

рования.

На предварительном этапе математического моделирования дальнего гидротранспорта моделью является совокупность моделей подсистем, каждая из которых представляет собой самостоя-

тельную задачу математического (нелинейного) программирования с различными целевыми функциями. Разрешимость задачи в целом существует только при условии разрешимости всех частных задач нелинейного программирования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Покровская В.Н., Бойцов В.С. Определение экономической целесообразности параметров гидравлического трубопроводного транспорта // Строительство трубопроводов. №2, 1972, с. 18 -19.
2. Киондзер Э.Г. Определение оптимальных параметров магистральных трубопроводов для гидравлического транспорта сыпучих материалов // Строительство трубопроводов. №9, 1972, с. 15-16.
3. Сорокин А.С., Разгильдеев Г.И. Выбор оптимальных параметров процесса транспортирования и оборудования при дальнем гидротранспорте / Труды ВНИИГидроуголь, вып. 35, Новокузнецк, 1975. с. 86 – 94.
4. Спиваковский А.О., Смолдырев А.Е., Зубакин Ю.С. Автоматизация трубопроводного транспорта в горной промышленности. - М.: Недра, 1972. – 343 с.
5. Стахеев Н.А., Витебский В.Я. Анализ и оценка технологических систем на основе теории надежности // Изв. ВУЗов. Горный журнал, № 12, 1966.
6. Силин Н. А., Витошкин Ю.К. Гидротранспорт угля по трубам и методы его расчета. Киев. 1964.
7. Черников В.И. Перекачка вязких и застывающих нефтей. М., 1958. – 234 с.
8. Яблонский В.С., Новоселов В.Ф., Галеев В.Б., Закиров Г.З. Проектирование, эксплуатация и ремонт нефтепродуктопроводов. - М.: Недра, 1965. – 323 с.
9. Сорокин А.С. Применение методов теории вероятностей к исследованию некоторых процессов производства. Труды 4-ой междунар. конф. Кибернетика и технологии XXI века. Воронеж, 2003. с. 312-323.
10. Архипова Т.Т., Роцин В.А., Сергиенко И.В. О решении одной задачи целочисленного программирования. Кибернетика, № 1, 1973.
11. Чуев Ю.В., Спехова Г.П. Технические задачи исследования операций. М., 1971. – 223 с.
12. Сорокин А.С. Алгоритм решения систем уравнений Колмогорова (Оценка качества системы) // Вторая Всероссийская научная конф. Проектирование инженерных и научных приложений в среде MATLAB. - М., 2004. с. 389 – 397.

□ Автор статьи:

Сорокин
Андрей Семенович
- канд. физ.-мат.наук, доц.,
ст.научн. сотр. (филиал КузГТУ,
г. Новокузнецк)

УДК 622:272

В.В. Крюкова

НОВЫЙ ПОДХОД К МОДЕЛИРОВАНИЮ ПРОЦЕССОВ И ПОДСИСТЕМ УГОЛЬНОЙ ШАХТЫ

В основе указанного подхода лежит методология имитационного моделирования сложной системы «шахта» на сетях Петри (СП). Под методологией здесь понимаем набор методов, применяемых для описания и исследования процессов и подсистем горного производства угольной шахты, объединенных единой концепцией. Основа концепции – объектно-ориентированный взгляд на процессы сложной производ-

ственной системы «шахта» с позиции теории СП.

Метод – определенная процедура создания моделей с помощью четко специфицированных нотаций. Нотация – графический язык для описания и представления моделей процессов и подсистем, в ее основе модифицированные сети Петри.

Исследуемая сложная система «шахта», ее подсистемы и процессы в данной методологии рассматриваются с разных

точек зрения. Результат такого рассмотрения и есть модель подсистемы или процесса.

Формально методологию можно представить набором

$$M = \{ \{A, N\}, I \},$$

где A – архитектура (строение) полужформальных моделей с графическими нотациями с учетом объектной ориентированности; N – нотации, используемые для описания конкретных моделей процессов и подсистем; I – инструментальные средства, -

отражение архитектуры и метода $\{A, N\}$, реализующие соответствующие моделирующие алгоритмы.

Методы исследования технологических решений угольной шахты

Разработка вариантов технического развития производства на действующих шахтах относится к области технологического прогнозирования результатов внедрения новых технико-технологических (ТТР) и пространственно – планировочных (ППР) решений основных производственных процессов по модернизации или реконструкции шахты. Известны три подхода, применяемых к разработке и исследованию различных сценариев (решений) ввода новой техники в действующее производство (шахтовариантов) [1]:

- традиционные методы прямого счета;
- методики расчета пропу-

скных способностей основных технологических звеньев шахты при соблюдении принципа последовательного устранения «узких» мест;

- формализованные методы технологического моделирования и оптимизации параметров основных производственных процессов и подсистем технологической схемы шахты.

