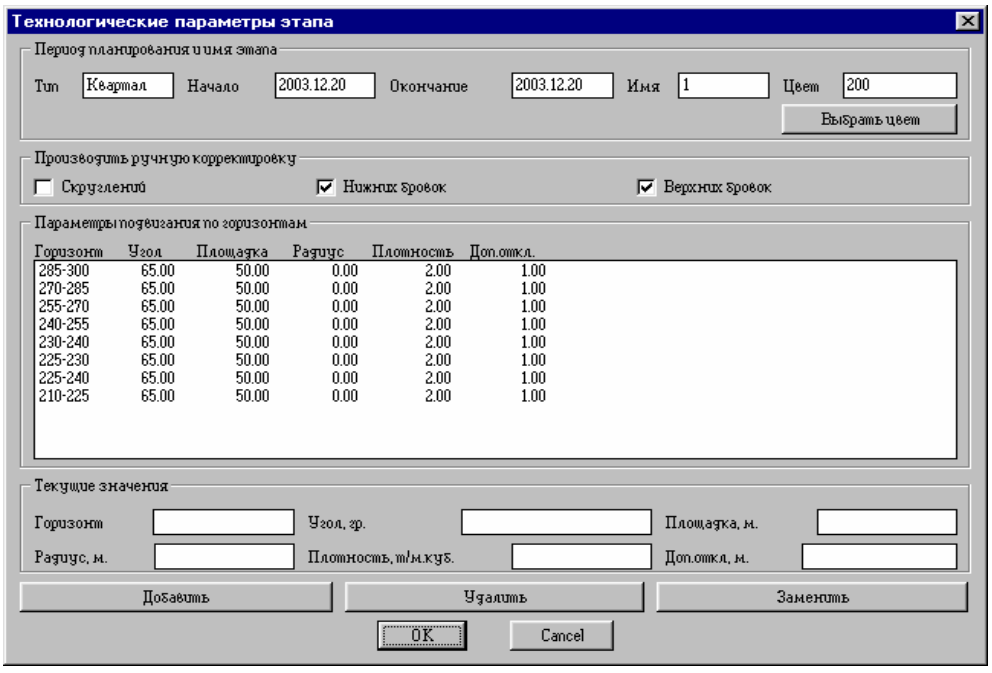
4) допустимый радиус искривления фронта работ по горизонтам этапа;

5) средняя плотность горной массы по уступам;

6) допустимое абсолютное отклонение отметок между планируемой площадкой и проектной отметкой горизонта.

Окно имеет области, в которых задаются название этапа планирования (перспективный, годовой, квартальный, месячный и т.д.), его календарный промежуток (интервал) с указанием даты начала и окончания (гггг.мм.дд), порядковый номер варианта развития горных работ в календарном промежутке планирования, цвет линий, исполь-

Рис. 1. Технологические параметры этапа



зуемых при графическом построении прирезок по горизонтам этапа. В диалоговом окне задается возможность ручной корректировки контуров прирезок, их кривизны и отметок в вершинах ломаных, аппроксимирующих нижние и верхние бровки планируемых уступов.

Контуры прирезки на нижнем горизонте этапа в описываемом пакете строятся несколькими способами: автоматически по заданному сектору, включающему «исходный фронт прирезки»; по заданному пользователем «исходному фронту прирезки» в виде линии, совпадающей с фактической нижней бровкой уступа; вручную. Построение «сектора» на подошве нижнего уступа этапа позволяет простыми манипуляциями пользователя точно задать желаемое положение исходного фронта прирезки. Сектор охватывает исходный фронт прирезки (часть фактической нижней бровки уступа, относительно которой планируется развитие горных работ). Контур прирезки по подошве нижнего уступа в этапе формируется по исходному фронту прирезки в результате последовательного выполнения следующих операций:

а) построение эквидистанты относительно фактической нижней бровки на расстоянии планируемого шага подвигания фронта работ;

б) формирование замкнутого контура «теоретической» прирезки;

в) корректировка «теоретической» прирезки с учетом охранных зон, предельных контуров и рельефа – исключение из «теоретической» прирезки зон, оконтуренных изолиниями, отметки которых соответствуют проектной отметке данного горизонта. Возможно полное попадание (включение) некоторых из этих зон во внутренность идеальной прирезки. При этом корректируется только передний фронт прирезки.

