

АЛГОРИТМЫ ВОСХОДЯЩЕГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ (на примере одного из рудников Дзезказгана)

Эпов А.А., Кочеткова О.В., Ломкова Е.Н., Казначеева А.А.

ГОУ ВПО «Камышинский технологический институт (филиал) Волгоградского государственного технического университета» Камышин, Россия (403874, Волгоградская обл., г. Камышин, ул. Ленина, 6А) ivt@kti.ru

Изложен функционально-структурный подход к имитации на ЭВМ сложной системы – подземного рудника. Рудник является надсистемой по отношению к добычным и транспортным горизонтам шахты. Имитационная модель надсистемы предполагает выполнение следующих формализованных абстрактно-математических, программно-вычислительных процедур и алгоритмов восходящего проектирования: моделирование надежности технологического оборудования; моделирование работы добычных панелей, развития фронта очистных работ и формирования структуры парка оборудования; моделирование работы подземного транспорта (автомобильного и электровозного), а также изменения объемов руды в горных бункерах в процессе выдачи ее на поверхность. Трансформация математических моделей в имитационную осуществляется с помощью программных приемов алгоритмизации и включения в процесс моделирования на ЭВМ динамики протекания технологических процессов на добычных и транспортных горизонтах рудника во времени. Программно-моделирующий комплекс «Рудник» реализован в виде пакета прикладных программ на языке Turbo Pascal для персональных ЭВМ.

Ключевые слова: имитационное моделирование, восходящие проектирование, подземный рудник, добычной, транспортный горизонт, панель, надежность, технологическое оборудование, грузопоток, автомобильная, электровозная откатка, горные бункера.

ALGORITHM OF SIMULATION MODEL BOTTOM-UP DESIGN (on the example of an ore mine in Dezgazan)

Епов А.А., Kochetkova O.V., Lomkova E.N., Kaznacheeva A.A.

*Kamyshin Technological Institute (branch) of Volgograd State Technical University
Kamyshin, Russia (403874, Kamyshin, avenue of Lenin, 6A) ivt@kti.ru*

A functional structural approach to the computer-aided simulation of a complex system – an underground mine is laid down here. The mine is a supersystem in relation to the production and transportation floors of a mine. The supersystem simulation model assumes the following formalized abstract mathematical and software-based simulation procedures: modeling the reliability of production equipment; modeling the operation of production boards, the development of the second working front and the base structure formation; modeling the operation of underground transportation (automobile and electric locomotive), and also changing ore volumes in the mine bunkers in the process of delivering it to the surface. The transformation of mathematical models into simulation ones is implemented by means of program algorithmization methods and includes into the computer simulation processes on the production and transportation floors of a mine during a period of time. The “Mine” program simulation complex is given as a package of PC applications in the Turbo Pascal language.

Key words: simulation modeling, bottom-up design, underground mine, production, transportation floor, board, production equipment, rate of freight, electric locomotive haul, mine bunkers.

При существующей панельно-столбовой системе разработки рудных залежей Дзезказгана основная руда поступает из панелей добычных горизонтов (рис. 1), в которых производится буровзрывная выемка с помощью комплексов самоходного оборудования, реализующих основные технологические процессы в очистных камерах панели: бурение и зарядание шпуров, взрывание и проветривание, погрузку и призабойное транспортирование горной

массы, бурение и крепление кровли камер [1].