В настоящее время наибольшее развитие получили методы технологического моделирования, причем развитие идет по линии разработки имитационной модели угольной шахты, позволяющей оценить возможные последствия применения различных ТТР и ППР в будущем.

В качестве методической основы такой модели часто принимается функционально – структурное моделирование, позволяющее выполнить анализ и прогнозирование применяемых технологий и оценить

функциональные взаимосвязи технологических подсистем, а также установить параметры и ограничения используемых решений.

Основу формализованных методов моделирования составляет тот или иной математический аппарат: корреляционно – регрессионный анализ, теория систем массового обслуживания, методы сетевого планирования, теория графов, нейронные сети (НС), сети Петри и др. Из перечисленного только сети Петри позволяют моделировать динамику функционирования самого процесса и одновременно управление этим процессом. Важным достоинством СП является возможность проследить результат внедрения ТТР и ППР через n -е количество лет, в том числе в течение всего срока эксплуатации шахты, за счет сжатия реального времени при моделировании.

Сравнительно недавно поя-

Таблица 1

№ п/п	Класс сетей Петри	Графическое изображение	Возможности СП
1.	Автоматная сеть (А), одна входная и одна выходная позиция: $ \cdot t = t \cdot = 1$		Описывает последовательный процесс, непригодна для моделирования параллельных процессов, не допускает синхронизации.
2.	Маркированный граф (МГ), один входной и один выходной переход: $ \cdot P = P \cdot = 1$		Описывает параллельные процессы, но не пригодна для принятия решений, не допускает конфликтов.
3.	Сеть со свободным выбором (ССВ), каждая дуга из любой позиции представляет собой или единственную выходящую дугу, или является единственной входящей дугой какого-либо перехода: $\forall P1, P2 \in P, P1' \cap P2' \neq \emptyset \rightarrow P1' = P2' = 1$ или $\forall P \in P1, \cdot P \leq 1$, или $\cdot (P') = \{P\}$		Пригодна для моделирования конфликтов, синхронизации процессов, исключает использование смешанных структур, включает возможности А и МГ.
4.	Расширенная сеть со свободным выбором (РССВ): $P1' \cap P2' \neq \emptyset \rightarrow P1' = P2', \forall P1, P2 \in P$		Пригодна для моделирования параллельных процессов и конфликтов, включает возможности А, МГ и ССВ
5.	Сеть с асимметричным выбором (САВ): $P1' \cap P2' \neq \emptyset \rightarrow P1' \subseteq P2' \vee P1' \supseteq P2', \forall P1, P2 \in P$		Может иметь асимметрическую смешанную структуру, но не допускает симметрию. Пригодна для моделирования потока данных и управления ими. Включает возможности РССВ.
6.	Смешанная сеть Петри: $P1' \cap P2' \neq \emptyset \rightarrow P1' \subseteq P2' \wedge P1' \supseteq P2', \forall P1, P2 \in P$		Включает возможности других структур: РССВ и САВ, разрешает конфликты, допускает симметрию.

вились публикации об опытах применения нейронных сетей в горном деле [2]. При решении прикладных задач с помощью НС возникают две проблемы: оптимизация весовых коэффициентов на этапе обучения и оптимизация архитектуры сети. Настройка весовых коэффициентов сложной сети требует временных затрат. Как правило, оптимизационные алгоритмы настройки – локальны, а это значит, что сложная многослойная НС вообще может не настроиться должным образом и в дальнейшем решать задачу с грубыми ошибками.

Основной способ оптимизации структуры НС – интуитивный подбор, – синтез известных оптимальных конфигураций, применяемых для решения некоторых типов задач. Очевидно, интуитивный подбор не может гарантировать оптимального решения. Попытки автоматизировать процесс структурной оптимизации НС пока незначительны [3].

Классификация сетей Петри

За основу формализованных методов функционально – структурного моделирования угольной шахты выбран аппарат сетей Петри. Их основные особенности: возможность отображать дискретность, параллелизм, (а)синхронность, иерархичность технологических процессов более простыми средствами по сравнению с другими методами, простая реализация на ЭВМ обусловили этот выбор. Сеть Петри пригодна для моделирования взаимосвязей различных процессов, потока данных, управления данными. Отличительные особенности СП с позиции структуры представлены в табл. 1 [4, 5, 6].

С целью усиления описательных и моделирующих возможностей СП используют различные расширения, то есть оригинальная сеть дополняется специальными правилами работы сети. Такие СП получили название – сети высокого уровня [5-13].

