

*Т.В. Михеева*

### **Обзор существующих программных средств имитационного моделирования при исследовании механизмов функционирования и управления производственными системами**

В данной работе дается обзор современных программных средств имитационного моделирования и их возможностей применительно к исследованию механизмов функционирования и управления производственными системами.

Особенностью решения задач планирования и управления производством является необходимость учета при их решении множества переменных величин, характеризующих постоянно изменяющиеся рыночные условия. Одно из наиболее перспективных направлений решаемых задач – имитационное моделирование, которое позволяет получить качественные и количественные оценки возможных последствий управляемых решений. В работах многих авторов указывается, что имитационные методы – наиболее распространенные средства теории управления и исследования операций в управлении промышленными предприятиями и организациями. Это объясняется тем, что они дают инструментальную поддержку анализа функционирования в целях совершенствования производственных и управленческих процессов, скоординированной и контролируемой работы всех подсистем.

За последние 15–20 лет имитационное моделирование стало одним из самых распространенных инструментов исследования сложных систем и процессов. В наше время на рынке программного обеспечения для имитации предлагается более 50 мощных программных средств имитационного моделирования [1]. Всего же на рынке информационных технологий фигурирует около 150 программных продуктов, позволяющих проводить имитационные эксперименты [1, 2]. Диапазон и разнообразие такого программного обеспечения продолжают расти, отражая тенденцию устойчивого спроса на него.

История развития имитационного моделирования определила несколько поколений программных средств, эволюция которых может быть представлена в виде последовательной смены шести поколений [3, 4]:

1. Первое поколение (1950-е гг.) – программирование моделей на языках высокого уровня без какой-либо специальной поддержки. Программы для задач моделирования разрабатывались на основе универсальных языков, таких как FORTRAN и ALGOL.

2. Второе поколение (1960-е гг.) – специальная поддержка моделирования в виде соответствующих выражений языка, генераторов случайных чисел, средств представления результатов.

– 1960–1965 гг. – появились первые языки моделирования: GPSS (язык транзактов), SIMULA (язык процессов), SIMSCRIPT (язык событий), CSL (язык работ), SOL, GASP, SLAM ...;

– 1965–1970 гг. – создано второе поколение языков моделирования: GPSS V, SIMSCRIPT II.5, SIMULA 67, GASP-IV...

3. Третье поколение (1970-е гг., CADSIM, DEMOS, ACSL, MODEL-6, GEAR ...) – возможность комбинированного непрерывно-дискретного моделирования. Развитие уже разработанных языков и средств моделирования, ориентированное на повышение эффективности процессов моделирования и превращение моделирования в более простой и быстрый метод исследования сложных систем. Системы автоматизации моделирования, разработанные в 1960–1970-е гг. (Simula, SLAM ...), были еще слишком сложны для широкого пользователя, прежде всего из-за сложности текстовой формы описания модели и отсутствия программных реализаций эффективных численных методов.

4. Четвертое поколение (1980-е гг., SLAM II PC System Animation, PC Model SIMFACTORY, GPSS PC, XCELL...) – ориентация на конкретные области приложения, возможность анимации. Разработка имитационных систем, содержащих интерфейс непрограммирующего пользователя, входные и выходные анализаторы, возможность анимации процесса имитационного моделирования. Перенос программного обеспечения для имитационного моделирования на персональные ЭВМ с использованием средств графического интерфейса (для визуализации и анимации процессов моделирования).

5. Пятое поколение (1990-е гг., SIMPLEX II, SIMPLEX++ ...) – графический интерфейс, интегрированная среда для создания и редактирования моделей, планирования экспериментов, управления моделированием и анализа результатов. Разработка средств технологической поддержки процессов распределенного имитационного моделирования на мультипроцессорных ЭВМ и сетях.

6. Шестое поколение (конец 1990-х – наше время, Arena, AutoMod, Anylogic ...) – интегрированные системы имитационного моделирования, в которых развиваются важнейшие особенности средств пятого поколения.

Программные средства имитации в своем развитии изменялись на протяжении нескольких поколений, но основное назначение всех этих средств – это

уменьшение трудоемкости создания программных реализаций имитационных моделей.

