

**Разработка формального аппарата для имитационного моделирования  
автоматизированных производственных процессов на базе расширенных  
сетей Петри**

*Д.П. Смирнов*

*Национальный исследовательский университет «МИЭТ»,  
г. Москва, Россия,  
e-mail: smirnovdp@gmail.com*

**Development of the formal apparatus for the simulation of automated  
production processes on the basis of expanded Petri nets**

*D.P. Smirnov*

*National Research University of Electronic Technology,  
Moscow, Russia,  
e-mail: smirnovdp@gmail.com*

В данной статье представлен формальный аппарат, направленный на эффективное решение задач по моделированию распределенных автоматизированных производственных процессов с помощью модифицированных Е-сетей и объектно-ориентированного подхода.

*Ключевые слова:* формальный аппарат, объектно-ориентированный подход, производственные процессы, Е-сети.

This article presented a formal apparatus aimed at effective solutions for simulation of distributed automated production processes using a modified E-nets and object-oriented approach.

*Keywords:* formal apparatus, object-oriented approach, production processes, E-nets.

Развитие современных производственных предприятий требует наличия эффективных средств имитационного моделирования для анализа и исследования бизнес-процессов. С увеличением размера исследуемого объекта усложняется процесс создания его модели. Помимо этого, при моделировании больших систем непустой задачей становится изменение уже построенной ранее модели, поскольку чаще всего для этого требуется полное понимание ее программного описания. Решить данные проблемы возможно с помощью представления сложных систем с применением декомпозиции, разделяя систему на отдельные процессы и используя простой, но функциональный набор компонентов, из которых строится модель. Подобными возможностями должен обладать формальный аппарат, с помощью которого описывается модель. В данном случае под формальным аппаратом понимается набор из следующих составляющих:

- математический аппарат;

- набор компонентов моделирования;
- методика моделирования;
- язык описания модели.

Целью данной статьи является представление разработанного формального аппарата, способного эффективно описывать сложные автоматизированные производственные процессы. Для этого в работе в качестве математического аппарата предлагается использовать модифицированные Е-сети [1]. Они являются разновидностью расширенных сети Петри и позволяют представлять параллельные процессы с учетом времени и возможностью прерывания действий, при этом обладая небольшим базовым набором компонентов. Для возможности представления процессов в виде отдельных сущностей модифицированные Е-сети были дополнены введением понятий класса и объекта. Помимо этого, было определено взаимодействие между различными объектами.

Класс представляется в виде структуры:

$$C = (T, P, E, L, V, S, M, U),$$

где  $T$  - множество переходов;  $P$  - множество позиций;  $E$  - множество входящих экземпляров других классов;  $L$  - список связей;  $V$  - переменные и доступные параметры экземпляра данного класса;  $S$  - порты (входные, выходные, задания начальных значений);  $M$  - методы преобразования данных;  $U$  - условия перехода.

Объекты представляют собой самостоятельные экземпляры классов. Они имеют свои порты, внутреннюю структуру и т.п. Объекты, так же как и Е-сети, связываются с помощью входных и выходных портов, представляющих собой определенные позиции сети Петри. Связь происходит за счет объединения позиций.

В состав класса входят компоненты, которые можно разделить на три группы:

- структурные;
- коммутативные;
- программные.

К структурным компонентам относятся составляющие, из которых строится процесс внутри класса. Всего таких составляющих три: переход, позиция и объекты других классов. При этом переход и позиция эквивалентны понятиям с теми же названиями и функциональными возможностями, что и в модифицированных Е-сетях, расширенные с помощью введения понятия объекта и класса.

Коммутативные компоненты отвечают за связь между структурными компонентами и за направление движения меток. К компонентам такого типа относятся: порты входа и выхода, список связей, порт установки начальных значений, условия перехода. Список связей объединяет структурные компоненты, входящие в данный класс в единое описание. Порт установки начальных значений определяет позиции, в которых могут быть установлены метки до начала проведения эксперимента. При этом метки представляют собой динамические объекты моделируемой системы. Для таких типов элементарных сетей, входящих в набор компонентов модифицированных Е-сетей, как Х, Y и G имеется возможность задать условия перехода выбор активных позиций.

С помощью программных компонентов изменяются данные внутри экземпляра класса, а также информация внутри меток во время совершения перехода в элементарной сети. К программным компонентам относятся: локальная переменная, метод преобразования данных, параметр экземпляра. Локальная переменная позволяет хранить в себе данные различного типа: целочисленного, вещественного, текстового и логического. Доступны они только внутри объекта, поэтому в основном используются для реализации внутренних счетчиков и организации зависимости между напрямую не связанными

элементарными сетями. Метод преобразования данных изменяет информацию внутри метки при ее прохождении через переход. Он представляет собой объединенный набор команд и условий. Параметры экземпляра представляют собой те же локальные переменные, с одним лишь отличием начальное их значение может быть задано при определении экземпляра класса. Таким образом, каждый объект может задавать свои собственные внутренние условия переходов или преобразования меток.

На основании расширенного математического аппарата, разработанных компонентов и способа организации связей между ними предлагается методика объектно-ориентированного моделирования (ООМ) распределенных автоматизированных процессов и производств. Она включает в себя следующие пункты:

1. Определение задачи исследования и проведение анализа исследуемого объекта.
2. Создание формального описания исследуемого объекта с помощью разработанного алгоритма построения объектно-ориентированной модели.
3. Описание модели с помощью предметно-ориентированного языка.
4. Определение и отдельное от модели задание начальных значений исследуемого объекта в определенном формате и с разработанной структурой хранения данных.
5. Отладка модели с помощью проведения предварительных экспериментов на специализированном программно-алгоритмическом средстве имитационного моделирования.
6. Проведение имитационных экспериментов.
7. Формирование отчета по полученным во время экспериментов результатам.

Для создания имитационных моделей производственных процессов и возможности проведения с ними имитационных экспериментов необходим эффективный способ их программного описания, который будет использовать разработанный набор компонентов и позволит применять представленную методику ООМ.

Решением данной задачи была разработка и реализация предметно-ориентированного языка OOMDL (Object-Oriented Model Description Language). Язык описания объектно-ориентированной модели дает возможность представления расширенных сетей Петри в виде последовательного набора операторов. Синтаксис частично схож с Си и Си-подобными языками, что было сделано для упрощения его изучения и использования. Описание его приводится в статье [2].

Разработанный формальный аппарат, использующий ООМ совместно с модифицированными Е-сетями, позволяет сократить описание модели и сделать ее более наглядным благодаря небольшому базису, обладающему высокими описательными возможностями, наличию простого способа имитации прерывания, необходимого для описания непредвиденных или приоритетных событий, возникающих в автоматизированных процессах.

### Литература

1. **Костин А.Е., Илюшечкина Л.В.** Модифицированные Е-сети для исследования систем распределенной обработки информации // Автоматика и вычислительная техника. - 1988. - № 6. - С. 27 - 35.
2. **Смирнов Д.П.** Способ моделирования распределенных автоматизированных процессов и производств // Фундаментальные исследования. - 2016. - № 2. - С. 94 - 98.