Кратко сформулируем характерные признаки основных типов расширений:

1. *Использование индивидуальных свойств* (атрибутов) маркеров. Примером являются потоковые цветные и Fifo – сети. В цветной сети каждому маркеру назначен определенный цвет. В Fifo – сети маркеры в позиции образуют очередь, приоритет маркера является ее системным атрибутом. Расширение используется для моделирования материальных и информационных потоков.

2. *Введение временных позиций, переходов и дуг.* С каждым структурным элементом связано время задержки или выполнения операции. Расширение используется для оценки производительности и времени выполнения исследуемого процесса. Примером являются времязависящая детерминированная (стохастическая) и тайм-аутная сети Петри.

3. *Ввод атрибутивных переменных и процедур.* Атрибутивные переменные определяют контексты состояний сетевой модели и определены для всей сети. Процедуры позволяют моделировать преобразование данных. С каждым переходом может быть связана вычислительная процедура, которая изменяет свойства маркеров и значения атрибутивных переменных сети, проводит структурную модификацию сети. Примером являются алгебраические и дискретно – непрерывные сети.

4. *Изменение правил функционирования переходов.* Кроме И- логики, вводится ИЛИ- логика. Усложняются правила разрешенности перехода со стороны входных или выходных дуг. Вводятся различные типы дуг, например, ингибиторные, числовые, сброса, сопряженные, прерывающие. Налагаются дополнительные условия срабатывания переходов, которые определяются как предикаты, определенные на множестве атрибутов маркеров и атрибутивных

переменных сети. Переход может сработать при истинном значении предиката. Примером являются численные, предикатные, с ингибиторными дугами и помеченные сети.

5. *Изменение правил функционирования сети.* В обычной СП порядок срабатывания переходов не определен. Может сработать любой разрешенный переход. Времязависящие и синхронизированные сети используют принцип одновременного срабатывания разрешенных переходов. Порядок срабатывания можно изменить с помощью механизма ввода многоуровневой системы приоритетов переходов (приоритетные сети).

6. *Возможность самоизменения сети.* В процессе функционирования возможна модификация правил срабатывания переходов или атрибутов маркеров. Примером является цветная самомодифицируемая сеть Петри.

7. *Гибридность.* Возможность сочетать в себе различные классификационные признаки сетей. Примером являются дискретно – непрерывные сети, в которых определены непрерывные и дискретные позиции и переходы, а также дискретно – управляемые переходы, которые помечаются операторами. Непрерывные позиции помечаются непрерывными переменными, они маркируются вещественным положительным числом, что позволяет описывать сложные технические системы, в которых происходят процессы тепломассопреобразования.

Таким образом, выбор из существующего множества расширений сетей Петри той, которая наиболее адекватно описывает сложную систему «шахта», является достаточно сложной задачей.

Сравнение различных модификаций СП позволило выделить те их свойства, которые необходимы для описания горных процессов и подсистем, и разработать общую модель для описания технологической схе-

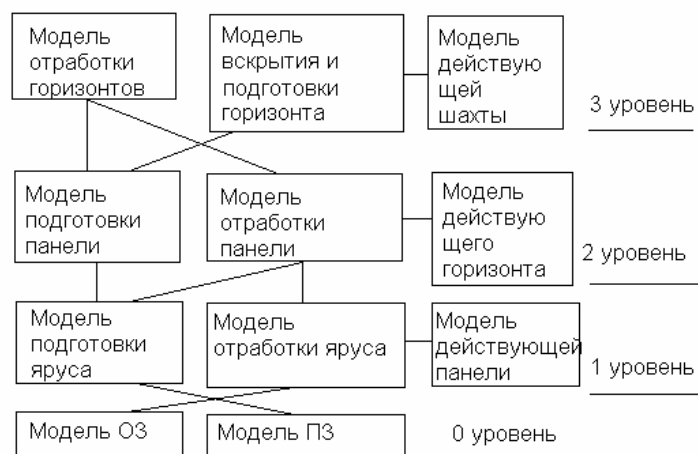


Рис. 1. Структура моделей подсистем и процессов угольной шахты для панельной подготовки шахтного поля

мы угольной шахты. Основной задачей при этом было отразить в описании структуру и свойства технологических процессов и подсистем.

Декомпозиция модели угольной шахты

Для преодоления сложности в описании процесса функционирования угольной шахты применен метод декомпозиции модели, суть которого заключается в следующем: процедура моделирования разделяется на несколько уровней, причем на каждом уровне используются модели со специфическими свойствами. Уровень – технологическая подсистема (объект горных работ) сложной системы «шахта».