г) корректировка контура «теоретической» прирезки с учетом заданного радиуса искривления фронта горных работ.

В результате этих корректировок подвигание горных работ по подошве уступа может быть представлено несколькими изолированными прирезками. Пользователь вправе вручную объединить или исключить некоторые изолированные прирезки, оставив только те, относительно которых строятся верхние бровки уступа (рис. 2).

На вышележащих горизонтах аналогично тоже возможно появление нескольких изолированных прирезок, обусловленное ранее указанными причинами и дополнительными условиями: фактическим положением нижних бровок уступов и необходимостью создания площадок заданной ширины (Технологические параметры этапа). При развитии горных работ прирезки нового этапа должна усекаться по границам ранее построенных прирезок для других этапов. При многократном пересечении контура планируемой теоретической прирезки с контуром фактической нижней бровкой и проектными изолиниями горизонта также образуется несколько изолированных участков прирезки.

Построение замкнутого контура «прирезки» по подошве нижнего уступа в этапе производится на ее проектной отметке. Высотные отметки вершин замкнутой ломаной линии, аппроксимирующей контур прирезки, имеют значение равное проектной отметке соответствующего горизонта во всех точках переднего и заднего фронта. В плане

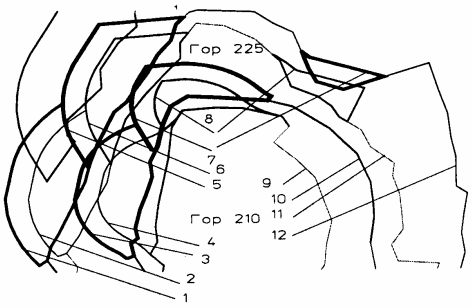


Рис. 2. Фрагмент формирования этапа из «микроэтапов»: *2, 4* и *1, 3* (*6, 8* и *5, 6*) – соответственно нижние верхние бровки уступов «микроэтапа» 1 («микроэтапа» 2); *9, 12* и *10, 11* – соответственно нижние верхние бровки уступов фактических уступов

задний фронт прирезки совпадает с существующим положением нижней бровки уступа при любых отклонениях по высоте, включая участки съездов. При построении переднего фронта прирезки учитывать проектные и фактические отметки. Для этого в каждой точке контура определятся фактическая высота уступа

$$\Delta h = H_{ф} - H_{ниж.бровки}$$

При этом возможны два случая:

1) $\Delta h < 0$ – корректировка положения нижней бровки производится с использованием изолиний поверхности. Из области прирезки вычитается область, ограниченная замкнутой (возможно по границе листа (чертежа)) горизонталью (изолинией). Если горизонталь лежит полностью внутри области прирезки, то она игнорируется.

2) $\Delta h \geq 0$ – положение прирезки в этой точке совпадает с точкой идеальной прирезки.

За качество нанесения необходимых для планирования горизонталей и отметок несет ответственность лицо, сопровождающее геоинформационное обеспечение карьера. Прирезка может быть откорректирована пользователем вручную по своему усмотрению или удалена.

Операция построения верхней бровки по указанной пользователем нижней бровке прирезки производится следующим образом. Если указанная пользователем нижняя бровка прирезки пересекается с прирезками, расположенными на том же горизонте для ранее спланированных этапов, то пересекающиеся области прирезки удаляются.

Построение положения верхней бровки уступов производится относительно его нижней бровки. Перепад высот в точке на нижней бровке

$$\Delta h = H_{ф} - H_{ниж.бровки}$$

зависит от разности между фактической отметкой и отметкой в точке, относительно которой определяется точка верхней бровки. Точки выбираются друг от друга на расстоянии не большем, чем указанно в настройке пакета.

При анализе высот возможны три случая:

а) $\Delta h < 0 -$ верхняя бровка совпадает с нижней. Выдать сообщение о возможных ошибкам в модели (в контурах или отметках);

б) $0 \leq \Delta h \leq H_{пр} + \Delta -$ точка на верхней бровке строится относительно точки нижней бровки, где Δ – отклонение фак-тической высоты уступа от проектной, задаваемое в настройках пакета. Точка должна лежать на биссектрисе угла;

в) $\Delta h > H_{пр} + \Delta -$ принимается проектная высота уступа.