Современные программные средства имитационного моделирования позволяют автоматизировать процесс создания модели за счет использования различных компонент, из которых строится модель, а также графического интерфейса и организуют эксперименты с моделью.

Далее в работе будут рассматриваться только средства, обеспечивающие возможность исследовать механизмы функционирования и управления производственными системами.

Программные средства имитационного моделирования, которые используются для разработки имитационных моделей производственных систем, можно разделить на следующие четыре группы [5]:

1. Программирование компьютерной модели с помощью универсальных языков (например, C++, Delphi, Pascal). Динамика системы описывается уравнениями, которые кодируются в программу, затем проводят расчет уравнений и устанавливают связь выходных величин с входными.

2. Программирование компьютерной модели с применением специализированных языков моделирования (например, GPSS, AnyLogic), написанных на универсальных языках. Динамика системы отображается взаимодействием элементов модели во времени и пространстве. Специализированные языки имитационного моделирования компактны и имеют широкий круг приложений, однако требуют специальной подготовки пользователя, который должен написать программу в терминах языка для конкретного объекта моделирования.

3. Построение компьютерных моделей и проведение имитационных экспериментов при помощи специализированных компьютерных сред (например, Arena, AnyLogic, GPSS World, VisSim). Имитационные среды не требуют программирования в виде последовательности команд. Вместо написания программы пользователи составляют модель из библиотечных графических модулей, и/или заполняют специальные формы. Как правило, имитационная среда обеспечивает возможность визуализации процесса имитации, позволяет проводить сценарный анализ и поиск оптимальных решений.

4. Включение средств имитационного моделирования в стандартные математические компьютерные системы (например, пакет Simulink системы Matlab, Mathcad, Mathematica). Это программные среды, предназначенные для выполнения разнообразных математических и технических расчетов, предоставляющие пользователю инструменты для работы с формулами, числами, графиками, текстом, включают в себя средства для управления переменными, вводом и выводом данных, а также снабжены графическим интерфейсом.

Также в сфере имитационного моделирования можно выделить четыре основные парадигмы моделирования, применяемых в качестве каркаса при построении моделей: динамические системы, системная динамика, дискретно-событийное моделиро-

вание, мультиагентные системы [6, с. 234]. Существует целый ряд программных инструментов, ориентированных на эти подходы:

1. Динамические системы (Matlab).
2. Системная динамика (iThink, PowerSim).
3. Дискретно-событийное моделирование (Arena, GPSS World).
4. Мультиагентные системы (AnyLogic).

Здесь следует отметить, что в настоящее время данная классификация во многом становится условной, поскольку современные интегрированные средства моделирования охватывают как динамические системы, так и системную динамику, дискретно-событийное моделирование и мультиагентные системы (например, AnyLogic). Но таких программных средств на рынке еще очень мало, а наиболее представительной является группа систем имитационного моделирования, ориентированных на дискретные системы.

Ниже будут рассмотрены основные существующие на данный момент программные инструменты моделирования систем с протекающими в них дискретными динамическими процессами: AnyLogic [7], Arena [8, 9], Simulink [10, 11].

Для сравнительной оценки данных пакетов программ определен следующий набор характеристик:

1. Производитель.
2. Области применения.
3. Язык интерфейса.
4. Поддержка/обучение:
  - руководство пользователя, учебные пособия;
  - обучающие курсы;
  - тренинг на сайте;
  - доступность консультации;
  - форум пользователей.
5. Построение модели:
  - графическое построение модели;
  - программирование/доступ к запрограммированным модулям;
  - язык программирования;
  - открытая архитектура.
6. Иерархическая структура производственного процесса.
7. Анимация:
  - анимация модели и визуализация данных;
  - 3D анимация;
  - просмотр в режиме реального времени.
8. Анализ данных:
  - анализ чувствительности;
  - оптимизация;
  - метод Монте-Карло;
  - сценарный анализ.
9. Системные требования:
  - операционная система;
  - аппаратные требования.
10. Цена (за одну лицензию):
  - профессиональная (Professional) версия;
  - образовательная (Students) версия.

В таблице представлены результаты проведенного автором статьи сравнительного анализа систем имитационного моделирования.

В таблице «±» означает, что пакет Arena поддерживает иерархическую структуру процесса, но не поддерживает расчет показателей на любом уровне.