При разработке имитационной модели угольной шахты принят подход ИГД им. А.А. Скочинского [14], в соответствии с которым процесс угледобычи шахты во времени распадается на 4-е уровня. Декомпозиция модели угольной шахты для панельной подготовки шахтного поля на подсистемы - уровни представлена на рис.1: 0 уровень – очистные и подготовительные работы; 1 уровень – действующая панель на горизонте со всеми очистными и примыкающими подготовительными выработками (под-

готовка и отработка панели); 2 уровень – действующий горизонт со всеми панелями и забоями выработок, воспроизводящие запасы угля, готовые к выемке (отработка горизонта); 3 уровень – действующая шахта, со всеми горизонтами и забоями выработок (вскрытие и подготовка нового горизонта).

На разных уровнях моделируются (+) с разной степенью детализации процессы. Все процессы делятся на две группы: основные (табл. 2) и вспомогательные (табл.3). Вспомогательные процессы рассматриваются как возможные преобразователи себестоимости основ-

ных процессов.

На 3 уровне моделируются работы на поверхности. Для разных задач исследования применяется разная степень детализации описания процесса на СП.

Модель каждого уровня делится на фрагменты – модули, соответствующие моделируемым процессам, и представляет собой иерархическую структуру описанных на языке СП моделей (рис.1) для панельной подготовки шахтного поля.

Особенности моделирования горных процессов на СП

В общем случае горные процессы имеют дискретно – непрерывный характер. Для усиления моделирующих возможностей используем смешанные СП (табл. 1). Для моделирования горных процессов и подсистем на 0, 1, 2, и 3 уровнях представления используем известные расширения сетей, идентифицирующие их как класс времязависящих потоковых сетей с приоритетами и предикатами на переходах, ингибиторными дугами в детерминированной и стохастической постановках [15, 16].

Особенности моделей - сетей Петри по процессам представлены в табл. 4.

Основными горными процессами в модели считаются очистные и подготовительные работы, транспорт и вентиляция

Таблица 2

Уровень	Очистные и подготовительные работы	Подземный транспорт	Вспомогательный транспорт	Вентиляция
0	+	+	+	+
1	+	+	+	+
2		+	+	+
3		+	+	+

Таблица 3

Уровень	Энерго-снабжение	Дегазация	Монтаж / демонтаж оборудования	Содержание и ремонт выработок	Водоотлив
0	+	+			
1	+	+	+	+	+
2	+			+	+
3	+	+		+	+

Таблица 4

№п/п	Процесс	Идентификация сетью Петри
1.	Очистные, подготовительные работы.	Стохастическая времязависящая потоковая сеть с приоритетами на переходах и ингибиторными дугами
2.	Подземный транспорт угля и породы (участковый и магистральный)	Стохастическая цветная селективная СП с ингибиторными дугами, тайм-аутная дискретно-непрерывная СП
3.	Вспомогательный транспорт грузов и людей (участковый и магистральный).	Стохастическая цветная селективная СП с ингибиторными дугами, тайм-аутная дискретно-непрерывная СП
4.	Вентиляция (участковая, общешахтная).	Потоковые непрерывные сети
5.	Энергоснабжение (забой, участок, шахта)	Стохастическая потоковая непрерывная сеть с ингибиторными дугами и приоритетами.
6.	Дегазация (забой, участок, шахта)	Численная времязависящая СП с ингибиторными дугами
7.	Содержание и ремонт выработок (участковых, магистральных, общешахтных)	Стохастическая численная времязависящая СП с ингибиторными дугами
8.	Монтаж-демонтаж очистного оборудования	Численная времязависящая СП с ингибиторными дугами
9.	Водоотлив (участок, шахта)	Численная времязависящая СП с ингибиторными дугами

(табл. 2), а все остальные - обслуживающими (табл. 3). Основные процессы работают на результат производственной деятельности шахты – добычи полезного ископаемого (с определенной стоимостью).

Обслуживающие процессы учитываются в модели как преобразователи себестоимости основных процессов [18]. Поэтому детализация описания функционирования основных и обслуживающих процессов в модели (на СП) различна.

Композиция моделей

Пусть $\{ts^o\}$ – множество возможных технологических схем ведения очистных и подготовительных работ в соответствии с горно-геологическими и горнотехническими условиями разрабатываемых пластов, $\{ts^n\}$ – множество возможных схем проветривания забоев, $\{tr^m\}$ – множество схем призабойного транспорта, $\{ts^{ob}\}$ – множество технологических схем обслуживающих процессов (табл. 3), прямое произведение этих множеств дает множество моделей 0 уровня $\{M_0\}$ - вариантов композиции:

$$w: \{M_0\} \rightarrow \{ts^o\} \times \{ts^n\} \times \{ts^{ob}\} \times \{tr^m\}.$$

Морфизм w определяет правило композиции модели 0 уровня в соответствии с технологической схемой угольной шахты.

