

УДК 681.3

**А.С. САДОВНИЧИЙ, А.В. ПОПОВ**

*Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского "ХАИ", Украина*

## **МЕТОД ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ В ЗАДАЧАХ АНАЛИЗА ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СИСТЕМ**

Рассматриваются принципы системы имитационного моделирования. Предлагаются внутренние механизмы обработки, повышающие эффективность алгоритмов и точность результатов.

**принятие решений, алгоритм, имитационное моделирование, управление, граф, производственная система**

Принятие адекватных управленческих решений, учитывающих не только текущее состояние объекта производства, но и перспективы его развития, является важнейшей задачей руководителей всех уровней. Качество принимаемых решений во многом зависит не только от квалификации и опыта работы соответствующего менеджера, но и от наличия информации как о текущем, так и о прогнозируемом состоянии объекта управления.

На действующем производстве менеджеру необходимо иметь информацию о загрузке оборудования и временных затратах на выпуск той или иной продукции. Эти данные служат основанием для принятия решения о запуске нового заказа.

При проектировании нового производства портфель заказов обычно уже определен. Средства анализа производства позволяют заранее обнаружить проблемные места и внести коррективы в производственный процесс еще на этапе проектирования.

Существует несколько методов для анализа производственной системы (ПС). Один из наиболее распространенных – это метод сетевого планирования. Метод базируется на построении и анализе графа производственного процесса. Вершины графа отображают события, а вектора отображают длительность проведения работ. Математический аппарат метода сетевого планирования позволяет прогнозировать сроки работ (минимальные, максимально допустимые), а также загруженность средств производства.

Достоинствами этого метода являются: простота использования, наглядность, сравнительно простые вычисления. Недостатки этого метода в том, что с его помощью трудно проследить за состоянием производственной системы во времени. Кроме того, этот метод не позволяет анализировать систему имеющую неопределенности, а эти неопределенности возникают если нельзя точно определить продолжительность работы. Существенным недостатком также является невозможность проведения анализа производственной системы имеющей работы, выполняемые по условию, а также обратные связи.

В качестве альтернативы методу сетевого планирования в данной статье предлагается метод дискретно-событийного имитационного моделирования (ИМ). Метод ИМ позволяет проследить поведение ПС во времени при одновременном выполнении нескольких заказов. При использовании ИМ кроме predetermined действий (обработка, сборка, складирование и т.д.) легко моделируются неопределенные действия: отказы оборудования, сбои в поставках, появление брака и т.д.

Метод ИМ предусматривает применение современной вычислительной техники, поскольку при его реализации необходимо одновременно, на протяжении всего процесса моделирования, просчитывать множество параметров ПС. Программное обеспечение, реализующее метод ИМ совместно с вычислительными средствами образуют систему имитационного моделирования (СИМ).

Реализацию метода ИМ целесообразно рассматривать с двух позиций: с позиции пользователя (менеджера) СИМ и программиста (разработчика).

С точки зрения пользователя для построения модели, как и при сетевом планировании, необходимо построить граф производственного процесса (ПП). Отличия в том, что в СИМ вершины графа – это сложные события (этапы работы) а вектора указывают на последовательность и взаимосвязь событий.

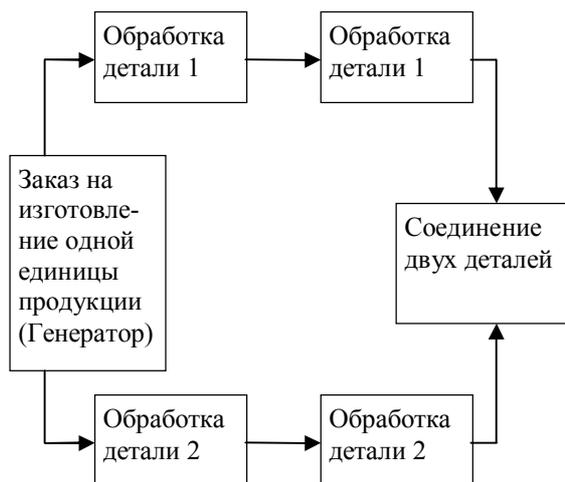


Рис. 1. Граф производственного процесса

Если при сетевом планировании граф должен иметь линейную структуру, то при ИМ вершины графа могут иметь нелинейные функции. Например, если деталь проходит обработку на «спутнике» или в таре, то по окончании обработки «спутник» должен вернуться в начальное состояние, т.е. возникает функция обратной связи.

