

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

УДК 622.232.8

В.Л.Конюх, П.В. Гречишкин

КОМПОНОВКА ОБОРУДОВАНИЯ ОЧИСТНОГО ЗАБОЯ МЕТОДОМ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

В практике работы горного инженера часто возникают задачи компоновки оборудования очистного забоя из имеющихся в его распоряжении очистных комбайнов, механизированных крепей и конвейеров. Задача заключается в подборе доступного по стоимости набор оборудования, который при полном использовании его технических возможностей обеспечит необходимый объём добычи угля.

На производительность влияют горно-геологические условия выемки, технические характеристики оборудования и варианты организации очистных работ. Предположим, что для пологого пласта средней мощности нужно оснастить забой, который должен выдавать 10-15 тыс./сут. Для этого из множества горных машин [1], представленных на рынке (табл. 1), нужно скомпоновать мехкомплекс.

Если по горно-геологическим условиям, производительности и цене подходят 3 комбайна, 10 крепей и 4 конвейера, то при 16 вариантах организации работ в забое придётся сравнить более 1900 вариантов технологических схем очистных работ. На выбор накла-

дываются дополнительные условия, такие как наличие работоспособного оборудования на складе предприятия и опыт его использования.

Известные методики оценки производительности очистного забоя основаны на трудоёмких статических расчётах с множеством коэффициентов. Для определения минимальной производительности забоя в [2] используют нормативы нагрузки. В методике [3] нагрузка определяется по производительности отдельных элементов комплекса. При этом, для нового оборудования, невозможно учесть влияние варианта организации работ на производительность. Из-за использования устаревших нормативов эти методики не позволяют определять производительность забоев, оборудованных современными комплексами. Их применение не позволяет вести перебор вариантов взаимодействия оборудования в динамике.

Цель работы - создать программное обеспечение, позволяющее горному инженеру сопоставлять показатели работы очистного забоя путем динамического моделирования вариан-

тов работы оборудования.

Метод динамического моделирования заключается в том, что разрабатывают модели функционирования отдельных единиц оборудования, объединяют их в модель работы очистного забоя и после проверки соответствия её реальной системе вводят в компьютер. Затем с компьютерной моделью системы проводят имитационные эксперименты типа «что, если...?». Такой подход позволяет сопоставлять на компьютере различные варианты работы очистного забоя с целью выбора рациональной компоновки и организации работ [4].

Компьютерную имитацию поведения систем ведут с помощью метода Монте-Карло, специализированных языков имитационного моделирования или проблемно-ориентированных имитаторов [5]. Для анализа вариантов работы очистного забоя нами применено имитационное моделирование на проблемно-ориентированном имитаторе [6].

Методика должна удовлетворять требованиям:

- каждая машина выбирается из встроеного каталога горного оборудования;
- работа отдельной машины отображается имитационной моделью с постоянной структурой и изменяемыми параметрами;
- работа очистного забоя отображается имитационной моделью, составленной из имитационных моделей работы машин, выбранных горным инженером;
- варианты компоновки

Таблица 1
Количество типов очистного оборудования для пологих пластов

Вид горной машины	Количество типов для пластов пологого залегания, шт.		
	Мощность пласта		
	Тонкий	Средней мощности	Мощный
Очистной комбайн	4	18	13
Механизированная крепь	28	53	17
Конвейер	35		

оборудования сопоставляют по общему критерию;

- имитационные эксперименты могут проводиться не только с целью компоновки оборудования, но и для выявления взаимосвязей технологических параметров выемки;

- работа с программным продуктом должна быть ориентирована на непрограммирующего горного инженера.

Очистной механизированный комплекс состоит из очистного комбайна, лавного конвейера, механизированной крепи и крепи сопряжения лавы со штреками. Работы единицы оборудования имитируется временной сетью Петри. Так, работа очистного комбайна отображается перемещением т.н. маркеров через переходы сети $t \in T$ с задержками в позициях $p \in P$ на время выполнения техно-

логической операции (рис.1) [7].

Дискретные процессы имитируются на компьютере проще непрерывных [8], поэтому непрерывное движение комбайна вдоль лавы представлено как прохождение комбайном одинаковых отрезков пути. Число маркеров в позиции P1 равно числу отрезков пути. Из позиции P1 маркеры поочередно попадают в позицию P2, где задерживаются на время прохождения отрезка пути, а затем переходят в позицию P4 и накапливаются в позиции P3. Количество маркеров, накопленных в позиции P3, показывает положение комбайна в забое.