Как следует из таблицы, каждое из рассматриваемых программных средств обладает достаточной функциональностью. Перечисленные возможности указывают на высокую эффективность AnyLogic, Arena, Simulink как средств построения и исследования сложных систем с использованием имитационного моделирования.

Обзор характеристик систем имитационного моделирования

Характеристика	Система		
	AnyLogic 6.3.1	Arena 12.0	Simulink 7.2
Производитель	ООО «Экс Джей Текнолджис» (XJ Technologies)	Rockwell Automation Inc (Systems Modeling)	MathWorks Inc
Области применения	Прогноз и стратегическое планирование. Производство. Бизнес-процессы. Управление проектами. Управление персоналом. Социальная динамика	Бизнес-процессы. Производство. Логистика. Склад. Центры обработки вызовов	Обработка сигналов и изображений. Системы управления, финансовые расчеты. Производство. Медицинские исследования
Язык интерфейса	русский	английский	английский
Поддержка/обучение: – Руководство пользователя, учебные пособия – Обучающие курсы – Тренинг на сайте – Доступность консультации – Форум пользователей	+ + + + +	+ + + + +	+ + + + +
Построение модели: – Графическое построение модели – Программирование/ доступ к запрограммированным модулям – Язык программирования – Открытая архитектура	+ + AnyLogic +	+ + SIMAN +	+ + MATLAB +
Иерархическая структура производственного процесса	+	±	+
Анимация: – Анимация модели и визуализация данных – 3D анимация – Просмотр в режиме реального времени	+ + +	+ + +	+ + +
Анализ данных: – Анализ чувствительности – Оптимизация – Метод Монте-Карло – Сценарный анализ	+ + + +	+ + + +	+ + + +
Системные требования: – Операционная система  – Аппаратные требования	Microsoft Windows XP/Vista, Apple Mac OS, SuSE Open Linux, Ubuntu Linux.  250 MB свободного дискового пространства 1 GB RAM.	Microsoft Windows 2000/ Server 2003/ XP/ Vista.  128 MB свободного дискового пространства 1GB RAM.	Microsoft Windows XP/Vista, Macintosh, Unix/Linux,  300 MB свободного дискового пространства 1GB RAM.
Цена (за одну лицензию): – Профессиональная (Professional) версия  – Образовательная (Students) версия	355900 руб.  21500 руб. (установка в пределах одного факультета)	759303 руб.  –	от \$1507  от \$99

Выбор того или иного пакета на практике зависит от многих условий. Часто решающую роль оказывает удобство программирования, наличие проверенных математических методов, легкость представления результатов моделирования, а также цена лицензии.

Такими особенностями в полной мере обладает пакет Simulink, являющийся интерактивным инст-

рументом для моделирования, имитации и анализа динамических систем. Он дает возможность строить графические блок-диаграммы, имитировать динамические системы, исследовать и совершенствовать проекты. Simulink полностью интегрирован с Matlab, обеспечивая немедленным доступом к широкому спектру инструментов анализа и проектирования.

### Библиографический список

1. Simulation Software Survey // <http://www.lionhrtpub.com/orgms/ormssurveys.html>
2. Лычкина, Н.Н. Современные технологии имитационного моделирования и их применение в информационных бизнес-системах / Н.Н. Лычкина // [nit.miem.edu.ru/2006/sb/sections0/9.htm](http://nit.miem.edu.ru/2006/sb/sections0/9.htm)
3. Бигдан, В.Б. Становление и развитие имитационного моделирования на Украине / В.Б. Бигдан, В.В. Гусев, Т.П. Марьянович, М.А. Сахнюк // <http://www.gpss.ru/immod'03/011.html>
4. Киндлер, Е. Языки моделирования / Е. Киндлер. – М., 1985.
5. Имитационное моделирование // <http://cadmium.ru/content/blogcategory/154/45>
6. Карпов, Ю.Г. Имитационное моделирование систем / Ю.Г. Карпов. – СПб., 2006.
7. <http://www.xjtek.ru/>
8. <http://www.arenasimulation.com/>
9. <http://www.rockwellautomation.ru/>
10. <http://www.mathworks.com/>
11. <http://matlab.exponenta.ru/simulink/>