Первым этапом построения графа является создание списка используемых устройств, в который заносится все оборудование производственной системы. Например, в этот список могут быть включены станки, транспортировочные устройства, сборочные столы (места сборки узлов, деталей) и т.п.

На рис. 1 изображен граф типового производственного процесса изготовления изделия.

В СИМ каждая вершина графа – это программа, которая может содержать константы, переменные, арифметические операторы и условия. Вершина может иметь несколько точек входа и выхода. За

каждой вершиной графа (работой) закрепляется одно или несколько устройств из списка.

Для приведенного примера вершина "Соединение двух деталей" будет выглядеть как указано в таблице 1.

Таблица 1

Описание вершины		
1	Название вершины (работы)	Соединение двух деталей
2	Устройство	Сборочный стол
3	Продолжительность работы (функция задержки)	$F()$ , где $F()$ – функция распределения времени выполнения работы
4	Условия начала работы	На все входы вершины поступил запрос (логическое "И")

Время выполнения работы вычисляется методами статистического анализа, в результате чего выводится функция распределения времени.

### Моделирование ситуаций

Основной элемент, над которым осуществляется контроль в СИМ – это заявка. Заявка имитирует продукцию, с приложенными к ней действиями, на всех стадиях технологического процесса. Для пользователя процесс моделирования выглядит как прохождение заявок по графу. При этом статистические данные, полученные в результате прохождения каждой вершины, собираются, обрабатываются и выдаются системой моделирования на монитор.

С точки зрения программиста (разработчика) СИМ внутреннее устройство СИМ можно представить в виде структуры изображенной на рис. 2.

Монитор в СИМ выполняет функции управления: следит за системным временем, обрабатывает заявки, изменяет статус устройств.

В данной структуре список будущих событий это очередь заявок, упорядоченных по времени выполнения.

Процесс моделирования в системе проходит следующим образом.

Перед началом моделирования СИМ анализирует все начальные события (генераторы). Для каждого генератора создается заявка, время начала вы-

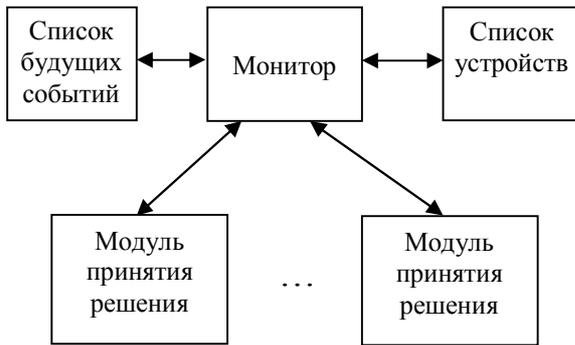


Рис. 2. Структурная схема СИМ с точки зрения программиста

полнения которой устанавливается в 0, и помещается в список будущих событий. Системное время устанавливается в 0.

Монитор в списке будущих событий находит все заявки с временем выполнения равным системному. Анализируя их, для каждой заявки выполняет следующие действия:

- если заявка связана с генератором, то создается новая заявка, время выполнения которой устанавливается согласно функции задержки и помещается в список будущих событий;
- если заявка закончила обрабатываться на устройстве, то для этого устройства снимается флаг занятости;
- согласно графу ПП определяется какие устройства будут обрабатывать текущую заявку. Если устройства не заняты, то для них устанавливается флаг занятости, а время выполнения заявки устанавливается согласно функции задержки. Если устройство занято, то время выполнения заявки увеличивается на величину, равную шагу времени моделирования.

Системное время увеличивается на один шаг, и обработка заявок в списке будущих событий начинается сначала.

При моделировании возможно возникновение следующей ситуации. Допустим граф ПП имеет вид представленный на рис. 3. В момент системного времени  $T$  имеет место привязка заявок и устройств к событиям, как показано на рис. 3. Время выполнения заявок 1..3 равно  $T$ .