Построенная проектная верхняя бровка корректируется по границе существующей замкнутой верхней бровки (если она есть в модели).

Если существующая верхняя бровка не замкнута, то выдается сообщение «Замкни бровку». После замыкания бровки пользователь должен возобновить расчеты обращением к команде «Подвинь» и последующим указанием контура нижней прирезки на горизонте, относительно которого не была сформирована верхняя бровка уступа. В некоторых случаях он должен вручную провести откат начатой ранее операции. Если в результате корректировки по границе существующей замкнутой верхней бровки образуется несколько фрагментов верхней бровки, то оставить их в модели без изменений.

Контуры нижней и верхней бровок прирезки обрезается по предельным контурам карьера на соответствующих горизонтах (в случае выхода их за границы карьера). Предельные контуры (полилиния) должен быть замкнутыми. Контур верхней бровки уступа не должен пересекать контуры временных охранных зон под стационарные сооружения (объекты) внутри карьера. Границы охранных зон по подошве и кровле уступа задаются пользователем в виде замкнутых полилиний.

Результирующий контур может быть скорректирован пользователем. Средства корректировки – стандартные команды AutoCAD.

Контур «прирезки» по подошве вышележащего формируется относительно верхней бровки нижележащего уступа следующим путем:

а) построения нижней бровки вышележащего уступа относительно копии спрямленной верхней бровки нижележащего уступа на расстоянии ширины площадки;

б) корректировки нижней бровки вышележащего уступа с учетом горизонталей поверхности, охранных зон (предельный или временный контур карьера) и существующей нижней бровки вышележащего уступа.

Контуры возможных фрагментов прирезок по подошве вышележащего уступа могут быть скорректированы пользователем (в том числе удалены или добавлены новые). Контур прирезки по подошве не должен иметь форму кольца! В этом случае его необходимо откорректировать и привести, например, к форме подковы или разбить на фрагменты. При этом вся ответственность за качество линий (точность задания координат, в частности совпадение с существующей бровкой, расстояние между вершинами) лежит на пользователе.

Результаты последовательного и окончательного формирования карьерного пространства отражаются в графическом виде на экране дисплея и в таблицах горно-геометрического анализа, включающих количество горной массы, пустых пород и полезного ископаемого, в том числе по сортам (типам), по горизонтам отработки. Для конкретных предприятий структура таблицы корректируется с учетом качественных и технологических характеристикой полезного ископаемого, а также вида готовой продукции, получаемой из добываемого сырья.

Результаты последовательного и окончательного формирования карьерного пространства отражаются в графическом виде на экране дисплея и в таблицах горно-геометрического анализа, включающих количество горной массы, пустых пород и полезного ископаемого, в том числе по сортам (типам), по горизонтам отработки. Для конкретных предприятий структура таблицы корректируется с учетом качественных и технологических характеристикой полезного ископаемого, а также вида готовой продукции, получаемой из добываемого сырья.

В информационной технологии проектирования и планирования открытых горных работ корректность использования процедур при геометрическом построении горно-технологических объектов и моделировании динамики формирования карьерного пространства определяется адекватностью используемых алгоритмов и достоверность определения объемов горной массы, пустых пород и полезного ископаемого, в том числе качественных характеристик последнего по горизонтам отработки. Полученный в результате машинных построений и перенесенный на бумажные носители графический материал является основной горно-технологической документации горного предприятия.

Коротко об авторах

Аленичев В.М. – профессор, доктор технических наук, главный научный сотрудник,
Суханов В.И. – доктор технических наук, старший научный сотрудник,
Институт горного дела УрО РАН.

© А.А. Ботвинник, А.Н. Дворникова, 2005

УДК 622.014.2:658.513.011.56:681.3

А.А. Ботвинник, А.Н. Дворникова

МЕТОДИКА СТРУКТУРИРОВАНИЯ ЗАПАСОВ

ПОЛЕЗНОГО ИСКОПАЕМОГО НА ОСНОВЕ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Повышение ценности товарной продукции при фиксированных на рынке ценах требует перенесения акцента управления ее конкурентоспособностью на стадию проектной проработки, что достигается комплексной оценкой качества полезного ископаемого в процессе добычи и переработки, основанной на использовании геоинформационных технологий. Разработанная для этой цели методика включает несколько взаимосвязанных этапов.

