

УДК 622.777

М.Г. Петров

**ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ УДЕЛЬНОГО
ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЯ ОТ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ
ФАКТОРОВ НА ГОРНО-ОБОГАТИТЕЛЬНЫХ
ПРЕДПРИЯТИЯХ**

Семинар № 14

Электропотребление на горных предприятиях при обогащении полезных ископаемых носит случайный характер в силу влияния на него большого числа факторов, обусловленных горно-геологическими, технологическими, энергетическими, эксплуатационными и организационными особенностями производства.

Рациональное использование электроэнергии связано в значительной степени с внедрением технически обоснованных норм ее расходов, которые определяют с учетом специфики горного производства и принятых на нем технологических процессов на основе использования научно обоснованных методов нормирования и планирования электропотребления. При этом используется такое понятие, как удельное электропотребление, которое равно расходу электроэнергии на производство единицы продукции.

Удельное электропотребление обогатительного производства на горно-обогатительных предприятиях зависит от многих технологических факторов, среди которых наиболее важными являются:

- содержание железа в руде, %;
- содержание влаги в итоговом концентрате, %;
- объем переработанной руды, т;
- производительность шаровых мельниц, т·ч;
- потребляемая мощность шаровых мельниц, кВт;

- объем руды, поступившей на повторное измельчение, т;
- плотность классификатора на выходе из мельницы мокрого самоизмельчения, гр/литр;

Для анализа зависимости удельного электропотребления от перечисленных факторов были использованы данные Лебдинского горно-обогатительного комбината. Статистическая выборка составляет период с 1.02.05 по 31.08.05 с частотой 2 раза в сутки, т.е. 422 значений.

При исследовании зависимости удельного электропотребления от технологических факторов использовались методы регрессионного анализа, которые на базе экспериментальной информации позволяют определить значения параметров уравнения, выражающего связь средних значений удельного электропотребления со значениями технологических факторов.

Наиболее приемлемым методом нахождения параметров регрессионного уравнения связи зависимой переменной (удельное электропотребление) от факторных признаков (технологические факторы), не смотря на большое количество ограничений, является метод наименьших квадратов. К главным ограничениям этого метода относятся: большая совокупность явлений; качественная однородность совокупности; необходимость подчинения распределения всех факторов нормальному закону; отсутствие функциональных связей между факторами. Статистическая выборка, принятая к анализу зависимости

удельного электропотребления от технологических факторов, удовлетворяет всем перечисленным требованиям.

Метод наименьших квадратов состоит в минимизации суммы квадратов отклонений фактически измеренных значений зависимой переменной (удельного электропотребления) от ее значений, вычисленных по уравнению связи с факторными признаками (технологическими факторами).

Определение значимости коэффициентов уравнения регрессии b_i ($i = 0, \dots, K$) сводится к проверке нулевой гипотезы с помощью критерия Стьюдента. Проверка адекватности модели осуществляется с помощью критерия Фишера.

Разработка уравнения, выражающего связь удельного электропотребления со значениями технологических факторов состоит из нескольких этапов, которые представлены на рисунке.

На первом этапе делается предположения о виде регрессионного уравнения зависимости удельного электропотребления от технологических факторов. По результатам анализа экспериментальных данных были сделаны предположения, что регрессионное уравнение зависимости может иметь следующий вид:

- линейная зависимость;

$$Y = b_0 + \sum_{i=1}^7 b_i x_i \quad (1)$$

- неполный полином второго порядка;

$$Y = b_0 + \sum_{i=1}^7 b_i x_i + \sum_{i < j} b_{ij} x_i x_j \quad (2)$$

- полином второго порядка без парных влияний;

$$Y = b_0 + \sum_{i=1}^7 b_i x_i + \sum_{i=1}^7 b_{ii} x_i^2 \quad (3)$$

- полином второго порядка;

$$Y = b_0 + \sum_{i=1}^7 b_i x_i + \sum_{i < j} b_{ij} x_i x_j + \sum_{i=1}^7 b_{ii} x_i^2 \quad (4)$$

где Y – удельное электропотребление; x_i – технологические параметры.

На втором этапе составляется уравнение связи удельного электропотребления с технологическими факторами методами регрессионного анализа.

На следующем этапе оценивается статистическая значимость параметров регрессионного уравнения зависимости удельного электропотребления от технологических факторов. Если не все параметры статистически значимы, то из регрессионного уравнения исключается параметр с наименьшей статистической значимостью и повторяется второй этап.

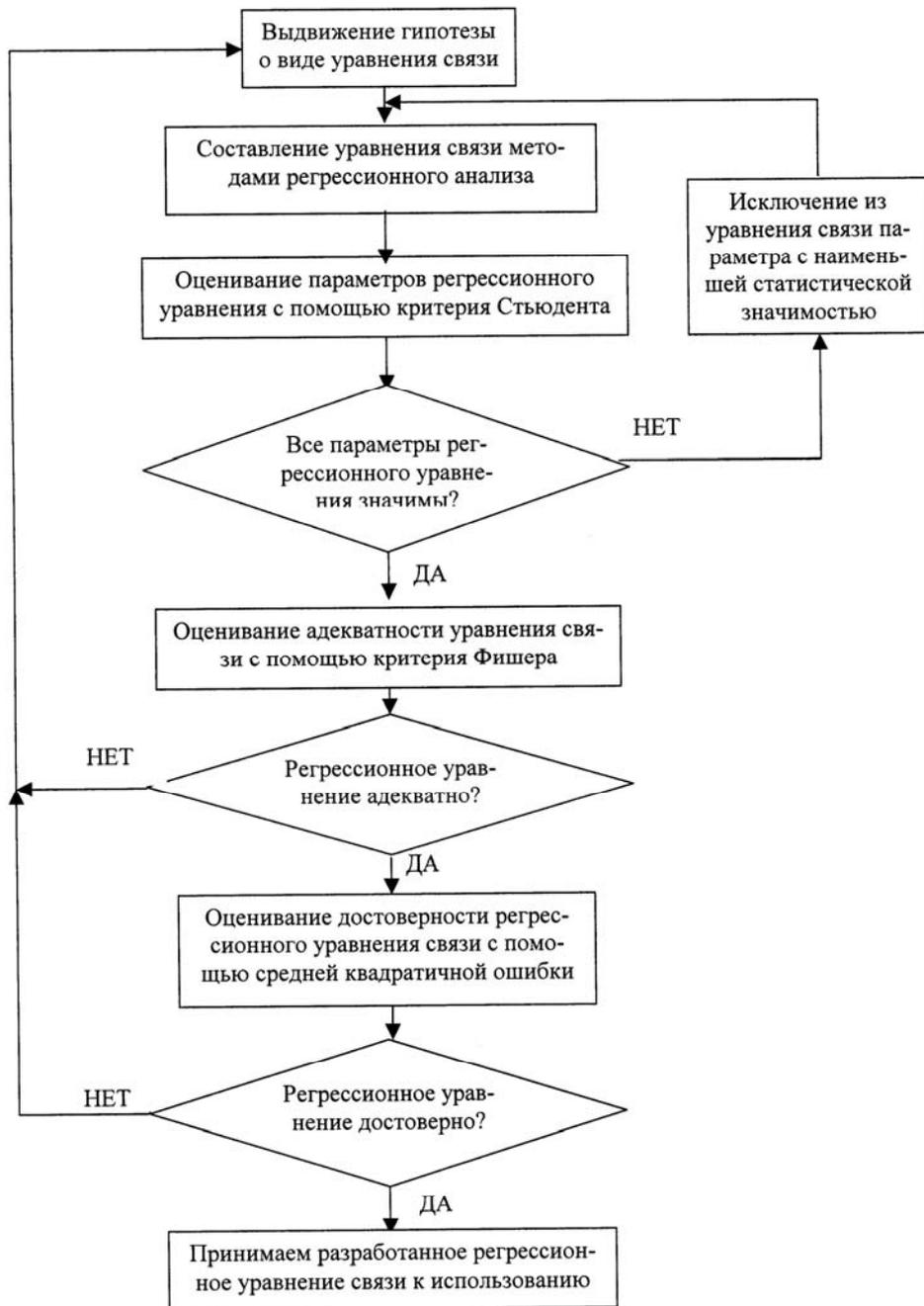
Если все параметры регрессионного уравнения зависимости удельного электропотребления от технологических факторов статистически значимы, то проверяется адекватность регрессионного уравнения с помощью критерия Фишера.

Если регрессионное уравнение зависимости удельного электропотребления от технологических факторов статистически не значимо, то повторяется первый этап. В противном случае переходят к следующему этапу.

Следующим этапом является оценивание достоверности регрессионного уравнения зависимости удельного электропотребления от технологических факторов, которое осуществляется с помощью средней квадратичной ошибки. Если средняя квадратичная ошибка удовлетворяет поставленным требованиям, то регрессионное уравнение считается достоверным и принимается к дальнейшему использованию.

Разработанные регрессионные уравнения зависимости удельного электропотребления от технологических факторов и их статистические оценки в табл. 1 и табл. 2.

Из табл.1 и табл.2 видно, что чем выше коэффициент детерминации у регрессионного уравнения зависимости удельного электропотребления от технологических факторов, тем более



Этапы разработки регрессионного уравнения связи удельного электропотребления с технологическими факторами

полно это уравнение описывает зависимость удельного электропотребления от технологических факторов; чем ниже уровень статистической значимости регрессионного уравнения, тем более адекватно уравнение зависимости удельного электропотребления от технологических факторов, и кроме того установлено, что чем меньше средняя квадратичная ошибка регрессионного уравнения, тем более достоверно регрессионное уравнение зависимости удельного электропотребления от технологических факторов.

Далее был проведен анализ полученных регрессионных уравнений зависимости удельного электропотребления от технологических факторов и показано,

что наименьшая квадратичная ошибка и наибольший коэффициент детерминации соответствуют регрессионное уравнение зависимости вида (4):

$$\begin{aligned} \Xi_{\text{уд}} = & 356,43 - 44,30 \cdot \alpha + 0,24 \cdot \alpha^2 + +9,09 \cdot 10^{-3} \cdot Q + 5 \cdot 10^{-9} \cdot Q^2 + 1,1 \cdot 10^{-2} \times \\ & \times P_{\text{ММС}} + 0,102 \cdot \rho + 2,34 \cdot \alpha \cdot \omega + 1,87 \cdot 10^{-2} \times \\ & \times \alpha \cdot A - 1,95 \cdot 10^{-4} \cdot \alpha \cdot \Gamma - 9,58 \cdot 10^{-4} \cdot \omega \cdot Q - \\ & - 7,02 \cdot 10^{-8} \cdot Q \cdot \Gamma + 4,94 \cdot 10^{-5} \cdot A \cdot \Gamma + +5,29 \cdot 10^{-4} \cdot A \cdot \rho \end{aligned} \quad (5)$$

Разработанное регрессионное уравнение зависимости удельного электропотребления от технологических факторов (5) было использовано при разработке модели электропотребления процесса обогащения руд черных металлов на горно-обогатительных предприятиях.

Коротко об авторах

Петров М.Г. – аспирант, кафедры «Автоматизированные системы управления», Московский государственный горный университет.