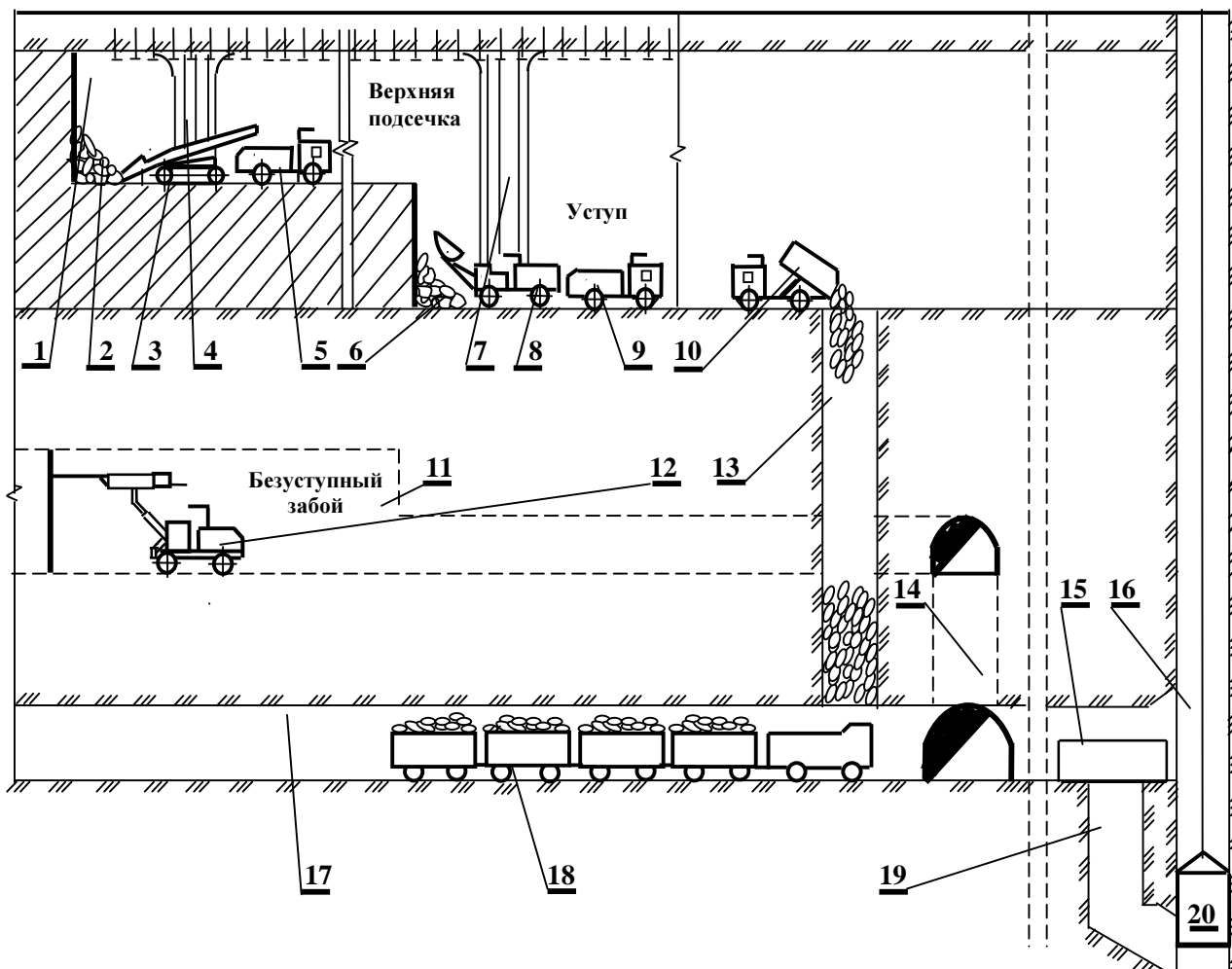


Рис. 1. Варианты выемки и транспортирования полезного ископаемого из панелей добычных горизонтов до скипового ствола:

1, 11 – очистные панели добычных горизонтов; 2, 6 – горная масса после взрывной отбойки; 3 – погрузочная машина с нагребными лапами; 4, 7 – опорные целики; 5, 9 – автосамосвал под погрузкой; 8 – ковшовый погрузчик; 10 – автосамосвал под разгрузкой; 12 – бурильная установка; 13, 14 – капитальные рудоспуски; 15 – вагоноопрокидыватель; 16 – скиповой ствол; 17 – откаточный штрек концентрационного горизонта; 18 – электровозный состав; 19 – бункер околоствольного двора; 20 – скиповой подъемник.

