

УДК 622.272.8

В.В. Крюкова

ИНТЕРАКТИВНАЯ ПРОБЛЕМНО-ОРИЕНТИРОВАННАЯ СИСТЕМА ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ УГОЛЬНОЙ ШАХТЫ

Семинар № 9

Традиционные методы оценки эффективности новой техники основываются на статических моделях и не позволяют проследить эффект модернизации шахты во времени.

Совершенствование методов возможно только на базе применения современной вычислительной техники, использовании математических методов и моделей, пригодных для системной оптимизации основных качественных и количественных показателей производства угольной шахты.

Средством являются новые инструментальные системы моделирования с проблемно-ориентированным методическим, алгоритмическим и программным обеспечением.

В качестве инструментального средства математического моделирования и оценки эффективности модернизации горного производства разработана интерактивная проблемно-ориентированная система имитационного моделирования угольной шахты [1]. С системной точки зрения данное программное средство является автоматизированной системой научных исследований угольной шахты, инструментом ее анализа и синтеза на стадии концептуальных исследований. Предназначена для моделирования и оценки эффективности предпроектных решений по модернизации действующей шахты.

Имитационная система позволяет моделировать динамику поведения угольной шахты как сложной производственной системы во времени. Ядро системы - трехуровневая имитационная модель организационно-производ-

ственной структуры угольной шахты на сетях Петри для панельной подготовки шахтного поля.

Организационно-производственная структура угольной шахты описывается времязависящей, цветной, селективной сетью Петри с приоритетами, предикатами на переходах и ингибиторными дугами.

Имитационная иерархическая модель угольной шахты строится на основе синтеза моделей технологических процессов, представимых в виде многополюсных графов, путем объединения моделей и замещения переходов-полюсов с учетом ориентации дуг, указывающих направление движения грузов и взаимосвязь функционирования горных процессов.

Эффективность модернизации шахты определяется многокритериальной оценкой альтернативных шахтовариантов по результатам имитационного эксперимента с учетом совокупного влияния технико-экономических показателей функционирования процессов и подсистем горного производства [6].

Декомпозиция модели угольной шахты для панельной подготовки шахтного поля на подсистемы - уровни представлена на рис. 1:

2 уровень - действующий горизонт, 1 уровень - действующая панель, 0 уровень - очистной, подготовительный забой (принят подход

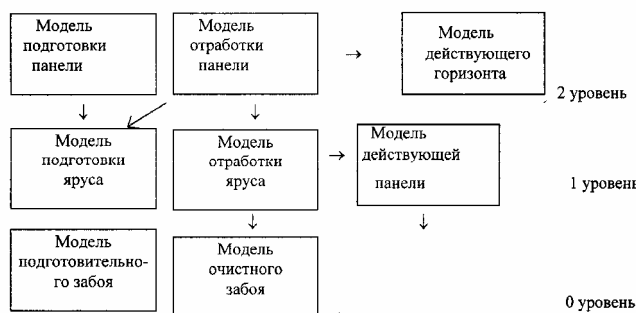


Рис. 1. Структура моделей подсистем и процессов угольной шахты для панельной подготовки шахтного поля

ИГД им. А.А. Скочинского [2]).

Модель каждого уровня состоит из отдельных модулей, каждый из которых формализован сетью Петри. Модуль - достаточно автономный с технологической точки зрения процесс. Для их формализации использованы известные расширения сетей Петри с целью сокращения размерности моделей, продолжительности экспериментов и реализации возможности разнообразного описания динамических объектов модели, их свойств и логики управления горными процессами [3].

Времязависящая, цветная селективная сеть Петри с ингибиторными дугами, приоритетами и предикатами на переходах формально определяется как набор

$$N = (P, T, G, F, H, \lambda, Q, \beta, RR, F_1, M_0),$$

где P, T - множество позиций, переходов; F, H - функции входных, выходных инцидентов; Q: P → R⁺ - функция временных задержек в позициях; PR: T → N - функция приоритетов, N = {0,1,2,...}; RR: T → Prt(M(p)) - функция предикатов, где M(p) - текущая разметка сети; F₁(P, t) - функция инцидентов ингибиторных дуг; G = {ω₁, ω₂, ..., ω_n} - множество цветов маркера; M₀: P × G → N - начальная маркировка сети; функция λ: (P × G) × T → N, N = {0,1} задает входное распределение цветов маркера перехода t; функция μ: T × (P × G) → N задает входное распределение цветов маркера по позициям P перехода t. Условия срабатывания перехода t ∈ T при текущей маркировке M записывается в виде:

