

рии, по которым будут выбираться родительские структуры АПС для генерации новой структуры АПС,

Mut – оператор мутации, который определяет признаки по которым будет производится мутация выбранной структуры АПС,

Crossover – оператор скрещивания, определяющий признаки, которые будут наследовать сгенерированная структура АПС от родительской.

Следует отметить, что применение указанного

эволюционного алгоритма к автоматизированным производственным системам требует уточнения значений операторов и переменных алгоритма. Такое уточнение позволяет более эффективно проводить оптимизацию структур АПС. Предлагаемый алгоритм и комплекс программ оптимизации структур автоматизированных производств позволяют решить основную проблему в задачах оптимизации – поиск глобального оптимума вместо локального.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Полетаев В. А. Проектирование компьютерно-интегрированных производственных систем / Полетаев В. А., Зиновьев В. В., Стародубов А. Н., Чичерин И.В. – М.: Машиностроение, 2011.
2. Проектирование автоматизированных участков и цехов / под ред. Ю. М. Соломенцева. – М.: Выш. шк., 2000.
3. Kwang Y. Lee and Mohamed A El-Sharkawi. Modern Heuristic Optimization Techniques. Theory and applications to power systems. 2008 by the Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc.

□ Авторы статьи:

Полетаев  
Вадим Алексеевич,  
докт. техн. наук, зав. каф.  
информационных и автома-  
тизированных произ-  
водственных систем Куз-  
ГТУ.  
E-mail: pva@kuzstu.ru

Цигельников  
Алексей Иванович,  
аспирант каф. информаци-  
онных и автоматизирован-  
ных производственных  
систем КузГТУ.  
Тел. 8-3842-39-69-44.

Зиновьев  
Василий Валентинович,  
канд. техн. наук, доцент  
каф. информационных и  
автоматизированных  
производственных систем  
КузГТУ.  
E-mail: z\_v\_v@pambler.ru

Стародубов  
Алексей Николаевич,  
канд. техн. наук, доцент  
каф. информационных и  
автоматизированных  
производственных систем  
КузГТУ. E-mail:  
staraleksei@rambler.ru

**УДК 519.876.5**

**В. А. Полетаев, М. Ю. Дорофеев, А. Н. Стародубов**

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЦИОНАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ ЭНЕРГОТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА ПО ГЛУБОКОЙ ПЕРЕРАБОТКЕ УГЛЯ

В настоящее время в Кемеровском научном центре СО РАН для Кузбасского технопарка разрабатывается проект энерготехнологического комплекса (ЭТК) по переработке кузнецких энергетических углей в среднетемпературный кокс (полукокс) с получением электрической и тепловой энергии. Производительность проектируемого ЭТК составляет 250 тыс. тон полукокса в год. Данный проект не имеет аналогов, поэтому получение точных численных характеристик ЭТК сопряжено с рядом трудностей. Некоторые расчеты проекта производились с учетом ряда допущений и упрощений, а также на основе экспертных оценок. Такой подход неминуемо приводит к снижению точности расчетов и отклонению от реальных характеристик.

Для решения задач исследования, проектирования и управления в новых сложных производственных системах эффективно используют среды имитационного моделирования, которые позволяют [1]:

- значительно упростить и ускорить процесс

имитационного моделирования;

- строить модели без сложного аналитического описания динамики системы;
- «продвигать» модельное время от события к событию;
- генерировать случайные числа и работать со случайными переменными, распределенными по различным законам;
- автоматически накапливать необходимые данные;
- осуществлять статистическую обработку выходных данных, управлять экспериментом, оптимизировать поведение системы, сравнивать ее различные альтернативные варианты;
- упростить процесс визуализации работы системы в соответствии с имитационной моделью.

На основе опыта применения различных программных средств моделирования для отображения процессов в горном деле и машиностроении [2, 3], разработана имитационная модель транспортно-складской системы ЭТК. Модель ориентирована на решение задач выявления внутрисис-

Таблица 1

| Число пар газификаторов | Загрузка МУЗ, % | Загрузка газификаторов, % |
|-------------------------|-----------------|---------------------------|
| 20                      | 19,22           | 98,04                     |
| 30                      | 29,58           | 97,99                     |
| 40                      | 39,97           | 97,92                     |
| 50                      | 51,07           | 97,84                     |
| 60                      | 62,15           | 97,74                     |
| 70                      | 73,58           | 97,76                     |
| <b>80</b>               | <b>84,8</b>     | <b>97,62</b>              |
| <b>90</b>               | <b>95,99</b>    | <b>97,25</b>              |
| <b>100</b>              | <b>96,45</b>    | <b>86,75</b>              |
| 110                     | 96,46           | 77,33                     |
| 120                     | 96,48           | 70                        |
| 130                     | 96,41           | 63,79                     |
| 140                     | 96,44           | 58,77                     |
| 150                     | 96,36           | 54,66                     |
| 160                     | 96,39           | 50,55                     |
| 170                     | 96,45           | 47,25                     |
| 180                     | 96,51           | 44,22                     |
| 190                     | 96,39           | 41,71                     |
| 200                     | 96,43           | 39,04                     |

темных резервов и внесения предложений по повышению эффективности современного углеперерабатывающего производства.