В зависимости от конструктивных и режимных параметров оборудования вся совокупность отрабатываемых забоев очистных камер разбита на три типа: 1) безступный забой высотой $h = 3,5 \dots 5,5$ м; 2) верхняя подсечка ($h = 5,5 \dots 8,0$ м); 3) уступ ($h = 4,0 \dots 9,0$ м), образующийся после выемки верхней подсечки с опережением в $20 \dots 40$ м. Ширина очистной камеры определяется расстоянием между опорными целиками, поддерживающими кровлю выработанного пространства в панели. Целики располагаются по сетке 20×20 (м). Исходя из этого максимальное число камер, находящихся в эксплуатации, определяется шириной панели.

В пределах добычного горизонта доставка отбитой руды до рудоспусков осуществляется автосамосвалами. Руда с добычных горизонтов по капитальным рудоспускам в виде горных бункеров перепускается на транспортный горизонт [2]. Все капитальные рудоспуски

объединены в кольцевую схему откаточных штреков. Руда в вагоны из рудоспусков грузится с помощью питателей с дистанционным управлением. Подземная откатка до вагоноопрокидывателя осуществляется электровозными составами. Для автоматизации скипового подъема применяется механическое дробление руды у выдачных стволов. В скиповых стволах шахт размещаются по два скиповых подъемника с донной разгрузкой скипов. Загрузка скипов осуществляется из горных бункеров через специальные дозаторы.

Таким образом, рассматриваемая система комплексной механизации подземного рудника охватывает многочисленную совокупность технологического оборудования, обеспечивающего добычу руды в очистных забоях, ее призабойное транспортирование и магистральную откатку до скипового подъема и, наконец, выдачу полезного ископаемого на поверхность шахты. Данная система является надсистемой, действующей на более высоком уровне по отношению к системе, функционирующей при отработке панелей на добычном горизонте рудника [1].

В работе [3] теоретически обоснована и экспериментально доказана перспективность методологического принципа, заключающегося в функционально-структурном моделировании на ЭВМ сложных систем технологического оборудования на основе построения моделей имитационного типа. Разработка имитационной модели на уровне абстрагирования, описывающей надсистему, предполагает выполнение следующих формализованных абстрактно-математических, программно-вычислительных процедур и алгоритмов восходящего проектирования: а) моделирование надежности технологического оборудования; б) моделирование работы добычных панелей, развития фронта очистных работ и формирования структуры парка оборудования; в) моделирование работы подземного транспорта (автомобильного и электровозного); г) моделирование процессов изменения объемов руды в горных бункерах при выдаче ее на поверхность.

Надежность технологического оборудования характеризуется безотказностью, долговечностью и ремонтпригодностью. Для горных машин особенно актуальны проблемы безотказности и ремонтпригодности. Это связано со сложностью конструкций, значительным числом элементов, взаимодействием разнородных устройств и механизмов. Формально надежность i -го элемента комплекса в любой момент времени t можно описать индикаторной функцией:

$$\alpha_i(t) = \begin{cases} 1, & \text{если } t_i''(t) \in t_{ij}', \\ 0, & \text{если } t_i''(t) \in t_{ij}'', \quad j = 1, 2, \dots, n, \end{cases}$$

где $t_i''(t)$ – случайная функция времени наработки на отказ i -го элемента комплекса; t_{ij}', t_{ij}'' – время наработки на отказ и устранения отказа i -го элемента комплекса в j -м интервале времени; 0 – элемент находится в состоянии отказа; 1 – элемент находится в рабочем состоянии.

Добычная панель, оснащенная комплексом забойного оборудования, является слож-

ной производственной системой. На основании принципов моделирования и описания таких систем ее можно условно расчленить на ряд взаимосвязанных технико-технологических подсистем [4]. Каждая подсистема соответствует технологическому процессу, выполняемому определенной машиной комплекса. Тогда математическая модель функционирования добычной панели представляет собой систему логических уравнений, описывающих условия последовательного перехода одной подсистемы в другую:

$$T(t + \Delta t) = \begin{cases} T_i, & \text{если } (T(t) = T_i) \cap (N_i(t) < N_i^n) \cup (T(t) = \\ = T_{i-1}) \cap N_{i-1}(t) \geq N_{i-1}^n, & T \in T_i, i = 1, 2, \dots, n, \end{cases}$$

где $t, \Delta t$ – произвольный момент и шаг приращения времени моделирования; i и T – условный номер и код технико-технологической подсистемы, функционирующей в панели; $N(t)$ – случайная функция количества пробуренных шпуров в забое, кровле, заряженных ВВ, отгруженной из забоя руды, установленных штанг крепления кровли, времени проветривания; N^n – норма количества шпуров на забой, штанг крепления на один очистной цикл в камере, руды в забое после отпалки, времени проветривания; n – число подсистем.

