

УДК 004

## КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

ЗАЯЦ А.В., студент, ЗАЯЦ Т.А., старший преподаватель

Гомельский государственный университет им. Ф. Скорины, г. Гомель,  
Республика Беларусь

Ключевые слова: компьютерное моделирование, имитационная модель, GPSS World, эксперимент, процедура ANOVA.

Реферат: имитационное компьютерное моделирование состоит в исследовании системы с помощью компьютерных (вычислительных) экспериментов на имитационной модели. Этот метод наиболее эффективен для исследования сложных систем, на функционирование которых оказывает существенное влияние случайные факторы. Многообразие систем имитационного моделирования (сейчас их известно более 500) вызвано применением имитационного моделирования в различных предметных областях, ориентацией на различные типы систем (дискретные или непрерывные), использованием различных типов компьютеров и способов имитации.

Компьютерное моделирование – один из самых мощных инструментов анализа и проектирования, которым располагают специалисты, ответственные за разработку и функционирование сложных технологий и производств. Компьютерное моделирование дает возможность экспериментировать с объектами в тех случаях, когда делать это на реальном объекте практически невозможно или нецелесообразно. Сущность методологии компьютерного моделирования состоит в замене исходного технологического объекта его «образом» – математической моделью – и в дальнейшем изучении модели с помощью реализуемых на компьютерах вычислительно-логических алгоритмов.

Имитационная модель может быть построена и реализована на алгоритмических языках высокого уровня и специальных языках моделирования. Применение универсальных языков программирования при реализации имитационных моделей позволяет исследователю достигнуть гибкости при разработке, отладке и испытании модели. Однако специализированные языки моделирования, ориентированные на определённую предметную область, являются языками более высокого уровня, поэтому дают возможность с меньшими затратами создавать программы моделей для исследования сложных систем. Специализированные языки моделирования делят на три группы, соответствующие видам имитации: для непрерывных, дискретных и комбинированных процессов [1].

Для моделирования дискретных систем широкое распространение получил пакет моделирования дискретных систем (ПМДС) GPSS World (General Purpose Simulation System – общецелевая система моделирования), разработанный компанией Minuteman (США).

GPSS World имеет стандартный оконный интерфейс и средства для реализации всех этапов имитационного моделирования на языке GPSS [2]:

- 1) Текстовый редактор и встроенные шаблоны для ввода блоков модели;
- 2) Интерпретирующий алгоритм для синхронизации работы различных компонентов модели и управления таймером модельного времени;
- 3) Средства автоматического сбора статистических данных;
- 4) Средства отладки модели и контроля динамики процесса имитации;
- 5) Средства визуализации процесса моделирования и представления результатов в виде таблиц и графиков.

На рисунках 1 и 2 представлены пример модели и отчет, полученный по итогам одного прогона в GPSS World имитационной модели по контролю качества производства телевизоров на предприятии.

```

otk
* Модель работы отдела технического контроля
KONT STORAGE 2 ;количество контролеров
* Сегмент моделирования телевизоров
BK GENERATE 6,2 ; Приход телевизоров из другого цеха
  QUEUE AREA1 ; Регистрация в очереди на контроль
  ENTER KONT ; Занятие контролера
  DEPART AREA1 ; Выход из очереди на контроль
  ADVANCE 9,3 ; Процесс контроля
  LEAVE KONT ; Освобождение контролера
  TRANSFER .15,,FIX ; Передача на упаковку или наладку
  TERMINATE ; Упаковка телевизоров
FIX QUEUE AREA2 ; Регистрация в очереди к наладчику
  SEIZE FIXER ; Занятие наладчика
  DEPART AREA2 ; Уход из очереди к наладчику
  ADVANCE 20,5 ; Процесс наладки
  RELEASE FIXER ; Освобождение наладчика
  TRANSFER ,BK ; Возврат на контроль
* Сегмент таймера
GENERATE 480000 ;Таймер приходит через 1000 дней
TERMINATE 1 ;Прекращение моделирования
    
```

Рисунок 1 – Модель работы отдела технического контроля

В моделях, написанных на языке GPSS, можно учесть большое количество факторов и отказаться от многих ограничений и допущений. Язык PLUS, встроенный в GPSS World, включает в себя не только набор стандартных процедур (например, процедуры-функции формирования случайных чисел с экспоненциальным или нормальным распределением), но и позволяет определять процедуры пользователя. Особый класс процедур пользователя называется Экспериментом (EXPERIMENT). Эксперимент позволяет записать на языке PLUS программу управления прогонами и обработки результатов экспериментов [3].