$$\forall p \in P, \exists \omega \in G$$

$$M(p, \omega) - F(p, t) + 1) \lambda(C_{t\omega}) = 1$$

$$Q - Q_p \geq Q(p) F(p, t) / n_p$$

$$M(p, \omega) < F_1(p, t) \text{ и } F_1(p, t) \neq 0$$

$$RR(t) = "true"$$

Из двух переходов t_i, t_j, для которых выполнены условия (1), сработает t_i с большим приоритетом PR(t_i) > PR(t_j); Q(p) - время задержки маркера в позиции P, Q_p - время прибытия маркера в позицию p, Q - системное время, n_p = F(P, t)-

Новая маркировка M₁, получаемая в результате срабатывания перехода t при фикси-

рованным входном распределении цветов маркера C_{tω}, определяется по формуле:

$$\forall p \in P, \exists \omega \in G$$

$$M_1(p, \omega) = m(p, \omega) - \lambda_i(\omega) F(p, t) + \beta_i(\omega) H(t, p),$$

где λ_i(ω) = λ(C_{tω}ⁱ), β_i(ω) = β(C_{tω}ⁱ), C_{tω}ⁱ - фиксированное выходное распределение цветов маркера.

Моделирование поступления горной массы на перегружатель осуществляется "петлей" и вводом приоритетов переходов. Ввод сети предикат-переход и сети с ингибиторными дугами реализует возможность управления переходами - событиями сети Петри (технологическим процессом) в зависимости от условий, выраженных через параметры состояния модели (текущее время, текущая маркировка). Грузы и люди, доставляемые в разные очистные и подготовительные забои, уголь и порода описываются маркерами разного цвета, что позволяет значительно сократить размерность модели и продолжительность эксперимента.

Модель первого и второго уровней иерархии генерируется на основе машинного синтеза моделей, представимых в виде многополюсного графа [4, 6].

Модули *очистной забой, подготовительный забой* представляются двухполюсником.

Модули *подготовка яруса* бремсберговой и уклонной панели представляются трехполюсным графом. Модули *отработка яруса, подготовка бремсберговой панели* - трехполюсные графы; модуль *участковый вспомогательный транспорт* - n-полюсный граф, где n-количество очистных и подготовительных забоев.

Модуль *участковый основной транспорт* так же представлен в виде n-полюсного графа, n-количество очистных и подготовительных забоев.

Модули *магистральный основной транспорт и магистральный вспомогательный транспорт* представляются m-полюсными графами, где m-количество рабочих панелей. Подробное описание сетей Петри модулей приведено в работах [3,6]. Алгоритмы генерации моделей 1-го и 2-го уровней представлены на рис. 2 и рис. 3.

Указанные модули составляют библиотеку (БМ), характеризуют панельный способ подготовки шахтного поля. В перспективе БМ может пополняться за счет вновь разрабатываемых модулей, соответствующих другим способам

