

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ В ГОРНОМ ДЕЛЕ**В. Л. Колюх, В. В. Зиновьев (Кемерово)**

Разнообразие условий залегания и добычи полезных ископаемых, высокая стоимость технологических и технических решений в горном деле делают целесообразным перебор вариантов ведения горных работ на персональном компьютере технолога. Имитационные эксперименты с моделью горных работ позволяют до реальных инвестиций в производство ответить на вопросы: какие изменения техники и технологии приведут к увеличению производительности? как согласовать работу участков технологической цепи? какое оборудование потребуется при переходе на другие участки добычи? какое расписание работы участков эффективнее? как продолжать работу при отказах оборудования?

В 1958 г. имитационное моделирование впервые было применено для планирования бурения, взрывания, погрузки и крепления в забоях угольной шахты [1]. В 60-х годах с помощью имитационного моделирования на языке Фортран стали решать задачи по анализу работы шахтной транспортной сети, процессов камерной выемки, взаимодействия самосвалов и экскаваторов на разрезе, работы рельсового транспорта на поверхности. Разработка модели из 50–70 тысяч команд требовала много времени и часто отставала от развития горных работ. С появлением специализированных языков приложения имитационного моделирования в горном деле стали расширяться [2]. Чаще всего модели горных работ разрабатывают на языке GPSS/H [3].

В 1996 г. Афинский национальный технический университет и университет Айдахо через Интернет провели Первый международный симпозиум по моделированию горных работ (MINESIM'96), на котором было представлено более 200 докладов [4]. В США, Австралии, Южной Африке, Чили, КНР и других странах организуются семинары для горных инженеров, стремящихся освоить методы компьютерной имитации горных работ; ведется обучение студентов [5].

В России с 60-х годов имитационным моделированием горных работ занимались Гипроруда, НИИКМА, ИПКОН, НИГРИ, ИГД СО АН СССР, ИГД Кольского НЦ АН СССР [6]. В 1988 г. на Всесоюзной конференции «Имитационное моделирование в горном деле», обсуждалось 30 работ, посвященных расчетам на компьютерах систем уравнений со случайными коэффициентами [7]. В них применялись несвойственные имитационному моделированию выражения «имитационный расчет», «расчет модели», «имитация как последовательность уравнений».

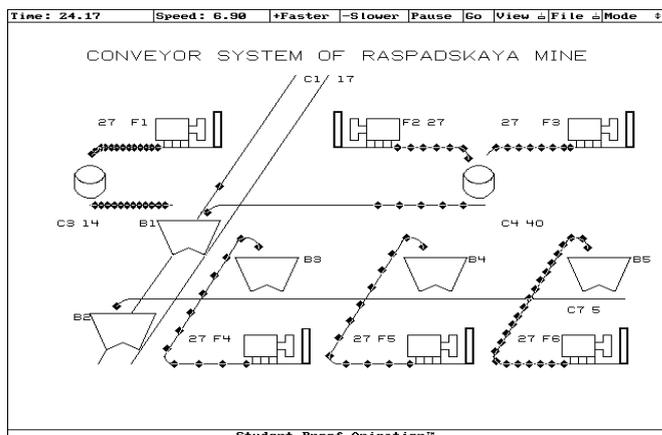
В настоящее время работы по имитационному моделированию горных работ в России практически не ведутся, несмотря на развитие возможностей персональных компьютеров, появление новых задач и методов имитационного моделирования.

Имитационным моделированием мы начали заниматься в 1989 г., с анализа возможных приложений роботов для добычи полезных ископаемых [8]. Имитация шахтных робототехнических систем сетями Петри позволила выбрать структуры роботизированных технологий горных работ и обосновать требования к шахтным роботам [9]. Стали появляться новые приложения имитационного моделирования, некоторые из которых описаны ниже.

Сеть конвейеров шахты «Распадская»

По заказу шахты имитировалась работа конвейерной сети при случайных грузопотоках из забоев с целью выбора промежуточных бункеров и приемной способности конвейеров по наклонному стволу (рис. 1). Кроме того, оценивались максимальные уровни заполнения бункеров, динамика заполнения бункеров при случайной остановке

конвейеров и допустимое время остановки конвейеров, выбирались скорости разгрузки распределенных вдоль конвейера бункеров и расписание работы забоев [10].



а)



б)

Рис. 1. Имитация работы транспортной сети шахты «Распадская»:

- а – компьютерное отображение движения угля;
- б – влияние промежуточных бункеров на загрузку конвейера по наклонному стволу

Диспетчеризация конвейерно-локомотивного транспорта шахты «Комсомолец»

По заказу шахты разработана имитационная модель работы транспорта, позволяющая в ускоренном времени прогнозировать последствия решений диспетчера (рис. 2). Имитацию ведут одновременно с работой транспорта. На мнемосхеме отображаются работа забоев, движение угля, количество угля в бункерах, движение поездов, состояние светофоров. Диспетчер направляет поезд под бункер, который будет заполнен раньше.

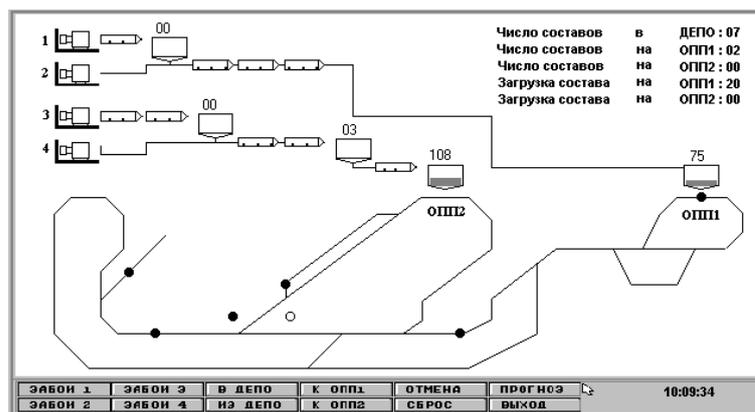
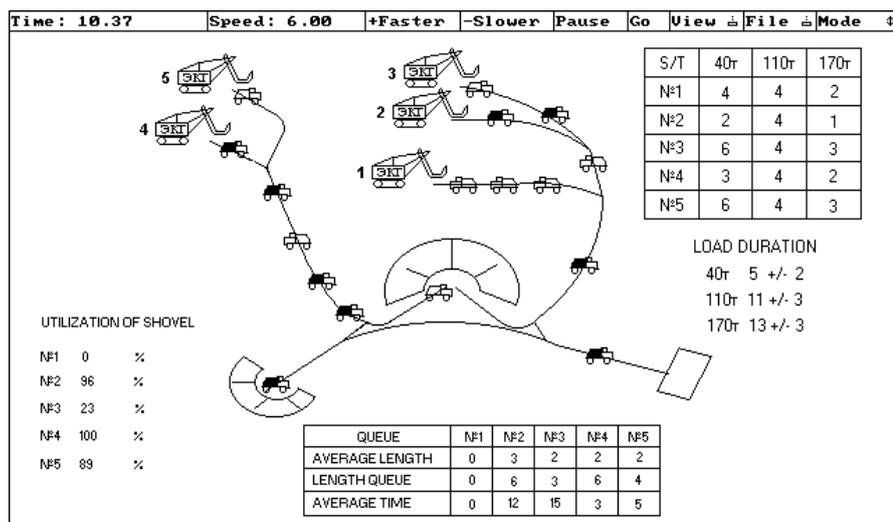


Рис. 2. Применение имитационного моделирования для диспетчеризации конвейерно-локомотивного транспорта шахты «Комсомолец»

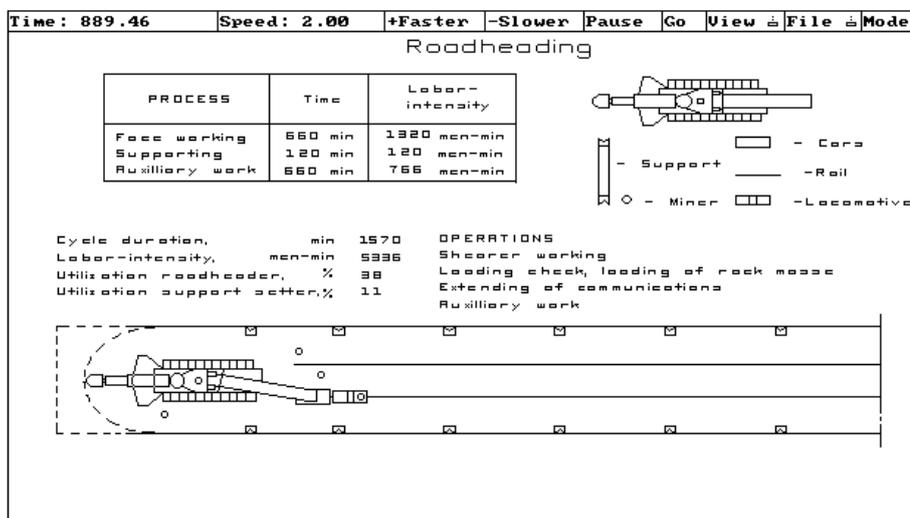
Взаимодействие экскаваторов и самосвалов на разрезе «Кедровский»

Оценивались использование экскаваторов и очереди самосвалов разной грузоподъемности в местах погрузки и разгрузки при случайных изменениях времени рейса и погрузки (рис. 3).



