

## ЛИТЕРАТУРА

1. Веренько В. А. Дорожные композитные материалы: Структура и механические свойства. – Мн.: Навука і тэхніка, 1993. – 296 с.

2. Веренько В. А. Методика подбора состава асфальтобетона с максимальным уровнем надежности. – Деп. в ВИНТИ, 1333–800. – ОСТ 6.500. – 14 с.

УДК 621.385

## ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ РЕШЕНИЯ СЛОЖНЫХ ЗАДАЧ ГОРНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Канд. техн. наук, доц. ШПУРГАЛОВ Ю. А.

Белорусский национальный технический университет

Для получения значительных практических результатов от использования популярного в настоящее время метода математического моделирования применительно к исследованию прикладных проблем горного производства необходим системный подход, позволяющий учитывать большое количество взаимосвязанных физико-технологических и организационных процессов.

Однако существующая практика оптимизации производственной деятельности калийных рудников как большой системы, включающей ряд взаимосвязанных подсистем, основанная на аналитическом математическом моделировании, не в полной мере соответствует современным требованиям.

В статье предпринята попытка разработать и обосновать подход, позволяющий с помощью метода имитационного моделирования свести сложную прикладную математическую задачу к более простой, решение которой может быть получено известными классическими методами.

Условиями применения такого подхода являются: выделение из множества искомых неизвестных величин  $\bar{X}_k$ , исходя из их физического смысла и дополнительных исследований, подмножества  $\bar{X}_k$  независимых (друг от друга и остальных неизвестных ( $\bar{X}_{n-k}$ )) неизвестных величин, определение значений границ изменения неизвестных независимых величин, а также установление достаточной степени точности их определения.

Аналитическая задача для решения производственной проблемы горного производства в самом общем виде может быть формализована таким образом:

$$\begin{cases} F(\bar{X}_n, \bar{A}_I, \bar{B}_L, \bar{C}_p, \bar{D}_Q) \rightarrow \text{extr}; \\ \Phi_r(\bar{X}_n, \bar{A}_I, \bar{B}_L, \bar{C}_p, \bar{D}_Q) \leq 0, \quad r \in [1, R]; \\ Q_s(\bar{X}_n, \bar{A}_I, \bar{B}_L, \bar{C}_p, \bar{D}_Q) = 0, \quad s \in [1, S], \end{cases} \quad (1)$$

где  $F$  – целевая функция модели;  $\Phi_r(\bar{X}_n, \bar{A}_I, \bar{B}_L, \bar{C}_p, \bar{D}_Q)$  – математическое выражение  $r$ -го ограничения;  $R$  – их количество;  $Q_s(\bar{X}_n, \bar{A}_I, \bar{B}_L, \bar{C}_p, \bar{D}_Q)$  – математическое выражение  $s$ -го условия, которому должно удовлетворять решение задачи;  $S$  – их количество;  $\bar{X}_n \in \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$  – подмножество переменных неизвестных величин;  $\bar{A}_I \in \{a_1, a_2, \dots, a_I\}$  – подмножество постоянных детерминированных параметров;  $\bar{B}_L \in \{b_1, b_2, \dots, b_L\}$  – подмножество стохастических параметров, закон распределения которых известен;  $\bar{C}_p \in \{c_1, c_2, \dots, c_p\}$  – закон стохастических параметров, закон распределения которых не известен;  $\bar{D}_Q \in \{d_1, d_2, \dots, d_Q\}$  – подмножество параметров, характеризующих активное противодействие.

Предполагается, что в результате подготовки  $i$ -го имитационного эксперимента будет определено подмножество  $k$  независимых переменных величин  $\bar{X}_k^{(i)}$ . В процессе подстановки

в (1) в качестве известных величин предварительно определенных неизвестных  $\bar{X}_k^{(i)}$  модель упростится. Тогда можно найти оставшиеся неизвестные путем решения упрощенной модели (1):

$$X_j^{(i)} = f_j(\bar{X}_k^{(i)}, x_{k+1}, \dots, x_{j-1}, \bar{A}_I, \bar{B}_L, \bar{C}_p, \bar{D}_Q), \quad (2)$$

$$j \in [k+1, n].$$

Проведенные исследования позволили представить имитационную модель для численной реализации аналитической задачи (1) в виде:

