

## ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ В ГОРНОМ ДЕЛЕ

## SIMULATION MODELING IN MINING

**M. Salamova  
A. Mouraov**

*Summary.* The article analyzes the peculiarities of simulation modeling in mining. Development of simulation model is considered on an example of management of work of ventilation system of mine, for this purpose functioning of system has been presented in the form of two-component technological scheme. Categories of information flows necessary for development of a simulation model are also allocated. Separately, the graph of states of information management tasks of the mine ventilation system was formalized.

*Keywords:* simulation model, mine, ventilation system, information.

**Саламова Марьяна Теймуразовна**

Аспирант

Северо-Кавказский горно-металлургический  
институт (государственный технологический  
университет)

salamova\_m\_t@mail.ru

**Моураов Алан Георгиевич**

К.т.н

Северо-Кавказский горно-металлургический  
институт (государственный технологический  
университет)

mag-skgmi@yandex.ru

*Аннотация.* В статье проанализированы особенности имитационного моделирования в горном деле. Процесс создания имитационной модели рассмотрен на примере управления работой вентиляционной системы шахты, для этого функционирование системы было представлено в виде двухкомпонентной технологической схемы. Также выделены категории информационных потоков, необходимые для разработки имитационной модели. Отдельно формализован граф состояний информационных задач управления вентиляционной системой шахты.

*Ключевые слова:* имитационная модель, шахта, вентиляционная система, информационный поток.

Специфика функционирования горнодобывающих предприятий, разнообразие горно-геологических условий, большие затраты на реализацию технологических и технических решений в добыче полезных ископаемых определяют роль имитационного моделирования в обосновании и прогнозирования последствий принимаемых решений в деятельности предприятий горнодобывающей отрасли. Имитационное моделирование позволяет создать модель, которая описывает и воспроизводит процессы выполнения горных работ, поведение элементов исследуемых объектов на выбранном горизонте планирования.

Современное угольное предприятие представляет собой сложную систему, управление которой происходит с помощью адаптивных систем оперативно — диспетчерского управления, которые реализованы на базе информации, возникающей в процессе функционирования основных технологических процессов [1]. Большое количество информационных потоков, иерархичность их представления требует от диспетчеров использования многих вариантов решения задач и их оптимизацию в различных производственных ситуациях.

Так, например, критически важный для шахты участок вентиляции и система его безопасного функционирования (ВТБ), как практически и все другие производственные системы, сложен с организационной точки зрения вследствие многоплановости решаемых им задач. Поэтому адекватная ему модель призвана существенно снизить эту сложность. На среднестатистической шахте положение об участке ВТБ регламентирует семь его ключевых задач и 37 базовых технологических функций. Документооборот во внутренней и внешней среде описывается 32 основными положениями, а также рядом актов и решений, которые принимаются в случае необходимости. Эти особенности определяют схему и размерность информационных потоков, при этом около 50% из них представляют собой элементы с обратной связью, т.е. осуществляется двусторонний обмен данными и информацией между участниками [2].

Отсутствие однозначных объективных критериев, методов их оценки, а также ряд субъективных факторов, зависящих от уровня осведомленности и возможности переработки информации человеком, не всегда принимающим наилучшие решения, определяет необходимость создания системы автоматизированного управления ВТБ, которая минимизировала бы это нега-

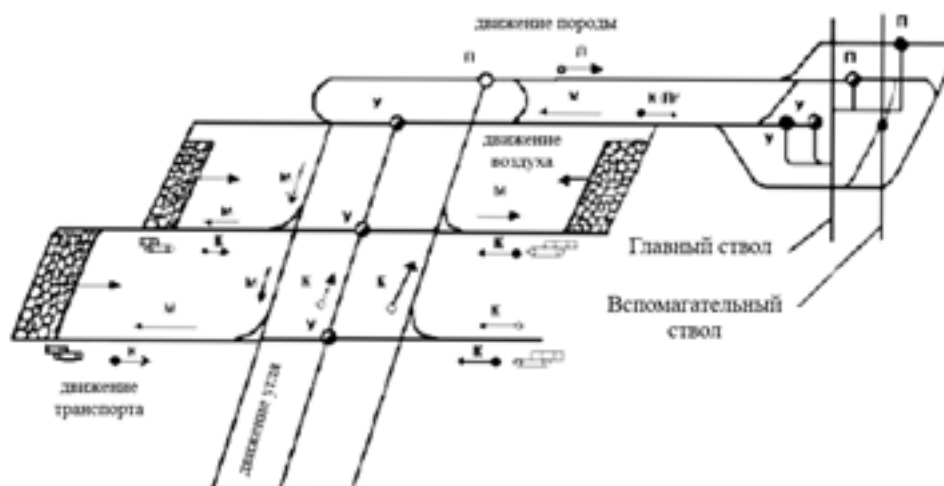


Рис. 1. Технологическая схема добычи угля и вентилирования шахты



Рис. 2. Типовая структура информационных потоков в процессе управления системой вентиляции шахты

тивное влияние в разрезе всего иерархического управленческого контура.