Последовательность операций при работе единицы оборудования отображается последовательностью перемещения маркеров по сети, а ее технические характеристики - временем

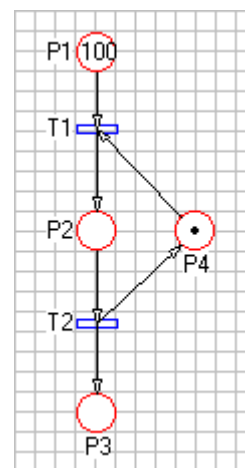


Рис. 1. Модель работы комбайна в виде сети Петри

задержки маркеров в позициях сети. Для имитации работы других элементов оборудования разработаны модели передвижка крепи сопряжения, секций забойной крепи и конвейера (рис. 2).

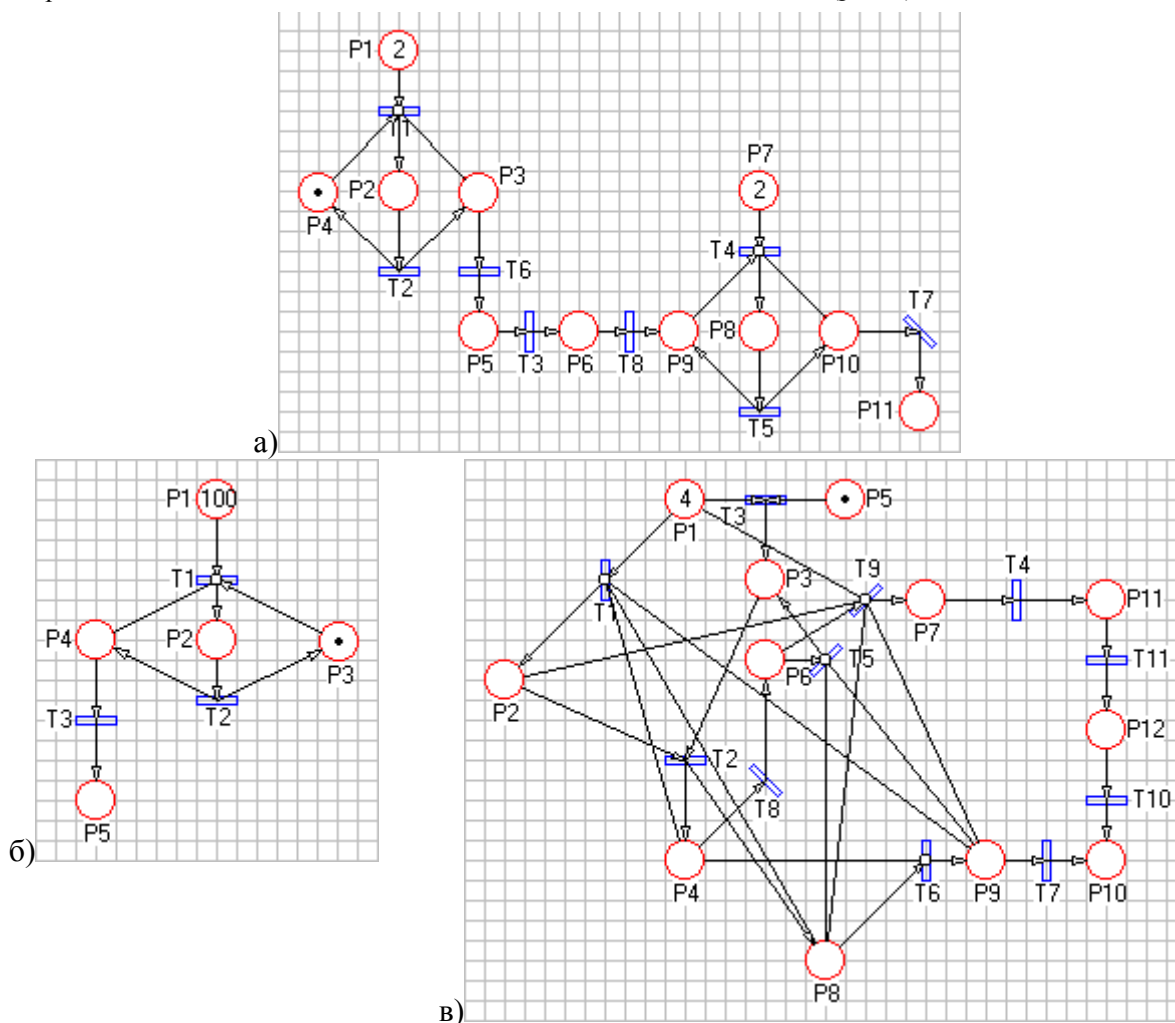


Рис.2. Модули сети Петри: а – «Передвижка крепи сопряжения»; б – «Передвижка линейных секций крепи»; в – «Передвижка конвейера»