I этап. Определение типа показателя качества; характера его изменения по поверхности пласта; граничных значений по классам качества для скалярных показателей.

II этап. Картирование запасов: построение пакета карт качества по скалярным показателям; выбор принципа формирования классов качества по векторному показателю.

III этап. Анализ результатов структурирования запасов. Выбор варианта состава товарной продукции.

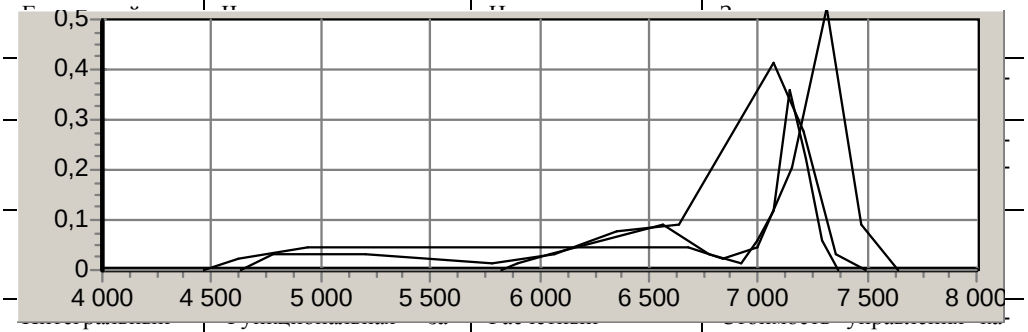
Необходимость идентификации типа показателя качества на первом этапе связана с тем, что процедуры картирования требуют специальных алгоритмов обработки для каждого из них.

Первый тип показателя (скалярный)– в основном, показатель ГОСТа, определяющий содержание вредных или полезных компонент (таблица). Во второй тип (комплексный), например, для коксующихся углей, отнесены взаимосвязанные показатели, определяющие их технологическую, а для углей, направляемых в энергетику, – энергетическую ценность (так называемые комплексные показатели). Третий тип (векторный) представлен необходимым набором показателей, не связанных между собой свойств, которые по той или иной причине контролирует потребитель.

Четвертый тип – обобщающий показатель, определяемый экспертно на основе эмпирических исследований. Интегральный показатель (пятый тип), в общем случае, определяет экономический эффект управления качеством.

Типы показателей качества углей

Тип показателя	Форма представления	Метод определения	Наименование (пример)
	висимость		чеством



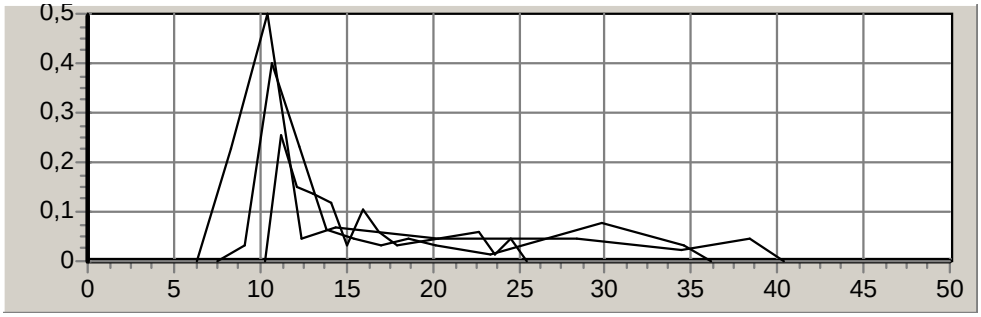


Рис. 1. Функции распределения зольности для пластов свиты

Далее, для первых двух типов показателей выявляется характер распределения их по поверхности месторождения (пласта, участка). Цель данного исследования – построение областей распределения значений показателя с тем, чтобы на этой основе разделить весь ряд его значений в соответствии с представлениями об изменении ценности товарного продукта, иными словами, на классы качества, которые отображаются на поверхности пласта в виде однородных зон. Особенно важно это при разработке свиты пластов, когда классы качества товарной продукции должны задаваться однозначно для всего месторождения. Как иллюстрация различий в распределении показателей на рис. 1 представлено изменение значений зольности для трех пластов Моховского месторождения (Кузбасс). Из рис. 1 видно, что при достаточно близких средних значениях зольности (12–14 %) для трех пластов, существуют значительные расхождения среднеквадратичного отклонения (3.8–8.0 %). При этом для другого показателя параметры функций распределения значений по пластам могут быть более близкими. Примером тому служит изменение высшей теплоты сгорания, приведенное на рис. 2, когда не только средние значения (6800–7000 ккал/кг), но и среднеквадратичные отклонения отличаются незначительно (300–600 ккал/кг).