Концептуальная модель транспортно-складской системы ЭТК разработана на основе математического аппарата теории массового обслуживания (СМО).

Требованиями в СМО являются дискретные объемы угля и заявки на загрузку соответствующего газификатора.

В модели множество технологических параметров разбито на пересекающиеся подмножества, каждое из которых сведено ко времени обслуживания требования в СМО.

Продолжительность технологических процессов отображается вводом случайных временных задержек в приборы СМО, имитирующие оборудование ЭТК.

Для программной реализации концептуальной модели и исследования процессов в транспортно-складской системе ЭТК выбрана среда имитационного моделирования Extend 6.0® (ImagineThat, Inc., США). Это современное программное обеспечение позволяет строить непрерывные, дискретные и смешанные, статические и динамические, детерминированные и стохастические модели, а так же реализовать структурный подход для их построения.

Принцип работы Extend-модели основан на концепции движения динамических элементов (транзактов) через блоки. Блоки – программы, написанные на универсальных языках программирования. Транзакты, попадая в блоки, запускают

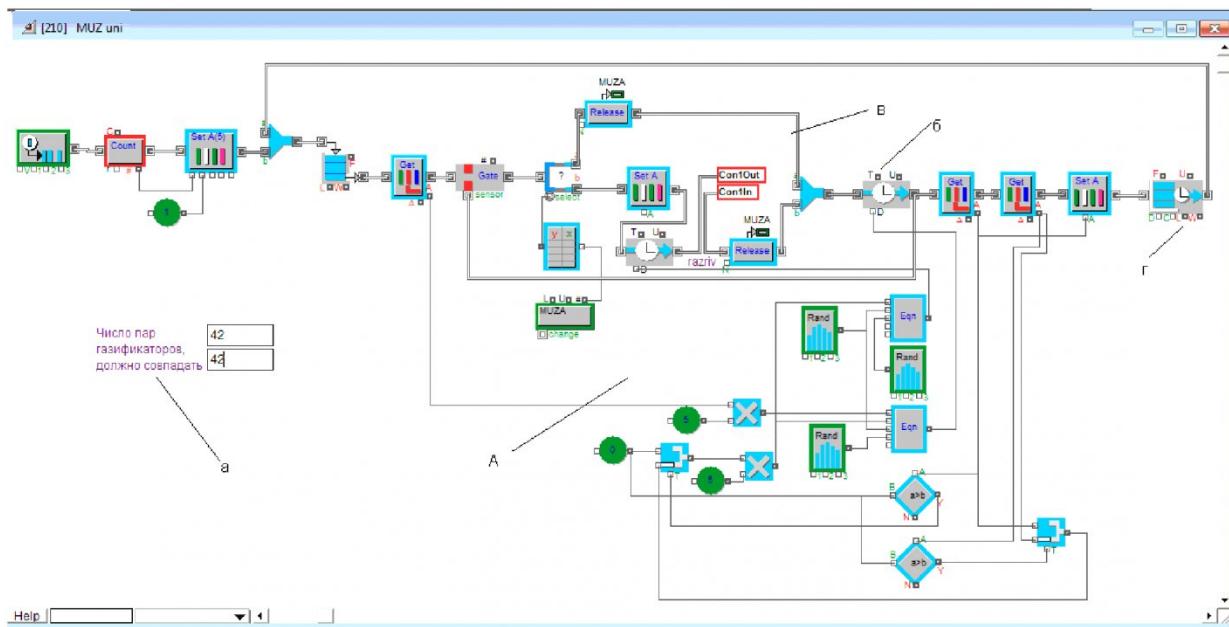
Таблица 2

| Число пар газификаторов | Загрузка МУЗ, % | Загрузка газификаторов, % |
|-------------------------|-----------------|---------------------------|
| 80                      | 87,46           | 97,5                      |
| 82                      | 90,26           | 97,57                     |
| 84                      | 92,4            | 97,5                      |
| 86                      | 95,09           | 97,57                     |
| 88                      | 97,74           | 97,44                     |
| <b>90</b>               | <b>99,60</b>    | <b>97,18</b>              |
| 92                      | 99,96           | 95,02                     |
| 94                      | 99,96           | 92,10                     |
| 96                      | 99,96           | 90,02                     |
| 98                      | 99,96           | 87,37                     |
| 100                     | 99,97           | 85,42                     |