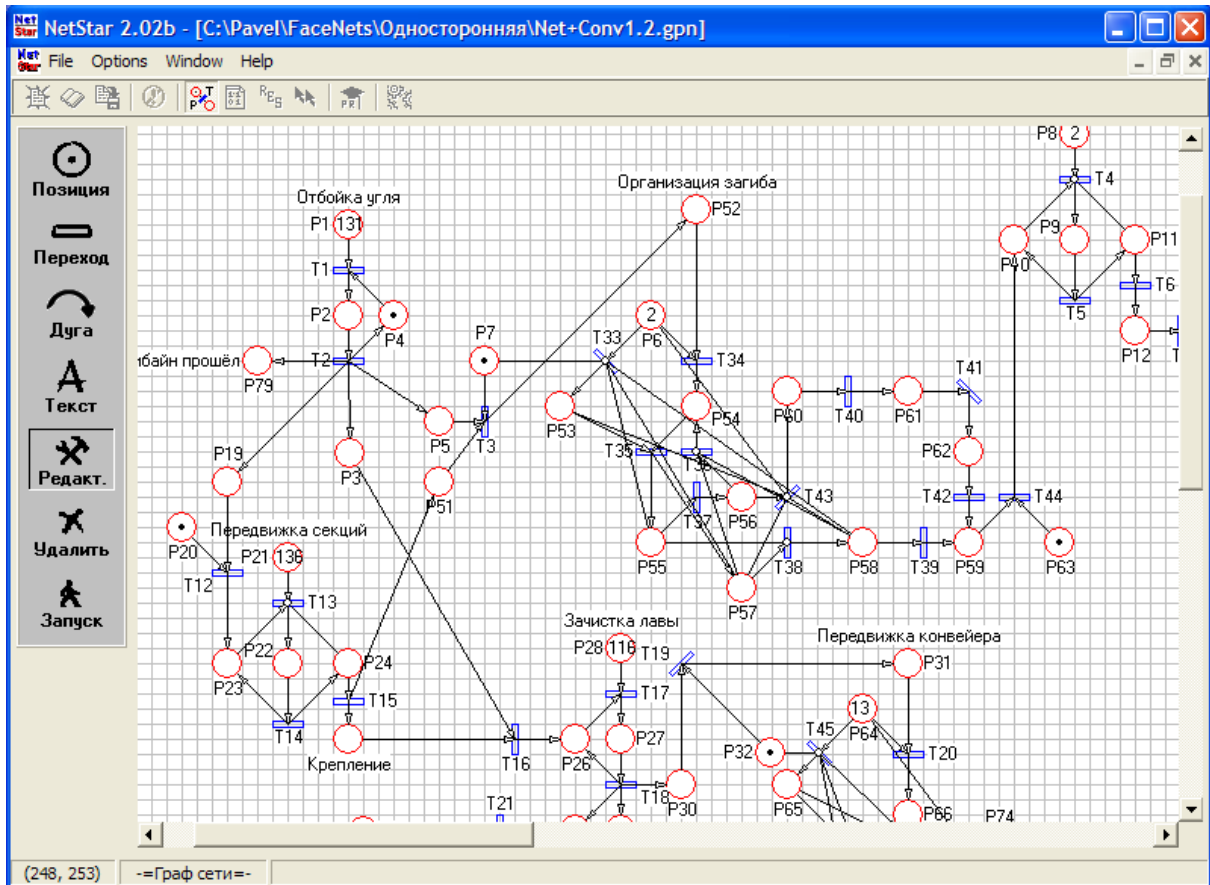


Рис. 3. Отображение технологии выемки с односторонней работой комбайна в имитаторе NetStar

Передвижка крепи сопряжения (рис. 2, а) включает операции передвижки переходных и штрековых секций. Число маркеров в позициях P1 и P7 соответствует числу переходных и штрековых секций крепи сопряжения. Затем маркеры задерживаются в позициях P2 и P8 на время передвижки секций. Задержки маркеров в позициях P3, P6, P10 отображают перемещение горнорабочего между пультами управления гидрораспределителями. По окончании крепления на сопряжении лавы со штреками маркеры из P7 попадают в P11.