Процесс развития фронта очистных работ предполагает динамическое изменение структуры парка забойного оборудования. После отработки запасов руды очередной панели оборудование перемещается в новую панель. Каждое состояние структуры парка характеризуется набором действующих добычных панелей. Динамика изменения парка оборудования на добычном горизонте характеризуется последовательностью отработки панелей, рациональным оснащением их горными машинами и описывается моделью вида:

$$G_0(v, a)_{i_0} \xrightarrow{\Pi_i(i \in I)} G_i(v, a)_{i_i} \xrightarrow{\Pi_i(i \in I)} \dots \xrightarrow{\Pi_i(i \in I)} G_n(v, a)_{i_n},$$

где $G_0(v, a)_{i_0}$ и $G_i(v, a)_{i_i}$ – графы, определяющие структуру парка в начальный и текущий моменты времени моделирования; $\Pi_i(i \in I)$ – наборы предикатов, определяющих логику ввода и выбытия добычных панелей; $G_n(v, a)_{i_n}$ – финальный граф, определяющий структуру парка при окончании работ в планируемом периоде времени $to \dots tn$.

В соответствии с функциональным свойством горно-транспортного процесса работу автомобильного и электровозного транспорта можно представить как преобразование входящего грузопотока, формируемого погрузочной машиной (для автосамосвалов) и питателем рудоспуска (для электровозных составов), в исходящий, поступающий соответственно в капитальный рудоспуск и бункер опрокида при разгрузке вышеуказанных транспортных средств. Если входящий грузопоток обозначить через $U_{V(i)}$, а исходящий через $U_{U(i)}$, то процесс транспортирования руды i -м транспортным средством можно представить в виде: $U_{V(i)} \cdot O_i \cdot U_{U(i)}$, где O_i – математическая модель или оператор преобразования грузопотока.

Моделирование преобразования грузопотока базируется на описании функционирования автосамосвала и электровозного состава как сложных объектов с множеством технологических состояний. Исходя из этого, траектория их поведения во времени и пространстве определяется множеством функций f_i в каждом из этих состояний. Так как функции f_i характеризуют одновременно величину грузопотока в произвольный момент времени t и условие наступления или окончания состояния, они выражаются произведением числовой и предикатной частей:

$$f_i = y_i(t, x_1, x_2, \dots, x_n) \cdot \Pi_i(t, x_1, x_2, \dots, x_n).$$

На основании хронометражных данных работы транспортных средств подземных рудников Джебказгана структура технологических состояний автосамосвала и электровозного состава может быть представлена в виде последовательных связанных графов [5]. Распределение автосамосвалов между добычными панелями и электровозных составов между группами рудоспусков осуществляется на основе математических моделей линейного программирования:

$$\begin{aligned} \max C^i X^i, & & A^i X^i <> b^i, & & X^i = \{0,1\}, \\ (1) & & (2) & & (3) \end{aligned}$$

где C^i и X^i – n -мерные векторы; A^i – матрица размером $m \cdot n$; b^i – m -мерный вектор; i – индекс модели; 1 – функция цели; 2 – принимаемые ограничения; 3 – условие выбора только одного варианта распределения.