Пусть $\{tr^{oc}\}$ и $\{tr^{ec}\}$ – мно-

жество возможных технологических схем основного и вспомогательного транспорта участковых выработок, объединение этих множеств дает совокупность моделей участкового транспорта $\{TR_y\}$:

$$\{TR_y\} = \{tr^{oc}\} \cup \{tr^{ec}\}.$$

Аналогично, $\{tm^{oc}\}$ и $\{tm^{ec}\}$ – множество возможных технологических схем основного и вспомогательного транспорта магистральных выработок, объединение этих множеств дает совокупность моделей магистрального транспорта $\{TR_m\}$:

$$\{TR_m\} = \{tm^{oc}\} \cup \{tm^{ec}\}.$$

Модель 1 уровня есть композиция моделей 0 уровня, моделей участкового транспорта ($\{TR_y\}$), моделей схем проветривания участков ($\{tp^v\}$) и моделей обслуживающих процессов панели ($\{tN^{ob}\}$).

Морфизм p определяет правило композиции модели 1 уровня в соответствии с технологической схемой угольной шахты:

$$p: \{M_1\} \rightarrow \{TR_y\} \times \{tp^v\} \times \{tN^{ob}\} \times \{M_0\}.$$

Модель 2 уровня является композицией моделей 1 уровня, моделей магистрального транспорта ($\{TR_m\}$), моделей схем проветривания горизонта ($\{tp^c\}$) и моделей обслуживающих процессов на горизонте ($\{tG^{ob}\}$).

Морфизм q определяет правило композиции модели 2 уровня в соответствии с техно-

логической схемой угольной шахты:

$$q: \{M_2\} \rightarrow \{TR_m\} \times \{tp^c\} \times \{tG^{ob}\} \times \{M_1\}.$$

Модель 3 уровня является композицией моделей 2 уровня, моделей схем главного транспорта (в том числе транспорта околоствольного двора, моделей функционирования скипового и клетьевого подъемов, $\{TR_w\}$), моделей схем проветривания шахты ($\{tp^w\}$) и моделей обслуживающих процессов общешахтного характера ($\{to^{ob}\}$), в том числе работы на поверхности.

Морфизм g определяет правило композиции модели 3 уровня в соответствии с технологической схемой угольной шахты:

$$g: \{M_3\} \rightarrow \{TR_w\} \times \{tp^w\} \times \{to^{ob}\} \times \{M_2\}.$$

Морфизмы w , p , q , g определяют правила композиции моделей i -го уровня ($i=0, \dots, 3$). Покажем, что они представляют собой n -ки морфизмов вида: (f_1, \dots, f_n) – композиций морфизмов и проекций сомножителей.

Запишем модель i -го уровня в виде: $M = \prod_{i \in I} X_i$, I – некоторое множество индексов, а X_i – множество моделей i -го технологического процесса, сомножитель прямого произведения.

Для множителей прямого произведения существует семейство проекций $r_i: X_1 \times X_2 \times \dots \times X_n \rightarrow X_i$. Множество M и

семейство проекций обладают универсальным свойством: для любого семейства морфизмов $f_i: M \rightarrow X_i$ существует однозначно определенное отображение $h: M \rightarrow X_1 \times X_2 \times \dots \times X_n$, что $f_i = h \circ r_i, i \in I$. Морфизм h обозначают в виде n -ки морфизмов вида (f_1, \dots, f_n) .

Исходное описание сети Петри дает ее матрица инцидентности. Каждый элемент множеств $\{TR\}$, $\{tp\}$, $\{tO\}$ и $\{M_0\}$ является связным орграфом, а элементы множеств $\{M_1\}$, $\{M_2\}$, $\{M_3\}$ можно рассматривать как несвязный граф, состоящий из нескольких компонентов связности, причем каждый компонент представляется своей матрицей инцидентности A_i ($i=1 \dots k$), а общая матрица инцидентности композиции моделей (связных графов) имеет квазидиагональную блочную структуру:

$$A = \begin{bmatrix} A_1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & A_2 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & A_k \end{bmatrix}$$

Синтез модели угольной шахты

Модели 1, 2 и 3 уровней синтезируются на основе типовых модулей, каждый из которых может быть представлен в виде многополюсного графа. Модели 1, 2 и 3 уровней описываются сложной сетью Петри с иерархической структурой, которая графически представлена двумя типами позиций: простыми (соответствует общепринятому представлению) и позициями – дублерами (двойной круг, рис. 2). Каждому дублеру соответствует технологический процесс, который задается подсетью Петри. Преобразование сложной иерархической сети происходит в два этапа: замещение дублера и узла (перехода – связки) [15]. Синтез модели осуществляется путем замещения полюсов (узлов), ориентация дуг указывает на направление движения материальных потоков и последовательность