**Рис. 3. Взаимодействие экскаваторов и самосвалов на разрезе «Кедровский»
Технологии проведения выработок**

Имитировались технологии проходки комбайновым и буровзрывным способами (рис. 4). В экспериментах изменялись время технологических операций, длина выработки, емкость средств доставки. Оценивались время и трудоемкость проходческого цикла, степень использования горных машин.



**Рис. 4. Имитация проходки выработки комбайном избирательного действия
Многозабойная технология горных работ**

Одна или несколько самоходных машин работают по заказам из забоев. Оценивалось соотношение машин и забоев для работы без простоев (рис. 5).

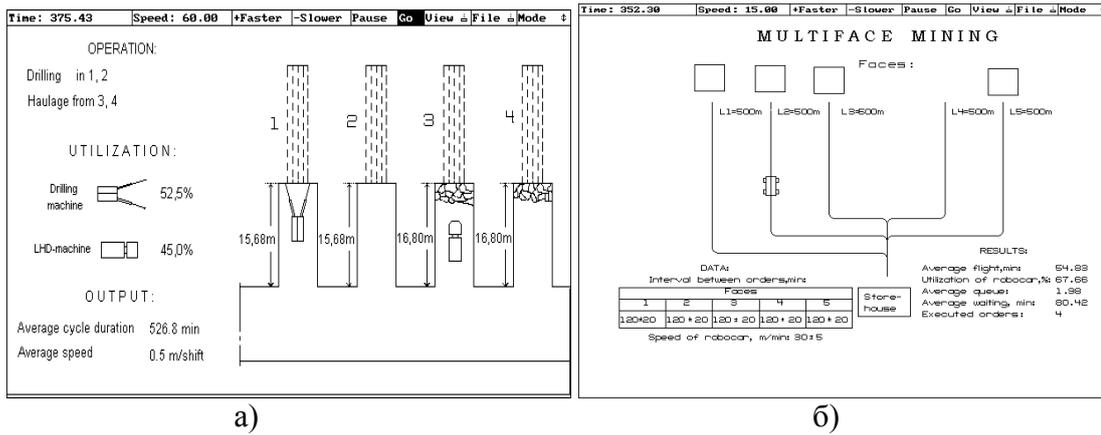


Рис. 5. Многозабойная технология горных работ:

а – проведение выработок; б – доставка материалов по заказам из забоев

Компоновка оборудования очистного забоя

Технолог вводит в компьютер условия выемки, типы и характеристики комбайна, крепи, конвейера, крепи сопряжения. В результате имитационного моделирования определяют производительность забоя для выбранного набора оборудования.

Группирование горнодобывающих предприятий по максимуму прогнозируемой прибыли

Имитируется работа групп шахт и разрезов за заданный период времени с учетом случайных затрат на добычу, ввода и выбытия производственных мощностей, колебаний цен на уголь (рис. 6). В результате моделирования формируют группу, работа которой обеспечит максимум прибыли.