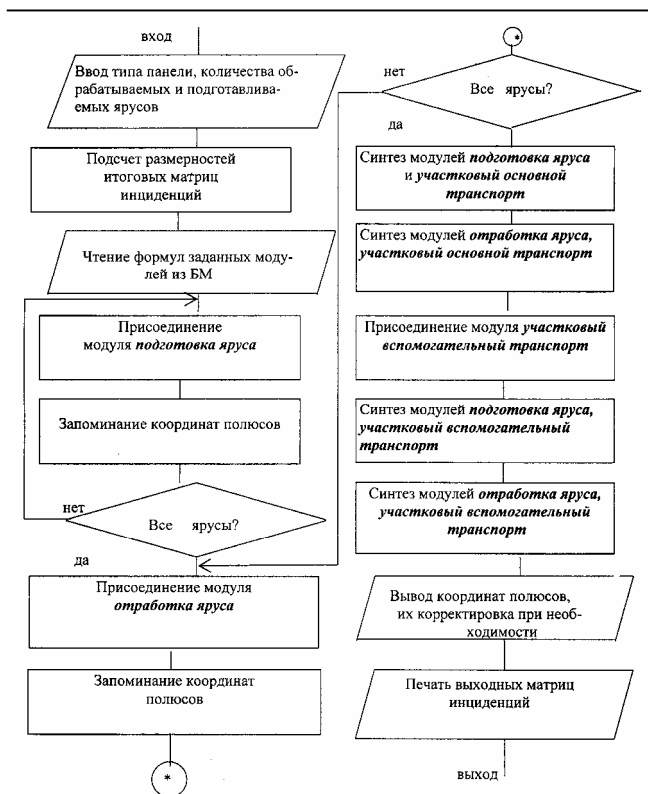


Рис. 2. Блок-схема алгоритма генерации модели 1-го уровня

модели осуществляется путем замещения позиции-дублиера подсетью Петри (и наоборот) и переходов-полюсов, либо путем объединения модулей и замещения полюсов. Ориентация дуг указывает на направление движения материальных потоков и последовательность функционирования процессов и подсистем горного производства. На этом же этапе происходит синтаксический анализ формулы сети Петри каждого модуля, в результате которого строятся обобщенные матрицы инцидентов модели любого уровня иерархии.

Описанный подход позволяет формализовать и машинно реализовать генерацию 1-го и 2-го уровней модели угольной шахты. В результате генерации модели автоматически строятся общие матрицы входных и выходных инцидентов, которые имеют квазидиагональную блочную форму.

Генерация модели 1-го уровня позволяет синтезировать модель действующей панели, изменяя порядок подготовки и схему отработки панели, количество одновременно обрабатываемых и подготавливаемых ярусов, а так же исследовать панель, в которой очистные и подготовительные забои обрабатываются с применением различных технологий одновременно, оценить пропускную способность транспорта и решить другие задачи [3]. Генерация модели происходит в интерактивном режиме с возможностью корректировки координат полюсов.

Генерация модели 2-го уровня позволяет синтезировать модель действующего горизонта, изменяя количество рабочих пластов и панелей, тип процесса (подготовка панели, уклонная или бремсберговая панель и т.д.). Любые, отличные от описанных модулей *очистной, подготовительный забой* (другие технологии), могут быть получены на 0-м уровне модели и автоматически внесены в библиотеку.

подготовки шахтных полей.

Интерактивная система имитационного моделирования угольной шахты состоит из пяти основных частей: настройки модулей, средств генерации (синтеза) модели верхнего уровня иерархии, имитатора, интерпретатора и средств поддержки принятия решения.

Настройка модуля включает: задание структуры модели формулой сети Петри, ввод начальной разметки сети, временных задержек в позициях, конкретных распределений входных и выходных цветов маркеров (на 1-м и 2-ом уровнях модели), приоритетов, предикатов переходов и инцидентов ингибиторных дуг. С целью упрощения процедуры идентификации модели 0-го уровня предложена формула сети Петри [5].

Каждый модуль, заданный формулой сети Петри, физически хранится в базе данных. Специальная программа строит матрицы инцидентов модуля в памяти ЭВМ.

Средства генерации позволяют пользователю построить имитационную модель угольной шахты на любом уровне иерархии из модулей, хранящихся в библиотеке. Генерация (синтез)

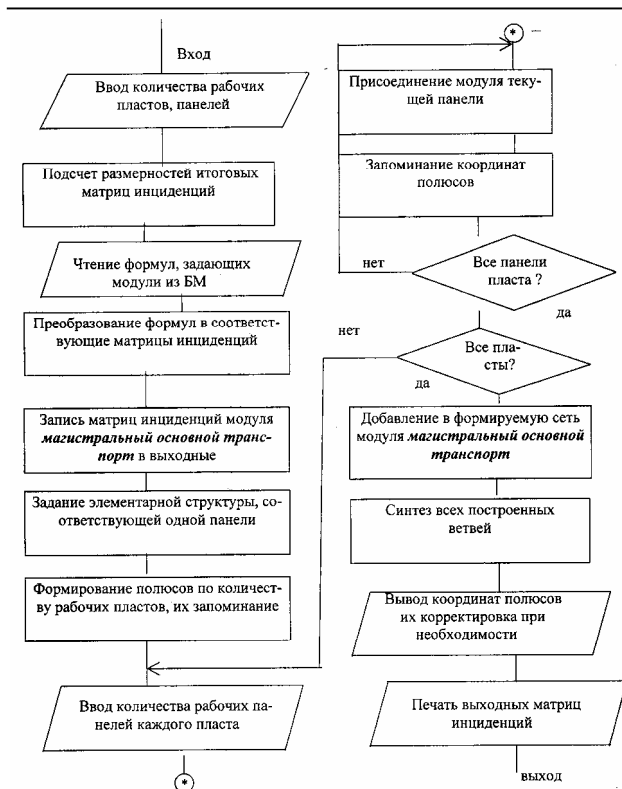


Рис. 3. Блок-схема алгоритма генерации модели 2-го уровня

временем наступления не пусто (американская организация эксперимента [8]);

- пересчет системного времени заключается в изменении значений времени в таймерах позиций;
- интерпретация результатов определяется характером решаемой задачи.