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>
ИНСТИТУТ ГОРНОГО ДЕЛА им. Д.А. КУНАЕВА МИНИСТЕРСТВА ЭНЕРГЕТИКИ, ИНДУСТРИИ И ТОРГОВЛИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН			
ДОЛЖЕНКОВ Петр Александрович	Научное обеспечение методики комплексной оценки эффективности работы карьерных автосамосвалов	25.00.22	к.т.н.



УДК 65.012.45

С.Н. Гончаренко

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТРУКТУРЫ ПРЕДПОЧТЕНИЙ
ИНВЕСТИРОВАНИЯ ПО ЭЛЕМЕНТАМ
ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ЗАТРАТ
ГОРНОДОБЫВАЮЩЕГО ПРЕДПРИЯТИЯ
НА РАЗЛИЧНЫХ ЭТАПАХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО
ЦИКЛА**

Семинар № 14

Отсутствие до недавних пор экономической свободы, директивные методы решения вопросов, связанных с ценообразованием, формированием производственной программы, привели к необходимости решения отечественными предприятиями целого ряда управленческих задач. Изменившаяся ситуация, а также ряд негативных факторов (наличие сложных горно-геологических условий на большинстве обрабатываемых месторождений, несовершенство в учете затрат по этапам производственного цикла, тяжелые климатические условия), влекущих за собой рост производственной себестоимости на предприятии вследствие нерационального использования материальных и других производственных ресурсов требуют разработки и внедрения в практику российских предприятий таких методов регулирования издержек производства, которые позволили бы принимать эффективные управленческие решения.

Решение этого круга задач предопределило необходимость обоснования методов управления производственными затратами и разработки основных направлений снижения издержек производства.

В качестве объекта исследования рассматривался рудник северо-восточного региона, добывающий медно-никелевые руды. Статистический анализ основных

технико-экономических показателей деятельности предприятия за 2001 – 2004 гг. (табл. 1) выявил наметившиеся в последнее время ряд неблагоприятных тенденций. Высокая численность, сравнительно низкая производительность трудящихся и достаточно высокий уровень производственных затрат, объясняется многими объективными и субъективными причинами:

- сложные горно-геологические условия разработки месторождения (наличие разрывных нарушений, значительная глубина залегания рудного тела);
- жесткие требования правил безопасности труда и эксплуатации оборудования;
- недостаточный уровень организации труда и системы его стимулирования;
- эксплуатация оборудования со сроками службы, значительно превышающими нормативные, что ведет к снижению надежности и производительности оборудования, а также к увеличению численности обслуживающего его персонала.

В то же время, крайне нестабильные уровни многих технико-экономических показателей (коэффициент вариации показателей находится в диапазоне 10,9-31,8 %) не является приемлемым с точки зрения достижения

оптимальных показателей деятельности предприятия.

Поэтому, для обеспечения рентабельной отработки месторождения в сложившихся условиях были выявлены основные технико-экономические показатели, оказывающие наибольшее влияние на эффективность деятельности предприятия. С этой целью был проведен факторный анализ основных технико-экономических показателей деятельности предприятия по статистическим данным за 2002-2004 гг. (табл. 2), результаты которого позволили установить группы показателей (объемная (количественная) (Ф1), экономическая (Ф2), организационная (Ф3), качественная (Ф4)), суммарный вклад которых в общую дисперсию составил 56,9 %, 23,8 %, 13,9 % и 5,4 % соответственно.

В состав групп, исходя из уровня факторных нагрузок, вошли такие показатели как: Ф1 - добыча руды (тыс. у.е.), производительность труда (у.е./чел.), проходка горных выработок (нарезных, подготовительных, эксплуатационных) (м), объем закладываемых пустот (m^3), производительность среднесписочной машины (m^3 /среднесписочное число машин), объем горной массы (m^3), численность персонала (чел.); Ф2 - себестоимость передела по элементам затрат (услуги промышленного характера, вспомогательные материалы, заработная плата, топливо, амортизация, отчисления во внебюджетные фонды, энергоресурсы, прочие) (тыс. руб.); Ф3 – планируемые простои (планово-предупредительные, резервные, регламентированные), не планируемые простои (по причине аварий, отсутствия фронта работ, запасных частей, ГСМ, энергии; прочие), фонд времени оборудования (час.), отработано оборудованием (смен, часов); Ф4 – содержание металлов в руде (никель, медь, кобальт) (%), (МПП, золото, серебро) (г/т).

Следовательно, основным путем повышения эффективности функционирова-

ния предприятия является целенаправленное планирование и управление показателями первой и второй группы (суммарный вклад в общую дисперсию составляет 80,7 %).

Для этого проведен парный регрессионный анализ показателей компоненты Ф1 и Ф2, результаты которого позволили выявить тесные взаимозависимости между затратами на услуги промышленного характера (y_8), топливо (y_9), фондом заработной платы (y_{10}), суммарной себестоимостью (y_{11}), ее постоянной (y_{13}) и переменной (y_{12}) составляющими и объемом добываемой руды (x_1), проходкой горных выработок (x_2), объемом горной массы (x_4), из очистных (x_6), нарезных (x_7) и горнопроходческих работ (x_5), производительностью труда (x_{14}), проходкой нарезных выработок (x_3) (табл. 3).

Полученные зависимости позволяют в рамках решения задач принятия эффективных оперативных и долгосрочных управленческих решений по регулированию стоимостных показателей и управления затратами предприятия произвести их деление на условно-постоянные и условно-переменные составляющие.

Подразделение всех издержек производства на две указанные группы дает возможность оценить изменение общих издержек предприятия в зависимости от изменения объема производства в единицу времени, определить прогнозные значения себестоимости выпускаемой продукции или отдельных ее элементов.

Близость к единице коэффициента корреляции (табл. 3) говорит о том, что расходы носят ярко выраженный переменный характер ($R^2(y_8 x_1) = 0,62$; $R^2(y_{10} x_1) = 0,83$; $R^2(y_{11} x_1) = 0,68$; $R^2(y_{13} x_1) = 0,85$ и т. п.); коэффициент колеблется в интервале среднего значения, когда затраты смешанные ($R^2(y_8 x_2) = 0,50$; $R^2(y_{13} x_3) = 0,53$; $R^2(y_8 x_4) = 0,48$; $R^2(y_{10} x_4) = 0,49$ и т. п.); коэффициент корреляции практически равен

Таблица 3

Регрессионный анализ основных технико-экономических показателей деятельности горнодобывающего предприятия (индексы переменных соответствуют порядковым номерам табл.1)

$y=f(x)$	Вид регрессионной зависимости	Коэффициент корреляции (R^2)
$y_8=f(x_1)$	$y_8= 1,7747x_1^2 - 1095,2x_1 + 240907$	0,6249
$y_8=f(x_2)$	$y_8= -0,23x_2^2 + 538,12 x_2 - 217580$	0,5025
$y_8=f(x_4)$	$y_8= 4E-06x_4^2 + 0,6423 x_4 - 36871$	0,4899
$y_8=f(x_6)$	$y_8= 7E-07x_6^2 - 0,0973 x_6 + 5115$	0,4674
$y_9=f(x_7)$	$y_9= 2E-06x_7^2 - 0,083 x_7 + 2969$	0,4883
$y_{10}=f(x_1)$	$y_{10}=-1,4171x_1^2 + 1190,7x_1 - 168384$	0,8324
$y_{10}=f(x_4)$	$y_{10}=2E-05x_4^2 - 4,0375 x_4 + 285205$	0,4937
$y_{11}=f(x_1)$	$y_{11} = 286051\text{Ln}(x_1) - 1E+06$	0,6892
$y_{11}=f(x_4)$	$y_{11} = 9E-06x_4^2 + 0,2505 x_4 + 165098$	0,4917
$y_{11}=f(x_5)$	$y_{11} = 0,0011x_5^2 - 14,082 x_5 + 332590$	0,4568
$y_{11}=f(x_{14})$	$y_{11}=284432\text{Ln}(x_{14}) - 1E+06$	0,6709
$y_{12}=f(x_1)$	$y_{12} =68327\text{Ln}(x_1) - 295120$	0,4657
$y_{13}=f(x_1)$	$y_{13}= -2,2252x_1^2 + 2291,6x_1 - 356211$	0,8558
$y_{13}=f(x_2)$	$y_{13}=-0,7792x_2^2 + 2020,6 x_2 - 1E+06$	0,4596
$y_{13}=f(x_3)$	$y_{13}= -1,6177x_3^2 + 2659,7 x_3 - 885911$	0,5302
$y_{13}=f(x_7)$	$y_{13}= -0,0001x_7^2 + 4,7967 x_7 + 160065$	0,4805

нулю, если нет ярко выраженной связи между затратами и объемом.

Анализ структуры издержек предприятия по элементам (табл. 4) и направлениям использования (в разрезе объектов калькулирования) (табл. 5) показал, что основную часть постоянных затрат составляют услуги промышленного характера (80,5 %), затраты на оплату труда (74,7 %) и отчисления на социальные нужды (68,1 %) (табл. 4). В целом 38,8 % эксплуатационных затрат на предприятии носят переменный характер, а 61,2 % - постоянный (рис. 1).

Для разработки направлений снижения производственных издержек на основании ключевых предпосылок теории выбора и принятия решений необходимо определить структуру предпочтений мероприятий (проектов), направленных на сниже-

ние затрат по элементам по трем сценариям в рамках развития внутренней среды деятельности предприятия (оптимистический, пессимистический и наиболее вероятный).

Для решения такого рода задач необходимо построение единой шкалы для всех критериев (упорядочение векторных оценок у первой опорной ситуации (только лучшие оценки по всем критериям)).

На основе полученной информации происходит сравнение мероприятий посредством попарного перебора с помощью единой шкалы оценки критериев. Рассмотренный подход является традиционным для типичных практических задач, связанных с конкурсной оценкой заявок различного рода назначений.