Передвижка линейных секций крепи (рис. 2, б) отображена поочередным перемещением маркеров из позиции P1 в позицию P2. В ней маркер задерживается на время передвижки секции, а затем переходит в позицию P4, отображающую перемещение машиниста крепи между секциями. Число маркеров равно числу секций крепи, а

число маркеров, находящихся в позиции P5, соответствует числу передвинутых секций.

Процесс передвижки конвейера отображен сетью Петри на рис. 2, в. Число маркеров в позиции P1 соответствует числу участков, на которые разделен конвейер. Передвижкой

забойного конвейера управляют двое горнорабочих. Первый из них переключает гидрораспределитель в положение «Передвижка», а второй – в положение «Слив» (задержки маркеров в позициях P2 и P3 соответственно). После этого первый участок конвейера при-

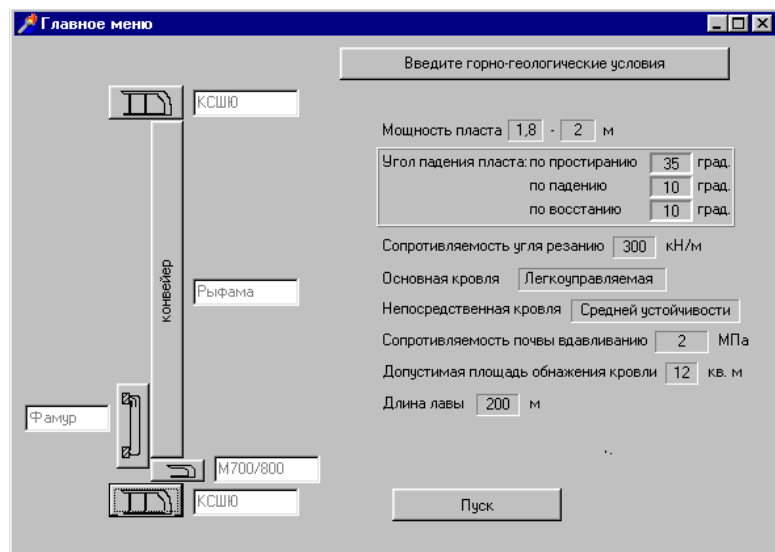


Рис. 4. Интерфейс горного инженера

двигается к забою (отображается задержкой в позиции Р4). Затем первый рабочий возвращается к началу участка (задержка в Р8) и по окончании передвижки переключает гидрораспределители в нейтральное положение (задержка в Р9). Затем он устанавливает гидрораспределители второго участка в положение «На передвижку» (из Р6 маркер попадает в Р3). В это время второй горнорабочий приступает к установке гидрораспределителей третьего участка в положение «На слив», и т.д. Передвижка последнего участка в ставе отображается последовательностью Р7-Т4-Р11-Т11-Р12-Т10.

Взаимодействие оборудования в очистном забое имитируется путем соединения модулей. Структура скомпонованной имитационной модели определяется выбором схемы организации работ в забое.

Адекватность разработанной модели объекту моделирования (валидация) оценивалась путем сопоставления аналитических расчетов и результатов имитационных экспериментов [7]. Сначала проверялись модули. Расчётное время технологических процессов в лаве сравнивалось с результатами имитации. Затем рассчитывалось время цикла с учётом последовательности работы комбайна, передвижки конвейера, крепления лавы и сопряжений.