На основе построенных функций распределения рекомендуется задавать граничные значения показателей по классам качества продукции. При этом следует учитывать:

- направление использования продукции;
- требования технологии добычи и (или) переработки.

Поскольку угли одного месторождения могут обладать широким спектром потребительских свойств, стало быть, существует возможность их потребления по различным назначениям. Скажем, каменные угля марки Г, ГЖ, К, КС могут быть востребованы как в энергетике, так и в коксохимии, поэтому их оценка должна проводиться с позиции и технологической, и энергетической ценности. Граничные значения по классам качества, а также количество классов при этом не только может, но и должно быть разным.

Рис. 2. Функции распределения высшей теплоты сгорания для пластов свиты

Граничные значения по классам качества также могут задаваться различными в зависимости от требований технологий добычи и переработки. Скажем, для энергетических углей, имеющих достаточно изменчивые показатели зольности, существует несколько вариантов потребления:

- сжигание всего рядового угля (когда граничные значения по классам качества зависят, в основном, от существующих на рынке цен);

- обогащение всего угля, направляемого на сжигание (здесь граничные значения зависят, прежде всего, от технологии обогащения);
- обогащение части (высокозольных) углей и выделение части (низкозольных) углей для использования без дополнительной переработки (в этом случае граничные значения зависят и от объемов раздельных потоков, и от технологий обогащения, и от существующих на рынке цен).

Особая ответственность необходима при обосновании граничных значений по классам качества, когда ценность углей определяется по векторному показателю. Здесь сложности появляются уже потому, что прирост ценности продукции по одному показателю проявляется как повышение значений показателя (тепло), а по другому – как их снижение (зольность). Логично при этом было бы воспользоваться выявленными и доказанными в результате предшествующих исследований связями показателей, определяющих их потребительские свойства. Но, поскольку подобные связи, как правило, формализуются в ходе изучения конкретных месторождений, распространять полученные закономерности на угли других месторождений неправомерно, так как различия в условиях формирования и залегания полезных ископаемых значительны, а это не всегда возможно учесть.

Рассчитывать изменения различных показателей, не прибегая к формализации связей между ними, позволяют современные средства и методы обработки информации о качестве добываемых углей, как на стадии прогноза, так и при оперативном планировании и контроле. Это исключает длительный и трудоемкий процесс получения закономерностей изменения показателей качества и обоснования надежности их распространения на весь объем вовлекаемого в отработку ископаемого угля. В этих случаях для сопоставимости ценности классов качества по различным показателям граничные значения по классам задаются в интервале $M \pm 2$. Количество классов, как правило, задается потребителем, но может определяется в зависимости от изменчивости показателя: чем она больше, тем больше рекомендуется формировать классов качества.

На **втором этапе** реализации методики производится картирование запасов месторождения по любому скалярному показателю и формирование векторных классов качества для различного их сочетания.

Картирование основано на численном моделировании с использованием специализированных комплексов математических моделей [1]. Результатом этого процесса является формирование пакета карт качества. Карты качества представляют собой графическое отображение поверхности пласта, участка с разделением на зоны, однородные по уровням значений рассматриваемого показателя. Ал-

Рис. 3. Структура ценности товарной продукции при различном формировании векторного показателя качества (а, в) и существующих ценах (б)

горитм построения карты качества определяется типом показателя.

Сущность разработки карты качества – разделение поверхности месторождения (пласта) на зоны (участки), однородные по уровням одного из показателей. Поскольку оценка запасов производится в большинстве случаев по нескольким свойствам, характеризующим потребительскую ценность угля, то естественным является построение карт качества для каждого из них.