Интерпретатор - комплекс программ для анализа и интерпретации результатов имитационного эксперимента. В системе реализовано два типа интерпретаторов: семантические и статистические. Семантическая интерпретация основана на анализе текущего состояния имитационной модели и используется для отображения текущей разметки сети.

Статистическая интерпретация используется для определения значений локальных критериев эффективности - результатов решения задачи.

Средства поддержки принятия решения включают метод оценки и критерии поиска оптимальных вариантов модернизации шахты на каждом уровне модели.

Предложен метод оценки, основанный на имитационном моделировании динамики функционирования альтернативных вариантов «новой» шахты и показателей эффективности — компонентов интегрального критерия.

Известно, критерий оптимальности должен отвечать основному требованию - иметь технико-экономическую емкость, это значит, как можно полнее отражать все аспекты влияния модернизации на функционирование шахты.

Предложен единый (забой - панель - горизонт) интегральный критерий оптимальности шахтовариантов, построенный известным образом: локальные критерии нормализуются, в качестве «идеального» вектора принимается базовый вектор показателей (для действующей шахты): $y = \{f_i / f_{ib}\}$. Тогда интегральный критерий многокритериальной оптимизации имеет вид:

$$opt \gamma =$$

Имитатор построен на основе модифицированных сетей Петри, описывает детерминированную, потоковую, времязависящую, цветную селективную сеть Петри с приоритетами, предикатами на переходах, ингибиторными дугами: инвариантен к структуре и параметрам сети.

Процесс имитации состоит из четырех основных процедур:

- определение ближайшего события в системе: «часы» модельного времени переводятся на момент окончания шага моделирования, затем выполняется обработка информации на конец шага - последовательно просматриваются все определенные события и выбираются из них те, время наступления которых совпадает с временем на «модельных» часах;

- определение новой маркировки сети: для каждого из таких событий в значения параметров элементов системы вносятся изменения, формируется новое событие с неопределенным временем наступления; процедура повторяется, пока множество событий с неопределенным

$$= \max \left[\sum_{i=1}^k f_i / f_{ib} + \left(\sum_{i=k+1}^m f_i / f_{ib} \right)^{-1} \right], f_i > 0, f_{ib} > 0,$$

где f_i , $I = 1, k$ - локальные критерии, которые необходимо максимизировать (коэффициент загрузки оборудования, время цикла, производительность труда горнорабочего, добыча, скорость подвигания забоя); f_i , $I = k+1, m$ - локальные критерии, которые необходимо минимизировать (технологическая себестоимость, капитальные затраты и другие показатели); f_i - локальные критерии «нового» варианта, f_{ib} - базового варианта.

Ввод новой и новейшей техники в действующее производство призван существенно повысить производительность труда, но одновременно, как правило, приводит к увеличению капитальных вложений и вместе с тем высвобождает ручной труд, что с одной стороны приводит к экономии затрат живого труда и не всегда к экономии овеществленного труда (затрат прошлого труда), что отражается в показателе «себестоимость». В силу этой разноплановости при оценке эффективности модернизации нельзя ориентироваться на отдельный показатель, необходим интегральный показатель, который бы сгладил «противоречивость» локальных критериев и однозначно выражал эффект модернизации в технико-стоимостном выражении. Таким является критерий u .

Система имитационного моделирования обеспечивает эффективность технологических решений по применению средств новой и новейшей техники путем поиска решений, дающих на каждом уровне модели оптимальные значения локальных критериев и интегрального критерия в целом.

Эвристически сконструированные альтернативные варианты модернизации шахты в результате синтеза известных предложений по применению новой техники лежат в основе моделирования конкретного варианта (стратегии) модернизации горного производства во времени.

Класс научных и практических задач, решаемых в рамках системы:

- многокритериальная оценка эффективности альтернативных вариантов модернизации шахты;
- анализ динамики состояний системы и

динамики локальных критериев (добычи, себестоимости, производительности труда рабочего, времени цикла) во времени;

- выбор рациональных областей применения новой и новейшей техники;
- выбор варианта модернизации шахты по значению интегрального критерия эффективности и коэффициенту изменения себестоимости добычи.

Некоторые задачи практически решены в рамках производственного и учебного процессов (ШУ «Физкультурник» концерн по добыче угля «Северкузбассуголь», КузГТУ, Ленинск - Кузнецкий горнотехнический колледж).