Вследствие представления непрерывного движения ком-

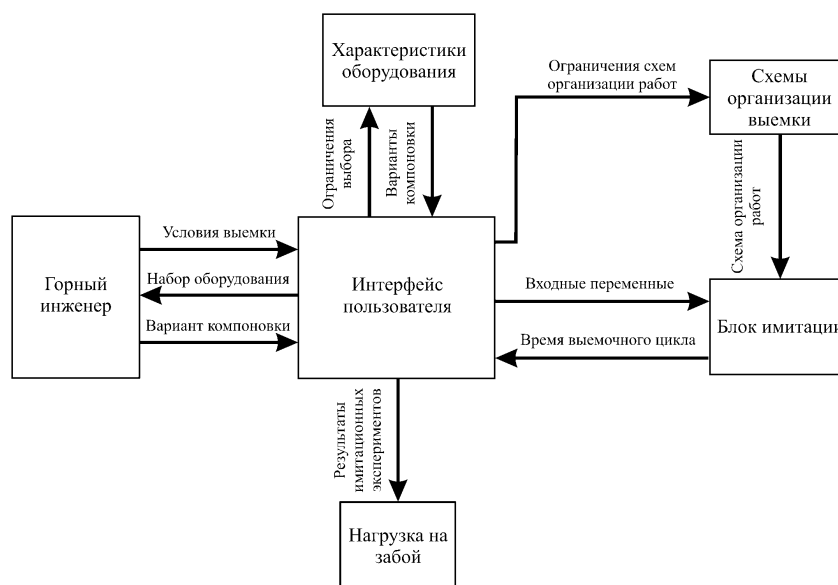


Рис. 5. Структура программного продукта

байна в виде прохождения отрезков пути возникает погрешность. При изменении длины лавы от 60 до 290,5 м, шага установки секций от 1,5 до 2 м и длины комбайна от 4 до 8 м максимальное расхождение результатов при односторонней схеме работы комбайна составило 0,98%. Результаты валидации модели позволили перейти к проведению имитационных экспериментов. Для ввода сети Петри в компьютер и проведения имитационных экспериментов применен проблемно-ориентированный имитатор NetStar 2.02 (рис.3) [8].

Работа с программным продуктом не должна требовать от горного инженера знания теории сетей Петри и навыков программирования. Поэтому был

разработан интерфейс непрограммирующего пользователя, соединенный с имитатором (рис. 4). Работа с ним должна обеспечивать:

- ввод конкретных горно-геологических условий выемки;
- выбор и ввод типов машин из встроенного каталога горного оборудования непосредственно на мнемосхеме очистного забоя;
- ввод в модель технических характеристик горных машин выбранных на мнемосхеме очистного забоя;
- автоматический выбор моделей организации работ из библиотеки;
- запуск имитационного моделирования по команде инженера;
- отображение результатов

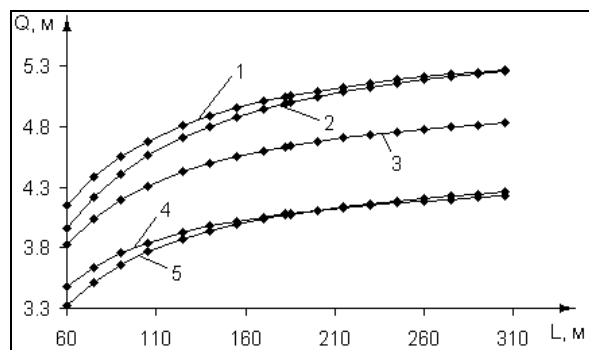


Рис. 6. Влияние скоростей крепления V_k и подачи V_n на производительность Q очистного забоя длиной L при $V_n = 1,3V_{n \text{ ном.}}$ (1); $V_n = 0,8V_{n \text{ ном.}}$ (5); $V_{kr} = 1,3V_{kr \text{ ном.}}$ (2); $V_{kr} = V_{kr \text{ ном.}}$ (3); $V_{kr} = 0,8V_{kr \text{ ном.}}$ (4)

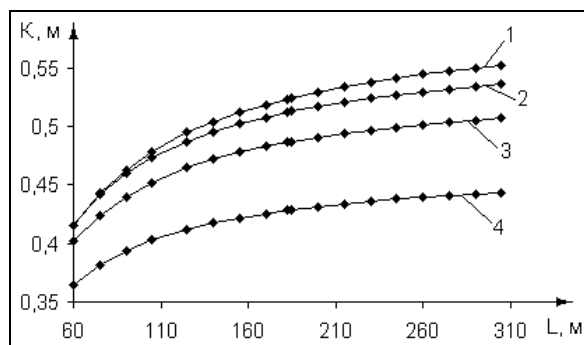


Рис. 7. Влияние скорости крепления на коэффициент K использования комбайна в лаве длиной L при $V_{kr} = 1,3V_{kr \text{ ном.}}$ (1); $V_{kr} = 1,1V_{kr \text{ ном.}}$ (2); $V_{kr} = V_{kr \text{ ном.}}$ (3); $V_{kr} = 0,8V_{kr \text{ ном.}}$ (4)

имитационных экспериментов в виде технологических показателей работы очистного забоя;

- возможность применения программного продукта для выявления взаимосвязей характеристик выемки.