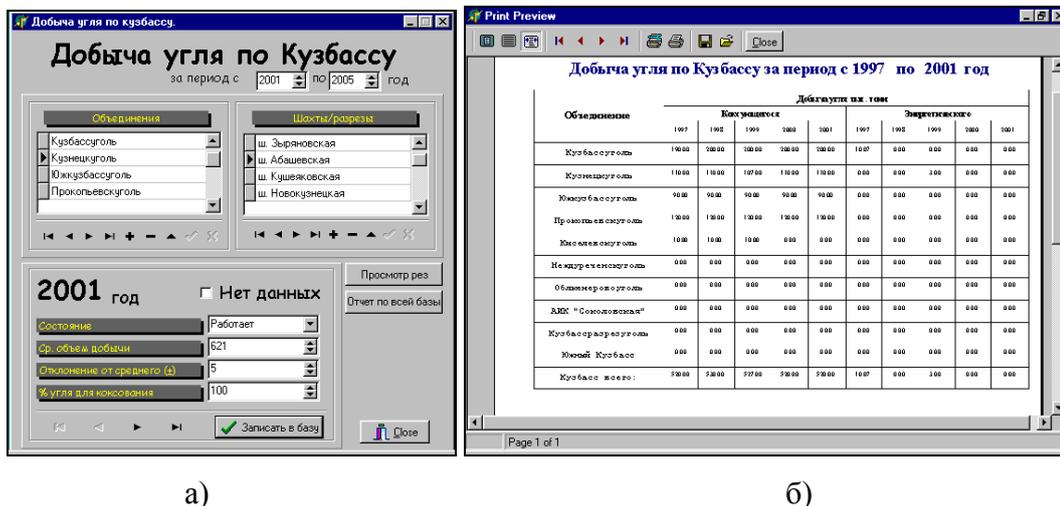


Рис. 6. Группирование шахт и разрезов:
а – ввод данных; б – результаты моделирования

При разработке имитационных моделей нами использовались специализированные языки GPSS/H®, Proof Animation®, имитатор сетей Петри NetStar 2.01 и универсальный язык. Обсуждение результатов и накопленный опыт позволили выделить три группы практических приложений имитационного моделирования в горном деле [11, 12]:

– проектирование горнодобывающих предприятий – сравнение вариантов взаимодействия горных машин, согласование работы элементов технологической цепи, оптимизация промежуточных емкостей и резервного оборудования, выбор стратегии развития горных работ;

– модернизация предприятия – выявление узких мест; определение загрузки оборудования, расписание работы участков, оценка эффективности инвестиций в развитие производства, ввод и замена оборудования, организация работы транспорта, влияние отказов на производительность;

– управление производством – отбор информации для управления, сопоставление вариантов управления, управление при прогнозе изменений рынка, выбор методов управления;

– взаимодействие предприятий – выбор вариантов размещения предприятий, группирование предприятий по прогнозируемой прибыли, управление группой предприятий в условиях рынка.

Работа выполнялась по гранту Научного Комитета НАТО (OUTR CRG № 960628 «Имитация и анимация процессов добычи угля в России») и проекту ФЦП «Интеграция» (У0043/995 «Подготовка кадров в области информационных технологий производства для Кузбасса»).

Литература

1. **Koenigsberg E.** Cyclic Queues//Operations Research Quart. – 1958. – Vol. 9, № 1. – P. 22–35.
2. **Sturgul, J.R.** Mine Design: Examples Using Simulation. – Soc. of Mining Engr. (USA): Littleton, 2000. – 232 p.
3. **Sturgul J.R.** Simulation languages for mining engineers//Mine Simulation. – 1997. – Rotterdam: Balkema. – 29 p. (incl. CD-ROM).
4. **Sturgul J.R., Panagiotou G.N., eds.** History of Simulation in Mining/1st Inter. Symp. on Mine Simulation via the Internet. – Balkema, Rotterdam, Holland. – Dec.1996.
5. **Panagiotou G.N. at al.** E-Learning and Mining Engineering Education//Proc. of the 11-th Int. Symp. on Mine Planning and Equipment Selection (MPES'2002). – Czech.Rep., Ostrava, 2002. – P. 493-498.
6. **Konyukh V., Galiev S., Li Z.** Mine Simulation in Asia//International Journal of Surface Mining, Reclamation and Environment. – 1999. – Vol. 13, № 2. – P. 57–67.
7. Имитационное моделирование в горном деле. Сб. тр. Всесоюзн. конф. /Институт горного дела Кольского НЦ АН СССР. – Апатиты, 1988.
8. **Конюх В.Л., Тайлаков О.В.** Предпроектный анализ шахтных робототехнических систем. – Новосибирск: Наука. Сиб. отд., 1991.–182 с.
9. **Konyukh V., Davidenko V.** Petri Nets as a tool for mine simulation//Mineral Resources Engineering. – 1999. – Vol. 8, № 4. – P. 361–371.
10. **Konyukh V., Davidenko V., Becker H., Koltzov S.** Computer simulation of mine-wide conveyor transport//Proc. of the 26-th International Symposium on Computer Applications in the Mineral Industries (APCOM-XXVI). – Pennsylvania State University (USA), 1996. – P. 457–461.
11. **Конюх В.Л.** Компьютерное моделирование динамики горных работ//Горный журнал. Изв. вузов. – 2002. – №6. – С. 16–24.
12. **Стургул Д., Конюх В.Л.** Компьютерная имитация горных работ//Горный вестник. – 1998. – № 1. – С. 77–81.