Таким образом, реализация предлагаемых процедур предопределяет осуществление следующих действий: проверка свойства попарной независимости крите-

риев; выделение зависимых групп критериев; выявление взаимных

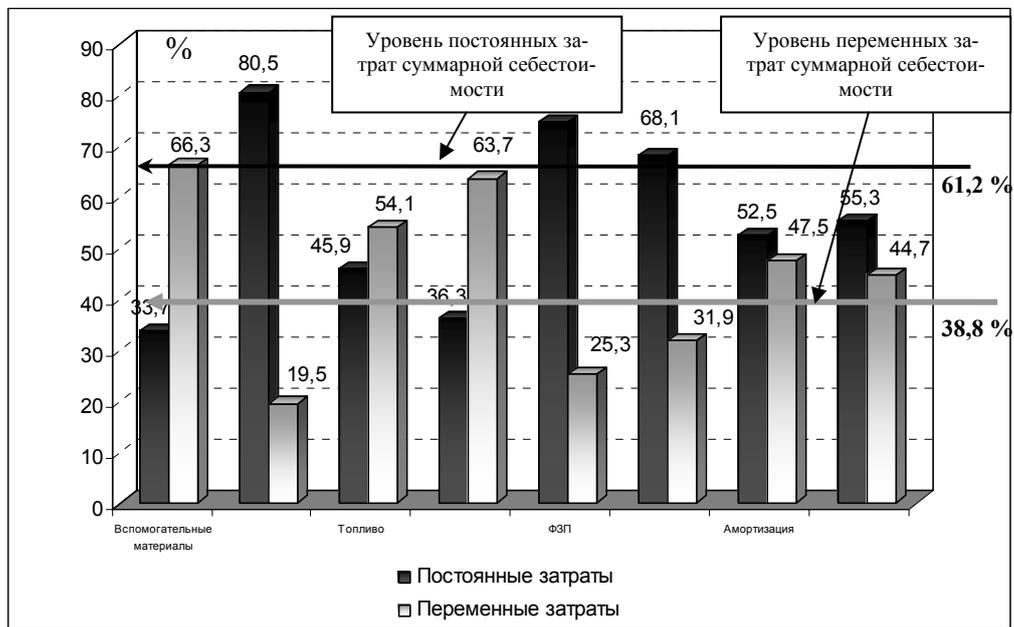


Рис. 1. Доля постоянных и переменных затрат в структуре себестоимости по элементам

Наиболее вероятный	Оптимистический	Пессимистический
Затраты на оплату труда (переменные); затраты на оплату труда (постоянные) (1)	Затраты на оплату труда (постоянные)(1)	Затраты на оплату труда (переменные) (1)
Вспомогательные материалы (переменные) (2)	Вспомогательные материалы (переменные)(2)	Вспомогательные материалы (переменные) (2)
Услуги промышленного характера (транспорт) (постоянные) (3)	Услуги промышленного характера (транспорт) (постоянные) (3)	Вспомогательные материалы (постоянные) (3)
Вспомогательные материалы (постоянные) (4)	Вспомогательные материалы (постоянные) (4)	Затраты на оплату труда (постоянные) (4)
	Затраты на оплату труда (переменные) (5)	Услуги промышленного характера (транспорт) (постоянные) (5)

Рис. 2. Словесная структура предпочтений реализуемых мероприятий по снижению затрат по элементам



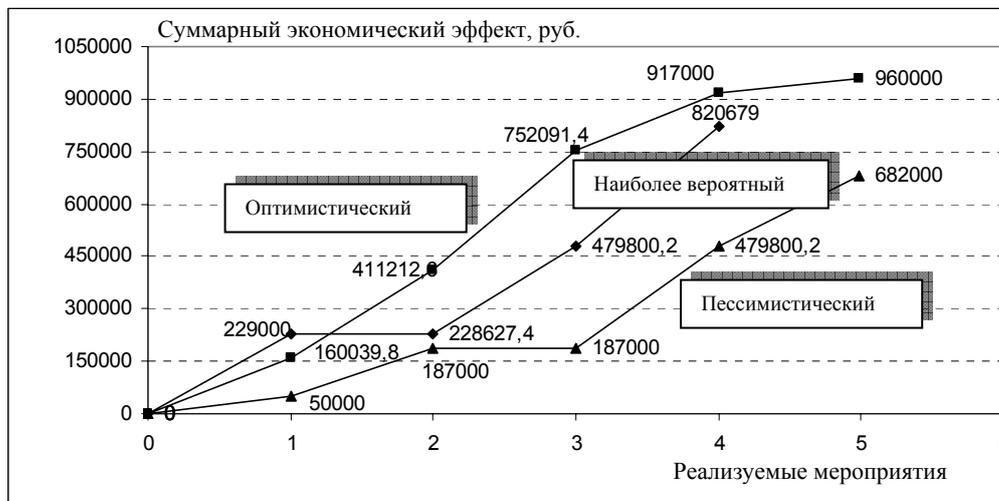


Рис. 3. Суммарный экономический эффект мероприятий по снижению производственных издержек по сценариям

отношений зависимых критериев и природы их зависимости; перереформулировка части критериев, с тем, чтобы новое критериальное описание позволяло использовать предлагаемые методы сравнения.

Основная идея заключается в использовании единой порядковой шкалы, строящейся на основе предпочтений экспертов и показывающей все возможные значения по шкалам упорядоченных по предпочтительности оценок критериев.

Исходная постановка задачи с учетом вышеуказанных аспектов выглядит следующим образом:

$M = \{m_k\}, k=1,2,\dots,S$, - множество оценочных критериев;

p_m - число оценок на шкале критерия $m \forall (m \in M)$;

$Fm = \{a_{km}\}$ -набор возможных оценок по m -му критерию (шкала критерия m); $|Fm| = p_m \forall (m \in M)$;

$L = A_1 \times A_2 \dots \times A_l$ - множество векторных оценок $l_k \in L$ вида $l_k = (l_{k1}, l_{k2}, \dots, l_{kS})$,

$$P = |L| = \prod_{m=1}^S p_m ;$$

$Y = \{y_k\} \subseteq L$ - множество векторных оценок, описывающих мероприятия.

Наиболее распространенным подходом к решению этой задачи является построение традиционно используемой скалярной функции ценности.

Исходное множество оцениваемых мероприятий (проектов) по снижению затрат по элементам в рамках сформированных сценариев оценивалось с позиции влияния на объем добываемой руды и себестоимость выпускаемой продукции.

Полученная слоевая структура предпочтений мероприятий (проектов) по снижению затрат по элементам в соответствии с выше указанными сценариями развития внутренней среды деятельности предприятия (рис. 2) и графики экономической оценки позволили выявить, что согласно оптимистическому сценарию, суммарный экономический эффект от реализуемых мероприятий составил 960 тыс. руб. (рис. 3).

Таким образом, разделение затрат на постоянную и переменную составляющие позволит более детально учитывать расходы предприятия и, соответственно, рациональ-

но управлять ими, что повлечет за собой экономию издержек производства. Практическое применение методов деления затрат показывает, что наиболее точные результаты дает метод наименьших квадратов (средняя квадратическая ошибка для элементов затрат не превышает 15%), с помощью которого был выявлен уровень постоянных и переменных затрат на предприятии. Это дает возможность на основе положений теории выбора и принятия решений наметить основные направления реализации проектов в рамках управления производственными затратами:

- предприятию необходимо использовать в работе новые технологии, которые позволят более экономно распределять ресурсы (постоянная составляющая элемента «услуги промышленного характера» - 80,5 %);

- необходимо усовершенствовать систему оплаты труда, а также сократить численность персонала за счет введения в эксплуатацию нового технологического оборудования, позволяющего автоматизировать процесс управления производством (постоянная составляющая элементов «затраты на оплату труда» - 74,7 % и «отчисления на социальные нужды» - 68,1 %);

- необходима реализация инвестиционных проектов по внедрению в производство новых технологий, которые позволят более полно и эффективно использовать основные производственные фонды, а также экономно расходовать материалы, топливо и электроэнергию (постоянная составляющая элемента «затраты на вспомогательные материалы» - 33,7 %).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Ашихмин А.А.* Разработка и принятие управленческих решений: формальные модели и методы выбора. – М.: МГТУ, 1995.
2. *Друри К.* Введение в управленческий и производственный учет. – М.: Аудит, 1994.
3. *Львов Ю.А.* Основы экономики и организации бизнеса. – С.-П.: ГМП «Формика», 1992.
4. *Моссаковский Я.В.* Экономика горной промышленности: Учебник для вузов. – М.: МГТУ, 2004.
5. *Николаева С.А.* Особенности учета затрат в условиях рынка: система «директ-костинг»: Теория и практика. – М.: Финансы и статистика, 1993.

Коротко об авторах

Гончаренко С.Н. – доцент, кандидат экономических наук, кафедра «Автоматизированные системы управления», Московский государственный горный университет.



УДК 622.013.34

Т.А. Кувашкина, П.С. Дранишников

**ПОДСЧЕТ ЗАПАСОВ ПОЛЕЗНЫХ
ИСКОПАЕМЫХ НА БАЗЕ ОБЪЕКТНО-
ОРИЕНТИРОВАННОЙ МЕТОДОЛОГИИ**

Семинар № 14

При рассмотрении всего спектра решаемых задач на горнодобывающем предприятии важнейшей является задача подсчета запасов полезных ископаемых (ПИ). От точности результатов, полученных в ходе решения данной задачи, зависит достаточно широкий круг вопросов: определение рентабельности горного объекта, инвестирование горнодобывающей промышленности, стратегическое и календарное планирование деятельности горнодобывающих предприятий.

В современной угольной промышленности для определения значимости месторождения используются два термина: минеральные ресурсы и запасы полезного ископаемого (угля).

«Минеральный ресурс» или «ресурс» [6] – это сосредоточенное в одном месте значимое количество ПИ (угля), в то время как «запас угля» или «запас» – эта та часть объемов угля (или ресурса), которую можно прибыльно добывать.

Термин «запас угля» [6] используется при определении месторождения в смысле объема и качества угля, достаточных для того, чтобы рассматривать последнее как подходящее для рентабельной разработки. Понятия «запас» (угля) для ресурса не существует, пока не установлена возможность его рентабельного извлечения в настоящее время или в ближайшем будущем.

Необходимость делать различия между минеральными ресурсами и запасами ПИ является фундаментальным требованием в процессе подсчета запасов месторожде-

ния. Проблема возникает из-за того, что как ресурсы, так и запасы выражаются в одинаковых терминах количества и качества.

Множество разных этапов эволюции объемов ПИ от «ресурса» до «запаса» изображено на рис. 1. Данная схема отображает продвижение от первоначального обнаружения месторождения до определения запаса ПИ в нем посредством ввода геонаучной (Г), инженерной и экономической (Э) информации.

Процесс этот идет «одновременно» на всех уровнях иерархии горнопромышленных систем: целые месторождения (небольшого размера) или отдельные его части (для крупных месторождений), проходя этапы геологоразведочных работ, постепенно «приобретают контуры» определяемых запасов уточняющих категорий – уменьшение объемов выверяемых ресурсов.

При достаточной степени разведанности месторождения и наличии потребности в данном виде минерального сырья в его пределах осуществляется горный отвод для проектирования, строительства и эксплуатации горнодобывающего предприятия.

Информация о каждом действии (транзакции) этого интегрального процесса обрабатывается в масштабируемом банке данных (уровень предприятия, $i=1$).