Структура разработанного программного продукта показана на рис. 5. После ввода мощности пласта, углов падения пласта (в том числе, локальных углов по падению и простиранию), сопротивляемости резанию, характеристик кровли и почвы, допустимой площади обнажения кровли и длины лавы формируются ограничения выбора для базы данных. Горному инженеру представляется пригодное по горно-геологическим условиям оборудование.

После нажатия кнопки «Пуск» ведется имитация выемки с разными видами организации работ. Время движения маркеров через позиции сети Петри преобразуется в производительность очистного забоя и выводится на экран. После этого можно ввести другие типы машин и найти производительность забоя при разных схемах организации работ.

Входными переменными являются (рис. 5): число линейных, переходных и штрековых секций крепи, число отрезков пути по длине лавы, число участков конвейера, скорость подачи, время передвижки секций крепи и участков конвейера, время самозарубки комбайна. В качестве выходной величины принято время цикла выемки.

Разработанный программный продукт может быть применен для выявления взаимосвязей показателей выемки. В имитационных экспериментах изменялись длина лавы, скорость крепления ($V_{кр.}$) и скорость подачи комбайна (V_n) при односторонней работе комбайна. Оценивалось их влияние на производительность забоя и коэффициент использования комбайна. Установлено, что в лаве длиной менее 200 м производительность определяется скоростью крепления, а при большей длине лавы произво-

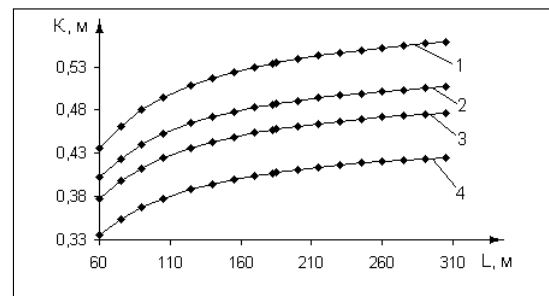


Рис. 8. Влияние скорости подачи комбайна на коэффициент его использования K при длине лавы L при $V_n = 0,8 V_{n \text{ ном.}}$ (1); $V_n = V_{n \text{ ном.}}$ (2); $V_n = 1,1 V_{n \text{ ном.}}$ (3); $V_n = 1,3 V_{n \text{ ном.}}$ (4)

дительность определяется скоростью подачи комбайна (рис. 6). При увеличении скорости крепления на 60% производительность и коэффициент использования комбайна возрастают на 15,9% (рис. 6, 7).

При повышении скорости подачи комбайна на 60% производительность очистного забоя в среднем возрастает на 19,5% (рис. 6), а коэффициент использования комбайна уменьшается на 31% (рис. 8).

Разработанный программный продукт предназначен для горных инженеров и проектировщиков, стремящихся повысить эффективность подземной добычи угля.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Оборудование для угледобывающих предприятий – 2003. Специализированный каталог. Кемерово: Огни Кузбасса. 2003. 104 с.
2. Нагрузки на очистные забои действующих угольных шахт при различных горно-геологических условиях и средствах механизации выемки/Науч.рук. С.А.Кариман. –ИГД им. А.А.Скочинского, 1996. 48 с.
3. Прогрессивные технологические схемы разработки пластов на угольных шахтах / Науч. рук. А.С. Кузьмич. – Люберцы: ИГД им. А.А. Скочинского, 1979. ч. 2. 247 с.
4. Конюх В.Л. Компьютерное моделирование динамики горных работ // Горный журнал. Изв. вузов, 2002, №6, с. 39-42.
5. Konyukh V., Davidenko V. Petri Nets as a Tool for Mine Simulation // Mineral Resources Engineering, 1999, Vol.8, № 4. pp. 361-371.
6. Konyukh V., Galijev S., Li Z. Mine Simulation in Asia // International Journal of Surface Mining, Reclamation and Environment, 1999, Vol.13, № 2, pp. 57-67.
7. Banks J., Carson J., Nelson B., Nicol D. Discrete-Event System Simulation. New Jersey: Prentice Hall, 2000. 3-d Edition. p. 639.
8. Konyukh V. Science and education in computer automation: the first results of the joint work // Proc. of the International Carpathian Control Conference (ICCC'2003), Koshice, May 2003. pp. 168-173.

□ Авторы статьи:

Конюх
Владимир Леонидович
- докт.техн.наук, проф.
каф.информационных и автоматизи-
рованных производственных систем,
электропривода и автоматизации

Гречишкин
Павел Владимирович
- аспирант Института угля и углехи-
мии СО РАН