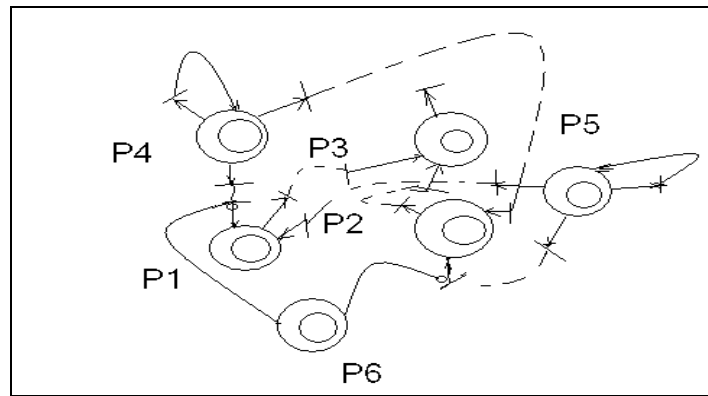


Рис. 2. Пример синтеза модели

выполнения технологических процессов (операций). Описанный подход позволяет формализовать и реализовать генерацию 1, 2 и 3 уровней модели угольной шахты. Например, модель действующей уклонной панели получена в результате синтеза следующих моделей (рис. 2): P_1 – подготовка яруса уклонной панели, P_2 – отработка яруса, P_3 – основной участковый транспорт, P_4 – вспомогательный участковый транспорт, P_5 – модель вентиляции участка, P_6 – модели обслуживающих процессов.

Формула сети Петри

Программирование сети Петри вызывает необходимость трансляции ее структуры (графического образа) на алгоритмические языки. Способы решения названной проблемы определяют различные варианты символического описания сети.

Предлагается описание сети Петри осуществлять отношениями. Используем отношения элементов сети, введенные для сетей – процессов в работах [5, 7].

Согласно определению сети Петри $P = \{P_1, P_2, \dots, P_k\}$ – множество позиций (условий), $T = \{t_1, \dots, t_n\}$ – множество переходов (событий). Определим понятие реализации условия как появление маркера в соответствующей позиции. $P \times T = F$ и $T \times P = H$, F и H – функции входных и выходных инцидентов (функциональных отношений) элементов множеств P и T . Кон-

кретизируем входные и выходные отношения, заданные на множествах $P \times T$ и $T \times P$.

Пусть Li – отношение «следствия», условие P_i реализуется раньше, чем переход t_i или наоборот. Иными словами, реализация условия P_i предшествует реализации перехода t_i (рис. 3). Co – отношение «параллелизма», реализация перехода t_i приводит к одновременной реализации условий $\{P_i, P_j\}$ (рис. 3). Con – отношение «конкуренции», произвольная неодновременная реализация условий $\{P_i, P_j\}$ или событий $\{t_i, t_j\}$ приводит к реализации перехода t_k или условия P_k только тогда, когда условия или события уже реализованы (рис. 3). Al – отношение «альтернативы», реализация условия P_j приводит к реализации перехода t_i и исключению реализации перехода t_k (рис. 3), то есть реализуется переход t_i либо t_k . Покажем, что отношения Co , Al , Con полностью определяются через отношение Li .

Очевидно, бинарные отношения входное $Li \subset P \times T$, выходное $Li \subset T \times P$, $Al \subset P \times T$, $Co \subset T \times P$, выходное $Con \subset T \times P$, входное $Con \subset P \times T$ являются соответствиями. Также Al определяет сечение по P_j отношения $Li \subset P \times T$, то есть $Al(P_j) = \{t \in T / (P_j, t) \in Li\}$, Co определяет сечение по t_i отношения $Li \subset T \times P$, то есть $Co(t_i) = \{p \in P / (t_i, P) \in Li\}$. Отношение $Con \subset T \times P$ симметрично отношению Al , то есть $Con = Al^T$, отношение $Con \subset P \times T$ симметрично отноше-

нию Co , то есть $Con = Co^{-1}$. Таким образом, отношения Co , Al , Con определяются через отношение Li (входное и выходное).

Совокупность сечений отношения Li образует два фактор – множества P/Li и T/Li – входное и выходное. Описанные отношения представляют собой конечные множества (для каждой сети). Конечное множество можно представить в виде матриц, которые соответствуют матрицам входных и выходных инцидентий F и H . Их ненулевые элементы указывают на совокупность элементов, представляющих собой входное (выходное) фактор–множество множества $P(T)$ по отношению Li . Отношения можно задавать с помощью сети Петри – ориентированного графа с двумя типами вершин (P и T); дуга, направленная из вершины P_i к t_i или наоборот, означает $P_i Li t_i$ ($t_i Li P_i$). Таким образом, отношения Co , Con , и Al введены для того, чтобы сократить символическое описание – формулу сети Петри. Соответственно, формула СП однозначно определяет матрицы входных и выходных инцидентий, задание которых

необходимо для проведения имитационного эксперимента.