Опыт и практика свидетельствуют о том, что в качестве основы системы автоматизированного управления ВТБ, целесообразно использовать аппарат имитационного моделирования. Необходимость более детального изучения возможностей имитационной модели, ее ограничения и специфика построения определяют выбор темы данной статьи.

Значительный вклад в исследование вопросов развития информационного обеспечения системы управления предприятиями различных отраслей промышленности внесли такие ученые как: Городнов А. Г., Корнилов В. Ю., Федоров Е. Ю., Wang, Hехu; Xie, Fei; Li, Jing.

Обоснованию структуры имитационной модели решения задач управления основными производствен-

ными процессами угольной шахты посвятили свои труды Рыльников М. В., Власов А. В., Макеев М. А., Михайлов И. Д., Валеев А. Ф., Pang, Wenhua; Hou, Jinrui; Wu, Zenghai.

Однако, несмотря на имеющиеся труды и наработки, ряд проблемных вопросов требуют отдельного внимания и более углубленного анализа. В частности, задача установления новых зависимостей, учитывающих влияние вероятностных связей между контролируемыми параметрами работы угольной шахты путем использования процедуры имитационного численного моделирования требует более детального обоснования возможных вариантов решения.

Таким образом, цель статьи заключается в рассмотрении особенностей имитационного моделирования в горном деле на примере контроля за работой вентиляции угольной шахты.

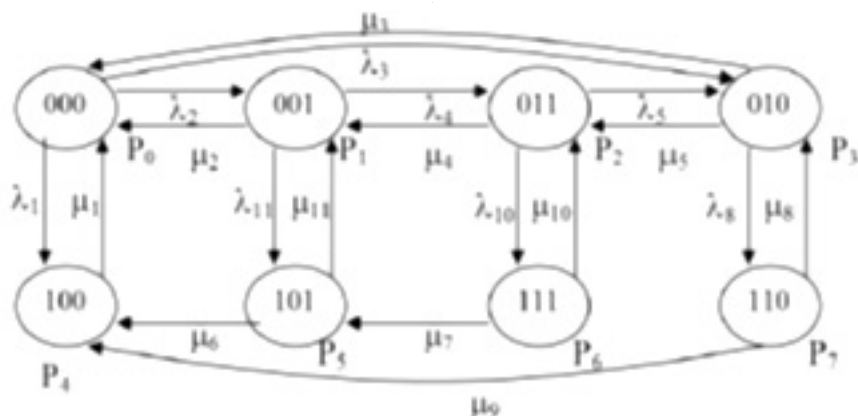


Рис. 3. Граф состояний информационных задач управления вентиляционной системой шахты

Контур функционирования системы вентиляции угольной шахты можно отразить в виде двухкомпонентной технологической схемы: одна часть отражает ключевые потоки работ непосредственно в выработке шахты, а вторая — информационные потоки, процедуры сбора, обработки и хранения данных с применением ЭВМ [3].

На основании анализа горно-геологических особенностей, технико-экономических показателей различных шахт автором выполнена классификация по характерным признакам технологических схем добычи угля и соответственно организации систем вентиляции. Основу классификации составили три группы процессов, отражающие особенности залегания пластов, систем вентиляции и систем разработки шахтных полей, схем и видов подземного транспорта угля и породы (рис. 1).

Система информационного обеспечения работы вентиляции шахты является иерархической, т.к. выполняются базовые правила иерархии: не предусмотрена прямая передача данных от исполнителей на низших уровнях в блок 1 и отсутствует подчиненность руководителя или исполнителя на одном функциональном уровне другому.

Анализ информационных потоков, обеспечивающих работу вентиляционной системы шахты, позволил определить три категории приоритетов для формирования соответствующих групп данных имитационной модели:

а) к первой группе относятся данные об экстренных ситуациях с главными и вспомогательными вентиляторами. В первую очередь это выход из строя оборудования, предельные значения загазованности, отказы в проточно-транспортной схеме и т.д. Для этой информации время обработки  $t_{обр} = 0$ ;

б) ко второй группе относится информация, используемая для настройки и коррекции режимов работы основного оборудования вентиляционной шахты. При этом время перенастройки  $t_{пер}$  определяется выражением:

$$t_{пер} = t_{обр} + t_{мех} + t_{оч}$$

где  $t_{обр}$  — время обработки информации первой группы данных;

$t_{мех}$  — время перестройки технологических механизмов работы вентиляционной шахты;

$t_{оч}$  — время ожидания до момента, когда будет пауза в технологическом процессе обслуживания вентиляционного оборудования.