На крупных месторождениях изменение информации о ресурсах и запасах отдельных предприятий влечет за

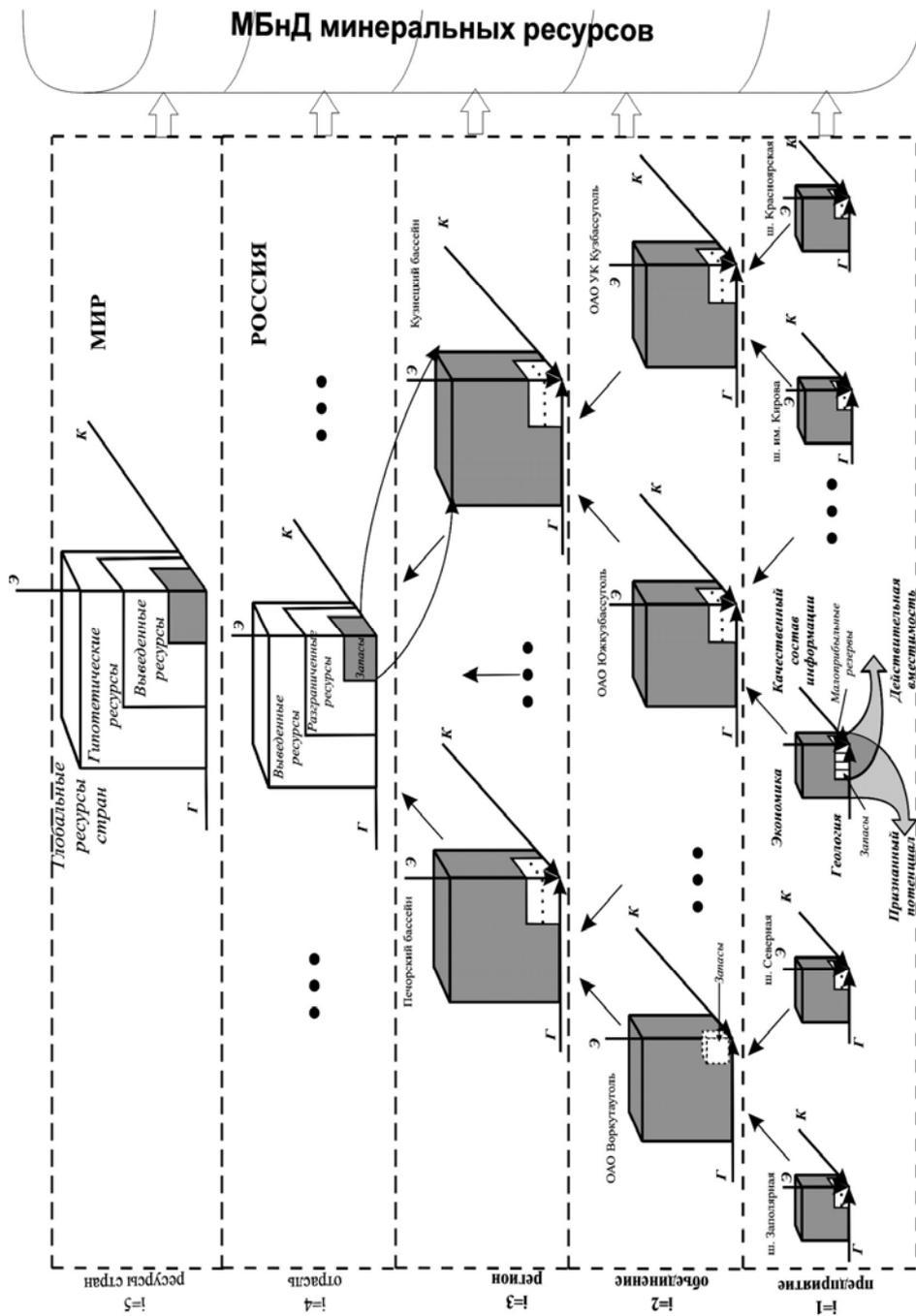


Рис. 1. Эволюция ресурсов в запасы

собой изменение таковой по объединяющему их предприятию, например ОАО (рис. 1).

Для особо крупных месторождений ведется региональный подсчет запасов ($i = 3$). Далее идет государственный кадастр запасов ПИ ($i = 4$) и мировой ($i = 5$).

Мировой масштаб ресурсов ПИ (рис. 3.2) представляет собой совокупность сырьевых баз (глобальных ресурсов) стран ($i = 5$).

В свою очередь сырьевая база страны определяется качественными и количественными параметрами полезных ископаемых регионов ($i = 3$). На региональном уровне большая часть ресурсов носит, как правило, гипотетический характер. В ходе исследований часть гипотетических ресурсов переходит в разряд выведенных (подтвержденных прогнозными измышлениями, научными доводами и т.д.) ресурсов. При этом часть выведенных ресурсов была разграничена вследствие геологоразведочных работ. Наибольший интерес в плане учета движения запасов представляют разграниченные ресурсы. Наиболее точные сведения о запасах и ресурсах сосредоточены на нижнем уровне иерархии ($i = 1$) – предприятия.

Нужно отметить, что при передаче интегральной информации с уровня на уровень ($i = 1, \dots, 5$) изменяется качественный состав данных (K), косвенно определяемый соотношением пространственной и атрибутивной информации.

Если на уровне предприятия ($i = 1$) преобладает пространственная информация (геологические разрезы, схемы газоносности, трещиноватости и т. д.), то региональному уровню ($i = 3$) присущи в большей степени атрибутивные массивы информации и в меньшей степени пространственные.

Причем пространственная информация регионального уровня качественно отличается от той, которая характерна для предприятий, поскольку выражена в интегральных величинах. Если рассматривать, например, отраслевой уровень ($i = 4$), то

картографическая информация носит иллюстративный характер с отображением двумерного пространственного местоположения месторождений. То есть на этом уровне месторождение рассматривается как объект, характеристиками которого являются: занимаемая площадь, величина ресурсов и запасов, а также интенсивность и степень отработанности на данный момент времени (рис. 2).

Подсчет ПИ производится на всех стадиях освоения месторождения, начиная от геопрогноза и геологоразведочных работ до окончания добычных работ.

При этом подсчет запасов ПИ осуществляется на всех уровнях иерархии по принципу «снизу-вверх», а управляющее воздействие имеет противоположное направление.

Организации, осуществляющие подсчет ПИ, начинают процесс подсчета одинаково – со сбора горно-геологической информации, однако в итоге получают разные по структуре модели, использовать которые в готовом виде в дальнейших работах другими организациями затруднительно, то есть существует проблема интеграции данных. Данные одной модели не могут быть использованы в других моделях без сложных дополнительных преобразований.

Следовательно, необходимо, чтобы информация, передаваемая вверх с нижнего уровня, имела не только приемлемый для вышележащего уровня формат, но и была легко модифицирована в нужный вид.

Передаваемая на верхний уровень информация должна быть выражена не в виде унитарного документа, а в виде метафайла с модульной структурой.

Отсутствие масштабированного банка данных затрудняет сбор актуальной статистической информации о добываемых объемах минералов.

Так, например, на сегодняшний день известна мировая статистика о добываемых объемах лишь до 2003 г. Отсутствие актуальных данных неблагоприятно влия-

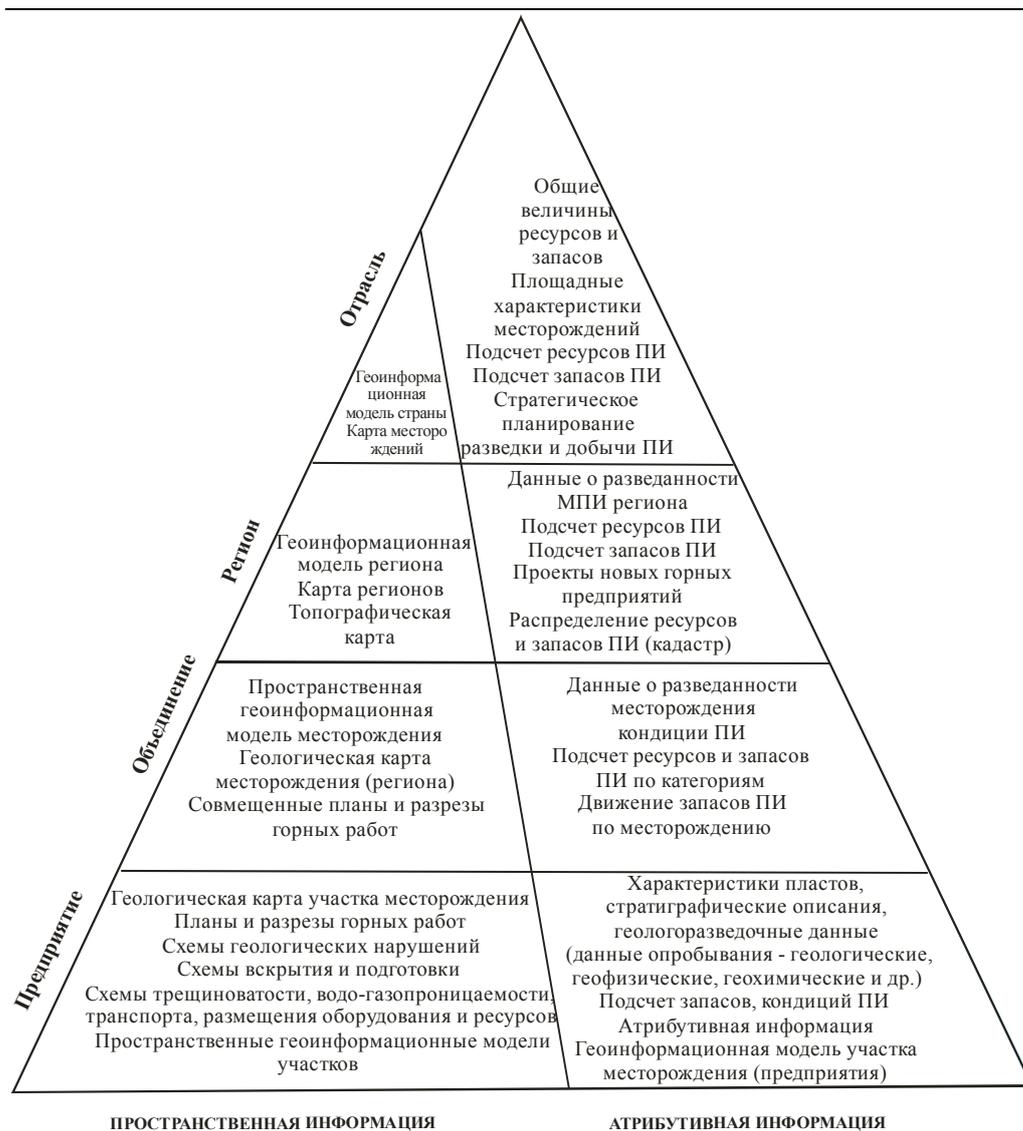


Рис. 2. Качественный состав информации при подсчете запасов ПИ

ет на экономические оценки развития горнодобывающей промышленности в мировом масштабе, а, следовательно, слабо развивается инвестиционная деятельность.

Поскольку современная российская горнодобывающая промышленность развивается в том числе за счет привлечения иностранного капитала, необходимо в це-

лях увеличения количества инвесторов, чтобы масштабируемый банк данных (МБнД) был реализован с учетом международной классификационной структуры горнопромышленных систем, уровнями которой являются: предприятия, регионы, народное хозяйство, мир в целом.

В зависимости от условий залегания полезного ископаемого применяют следующие методы подсчета запасов [2, 3].

Метод среднего арифметического. Подсчетная мощность по этому методу определяется как среднее арифметическое по всем горным выработкам, включая и скважины, расположенные в пределах промышленного контура залежи или подсчетного блока.

Метод ближайшего района. Площадь подсчета разделяют на блоки по числу разведочных выработок, причем каждый из них представляет собой многоугольник, опирающийся на разведочную выработку. Этот метод применяется при неравномерной густоте разведочной сети и при наличии резких колебаний показателей, характеризующих залежи, по соседним выработкам.

Общее количество запасов оцениваемой площади в целом определяется как сумма запасов отдельных блоков.

Метод геологических блоков. Площадь подсчета разделяется на подсчетные блоки по признаку совпадения показателей по мощности пластов и качеству угля в группах смежных выработок и резкого различия их между собой.