Сеть Петри – модель работы очистного забоя [15] задается формулой:

$$f_1 = p_1 Li t_1 Co \{p_2, p_3, p_6\}; p_3 Li t_2 Li p_4; \{p_4, p_2, p_6\} Con t_3 Li p_5 Li t_4 Co \{p_7, p_8, p_{10}\}; p_6 Al \{t_{10}, t_5\}; t_5 Co \{p_6, p_9\}; \{p_7, p_8, p_{10}\} Con t_6 Li p_{11} Li t_8 Co \{p_{13}, p_{14}\} Con t_9 Co \{p_{15}, p_6\} Con t_{10}; p_{10} Li t_7 Co \{p_{10}, p_{12}\}; t_{10} Li p_1.$$

Специальный символ «;» соединяет различные ветви сети Петри при описании (признак продолжения). Коэффициент, стоящий рядом с отношением, указывает на кратность дуг (если он отсутствует, то кратность равна 1). Специальная программа строит матрицы входных и выходных инцидентий в памяти ЭВМ и записывает формулу во внешнюю память для дальнейшего использования [15, 16].

Формальное определение методологии моделирования $M = \{A, N, I\}$ можно уточнить, добавив в качестве формального языка описания графической нотации N формулу M , получим: $M = \{A, N, M, I\}$, где M – формула СП, формальный язык описания графической нотации

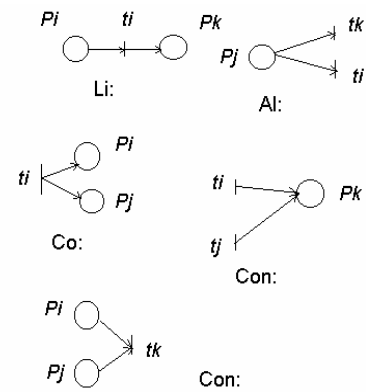


Рис. 3. Отношения и их графы

моделей; N – графический язык представления моделей.

В качестве инструментального средства I описанной методологии разработана система имитационного моделирования, предназначенная для автоматизации научных исследований по конструированию и обоснованию предпроектных решений по модернизации (реконструкции) горного производства угольной шахты [17, 18]. В качестве математического обеспечения системы используется иерархическая модель угольной шахты на сетях Петри.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гринько Н.К., Архипов Н.А. Повышение технического уровня угольной промышленности. - М.: Недра, 1991. 222 с.
2. Алферов М.В. Разработка алгоритмов комплексного анализа деятельности угольных предприятий с применением метода нейронных сетей: Автореф. дис.... канд. техн. наук. - Кемерово: Институт Угля и углехимии СО РАН, 2004. 21 с.
3. Липинский Л.В., Семенкин Е.С. Структурная адаптация нейронной сети методом генетического программирования// Высокие технологии, фундаментальные и прикладные исследования, образование: Сб. науч. тр. 2 Межд. н-пр. конф. «Исследование, разработка и применение высоких технологий в промышленности». (7-12 января 2006г., Санкт-Петербург). - СПб: Изд. политехн. ун-та. 2006. Т.4. С. 39-40.
4. Мурата Т. Сети Петри: свойства, анализ, приложения// Труды ТИИЭР. 1989. т.77. №4. С. 41-85.
5. Таль А.А., Юдицкий С.А. Иерархия и параллелизм в сетях Петри// Автоматика и телемеханика. 1982. №9. С. 83-88.
6. Пийль Е.И., Лазарев В.Г. Синтез управляющих автоматов. - М.: Энергоатомиздат, 1989. 328 с.
7. Котов В.Е. Сети Петри. - М.: Наука, 1984. 158 с.
8. Розенблюм Л.Я. Сети Петри// Изв. АН СССР. Техническая кибернетика. 1983. №5. С.12-40.
9. Питтерсон Дж. Теория сетей Петри и моделирование систем. - М.: Мир, 1984. 264 с.
10. Гилл А. Введение в теорию конечных автоматов. - М.: Наука, 1966. 325 с.
11. Котов В.Е. Алгебра регулярных сетей// Кибернетика. 1980. №5. С.10-18.
12. Лескин А.Л., Мальцев П.А., Спиридонов А.М. Сети Петри в моделировании и управлении. - Л.: Наука, 1989.
13. Назаретов В.М., Кульба А.В. Использование модифицированных сетей Петри для имитационного моделирования гибкого автоматизированного производства // Проблемы создания гибких автоматизированных производств. - М.: Наука. 1987. С.56-62.