в) третья группа — это данные, которые определяют информацию вспомогательных технологических процессов работы вентиляционного оборудования. Периоды их поступления в систему управления зависят от конкретных условий вспомогательных процессов, которые должны непрерывно отслеживаться в реальном масштабе времени [4].

Математическую модель контура поддержки заданной угловой скорости ветрового колеса вентиляционной установки шахты можно представить следующим образом:

$$\left\{ \begin{array}{l} \Delta\omega = \begin{cases} \omega(t) - \omega_{опт} | k_u \cdot u_{в.п.}(t), & \text{если } \frac{du_{в.п.}}{dt} < 0 \\ \omega(t) - \omega_{опт} | k_u \cdot u_{в.п.}(t), & \text{если } \frac{du_{в.п.}}{dt} > 0 \end{cases} \\ U_{завд}(t) = k_\omega \cdot \Delta\omega + \int_0^{2T} \Delta\omega dt \end{array} \right.$$

где  $\Delta\omega$  — разница между заданным и текущим значением угловой скорости;

$\omega_{opt}$  — значение оптимальной скорости вращения;

$\omega(t)$  — значение угловой скорости в текущий момент времени;

$k_u$  — коэффициент передачи по скорости вентиляционного воздушного потока;

$u_{в.п.}(t)$  — значение скорости вентиляционного воздушного потока в текущий момент времени;

$$\frac{du_{в.п.}}{dt}$$

производная от скользящего 2Т значения скорости вентиляционного воздушного потока;

$u_{зад}(t)$  — предельный уровень нагрузки оборудования вентиляционной системы в текущий момент времени;

$k_\omega$  — коэффициент передачи по угловой скорости вращения колеса;

$T$  — период вращения ветрового колеса.

Обозначив каждое состояние вентиляционной системы шахты трехразрядным двоичным кодом, получаем три бита информации, при этом каждый разряд этого кода означает входную информацию соответствующей группы. Следовательно, процесс обработки данных в системе управления описывается графом с восемью вершинами (рис. 3).

В каждый момент времени система находится только в одном состоянии, вероятность которого ( $P, i = \overline{1, 8}$ ) использована в качестве корректирующего коэффициента неравномерности работы вентиляционного оборудования шахты.

$$\begin{cases} P_0(\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3) = P_1\mu_2 + P_3\mu_3 + P_4\mu_1 \\ (\mu_2 + \lambda_4 + \lambda_{11}) = P_0\lambda_2 + P_5\mu_{11} + P_2\mu_4 \\ P_2(\lambda_5 + \mu_4 + \lambda_{10}) = P_1\lambda_4 + P_3\mu_5 + P_6\mu_{10} \\ P_3(\mu_3 + \mu_5 + \lambda_8) = P_0\lambda_3 + P_2\lambda_5 + P_7\mu_8 \\ P_4\mu_1 = P_0\lambda_1 + P_5\mu_6 + P_7\mu_9 \\ P_5(\mu_6 + \mu_{11}) = P_1\lambda_{11} + P_6\mu_7 \\ P_6(\mu_7 + \mu_{10}) = P_2\lambda_{10} \\ P_0 + P_1 + P_2 + P_3 + P_4 + P_5 + P_6 + P_7 = 1 \end{cases}$$

Полученные, в результате решения вышеприведенной системы уравнений, значения вероятностей можно использовать для оценки временных и количественных характеристик основных технологических процессов обеспечения работы вентиляционного оборудования.

Таким образом, в статье представлено описание имитационной модели управления контролируемыми параметрами работы системы вентиляции угольной шахты. Использование на практике этой модели позволит повысить эффективность контура оперативно-диспетчерского реагирования и мониторинга.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Филь О. В. Имитационное моделирование для развития платформы оператора линейной инфраструктуры // Автоматика, связь, информатика. 2020. № 8. С. 13–14.
2. Кузнецов И. С., Зиновьев В. В., Стародубов А. Н. Исследование влияния внеплановых простоев горных машин на добычу угля открыто-подземным способом методом имитационного моделирования // Уголь. 2020. № 9 (1134). С. 10–13.
3. Кузнецов И. С. Компьютерная система имитационного моделирования для оптимизации параметров экскаваторноавтомобильных комплексов // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2022. № 6. С. 304–316.
4. Исламов И. Я. Разработка имитационной модели с применением метода Монте-Карло // Инновации и инвестиции. 2021. № 11. С. 16–18.

© Саламова Марьяна Теймуразовна (salamova\_m\_t@mail.ru), Моураов Алан Георгиевич (mag-skgmi@yandex.ru).

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»