Для каждого подсчета блока определяют соответствующую среднюю мощность по выработкам, расположенным в его пределах. Границами блоков являются линии, проведенные через точки пересечения залежи разведочными выработками. Разновидности метода - построения блоков в виде треугольников или четырехугольников, грани которых проводятся через ближайшие выработки.

Метод изогипс применяют при сложной поверхности пласта и резких изменениях углов падения пласта, затрудняющих правильное определение среднего угла.

Существующие способы определения количества ПИ в массиве горных пород отличаются, в основном [7], методами

формирования подсчетных блоков, методами вычисления среднего содержания ПИ.

Суть большинства способов определения количества ПИ в массиве горных заключается в определении контура угольного пласта (рудного тела), в котором необходимо определить количество ПИ; разбиении массива горной породы на подсчетные блоки; определении объема каждого подсчетного блока; нахождении среднего содержания ПИ в каждом блоке; нахождение общего количества ПИ посредством суммирования полученных величин по всем блокам.

Вышеуказанные методы неудобны при повторяющихся пересчетах запасов тем, так как даже при изменении исходных данных на одном участке необходимо осуществлять переблокировку и подсчет средних содержаний по всему пласту (массиву, рудному телу), что требует выполнения подсчетов по всем блокам заново.

Для устранения указанных недостатков авторы [5, 7] предлагают выделенный участок месторождения разбивать на множество регулярных неперемещающихся блоков одинакового шестиугольного сечения. Каждый блок имеет вид призмы соответствующего сечения, верхним и нижним основаниями которого являются части контура, ограничивающего выделенный участок залежи (рис. 3).

В случае пересчета ресурсов, при поступлении новых данных о рудном теле, любой блок, если он не является граничным, остается на месте, лишь изменяя при необходимости местоположение и конфигурацию верхней и (или) нижней граней.

Верхние и нижние грани блоков каждой залежи моделируют двумя непрерывными и сглаженными поверхностями, проходящими соответственно через верхние и нижние граничные точки залежи с породой на участках скважин.

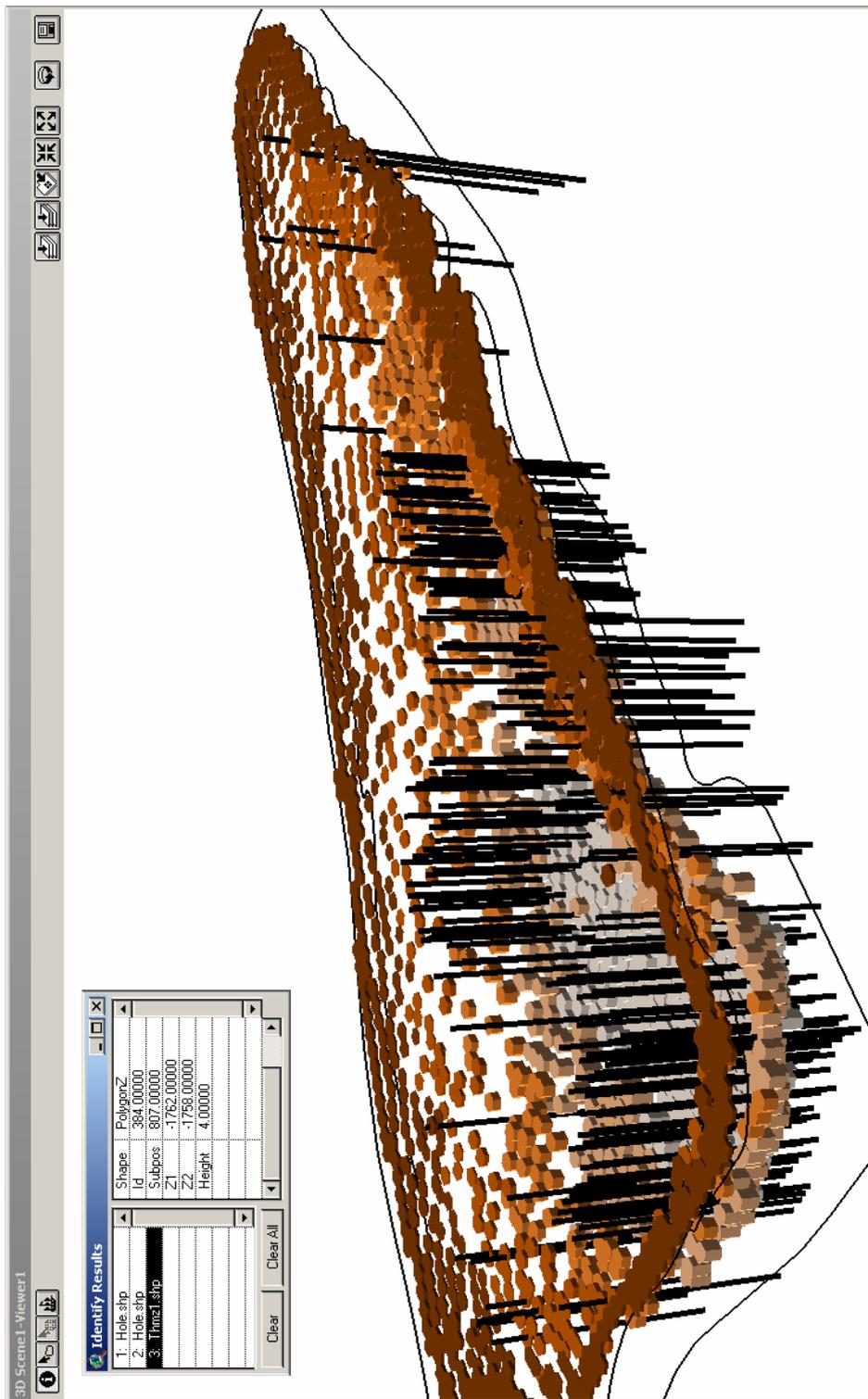


Рис. 3. Пространственная визуализация геологического пласта с отображением шестигранных призм

Затем эти верхние и нижние грани в каждом блоке линеаризуют, при этом содержание ПИ в нем определяют путем взвешивания концентраций ПИ проб, взятых на участках скважин, являющимися вершинами замкнутого минимального контура.

Вышеуказанный алгоритм можно осуществлять с помощью соответствующих функций, заложенных в модуль-объект, что позволяет инкапсулировать данные об объеме ПИ в элементарном блоке в описывающей его модели (объекте).

Таким образом, представляя геологические объекты в виде шестигранных призм, получена система и некий язык, который позволяет описать любой участок месторождения в едином образе, а МБнД позволяет обрабатывать и показать всю информацию об объектах в увязке.

При таком методе подсчета ПИ возрастает точность на 9-13 % по отношению к схожим методам определения данной величины.

Рассмотрим схему подсчета запасов ПИ на нескольких уровнях иерархии горнопромышленной системы с использованием объектно-ориентированной методологии (рис. 4).

Основными объектами в данной схеме являются:

Монитор [1] – модуль, обеспечивающий процесс обработки информации (ввод задания, принятие решения по его реализации, вызов и управление необходимыми модулями-процессами для обработки информации, выдача результатов ЛПР);

Модуль-монитор [1] – модуль, обеспечивающий «внешний» (межуровневый) интерфейс для ввода/вывода информации обрабатывающим(и) модулем(и) данного уровня иерархии системы. В предлагаемой модели эти модули обеспечивают преобразование входных данных в форматы «своего» уровня иерархии системы и выходных данных – в согласованный «межуровневый» формат.

Модуль-процесс [1] – модуль, осуществляющий модельные расчеты определенных процессов (технологических, информационных, организационных, экономических и т.п.).

Предположим, что необходимо рассчитать движение запасов¹ угля определенной марки за период ΔT на территории некоторого региона (например, Кузбасса). Здесь функционируют несколько объединений, каждое из которых имеет некоторое (от одного до десятка) количество предприятий (шахт, разрезов). Допустим, что период ΔT длится с 1 по 20 число месяца.

Монитор С (уровень региона) в соответствии с полученным от ЛПР заданием вызывает (генерирует экземпляр) модуль-процесс С для выполнения расчетов.

То есть монитор С, который имеет свой интерфейс, настраивает модуль-процесс для расчета величины запасов на региональном уровне, а монитор Б – на уровне объединения.

Модуль-процесс С делает запрос в БД уровня С о наличии соответствующего отчета. В случае, если ΔT является стандартизированным (месяц, квартал, год), из БД передается этому модулю статистические данные (отчет) за требуемый период времени. Модуль-процесс С делает соответствующую выборку данных по требуемой марке и передает ее ЛПР. При «нестандартном» периоде ΔT движение запасов определяется как изменение (разность) состояния запасов между моментами T_k и T_n .

Модуль-процесс, используя свой интерфейс G5, выбирает с помощью модуля-монитора С из БД уровня С состояние запасов искомой марки угля по

¹ Под термином «движение запасов (ресурсов)» будем понимать изменение состояния запасов (ресурсов) за определенный период времени ΔT . Под термином «состояние запасов (ресурсов)» в данном случае будем понимать положение всех градаций запасов (ресурсов) на определенную дату.