Построение карт качества по единичному показателю – скалярной величине основано на возможности упорядочения значений показателя по отношению «больше-меньше». Это позволяет структурировать поверхность пласта на любое число зон, однородных с точки зрения рассматриваемого показателя. Трудности, возникающие при построении карты качества по векторному показателю, связаны, прежде всего, с тем, что не определен механизм формирования совместных (векторных) классов, так как уже для двумерного вектора-показателя информация о качестве представляется не упорядоченной линейной шкалой, а матрицей. Исходной информацией для формирования векторных классов являются разбиение запасов на классы по скалярным составляющим вектора-показателя.

Для решения этой задачи, авторы предложили два принципа формирования векторного класса качества [2]. Первый принцип состоит в том, что в $i-$ й векторный класс включаются области, отнесенные к классам не ниже $i-$ го по всем составляющим. Данный принцип соответствует известному в экономике принципу Парето, когда при оценке совокупности ранговых показателей оптимальным считается решение, не ведущее к ухудшению ни одного из них.

Второй принцип – разрешение включение (примешивания) в $i-$`й векторный класс областей $i+1$ -го (на ступень худшего) класса по одному из скалярных составляющих. Этот принцип следует использовать особенно тогда, когда в структуре цены предусмотрены надбавки-штрафы за улучшение-ухудшение одного или нескольких показателей. В этом случае за счет вовлечения в совместный класс скалярных классов, примыкающих к «базовому», со значениями показателей, отличающимися от заданных для совместного класса границ, подсчитанные как средневзвешенные значения показателей для него могут выходить за эти границы. Тогда и должно происходить срабатывание