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

15. Крюкова В.В. Принципы формализации и моделирования угольной шахты на сетях Петри. // Вестн. КузГТУ. 1999. №1. С. 74-78.

16. Крюкова В.В. Интерактивная проблемно-ориентированная система имитационного моделирования угольной шахты // Горный инф. –анал. бюлл., 2004. №1. С. 160-165.

17. Крюкова В.В. Математическое моделирование и оценка эффективности технологических решений угольной шахты // Высокие технологии, фундаментальные и прикладные исследования, образование. Т.4: Сб. науч. тр. 2 Межд. н-пр. конф. «Исследование, разработка и применение высоких технологий в промышленности». (7-12 января 2006 г., Санкт-Петербург). –СПб: Изд-во политехн. ун-та. 2006. С. 32-33.

18. Крюкова В.В. Методология имитационного моделирования угольной шахты на сетях Петри // Сб науч. тр. по матер. н-пр. конф. «Научные исследования и их практическое применение. Современное состояние и пути развития». (1-15 октября 2005 г., Одесса). Одесса: Черноморье. 2005. Т 7. С. 47-49.

□ Автор статьи:

Крюкова
Валентина Валентиновна
- канд. техн. наук, доц. каф. вычис-
лительной техники и информаци-
онных технологий

УДК 517.946(075.8)

В.Т. Преслер, А.С. Моисеенко, Г.Г. Стекольников

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛООВОГО РЕЖИМА ГАЗООТСАСЫВАЮЩЕГО ВЕНТИЛЯТОРА ПРИ РАЗРУШЕНИИ ПОДШИПНИКОВ НА ВАЛУ

1. Постановка задачи

При комбинированном проветривании сети горных выработок подземных угольных шахт через поверхностный газоотсасывающий вентилятор прокачивается метановоздушная смесь, концентрация которой находится в диапазоне воспламенения 7-10 %. На шахтах Кузбасса применяются газоотсасывающие вентиляторы, выпускаемые ООО «Артёмовский машиностроительный завод ВЕНТПРОМ», ВЦГ-7М и УВЦГ-15. И хотя, согласно информации завода-производителя, вентиляторы этих марок оснащены тепловой защитой, обеспечивающей их отключение при нагревании подшипников выше нормы, все же вопрос о возможности воспламенения метановоздушной смеси в аварийной ситуации остается открытым.

При разрушении одного из двух подшипников или сразу обоих вследствие повышения трения между шейкой вала и продуктами разрушения подшипника образуется источник тепла, разогревающий вал. Вносимое источником тепло в течение определённого периода, впоследствии распределяется по длине всего вала, в том числе и по участку вала, проходящего через корпус вентилятора, разогревая и вал, и корпус. Учитывая высокую температуру разогрева в месте установки подшипников на валу (1350 °С), в два раза превышающей температуру воспламенения метана (650 °С), необходимы исследования возникающего теплового режима для ответа на вопрос о возможности воспламенения метановоздушной смеси.

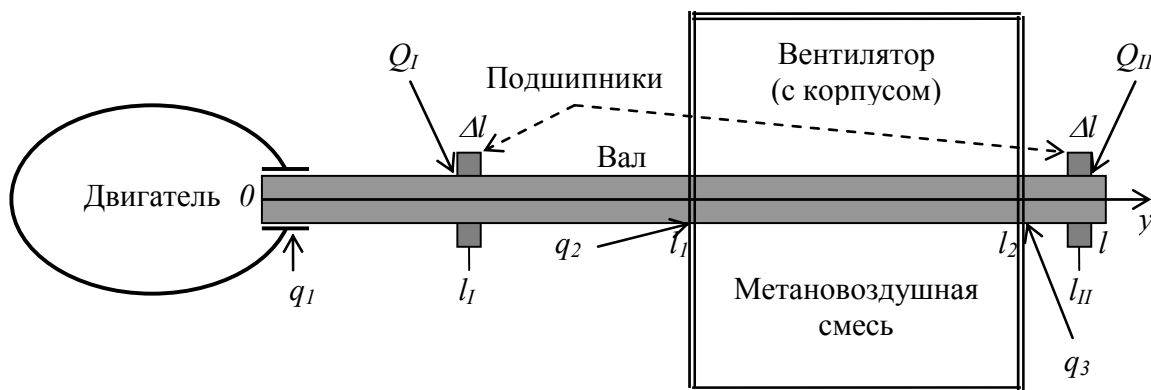


Рис. 1. Система «Двигатель – газоотсасывающий вентилятор»