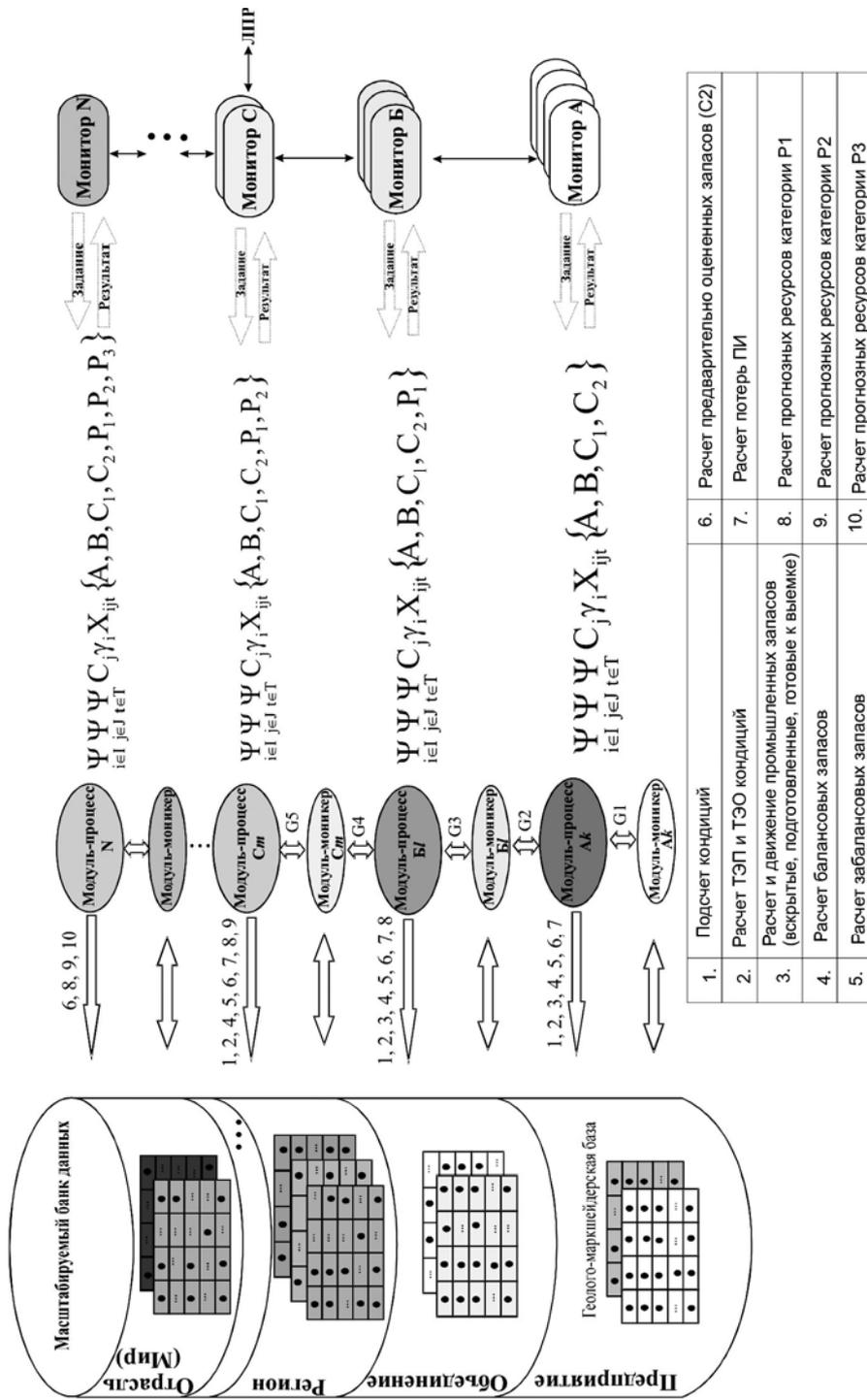


Рис. 4. Технология подсчета запасов ПИ на базе ООМ

объединениям региона на T_n – первое число месяца (статистический учет запасов). Данные о состоянии запасов этой марки угля по объединениям на T_k (20 число) модуль-монитор С запрашивает через межуровневый интерфейс G_4 у модуля-процесса Б.

На уровне «объединение» модуль-процесс Б подсчета ПИ обращается к модулю-монитору и получает через него информацию (необходимые параметры, коэффициенты) из геолого-маркшейдерской базы классы моделей-объектов.

Модули-мониторы осуществляют двусторонний обмен информационными потоками между моделями-объектами и организуют передачу управляющей информации и данных между ними (рис. 5) [7].

Получив задание (информацию) от объекта-корреспондента (модуля-процесса) (блок 2), модуль-монитор осуществляет вызов объекта-респондента и передачу ему информации (базовые параметры, коэффициенты).

Передача управляющей информации и данных между объектами одного уровня иерархии проводится без преобразований (блок 5). Если же информация передается объектам нижележащего уровня иерархии, то она преобразуется «в более мелкий масштаб» модулем-монитором (блок 7). Если осуществляется передача информации «снизу-вверх», то преобразования проводятся в обратном порядке (блок 10). Этим достигается однородность наборов данных, присутствующих конкретному уровню иерархии.

Информацию и способы ее преобразования модули-мониторы получают из масштабированного банка данных посредством специальных запросов.

После выполнения операции передачи информации модуль-монитор осуществляет «оповещение» системы о завершении процесса и выгружается из оперативной памяти (блок 12).

При этом в базе сосредотачивается пространственная информация, характеризующаяся координатами объектов, по-

средством которых вычисляются объемные характеристики.

Модуль-процесс (А, Б, С, N) осуществляет расчеты состояния или движения запасов ПИ по нескольким направлениям: сортности (маркам угля $i \in [1 \dots M]$), по степени подготовленности массива ПИ к отработке (вскрытые, подготовленные $j \in [1 \dots N]$), а также за определенный период времени (месяц, квартал, год $t \in [1 \dots T]$).

Фактор времени является важной компонентой при расчетах, поскольку информация о геологических объектах пополняется по мере ведения геологоразведочных работ, что приводит к пересчету величины запасов ПИ. Подсчет запасов ПИ осуществляется на каждом уровне иерархии по формулам (1-4).

$$\Psi_{i \in I} \Psi_{j \in J} \Psi_{t \in T} C_j \gamma_i X_{ijt} \{A, B, C_1, C_2\} \quad (1)$$

$$\Psi_{i \in I} \Psi_{j \in J} \Psi_{t \in T} C_j \gamma_i X_{ijt} \{A, B, C_1, C_2, P_1\} \quad (2)$$

$$\Psi_{i \in I} \Psi_{j \in J} \Psi_{t \in T} C_j \gamma_i X_{ijt} \{A, B, C_1, C_2, P_1, P_2\} \quad (3)$$

$$\Psi_{i \in I} \Psi_{j \in J} \Psi_{t \in T} C_j \gamma_i X_{ijt} \{A, B, C_1, C_2, P_1, P_2, P_3\} \quad (4)$$

где Ψ – логическая сумма информационных элементов; C_j – коэффициент достоверности информации ($C_j \in [0 \dots 1]$); γ_i – удельная масса i -го ПИ, t/m^3 ; X_{ijt} – объем ПИ, m^3 .

Для каждого горного (угольного) объекта (уровня) (предприятие, объединение, регион) создается свой класс модулей-процессов, которые осуществляют типичные для данного уровня расчеты (см. формулы 1-4). Количество модулей-процессов (А, Б, С) соответствует, как правило, количеству объектов, принадлежащих данному уровню иерархии горнопромышленной системы. То есть, количество модулей-процессов категории А соответствует количеству предприятий (шахта, разрез) входящих в состав объединений, а количество модулей-процессов категории Б – ко-

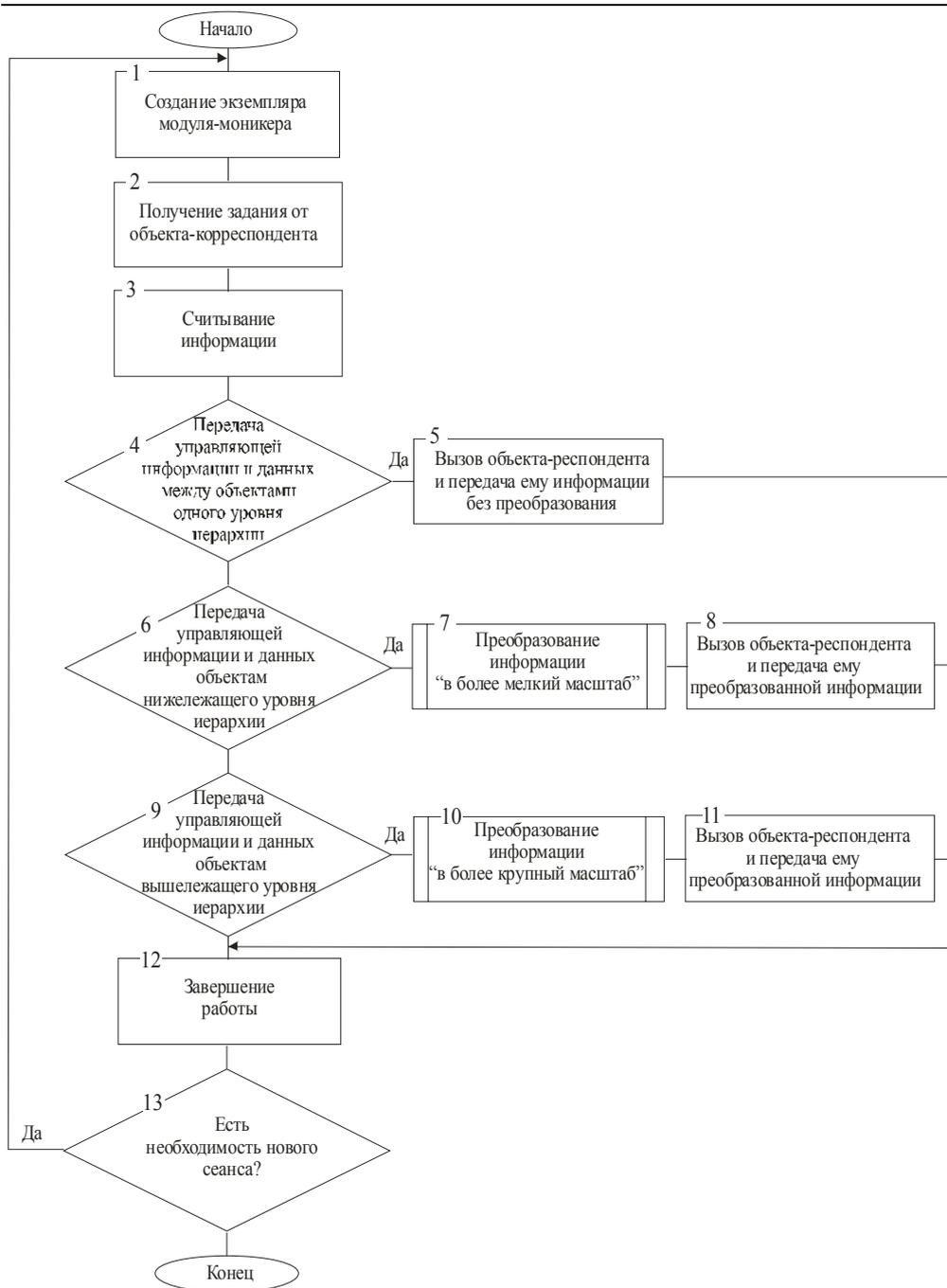


Рис. 5. Алгоритм функционирования модуля-моникера

личеству объединений конкретного ре- гиона.

Далее полученный результат сохраняется на вышележащий уровень иерархии банка данных в виде метафайла, состоящего из совокупности атрибутов.

Из полученных моделей на уровне «объединение» агрегируется отчет для следующего уровня иерархии «регион» посредством модуля-процесса. То есть происходит передача информации на уровень выше по иерархии.

Необходимость агрегирования может вызываться различными целями (задачами) и сопровождаться разными обстоятельствами [4].

Так, например, при составлении отчета о состоянии ПИ для министерства (отраслевой уровень иерархии), необходимо выполнить операцию агрегации информационных элементов характеризующих запасы по каждому месторождению или шахте. При этом нужно не просто проводить суммирование всех информационных элементов, а выбирать те, которые необходимы и достаточны для отражения сути мо-

дели. Однако, полученный в итоге агрегат не несет полной информации о тех элементах, которые агрегировали.

В самом общем виде агрегирование можно определить как установление отношения эквивалентности между агрегируемыми элементами, т.е. образования классов [1, 4].

Например, классами для запасов ПИ будут являться категории (А, В, С₁, С₂), которым присущи свои классификационные признаки. Если представлять класс как результат действия агрегатора-оператора, то такой оператор имеет вид «ЕСЛИ <условия на агрегируемые признаки>, ТО <имя класса>».

При этом модуль-процесс А оперирует величинами, принадлежащими уровню «предприятие», а модуль-процесс Б – совокупностью величин, принадлежащих группе предприятий. Таким образом, исходные данные для расчетов запасов (геологические параметры) расположены в ячейках нижнего уровня, а совокупность рассчитанных величин – на вышележащем уровне пирамиды. На верхнем уровне ие-

Таблица 1

Шахты/разрезы Марка	Добыто за отчетный период	Остаток балансовых запасов A+B+C ₁	Проектные потери и запасы нецелеобразные к отработке	Промышленные запасы			
				Все-го	Вскрытые	Подготовленные	
						Все-го	К выемке
По предприятию							
По объединению							

Таблица 2

Марка угля	Общие ресурсы углей			Разведанные запасы			Прогнозные ресурсы					
	Все-го	Конд	Неконд	Балансовые		Забаланс	P1		P2		P3	
				A+B+C ₁	C ₂		Конд	Неконд	Конд	Неконд	Конд	Неконд
Б												
Д												
...												
ГЖО												
ГЖ												

рархии «отрасль» получают модели запасов ПИ (по маркам, по потерям, по подготовленности) по всем угольным объектам страны.

Таким образом, масштабированный банк данных дает возможность моделирования ситуаций при новых обстоятельствах, а обновление информации на вышележащих уровнях происходит автоматически.

При необходимости получения твердой копии отчета о состоянии запасов, программа генерирует из модулей (компонентов) желаемый вид и состав отчета, который представлен ниже (табл. 1, 2).

Выводы

Предлагаемые методы обеспечивают подсчет запасов ПИ на всех стадиях освоения месторождения, начиная от геопрогноза и геологоразведочных работ до момента окончания добычных работ.

При этом подсчет запасов ПИ осуществляется на всех уровнях иерархии по принципу «снизу-вверх», а управляющие

воздействия имеют противоположное направление.

Предложенная технология подсчета запасов ПИ позволяет определять искомые величины за любой интервал времени, в том числе и отличный от стандартного (месяц, квартал, год). Это достигается за счет наличия в системе динамического репозитория.

Представляя геологические объекты в виде совокупности шестигранных призм, получена система дискретизации непрерывной среды и алгоритмы, которые позволяют единообразно описать любой участок месторождения, а МБнД позволяет показать всю информацию об объектах в увязке.

При передаче интегральной информации с уровня на уровень иерархии горнопромышленной системы изменяется качественный состав данных, косвенно определяемый соотношением пространственной и атрибутивной информации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дейл Роджерсон Основы СОМ / Пер. с англ. – М.: Издательство «Русская Редакция» ТОО «Channel Trading Ltd.», 1997. – 376 с.
2. Коган И.Д. Подсчет запасов и геолого-промышленная оценка рудных месторождений. – М.: Недра, 1974.
3. Месторождения полезных ископаемых: Учебник для вузов / Ермолов В.А., Попова Г.Б., Мосейкин В.В. и др.; Под ред. В.А. Ермолова. – М.: Издательство МГУ, 2001. – 570 с.
4. Перегудов Ф.И., Тарасенко Ф.П. Введение в системный анализ: Учебное пособие для вузов. – М.: Высшая школа, 1989. – 367 с.
5. Пучков Л.А. Шек В.М. Патент № 2130548. Способ определения количества полезного ископаемого в массиве горных пород.
6. Уортман Дейвид Оценка рудных запасов // Стратегия инвестирования в горную промышленность. Семинар, подготовленный при спонсорском участии правительства Канады, Московского государственного горного университета, кабинета министров республики Узбекистан. Москва-Ташкент 19-25 мая, 1993.
7. Шек В.М. Объектно-ориентированное моделирование горнопромышленных систем. – М.: МГУ, 2000, 304 с.

Коротко об авторах

Кувашикина Т.А. – ассистент,
Дранишников П.С. – аспирант,
кафедра «Автоматизированные системы управления», Московский государственный горный университет.

УДК 553.001.57

Е.А. Конкин

**ВВОД СИСТЕМАТИЗИРОВАННОЙ
ГЕОИНФОРМАЦИИ ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ
УГОЛЬНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ**

Семинар № 14

Основой при моделировании месторождений полезных ископаемых, в частности угольных, являются геологические данные, полученные в основном при бурении разведочных скважин. Точность построения модели зависит от количества первичной информации (степени разведанности), сложности геологического строения, изменчивости свойств горных пород, а также от преследуемых при моделировании целей.

В результате проведения всего комплекса геологоразведочных работ создается геологическая модель месторождения полезных ископаемых. При этом, чем полнее детальность проведенных работ и, главное, оптимальнее методика их выполнения, тем ближе полученная модель соответствует реальному объекту. В общем виде модель месторождения полезных ископаемых включает комплекс разнообразных графических и табличных материалов: системы вертикальных и горизонтальных разрезов, проекции на вертикальную, горизонтальную или наклонную плоскости, блок-диаграммы, таблицы результатов опробования, геофизических, гидро-геологических и инженерно-геологических исследований и других материалов, характеризующих месторождение.

Разведка угольных месторождений осуществляется буровыми скважинами с обязательным комплексом каротажных исследований. Колонковое бурение является главным видом разведочного бурения, так как оно позволяет непосред-

ственно (по керну) изучать полезное ископаемое и вмещающие породы.

Основным показателем качества колонкового бурения считается выход керна – отношение длины полученного керна к длине пробуренного интервала. Так при бурении обломочных, трещиноватых и хрупких пород, выход керна может снижаться до 50 %.

Каротаж скважин и инклинометрия осуществляются в обязательном порядке. Под геофизическим каротажом понимаются исследования естественных и искусственных физических полей по стволу скважины. С его помощью устанавливается состав пород и уточняется положение их границ, определяется мощность полезного ископаемого и его качественные характеристики, изучаются температурный режим, водо- и газоносность, а также другие явления, влияющие на условия разработки месторождения. С помощью скважинных геофизических работ выявляется зенитное и азимутальное искривление скважин.

По сравнению с бурением и проходкой горных выработок стоимость геофизических работ в несколько раз меньше, а скорость их проведения в несколько раз больше. Но интерпретация геофизических данных далеко не всегда однозначна, поэтому геофизические работы используются обычно в качестве вспомогательного средства. [1]

По каждой геологоразведочной скважине составляется отчет и геологический стратиграфический разрез, фрагмент которого приведен на рисунке 1. В отчетах

Геологический разрез скважины ПК-3801

Разведочная линия 12

Поле шахты "Воркутинская"

Масштаб 1:500

Начата бурением: 4 июля 1979 г
Окончена бурением: 26 июля 1979 г

Конечная глубина: 366,7 м
Абсолютная отметка устья: 175,12 м

Шкала глубин, м	Конструкция скважины	Геологический возраст	Индекс угольных пластов и фаунистических горизонтов	Нижний контакт, м	Вертикальная мощность, м	Выход керна, м	Геологический возраст	Угол падения, град.	Данные каротажа			Гидрогеологические данные		Флора и фауна	Истинное строение угольных пластов, принятых к подсчету запасов Масштаб 1:100			
									Нижний контакт, м	Колонка	Вертикальная мощность, м	Вертикальные горизонты	Замеры уровня воды, м		По бурению	По каротажу	Принятое	
5							/ / / / /											
10				9,60	9,60	9,60	/ / / / /											

Рис. 1. Геологический разрез скважины

описываются свойства горных пород, обводненность, газоносность и т.д.

Геологический разрез представляет собой графический документ, который в месте заложения скважины дает общее представление о строении массива горных пород. Информация в отчете, на первый взгляд, несколько противоречивая (рис. 2), так как включает в себя данные бурения и геофизики (каротаж), которые зачастую отличаются друг от друга. Это обычное явление, так как при бурении керн может разламываться, дробиться, просыпаться, тем самым, увеличиваясь или уменьшаясь в объеме. Угольные пласты и пропластки небольших мощностей часто теряются в кернах и не включаются в литологический разрез. Каротаж же дает возможность просканировать устойчивый и нетронутый массив и, следовательно, позволяет корректировать данные бурения. Детальное изучение и сопоставление этих данных позволяет исключить некоторые ошибки на этапе ввода геоданных.

«Найденные» при каротировании угольные пласты должны быть корректно вставлены в литологическую колонку, не нарушая законов формирования угленосной толщи. Угленосная толща представля-

ет собой комплекс осадочных пород, обязательной составной частью которых являются пласты угля. Породы, слагающие угленосные толщи, в основном обломочные, различного гранулометрического состава – конгломераты, гравелиты, песчаники, алевролиты и аргиллиты. Осадочные месторождения возникают в процессе осадконакопления на дне водоемов. Для них характерно многократное повторение в разрезе сходных пород и чередующихся в закономерной последовательности слоев различного гранулометрического состава. Такое циклическое строение разреза обусловлено характером колебательных движений земной коры в области развития угленосных бассейнов в период накопления отложений. Разрезы угленосных толщ многих угольных бассейнов свидетельствуют о том, что их территория неоднократно погружалась под уровень моря и вновь становилась сушею. В результате морские осадки перекрывались континентальными (и наоборот), сменяли друг друга циклы осадконакопления [1]. Вставляя подобные пласты-невидимки, нельзя врезать их в сформировавшийся породный прослой, так как уголь напластовывался на один тип породы и накрывался другим.

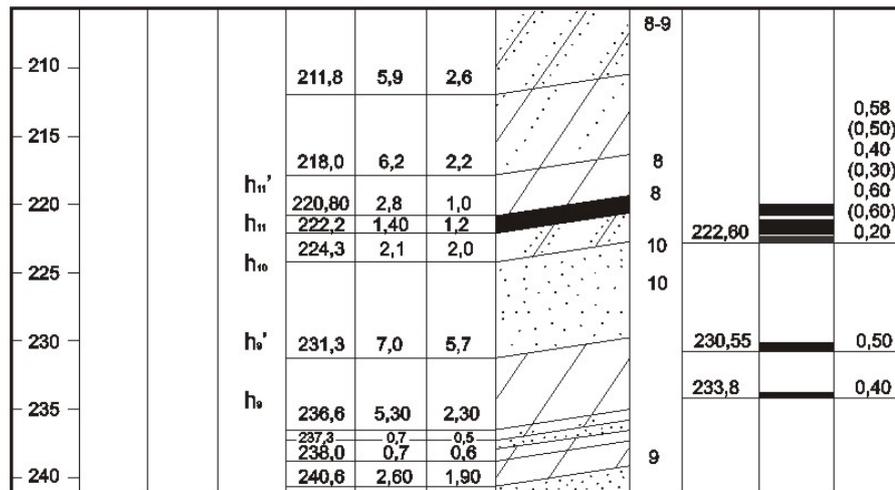


Рис. 2. Сопоставление данных, полученных в результате бурения и каротажа

Следовательно, необходимо корректно вставлять его на границе пластов, при этом уменьшив мощность каждого на величину половины мощности угольного пласта. В данной ситуации это правомерно, так как данные по объему керна при бурении могли изменяться за счет разрушения.

По рабочим угольным пластам (пачкам) проводится более тщательный анализ, здесь, как правило, рассматриваются все вкрапления, пропластки, свойства кровли и почвы. Скорректированные цифры заносятся в колонку «Истинное строение угольных пластов, принятых к подсчету запасов» и по ним уже производятся все основные расчеты. Для моделирования

целесообразно применять именно эти данные.

Подводя итог, необходимо отметить, что ввод первичной геоинформации очень трудоемкий и ответственный процесс. Корректное занесение этой информации является главной составляющей успешного моделирования. Следовательно, для быстрого занесения информации, доступного редактирования и надежного хранения, необходим удобный и отлаженный аппарат. В Центре стратегических исследований МГГУ разработан и опробован алгоритм корректировки входной информации по стратиграфическим колонкам скважин и занесения ее в базу данных системы моделирования угольного месторождения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Месторождения полезных ископаемых: Учебник для ВУЗов/В.А. Ермолов, Г.Б. Попова, В.В. Моисейкин и др.; Под ред. В.А. Ермолова. – М.: Издательство Московского государственного горного университета, 2001.