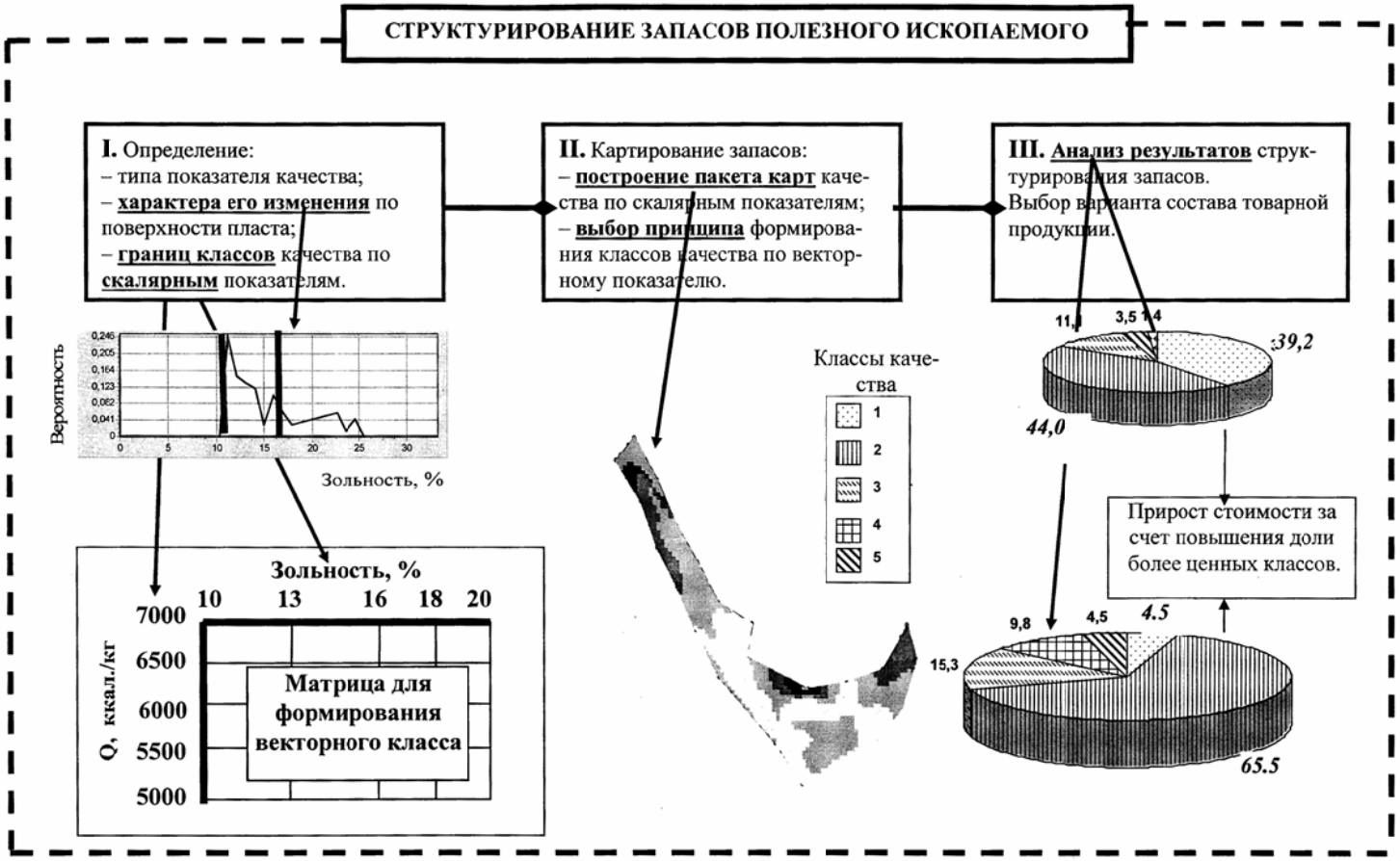

СТРУКТУРИРОВАНИЕ ЗАПАСОВ ПОЛЕЗНОГО ИСКОПАЕМОГО
I. Определение:
– типа показателя качества;
– характера его изменения по поверхности пласта;
– границ классов качества по скалярным показателям.
II. Картирование запасов:
– построение пакета карт качества по скалярным показателям;
– выбор принципа формирования классов качества по векторному показателю.
III. Анализ результатов структурирования запасов.
Выбор варианта состава товарной продукции.
Вероятность
Зольность, %
Классы качества
1
2
3
4
5
Зольность, %
10
13
16
18
20
Q, ккал./кг
7000
6500
6000
5500
5000
Матрица для формирования векторного класса
11,1
3,5
1,4
39,2
44,0
Прирост стоимости за счет повышения доли более ценных классов.
9,8
4,5
4.5
15,3
65.5

Рис. 4

механизма «надбавок-штрафов» при оценке товарной продукции.

Реализация **третьего этапа** методики включает анализ результатов структурирования запасов и выбор вариантов состава товарной продукции.

Распределение запасов по векторным классам качества в соответствии с предложенными принципами показало, по доли классов качества в этих случаях могут значительно отличаться, а, следовательно, существуют различия и в стоимостной оценке составов готовой продукции (10–25 %). На рис. 3 приведены данные об условной ценности продукции, полученной по вариантам, рассчитанным на основе двух принципов формирования векторных классов качества. Соотношение цен продукции по классам качества приведено на графике рис. 3, *б*. В связи с жестким разделением значений показателей по классам в соответствии с принципом Парето, доля самого высокого класса достаточно низка, всего около 5 % (рис. 3, *а*), при этом суммарная доля первого и второго классов по обоим принципам, а, следовательно, и их ценность (рис. 3, *а,в*), становятся вполне сопоставимы (70.0 и 83.2 %). При выборе варианта состава продукции необходимо стремиться к обеспечению в первую очередь требований технологии добычи, переработки и потребления, поэтому более выгодный по стоимости вариант (в данном случае рассчитанный по принципу «с включением худших») не всегда может быть рекомендован к принятию.

Взаимосвязь отдельных этапов структурирования запасов полезного ископаемого производиться в последовательности, представленной на рис. 4. Реализация предложенной методики позволяет:

- повысить обоснованность прогноза качества товарной продукции;
- за счет визуализации карт качества существенно сократить сроки обработки и повысить объемы анализируемой информации;
- использовать возможность актуализации карт качества в интерактивном режиме. Все это, в конечном итоге, способствует оперативной и объективной оценке конкурентоспособности товарной продукции.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Ботвинник А.А., Дворникова А.Н.* Картирование запасов по нескольким показателям при формировании качества угольной продукции // Наукоемкие технологии добычи и переработки полезных ископаемых. Материалы III международной научно-практической конференции. – Новосибирск: ИГД СО РАН, 2003. – С. 20–23.

2. *Ботвинник А.А.* Компьютерное картирование угольного пласта по векторному показателю качества // ГИАБ. – 2004. – № 9.

Коротко об авторах

Ботвинник А.А. – кандидат технических наук, ст. научный сотрудник лаборатории открытой геотехнологии,
Дворникова А.Н. – кандидат технических наук, ученый секретарь,
Институт горного дела СО РАН, г. Новосибирск.