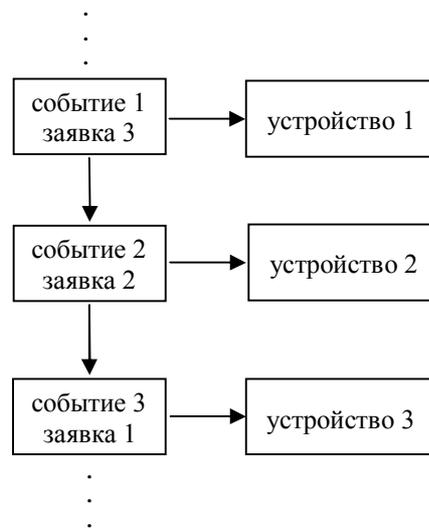


Рис. 3. Пример графа производственного процесса

Если система будет работать по приведенному выше алгоритму, то обнаружит, что настало время выполнения "заявки 3", следовательно она снимет флаг занятости с "устройства 1". Анализируя граф выявит, что "заявка 3" должна поступить на "устройство 2", но поскольку это устройство занято, то "заявка 3" будет помещена в список будущих событий с временем выполнения  $T+\Delta t$ , где  $\Delta t$  это величина шага системного времени. Аналогичное произойдет с "заявкой 2". "Заявка 1", освободив "устройство 3" поступит дальше на обработку.

Таким образом, видно, что заявки 3 и 2 поступят на обработку в устройства 2 и 3 в момент времени  $T+\Delta t$ , хотя реально была возможность поступить на обработку в момент времени  $T$ .

Для предотвращения такой ситуации необходимо изменить алгоритм работы системы: сделать его двухпроходным.

На первом проходе монитор должен только снимать флаг занятости с устройств, не убирая связь заявок с устройствами и событиями. А на втором проходе работать по описанной схеме. Увеличение системного времени должно происходить только после второго прохода. С учетом усовершенствованного алгоритма выше описанная ситуация будет моделироваться так:

На первом проходе монитор снимет флаг занятости с устройств 1, 2 и 3, поскольку настало время выполнения заявок 3, 2 и 1.

На втором проходе монитор анализируя граф выявит, что "заявка 3" должна поступить на "устройство 2", поскольку устройство свободно, "заявка 3" будет привязана к "событию 2" и "устройству 2". Аналогичные действия будут произведены с "заявкой 2". "Заявка 1" поступит дальше на обработку.

### Моделирование отказов оборудования

СИМ позволяет моделировать отказы оборудования. Для этого в СИМ добавляются вершины, не входящие в граф, (генераторы) имитирующие время необходимое на ремонт оборудования. Момент срабатывания генератора (выдача команды в граф) вычисляется исходя из надежности оборудования или задается конкретно пользователем на основании статистических данных. Для заявок, создаваемых генератором, выставляется наибольший приоритет, с возможностью прерывания выполняемой работы (т.е. если устройство занято, то его работа прерывается и имитируются ремонтные работы).

Результаты моделирования отображаются в виде набора статистических данных по каждому заказу, работе, устройству.

- максимальное/среднее/минимальное время выполнения всего технологического процесса;
- процент загрузки каждого оборудования;
- затраты на простой оборудования (в том числе из-за планово-ремонтных работ);
- время простоя оборудования;
- время ожидания обслуживания и др.

### Заключение

Разработанная система имитационного моделирования позволяет проводить анализ производственного процесса, моделирование отказов оборудования и одновременного выполнения нескольких заказов. Предложенные внутренние механизмы обработки заявок позволяют строить эффективные алгоритмы решения задач, связанных с моделированием и анализом сложных производственных сис-

тем, а также повысить точность получаемых результатов.

### Литература

1. Бусленко Н.П. Моделирование сложных систем. – М.: Наука, 1978. – 400 с.
2. Советов Б.Я., Яковлев С.А. Моделирование систем. – М.: Высш. шк., 1998. – 319 с.
3. Шеннон Р. Дж. Имитационное моделирование систем – искусство и наука. – М.: Мир, 1978. – 418 с.
4. Вавилов А.А. Имитационное моделирование производственных систем. – М.: Техника, 1983. – 264 с.
5. Форрестер Дж. Основы кибернетики предприятия. – М.: Прогресс, 1971. – 384 с.
6. Форрестер Дж. Мировая динамика. – М.: Наука, 1978. – 296 с.
7. Технология системного моделирования / Под ред. С.В. Емельянова. – М.: Машиностроение; Берлин: Техник, 1988. – 520 с.
8. Буч Г., Рамбо Д., Джекобсон А. Язык UML. Руководство пользователя: Пер. с англ. – М.: ДМК, 2000. – 538 с.
9. Шрайбер Т. Дж. Моделирование на GPSS. – М.: Машиностроение, 1980. – 592 с.

*Поступила в редакцию 26.09.03*

**Рецензент:** д.т.н., профессор Федорович Олег Евгеньевич, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ»