

**П**ри оценке производственных процессов, связанных с использованием минерального сырья, целесообразен морфологический подход, при котором разведка, добыча, переработка в промежуточный или конечный продукт, а также использование минерального сырья рассматриваются в рамках единой системы. Актуальность такого подхода зависит от масштабов комплексного использования невозобновляемых ресурсов в условиях изменения экономической ситуации в мире. Системный подход к планированию и реструктуризации производства должен предусматривать совместный учет процессов разведки месторождений, их разработки и переработки сырья. Весь комплекс минеральных запасов и связанная с ним добывающая и перерабатывающая промышленность объединяется в систему [1]. Становление электронной технологии и прозрачного рынка сырья, материалов, комплектующих, техники и услуг должны допускать возможность мгновенного доступа к информации о наличие товаров и ресурсов. [2]

Сегодня конкурентная борьба идет не между фирмами, а цепочками поставок, сетями и различными логистическими системами, с помощью которых обеспечивается постоянное перераспределение финансовых, материальных и информационных ресурсов [3]. За этим объемом информации трудно различить актуальную инфор-

мацию для изменений процессов и стратегий бизнеса.

Детерминированное предприятие с традиционными функциональными зонами производства, обеспечения ресурсами, сбыта и транспортировки продукции перестало удовлетворять требованиям времени. В эпоху информатики и электронного бизнеса предприятия разбросаны по всему миру и управляются быстродействующими технологиями.

Произошел переход от инженерно-технологического осмысливания моделей процессов к многоуровневой иерархической структуре сложного бизнеса с возможными синергетическими результатами. Современные модели процесса должны содержать эффективные и формализованные варианты решения проблем с рисками и адаптироваться к экономическим фактограмм влияния внешней рыночной среды [4].

Системный подход в диагностировании и оценке процессов интегрированного производства позволяет лучше планировать нововведения для повышения качества и производительности фирм. В логистическом измерении системный подход основан на динамической и иерархически сложной структурной перестройки исходной архитектуры.

Усложнение горно-геологического процесса и совершенствование вычислительной техники позволяют ставить вопрос создания комплекса мо-

делей для проектных разработок. Модель с помощью логических и математических представлений на основе теоретико-системных принципов может успешно решать задачу качественных (структурных) изменений [5]. Гибкость моделей определяется, с одной стороны, функциональными возможностями системы, а с другой – инструментально-техническими средствами самой модели. Эффективность моделей во многом определяется универсальностью их применения.

Данные исследования описывают условия синтеза моделей технологии горно-геологического и металлургического производства при реализации упорядоченной последовательности действий системы и состояний универсальных структур сопряженных отраслей [6]. Для решения вопросов синтеза требуется в качестве универсальных составляющих технологического процесса взять определяющие состояние системы множества функций – ориентирования, движения, контактов, проведения и преобразований и применить их к описанию составляющих многоуровневой структуры на основе общих в сопряжениях элементарных конечных элементов (узловая точка, образующая линия, плоскость, объем). Можно проследить варианты детализации конкретных технологий, выполнение которых необходимо для достижения вполне определенных целей и подцелей на уровне качественного рассмотрения.

Оптимальная конфигурация технологического процесса имеет структуру, описываемую многоуровневым графом, путь в котором из вершины  $X^0$  к вершине  $X^k$  можно пройти в реальной технологии с минимальными затратами:

$$\min \left( \sum_i^n F_i(Z_i) \right), Z_i \in R,$$

где  $F_i$  – качество  $i$ -й технологии;  $Z_i$  – технологический процесс,  $i = \overline{I, M}$ ;  $R$  – множество технологий.

Для технологического процесса имеется

$$Z = \{Z_1, \dots, Z_j, \dots, Z_n\} \text{ и}$$

$$Z_j = \{Z_1^j, \dots, Z_i^j, \dots, Z_m^j\},$$

$Z_j$  –  $j$ -я технологическая операция,  $j = \overline{I, n}$ ;  $Z_j^i$  –  $i$ -й технологический переход в  $j$ -й операции,  $i = \overline{I, m}$ ;  $m$  – число переходов в  $j$ -й операции;  $n$  – общее число операций в данном процессе.

Поэтому для  $Z$  найдется его образ-вектор  $X$  в пространстве  $U$ , характеризующий определенное состояние технологической системы:

$$\forall Z \in M \exists X \in U.$$

Состояние такой технологической системы можно представить как сумму подпространства

$$U = U_1 + U_2 + U_3 + U_4 + \dots,$$

где  $U_1$  – состояние продукта процесса (размерность, свойства, ...);  $U_2$  – состояние рабочего органа технического устройства (свойства, размерность, ...);  $U_3$  – состояние конечного элемента рабочего органа (свойства, размерность и пр. элементы рабочего органа);  $U_4$  – состояние ходового оборудования мобильной машины или вспомогательных устройств к рабочему органу (свойства, размерность, ...).

Вектор  $X = (X_1, \dots, X_5)$  характеризует промежуточное состояние рабочей среды после выполнения конкретной операции. Соответствие между элементами  $\{U\}$  и  $\{M\}$ , если  $X \in U_i, i \in \mathfrak{J}$ , имеет в графе вид двух отображений  $\varphi_1 : M_T \rightarrow U$  и  $\varphi_2 : U_x \rightarrow U_x$ .

Каждая вершина графа соответствует элементам состояния конкретно-

го технологического процесса, а процесс  $Z$ , операция  $Z_j$  и переход  $Z_j^i$  выступают как преобразующий элемент конкретного состояния объекта:

$$Zx^0 = x^k; Z_i x_i^0 = x_i^k; Z_j x_j^0 = x_j^k.$$

Общая модель процесса  $M_t$  должна включать несколько составляющих моделей: объекта строительства (или переработки)  $M_{pc}$ , рабочего органа  $M_{po}$ , технологических требований  $M_{th}$  и структурного набора операций  $M_{ch}$ :

$$M_t = M_{ac} \cdot M_{po} \cdot M_{th} \cdot M_{ch}.$$

Эту модель можно представить как  $M_t = (x, U', Y, p, \varphi_4)$ ,

где  $X = \bigcup_{k=1}^n x_k$ ;  $X_k = \{x_1, \dots, x_k\}$  – множество состояний объекта строительства (технологии переработки, основа – элементарные конечные элементы);  $U' = \{u_k\}$  – множество воздействий технологических операций, включающих весь набор известных способов проведения;  $Y = Y_1 \cdot Y_2 \cdot Y_3 \cdot \dots \cdot Y_n$  – множество свойств «продукта» строительства (переработки);  $p$  – переходная функция, определяющая новое состояние объекта строительства (переработки) после воздействия способа проведения;  $\varphi_4$  – выходная функция оценки перехода из одного состояния в другое на множестве свойств «продукта»,  $\varphi_4 : X \cdot U \rightarrow Y$ . Эти свойства задаются с помощью функций  $F : S \rightarrow Y$ , где  $F(s) = F(p) = F(f(x_0, u_k), \dots, f(x_{k-1}, u_k))$ .

Модель объекта горно-геологического процесса состоит из набора

$$M_{oc} = (A, \beta, \omega, \varepsilon, \varphi_5, \mu),$$

где  $A = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$  – множество конечных элементов объекта формирования («продукта»);  $\beta$  – функция

контакта (сопряжений) между конечными элементами рабочего органа и «продукта»;  $\omega$  – множество функций проведения;  $\varepsilon$  – множество форм движения конечных элементов (функция движения);  $\varphi_5$  – функция, приписывающая для конкретного контакта (сопряжения) конкретную функцию проведения;  $\mu$  – функция ориентирования конечного элемента рабочего органа по отношению к конечному элементу продукта. Задача функции заключается в изменении угловых и линейных координат конечного элемента, ортов, осей позиции и перемещения из позиции в позицию.

Модель рабочего органа устройства включает составляющие

$$M_{po} = (z, \omega, \varepsilon, y', \varphi_6, \varphi_7, \varphi_8),$$

где  $z = \{z_l\}$ ,  $l = \overline{I, L}$  – множество конечных элементов;  $y'$  – множество свойств рабочего органа (конечных элементов);  $\varphi_6$  – функция соответствия конечного элемента множеству режимов процесса,  $\varphi_6 : z \rightarrow \omega$ ;  $\varphi_7$  – функция соответствия видов движения для множества конечных элементов,  $\varphi_7 : z \rightarrow \varepsilon$ ;  $\varphi_8$  – функция определения свойств для множества элементов,  $\varphi_8 : z \rightarrow y'$ .

Модель требований к технологической системе состоит из набора

$$M_{th} = (s, y, \varphi_9, R),$$

где  $s = \{s_m\}$ ,  $m = \overline{I, M}$  – генерируемое конечное множество вариантов архитектуры системы;  $\varphi_9$  – функция, определяющая область параметров процесса,  $\varphi_9 : s \rightarrow y$ ;  $R$  – правила выбора оптимального решения.

Модель структуры операционного набора имеет вид

$$M_{oh} = (W, \rho)$$

где  $W = \{\omega_i\}$  - множество технологических операций процесса;  $\rho = \{\rho_i\}$  - последовательность выполнения операций.

Поскольку каждая структура  $s_i$  реализует определенный набор функций (также целей, свойств) из множества  $F$ , то их можно представить графом

$$B = (F, S, U),$$

где  $U$  – множество ребер графа.

Для каждого класса функций (целей, свойств) будет существовать свой вектор функций

$$F_n^0 = \{\psi_j^n\}, \quad j = \overline{I, J},$$

где  $\psi_j^n = 1$ , если  $\psi_j^n$  принадлежит классу  $n$ ;  $\psi_j^n = 0$  – в противном случае. Этот граф также имеет матрицу связей структур (целей, свойств)

$$\Pi \{\sigma_{ij}\},$$

где  $\sigma_{ij} = 1$ , если функция  $\psi_j$ ,  $j = \overline{I, J}$  реализуется в структуре  $s_i$ ,  $i = \overline{I, J}$ ;  $\sigma_{ij} = 0$  – в противном случае.

Процедура классификации выполняет подсчет для каждой пары векторов величины

$$C_n = \sum_{j=1}^y \psi_j^n \cdot \gamma_j,$$

где  $\gamma_j$  – вес неравнозначных структур (свойств),  $0 \leq \gamma_j \leq 1$ . Из полученного

набора величин  $C_n$ ,  $n = \overline{I, N}$  находится максимальное значение. Индекс  $n$  определяет класс структур (целей, свойств).

Возможность применения определенного класса конечного элемента определяется с помощью отношений вида

$$\psi \subset Z \cdot B$$

где  $(z_l, b) \in \psi$ , если функция применима к классу  $b$  конечного элемента  $z$ .

Условие соответствия конкретной функции для конкретного класса элементов можно выполнить по функции  $\varphi_{10} : z_l \cdot B \rightarrow B$ ,

где  $\varphi_{10}(b) = b$ , если

$$(z_l, b) \in \psi; \quad \forall z_l \in z \rightarrow \varphi_n(z_l) \cap \gamma(l) \neq 0; \\ 0 \text{ – в противном случае}.$$

Состояние среды рабочего органа можно описать через структуру  $S, s \in S$ , а  $c \in S$  – множество свойств,  $b \in B$  – множество типов рабочих органов. Эти множества можно выразить через наборы признаков

$$C = (c_1, \dots, c_n) \text{ и } S = (a_1, \dots, a_m),$$

тогда можно записать

$$\varphi = f(c_1, \dots, c_n, a_1, \dots, a_m),$$

где  $\varphi = \varphi_1^0 \cdot \varphi_2^0$ , в котором  $\varphi_1^0$  – соответствие определения допустимого подмножества решений

$$B_i \subseteq B; \varphi_1^0 = f(c_1, \dots, c_n); \varphi_1^0 c_i = B_i; \varphi_z^0 \\ - соответствие (закон выделения) из допустимого  $B_i$  конкретного решения  $b_i$ :$$

$$\varphi_2^0 = f(a_1, a_2, \dots, a_m).$$

Каждое соответствие можно представить в виде подмножеств соответствий и предусмотреть постепенное уточнение результата с появлением обновленных факторов:

$$\varphi_2^0 = \gamma \cdot \varphi_{21}^0 \cdot \varphi_{22}^0 \cdot \varphi_{23}^0 \cdot c_i = b_i,$$

где  $\gamma$  – критерий (вес) сопоставления альтернатив решения  $b_i$ ;  $c_i$  – свойство  $i$ .

Когда известен список физико-механических свойств рабочей среды, можно найти соответствие между элементом объекта  $A = \{a_i\}$  и множеством конструктивно-технологических

ких ограничений  $T = \{T_s\}$ ,  $s = \overline{I, S}$  для множества наборов классов рабочих органов  $B = \{b_r\}$ ,  $r = \overline{I, R}$ . Для этого функция  $\varphi_{12} : A \rightarrow T$  ставит в соответствие каждому элементу объекта  $a_i \in A$  множество  $\varphi_{12}(a_i) \in T$  ограничений.

Таким образом, представлена система теоретических моделей техноло-

гического процесса в уравнениях алгебры множеств на глобальном или локальном иерархических уровнях. Все операции преобразования и упорядочивания структурных элементов системы выражается, как обычно, используют матричную и табличную формы выражения состояний и являются наиболее универсальным средством анализа и синтеза подобных структур и функций горно-производственных систем.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Каполы Л. Системный и функциональный анализ использования минеральных ресурсов. М.: Наука, 1985. - 304 с.
2. Клюев В.А., Клюев А.В. Формирование системы логистических потоков в расчетах параметров горного проекта// Горный информационно-аналитический бюллетень, МГГУ, 2005, 10. С. 209-214.
3. Клюев В.А. Метод морфологического описания альтернативных состояний технологического комплекса месторождения// Добыча и переработка минерального сырья Дальнего Востока. Владивосток: Дальнаука, 2002. - 244 с.
4. Клюев В.А. Морфология системы для формирования технологий комплекса горных работ на месторождениях. М.: МГГУ, Горный информационно-аналитический бюллетень, 2004, 12. - С. 136-140.
5. Корчак А.В. Логико-информационный подход к проектированию строительства подземных сооружений в сложных горно-геологических условиях// МГГУ, Горный информационно-аналитический бюллетень, 1996, 3. - С.6-11.
6. Клюев В.А., Клюев А.В. Метод узловых сечений для оценки концептуальных вариантов горной технологии / Горный информационно-аналитический бюллетень, МГГУ, 2005. Региональное приложение Дальний Восток. - С. 495-502. ГИАБ

#### Коротко об авторе

Клюев В.А. - кандидат технических наук, доцент кафедры «Строительные и дорожные машины» Тихоокеанского государственного университета.

Доклад рекомендован к опубликованию семинаром № 17 симпозиума «Неделя горняка-2007». Рецензент д-р техн. наук, проф. Е.В. Кузьмин.