Коротко об авторах

Конкин Е.А. – аспирант, кафедра «Автоматизированные системы управления», Московский государственный горный университет.

УДК 65.012.45

А.Г. Литвинов

**ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ОБЪЕКТНО-ОРИЕНТИРОВАННОЙ
ПРОСТРАНСТВЕННО-АТРИБУТИВНОЙ
ИНФОРМАЦИИ В РЕЛЯЦИОННОЙ СУБД**

Семинар № 14

Технология построения интеллектуальных геоинформационных систем предполагает применение нескольких разнородных подходов и технологий, таких как геоинформационный подход и интеллектуальные методы. Последние в свою очередь тоже сильно варьируют по возможности использования в рамках единой программной среды. Отсюда возникает необходимость поиска методологии, позволяющей эффективно интегрировать разнородные методы и подходы.

Основой для такой интеграции может послужить объектно-ориентированная методология [1]. Эта методология хорошо проработана и имеет массу преимуществ в преодолении сложности разработки интеллектуальных геоинформационных систем:

- Позволяет компенсировать недостатки отдельных способов (языков, моделей) представления знаний путем использования их комбинирования. В частности объектно-ориентированный подход позволит объединить преимущества фреймовой модели знаний (структуризация объектов предметной области и иерархия знаний) и продукционной модели (разделение знания и управления, модульность продукционных правил, легкость использования знаний экспертов) в единую гибридную объектно-продукционную модель знаний.

- Универсальность. Объектно-ориентированный подход позволяет моделировать системы разного уровня.

- Масштабируемость. Определяется иерархической структурой системы и закладывает основу для ее быстрого развития.

- Гибкость. Придается наследованием характеристик и реакций, что позволяет быстро вносить изменения.

Интеллектуальные геоинформационные системы опираются на банк горно-геологической информации и поэтому имеют свою специфику: в их состав входят объемные массивы данных, которые характеризуют распределение в пространстве минеральных ресурсов различных типов. При этом стоит задача их компактного размещения в базе данных без нарушения целостности и обеспечения эффективной обработки.

Определение объектно-ориентированной методологии как основы интеллектуальной геоинформационной системы обязует базу данных и базу знаний быть объектно-ориентированными. Они оперируют пространственными объектами, которые требуют создания возможности инкапсулировать объемные данные в ряде (множестве) однородных объектов (блоков) со стандартным информационным интерфейсом между ними. Другим критерием оптимальности представления объемных данных будет служить точность подсчета запасов полезного ископаемого при таком представлении.

Каждый способ представления объемных данных имеет свои недостатки в части занимаемых объемов памяти и обеспечения различных расчетов в объемах про-

извольной формы, особенно при подсчетах ресурсов (запасов) полезных ископаемых. Многолетняя практика [2] показала, что наибольшее распространение получили два метода подсчета запасов рудных месторождений: метод геологических блоков и метод параллельных сечений. Неудобство блочных моделей связано с тем, что при актуализации геологических данных по мере повышения степени изученности месторождения приходится многократно проводить переблокировку горно-геологической среды и, соответственно, пересчет запасов полезных ископаемых.

Для устранения этих недостатков был разработан способ представления объемных данных, значительно упрощающий процесс переблокировки и пересчет запасов [3], который и будет использоваться при пространственном моделировании горно-геологических объектов, например, угольного месторождения. Кроме того, при предложенном способе выделения блоков становится намного компактнее модель их внутреннего представления в базе данных, упрощаются расчеты их характеристик. Данные строго инкапсулируются в объекте, возможна разработка стандартного интерфейса для этих объектов.

Рассмотрим этот способ более подробно.

В качестве основы пространственной модели предлагается блочная структура. 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 величину содержания 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. Согласно автору [3] 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. (для газоугольного месторождения).

Указанный способ представления объемных данных позволяет сохранить базу блокировки при актуализации геологических данных об объектах угольного месторождения.

База пространственно-атрибутивных данных

Выбрав оптимальный способ представления пространственных данных и определившись с положением, что база данных должна быть объектно-ориентированной, была разработана логическая схема базы пространственно-атрибутивных данных, представленная на рис. 1.

Структура базы данных разработана с использованием CASE-средства ERwin 4.0. ERwin сочетает графический интерфейс Windows, инструменты для построения ER-диаграмм, редакторы для создания логического и физического описания модели данных и прозрачную поддержку ведущих реляционных СУБД и настольных баз данных. С помощью ERwin можно создавать или проводить обратное проектирование (реинжиниринг) баз данных.

Представленную структуру базы данных во многом определило требование объектно-ориентированности. Однако на данный момент не существует объектно-ориентированных баз данных, производительность и надежность которых была бы достаточной для уровня систем промышлен-

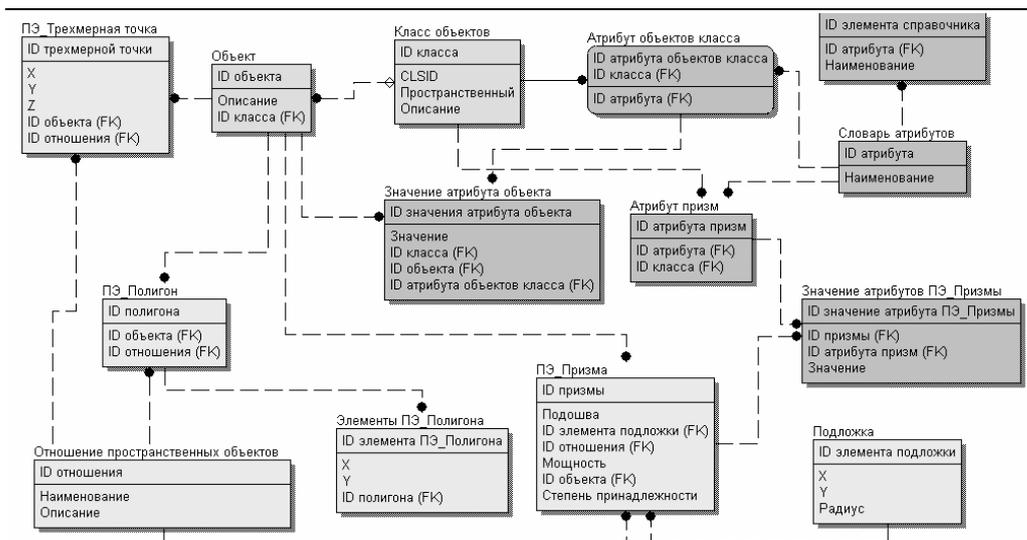


Рис. 1. Логическая схема пространственно-атрибутивной базы данных

ленного типа, а все мощные системы управления базами данных работают с реляционными базами данных. Поэтому именно такую базу данных мы будем использовать для работы с пространственно-атрибутивной информацией.

Рассмотрим основные информационные единицы базы данных.

Все сущности базы данных можно разделить на три типа: определяющие пространственное положение объектов («ПЭ_Трехмерная точка», «ПЭ_Полигон», «Элементы ПЭ_Полигона», «ПЭ_Призма», «Подложка»), определяющие атрибутивную информацию («Словарь атрибутов», «Атрибут объектов класса», «Атрибут призм», «Значение атрибута объекта», «Справочник», «Значение атрибутов ПЭ_Призмы»), системы («Класс объектов», «Объект»). Необходимо также уточнить, что представленная схема определяет примерную структуру базы пространственно-атрибутивных данных интеллектуальных геоинформационных систем и для разных систем может различаться. Например, в системе может быть определено большее количество сущностей пространственных данных.

Сущность «Класс объектов» определяет класс горно-геологических объектов. Класс задает набор атрибутов, которые могут характеризовать либо объекты данного класса в целом, либо отдельные пространственные элементы (ПЭ сущности), составляющие объекты.

Сущность «Объект» определяет экземпляр класса горно-геологических объектов. Каждый объект описывается набором пространственных элементов, которые связаны с объектом определенным отношением (входит, исключая, ограничивает и т.п.), а также характеризуется значениями атрибутов объектов. Геометрические формы и пространственное положение каждый пространственный объект задается несколькими сущностями.

Пространственные геологические объекты проецируются на специальную «подложку», которая представляет собой множество правильных шестиугольников, плотно прилегающих друг к другу (рис. 2).

Подложка может быть произвольной формы. Форма подложки задается контуром-полигоном специального формата и может меняться во время работы системы. Каждый шестиугольник подложки опре-

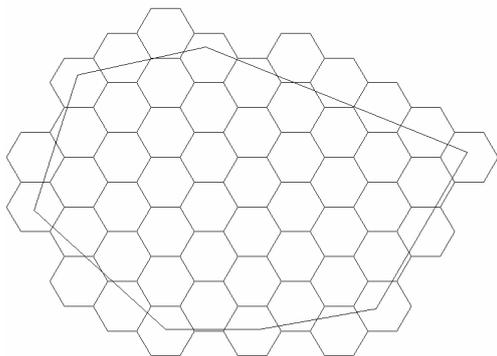


Рис. 2. Подложка произвольной формы

деляется радиусом описанной окружности. Радиус окружности может быть переменным и уменьшается для тех участков объекта, детализация которых повышается.

Геологические объекты могут включать множество элементарных призм. Для задания положения каждой призмы достаточно указать номер в подложке, который определяет ее горизонтальное положение, и координаты верхней и нижней граней призмы для определения вертикального положения.

Каждый геологический объект характеризуется не только пространственным положением, но и некоторым набором свойств, анализ которых может быть важен для решения тех или иных поисково-оценочных задач в горной промышленности. Свойства объектов задаются в базе данных атрибутивными сущностями.

Сущность «Атрибут объектов класса» задает набор атрибутов, которые могут характеризовать объекты определенного класса в целом. Сущность «Словарь атрибутов» задает набор всех возможных атрибутов, которыми могут описываться объекты разных классов и отдельные пространственные элементы. Сущность «Значение атрибутов объекта», как следует из названия, задает значения всех атрибутов, доступных для объекта определенного класса. Сущность «Атрибут призм» задает набор атрибутов, которые могут характеризовать отдельные призмы пространственных объектов, а сущность «Значение атрибутов ПЭ_Призмы» задает соответствующие значения. Некоторые значения атрибутов могут быть точно заданы в виде перечисления, которые определяются сущностью «Справочник».

Таким образом, разработанная структура базы данных обеспечивает эффективное хранение объектной пространственно-атрибутивной информации о предметной области и удовлетворяет требованиям объектно-ориентированности, масштабируемости в пространстве и времени.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Буч Г. Объектно-ориентированный анализ и проектирование с примерами приложений на С++. -2 изд.. -СПб: Невский диалект, 1998. -558 с.
2. Коган И.Д. Подсчет запасов и геолого-промышленная оценка рудных месторождений. М.: Недра, 1974 г.
3. Пучков Л.А. Шек В.М. Патент № 2130548. Способ определения количества полезного ископаемого в массиве горных пород.

Коротко об авторах

Литвинов А.Г. – аспирант, кафедра «Автоматизированные системы управления», Московский государственный горный университет.