LABEL	LOC	BLOCK TYPE	ENTRY COUNT	CURRENT COUNT	RETRY					
BK	1	GENERATE	80050	0	0					
	2	QUEUE	94374	0	0					
	3	ENTER	94374	0	0					
	4	DEPART	94374	0	0					
	5	ADVANCE	94374	1	0					
	6	LEAVE	94373	0	0					
	7	TRANSFER	94373	0	0					
	8	TERMINATE	80048	0	0					
FIX	9	QUEUE	14325	0	0					
	10	SEIZE	14325	0	0					
	11	DEPART	14325	0	0					
	12	ADVANCE	14325	1	0					
	13	RELEASE	14324	0	0					
	14	TRANSFER	14324	0	0					
	15	GENERATE	1	0	0					
	16	TERMINATE	1	0	0					
<b>FACILITY</b>										
FIXER	ENTRIES	UTIL.	AVE. TIME	AVAIL.	OWNER PEND INTER RETRY DELAY					
	14325	0.596	19.982	1	80049 0 0 0 0					
<b>QUEUE</b>										
AREA1	MAX CONT.	ENTRY	ENTRY (0)	AVE. CONT.	AVE. TIME	AVE. (-0)	RETRY			
	7	0	94374	40831	0.412	2.095	3.692 0			
AREA2	8	0	14325	5994	0.412	13.790	23.711 0			
<b>STORAGE</b>										
KONT	CAP.	REM.	MIN.	MAX.	ENTRIES	AVL.	AVE. C.	UTIL.	RETRY	DELAY
	2	1	0	2	94374	1	1.769	0.885	0	0

Рисунок 2 – Отчет по итогам моделирования

Программа Эксперимента может быть составлена как непосредственно программистом, так и автоматически – с помощью диалога через меню Edit/Insert Experiment. В GPSS можно автоматически сгенерировать программы экспериментов двух типов: скрининг-эксперимент

связан с определением наиболее значимых факторов, влияющих на состояние системы, и оптимизационный эксперимент, который позволяет определить наилучшие значения влияющих факторов. Результаты эксперимента представляются в виде таблицы. Наблюдаемые значения критерия Фишера (F for only main Effects) рассчитываются только для главных факторов (не рассчитываются для взаимодействий). Их сравнивают с критическим значением (Critical value of F). Если наблюдаемое значение больше критического, то признается, что фактор оказывает влияние на результат.

Часто при моделировании недостаточно значений, выводимых в стандартном отчете. Необходимо фиксировать большие объемы информации. Для этого есть две возможности:

- 1) выводить результаты моделирования в файл, а затем обрабатывать их с помощью других программ (например, с помощью Excel);
- 2) записывать результаты в матрицу сохраняемых величин, а затем обрабатывать эту матрицу с помощью процедуры ANOVA.

Процедура ANOVA предназначена для анализа результатов экспериментов. Она позволяет провести факторный анализ (причем можно использовать до 6 факторов и до 3 степеней взаимодействий) и позволяет оценить степень значимости каждого фактора или взаимодействия. Кроме того, процедура ANOVA позволяет для каждого уровня фактора определить среднее значение по всем репликам и 95% доверительный интервал.

Написанные с помощью языка GPSS модели получаются более адекватными исследуемой системе, чем аналитические.

Литература:

1. Кобелев Н.Б. Основы имитационного моделирования сложных экономических систем. – М.: Дело, 2003.– 336 с.
2. Томашевский В., Жданова Е. Имитационное моделирование в среде GPSS. – М.:Бестселлер, 2003. – 416 с.
3. Кудрявцев Е.М. GPSS World . Основы имитационного моделирования различных систем. – М.:ДМК «Пресс», 2004.- 320 с.

УДК 677.026.4: 677.08

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПОДГОТОВКИ ТЕКСТИЛЬНЫХ ОТХОДОВ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА НЕТКАНЫХ МАТЕРИАЛОВ**

ЗИМИНА Е.Л., докторант, УШАКОВ Е.С., магистрант,  
КОГАН А.Г., профессор

Витебский государственный технологический университет,  
г. Витебск, Республика Беларусь

Ключевые слова: модель процесса измельчения, текстильные отходы, нетканые материалы, переработка отходов, размол волокон, резка волокон.

Реферат: для получения качественных нетканых материалов из текстильных отходов важным этапом является процесс подготовки волокнистой массы в виде размола, заключающегося в подготовке поверхности волокон для образования межволоконных связей и в придании волокнам способности связываться между собой в прочное полотно при прессовании. С помощью полученных математических моделей возможно определить характер влияния различных факторов на свойства получаемой волокнистой смеси. И в их совокупности определить допустимые уровни факторов, которые обеспечивают возможность получения волокнистой смеси с заданными свойствами.

Благодаря применению отходов синтетических волокон, которые обладают свойствами исходного сырья, и полимерных связующих можно изготавливать нетканые материалы с высоким сопротивлением излому: сопротивление раздиранию, в зависимости от используемого состава, может быть увеличено в 3-5 раз, сопротивление разрыву – в 2 – 10 раз. Одним из основных и