$$\begin{cases} \bar{X}_k = \bar{X}_k^{(i)}, & i \in [1, k]; \\ X_j^{(i)} = f_j(\bar{X}_k^{(i)}, x_{k+1}, \dots, x_{j-1}, \bar{A}_I, \bar{B}_L, \bar{C}_p, \bar{D}_Q), \\ & j \in [k+1, n]; \\ F(\bar{X}_n, \bar{A}_I, \bar{B}_L, \bar{C}_p, \bar{D}_Q) \rightarrow \text{extr}; \\ \Phi_r(\bar{X}_n, \bar{A}_I, \bar{B}_L, \bar{C}_p, \bar{D}_Q) \leq 0, & r \in [1, R]; \\ Q_s(\bar{X}_n, \bar{A}_I, \bar{B}_L, \bar{C}_p, \bar{D}_Q) = 0, & s = [1, S]. \end{cases} \quad (3)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \bar{X}_k = \bar{X}_k^{(i)}; \\ x_i = f_i(\bar{X}_k^{(i)}, x_{k+1}, \dots, x_{i-1}, \bar{A}_I, \bar{B}_L, \bar{C}_p, \bar{D}_Q), \quad i \in [k+1, m]; \\ x_i \approx \text{изм}_i \{ \bar{X}_k^{(i)}, x_{k+1}, \dots, x_m, \dots, x_{i-1} \}, \quad i \in [m+1, n]; \\ \left\{ \begin{array}{l} F(x_{n+1}, \dots, x_p, \bar{A}_I, \bar{B}_L, \bar{C}_p, \bar{D}_Q, \bar{X}_n^{(i)}) \rightarrow \text{extr}; \\ \Phi_r(x_{n+1}, \dots, x_p, \bar{A}_I, \bar{B}_L, \bar{C}_p, \bar{D}_Q, \bar{X}_n^{(i)}) \leq 0, \quad r \in [1, R]; \\ Q_q(x_{n+1}, \dots, x_p, \bar{A}_I, \bar{B}_L, \bar{C}_p, \bar{D}_Q, \bar{X}_n^{(i)}) = 0, \quad q \in [1, Q]; \end{array} \right. \\ x_n > 0, \dots, x_{n+1} > 0, \dots, x_p > 0; \\ \left\{ \begin{array}{l} E(\bar{X}_p^{(i)}, \bar{A}_I, \bar{B}_L, \bar{C}_p, \bar{D}_Q) \rightarrow \text{extr}; \\ M_s(\bar{X}_p^{(i)}, \bar{A}_I, \bar{B}_L, \bar{C}_p, \bar{D}_Q) \leq 0; \\ N_t(\bar{X}_p^{(i)}, \bar{A}_I, \bar{B}_L, \bar{C}_p, \bar{D}_Q) = 0. \end{array} \right. \end{array} \right. \quad \begin{array}{l} (4) \\ (5) \\ (6) \\ (7) \\ (8) \\ (9) \\ (10) \\ (11) \\ (12) \\ (13) \end{array}$$

Данные модели представляют объединение (интеграцию) трех типов моделей: имитационных (4), (5), интуитивных (6) и аналитических (7)–(9).

Выражения (10)–(12) есть аналитическое выражение общей оптимизационной математической модели, включающей все неизвестные

Представленная в виде (3) имитационная модель позволяет исследовать зависимость полученного решения от стохастических параметров  $\bar{C}_p$  и  $\bar{D}_Q$ , которые могут быть заменены в модели возможными вариантами их значений  $\bar{C}_p^{(i)}$  и  $\bar{D}_Q^{(z)}$ , определенными в процессе подготовки имитационного эксперимента. Опыт решения практических задач на базе использования имитационных моделей (3) показал, что актуальна проблема создания таких моделей для калийного производства, которые объединяли бы преимущества аналитических, имитационных и интуитивных (инженерных, эвристических) моделей.

Настоящие достижения в разработке средств вычислительной техники позволяют реализовать эту идею. Для этого разработаны специальные имитационные математические модели, названные интеграционными, которые формализованы выражениями (4)–(12):

переменные  $\bar{X}_p$ , решение которой представлено в виде совокупности решений задачи (4)–(9). Таким образом, решение задачи с помощью интеграционной имитационной модели (4)–(12) включает следующие этапы (процедуры):

1. Определение на стадии подготовки имитационного эксперимента  $I$  вариантов подмно-

жеств неизвестных переменных, состоящих из  $k$  элементов, каждый  $X_k^{(i)}, i \in [1, I]$ .

2. Нахождение подмножества неизвестных переменных  $\bar{X}_p^{(i)}, p \in [k+1, m]$ , определяемых с помощью имитационных моделей.

3. Определение подмножества неизвестных переменных  $\bar{X}_p^{(i)}, p \in [m+1, n]$  с помощью интуитивных (эвристических) моделей.

4. По предварительно определенным  $n$  неизвестным переменным  $\bar{X}_n^{(i)}$  с помощью одной или нескольких аналитических моделей определяются остальные неизвестные  $\bar{X}_p^{(i)}, p \in [n+1, p]$ .

5. Полученный вариант решения проверяется на удовлетворяемость ограничениям и условиям изначальной оптимизационной, формализованной в виде сложной аналитической модели задачи и рассчитывается значение критерия оптимальности для  $i$ -го варианта решения. Такой имитационный эксперимент повторяется  $I$  раз и выбирается оптимальное решение  $\bar{X}_p^{(0)}$ .

Формализованную выражениями (4)–(12) интеграционную модель для ее эффективного практического применения необходимо представить в виде пакета программ для ЭВМ, позволяющего максимально автоматизировать процесс моделирования.

Автором разработан и представлен подход, позволяющий выдать задание инженеру-программисту в виде функциональной блок-схемы отдельных модулей, описывающих алгоритм

определения неизвестных величин. Установлены информационные потоки между модулями, в том числе управляющие. Такой подход представления моделей отличается тем, что одновременно может быть использовано и аналитиками, и программистами.

В качестве примера применения метода имитационного моделирования может служить решение задачи выбора оптимальных параметров варианта развития горных работ для рудников ПО «Беларуськалий», где определяются дата, время и последовательность отрабатываемых участков шахтных полей, применяемая для этого технологическая схема, тип и номер комплекта очистного и проходческого оборудования.

## ВЫВОДЫ

1. Решение задач современного горного производства, сформулированных исходя из представлений системного анализа, может быть получено за счет использования разработанных и представленных имитационных, интеграционных математических моделей.

2. Обоснован алгоритм решения прикладных задач горного производства с использованием имитационных интеграционных моделей.

3. Разработку имитационной математической модели, в том числе и интеграционной, можно считать законченной, если разработано задание инженеру-программисту для создания специальной программы для ЭВМ, позволяющей реализовать данную модель.