соответствующие программы, отображая, таким образом, процессы в реальной системе. Блоки могут быть как простыми, так и иерархичными. Иерархичный блок представляет собой взаимосвязь иерархичных и обычных блоков. Число уровней вложенности объектов структуры – произвольно, что позволяет отражать в моделях структурную и поведенческую иерархию сложных систем.

На основе концептуальной модели, технологические процессы в транспортно-складской системе ЭТК интерпретированы в терминах среды Extend 6.0®. Транзактами отображены дискретные объемы угля и заявки на загрузку газификаторов, блоками – приборы обслуживания (машиныугле-загрузочные (МУЗ), газификаторы), обрабатывающие эти заявки. Для отображения работы ЭТК были созданы иерархические блоки Sklad, Muzuni. Блок Muzuni (рис. 1) имитирует работу углезагрузочной машины и газификаторов, состоит из блоков: (а) запуска газификаторов, (б) загрузки газификаторов, (в) загрузки МУЗ, (г) газификаторов и (д) математической части, отвечающей за скорость перемещения и времени загрузки МУЗ, координат газификаторов и время газификации в каждом из газификаторов. Процесс прибытия и разгрузки железнодорожных составов, а также дробление и сортировка исходного угля имитирует блок Sklad.

Вышеописанные блоки, объединяясь друг с другом и прочими базовыми блоками структурно-логическими связями, образуют имитационную модель транспортно-складской системы ЭТК.



*Рис. 1. Структура блока MUZuni*

Одним из примеров работы модели ЭТК является серия экспериментов по выявлению максимального количества газификаторов, которые сможет обслужить одна МУЗ без потери производительности. В результате серии экспериментов (табл. 1) выявлено, что при количестве газификаторов от 80 до 100 загрузка МУЗ достигает максимума, при этом загрузка газификаторов снижается. Были проведены уточняющие эксперименты, с увеличенным временем имитации до 100000 часов (табл. 2).

Таким образом, одна МУЗ способна без потери производительности обслужить до 90 газификаторов, или 45 пар при этом загрузка МУЗ составит 99,6 %, а газификаторов 97,18 %.

Разработанная модель на основе проведения имитационных экспериментов позволяет определять различные технологические параметры ЭТК.

На данный момент получено свидетельство о государственной регистрации на имитационную модель ЭТК, проводятся работы по совершенствованию и дополнению имитационной модели.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кельтон, В. Имитационное моделирование. Классика CS.: книга / Кельтон, В., Лоу, А. – 3-е изд. – СПб.: Питер; Киев: Издательская группа BHV, 2004. – 847 с.
  2. Зиновьев, В. В., Гречишkin, П. В. Практическое применение программных средств имитационного моделирования // Сб. докладов III Всероссийск. науч.-практич. конф. Имитационное моделирование. Теория и практика (ИММОД-2007). – Санкт-Петербург, 2007. – С. 78-82.
  3. Зиновьев, В. В. Моделирование автоматизированных производственных систем с помощью имитационного подхода / В. В. Зиновьев, А. Н. Стародубов // Математические методы в технике и технологиях – ММТТ-20 // Сб. трудов XX Междунар. науч. конф. В 10 т. Т. 4. / под общ. ред. В. С. Балакириева. – Ярославль: Яросл. гос. техн. ун-та, 2007. – С. 145-148.
  4. Степанов, С. Г. Экологически чистая энерготехнологическая переработка кузнецких углей / С. Г. Степанов [и др.] // Топливно-энергетический комплекс и ресурсы Кузбасса, 2007. – № 6.

Авторы статьи:

Полетаев  
Вадим Алексеевич,  
докт. техн. наук, зав. каф. информа-  
ционных и автоматизированных  
производственных систем КузГТУ.  
E-mail: pva@kuzstu.ru

Дорофеев  
Михаил Юрьевич,  
аспирант каф. информационных и  
автоматизированных производст-  
венных систем КузГТУ.  
Тел. 8-3842-39-69-44.

Стародубов  
Алексей Николаевич,  
канд. техн. наук, доцент каф. информационных и автоматизированных производственных систем КузГТУ.  
Тел. 8-3842-36-47-21.  
E-mail: staraleksei@rambler.ru