По аналогии с добычной панелью комплекс технологического оборудования на транспортном горизонте рудника также можно условно расчленить на ряд взаимосвязанных технико-технологических подсистем: рудоспуски с питателями, электровозные составы, опрокиды, дробилки, скиповые подъемники. Функциональными элементами, осуществляющими непосредственную связь названных подсистем и обеспечивающими стабильный уровень грузопотоков, являются горные бункера. В основу моделирования изменения объема руды в горных бункерах положено математическое описание процесса в виде случайных функций, характеризующих логические условия наличия руды в бункере на каждом последующем шаге моделирования:

$$V_p, V'_o, V''_o(t + \Delta t) = \begin{cases} 0, & \text{если} \\ V_p, V'_o, V''_o(t) + q_3(t + \Delta t) - q_p(t + \Delta t), & \text{если} \\ V_p, V'_o, V''_o(t) + q_3(t + \Delta t), & \text{если} \\ V_p, V'_o, V''_o(t) - q_p(t + \Delta t), & \text{если} \\ V_p, V'_o, V''_o(t), & \text{если} \end{cases} \Rightarrow \begin{array}{l} \text{моделиру-} \\ \text{ются} \\ \text{логические} \\ \text{условия,} \end{array}$$

где $V_p(t)$ и $V'_o(t)$, $V''_o(t)$ – случайные функции изменения объема руды в рудоспуске и бункерах, расположенных соответственно до дробилки и после нее; $q_3(t)$ и $q_p(t)$ – минутная про-

изводительность загрузки и разгрузки бункера. Логические условия включают следующие функции и константы: 1) константы, характеризующие полезный объем рудоспусков и бункеров; 2) индикаторные функции, характеризующие занятость или освобождение рудоспуска автосамосвалом или электровозным составом, опрокида электровозным составом; 3) технологические состояния автосамосвала и электровозного состава; 4) индикаторные функции, характеризующие работоспособность дробилок и скипового подъема.

Трансформация полученных математических моделей в имитационную осуществляется с помощью программных приемов алгоритмизации и включения в процесс моделирования на ЭВМ динамики протекания технологических процессов на добычных и транспортных горизонтах рудника во времени. Программно-моделирующий комплекс «Рудник» реализован в виде пакета прикладных программ на языке *Turbo Pascal* для персональных ЭВМ. База данных имитационной модели включает горно-геологическую информацию, технико-технологические параметры ведения горных работ и функционирования оборудования, а также их статистические характеристики. В качестве параметров вводятся: 1) варианты и параметры системы разработки; 2) число панелей; 3) расположение, количество, емкость рудоспусков и бункеров; 4) состав и характеристики забойного, транспортного и подъемного оборудования, его расстановка; 5) топология сети и длина транспортных выработок; 6) начальные условия функционирования горизонтов.

Список литературы

1. Имитационная модель функционирования комплексов технологического оборудования на добычном горизонте рудника / Ю.М. Кулаев [и др.] // Труды Карагандинского политехнического института. Технические средства и программное обеспечение автоматизированных систем. – Караганда : Караганд. политех. ин-т, 1995. – С. 30–35.

2. Имитационная модель функционирования комплекса технологического оборудования на транспортном горизонте рудника / Ю.М. Кулаев [и др.] // Труды университета. Вып. 2. – Караганда : Караганд. гос. техн. ун-т, 1997. – С. 217–219.

3. Имитация на ЭВМ сложных систем технологического оборудования : монография / О.В. Кочеткова [и др.]; под ред. А.А. Эпова. – Волгоград : ВолгГТУ, 2010. – 192 с.

4. Формализация процессов металлообработки при компьютерной имитации станочных участков / П.В. Олыштынский [и др.] // Материалы II международного научного симпозиума «Механизмы и машины ударного, периодического и вибрационного действия». – Орел : ОрелГТУ, 2003. – С. 139–142.

5. Разработка имитационной модели функционирования станочного металлообрабатывающего участка / Я.Н. Отений [и др.] // Вестник Саратовского государственного техниче-

ского университета. – Саратов, 2010 – С. 112–120.

Рецензенты:

Бурлаченко Олег Васильевич, доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой технологий строительного производства, ФГБОУ ВПО «Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет», г. Волгоград.

Санжапов Булат Хизбуллоевич, доктор физико-математических наук, профессор кафедры прикладной математики и вычислительной техники, ФГБОУ ВПО «Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет», г. Волгоград.