Методом имитационного моделирования оценены технико-экономические показатели действующей шахты (на примере шахты 7 ноября АО "Ленинскуголь") и шахты нового технологического уровня (альтернативы ввода новой техники и технологий).

Обоснована корректность модели и полученных результатов по коэффициенту несоответствия [3].

Система имитационного моделирования имеет хорошо развитый сервис: ведение архива, средства защиты от несанкционированного доступа, удобный диалог с пользователем, возможность получения в любой момент времени контекстно - ориентированной подсказки и др. Программное обеспечение системы имеет две версии:

- Реализация в среде СУБД FoxPro 2.1 для ОС MS DOS. Комплекс программ внесён в российский Реестр программ для ЭВМ, получено свидетельство № 940377 (12.09.1994, РосАПО) [7]. Режим управления процессом решения задач основан на многоуровневой системе меню и широком использовании функциональных клавиш.

- Реализация в среде MS Visual Basic 6.0 для ОС Windows. Диалог с системой (приложением) осуществляется с помощью графического пользовательского интерфейса.

Библиотека моделей и система в целом открыты, допускают расширения.

Таким образом, интерактивная проблемно - ориентированная система имитационного моделирования угольной шахты включает: иерархическую модель угольной шахты на сетях Петри в качестве математического обеспечения, библиотеку моделей технологических процессов для панельной подготовки шахтного

поля, методы оценки и поиска оптимальных решений в качестве методического обеспечения, алгоритмы и программы в качестве алго-

ритмического и программного обеспечения, перечень и формализацию классов задач в качестве функционального обеспечения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Крюкова В.В. Система имитационного моделирования угольной шахты (СИМУШ) // Информ. листок №101 - 94. - Кемерово: ЦНТИ, 1994. - 2с.

2. Гринько Н.К., Устинов Н.И., Осипова Г.В. Имитационная модель шахты как инструмент для разработки прогноза научно-технического прогресса при подземной добыче угля // Уголь. 1991. №1. - С. 16-22.

3. Крюкова В.В. Применение модифицированных сетей Петри для имитационного моделирования угольной шахты // Геомеханические основы подземной разработки полезных ископаемых: Межвуз. сб. науч. тр. - Кемерово: КузПИ, 1993. - С. 114-126.

4. Сигорский В.П. Математический аппарат инженера. - Киев: Техника, 1975, - 765с.

5. Крюкова В.В. Метод формализации структуры сети Петри и ее программная реализация // Проблемы подземной разработки полезных ископаемых: Сб. науч. тр. - Кемерово: КузГТУ, 1996. - С. 97-102.

6. Крюкова В.В. Принципы формализации и моделирования угольной шахты на сетях Петри // Вестник КузГТУ :Сб. науч. тр.- Кемерово: КузГТУ, 1999. - С.74-78

7. Р.С. 940377 (12.09.94) РосАПО. Система имитационного моделирования угольной шахты (ПК СИМУШ)/ Крюкова В.В.- Информ. Бюлл.-Вып. 3(11), 1994.

8. Математическое моделирование организационно-производственной структуры ГПС. - М.: ВНИИТЭМР, 1986.

Коротко об авторах

Крюкова В.В. – Кузбасский государственный технический университет, Кемерово.



© Д.В. Бабец, Л.В. Новикова, Е.А. Сдвижкова, 2004

УДК [622.261 – 1123:622.281]:519.25

Д.В. Бабец, Л.В. Новикова, Е.А. Сдвижкова

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗОН РАЗРУШЕНИЯ В ОКРЕСТНОСТИ ВЫРАБОТОК НА ОСНОВЕ ВЕРОЯТНОСТНО-СТАТИСТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПОРОДНОЙ СРЕДЫ

Семинар № 10

Одним из важнейших и общих свойств горных пород является их неоднородность. На это указывал М.В. Рац [1], разрабатывая классификацию неоднородностей различных порядков. Неоднородность горных пород проявляется через изменчивость физических свойств и вещественного состава в пространстве. Эти изменения могут носить как закономерный характер, обусловленный некото-

рыми фундаментальными геодинамическими законами, так и случайный, порождающий стохастическое распределение свойств породной среды. С точки зрения исследования неоднородный массив, вмещающий подземное сооружение, представляет собой сложный многоуровневый объект, каждый из уровней которого обладает различной, по отношению к другим, организацией. Первый уровень этого объ-