



Международный журнал информационных технологий и энергоэффективности

Сайт журнала:

<http://www.openaccessscience.ru/index.php/ijcse/>



УДК 004.94

## АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ ПОДХОДОВ К ПРОЕКТИРОВАНИЮ ИМИТАЦИОННЫХ МОДЕЛЕЙ

<sup>1</sup> Дук Г.В., <sup>2</sup> Антонов А. А., <sup>3</sup> Чернышев С. А.

<sup>1,2</sup> Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения, Россия, (190000, г. Санкт-Петербург, ул. Большая Морская 67), e-mail: <sup>1</sup>ger-duk@bk.ru, <sup>2</sup>grand.antonov@yandex.ru

<sup>3</sup> Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна, Россия, (191186, г. Санкт-Петербург, ул. Большая Морская 18), e-mail: chernyshev.s.a@bk.ru

<sup>3</sup> Санкт-Петербургский государственный экономический университет, Россия, (191023, г. Санкт-Петербург, ул. Садовая 21), e-mail: chernyshev.s.a@bk.ru.

**В статье рассматриваются основные подходы к проектированию имитационных моделей сложных систем. Проводится анализ существующих методов, областей их применения и этапов формирования модели, а также преимуществ и недостатков. Приводится реальный пример комбинирования двух отдельных методов для более точного моделирования областей, где различают локальные и глобальные события.**

Ключевые слова: имитационное моделирование, агентное моделирование, Монте-Карло, системная динамика, дискретно-событийное моделирование

## ANALYSIS OF EXISTING APPROACHES TO THE DESIGN OF SIMULATION MODELS

<sup>1</sup> Duk G.V., <sup>2</sup> Antonov A.A., <sup>3</sup> Chernyshev S.A.

<sup>1,2</sup> Saint Petersburg State University of Aerospace Instrumentation, Russian Federation, (190000, Saint-Petersburg, Bolshaya Morskaya str. 67), e-mail: ger-duk@bk.ru, grand.antonov@yandex.ru.

<sup>3</sup> Saint Petersburg State University of Industrial Technologies and Design, Russian Federation (191186, Saint-Petersburg, Bolshaya Morskaya str. 18), e-mail: chernyshev.s.a@bk.ru.

<sup>3</sup> Saint Petersburg state university of economics, Russian Federation, (191023, Saint-Petersburg, Sadovaya str. 21), e-mail: chernyshev.s.a@bk.ru.

**The article discusses the main approaches to the design of simulation models of complex systems. The analysis of existing methods, scopes of their application and stages of model formation, as well as advantages and disadvantages are carried out. A real example of combining two separate methods for more accurate modeling of scopes where local and global events are distinguished is given.**

Keywords: simulation modeling, agent-based modeling, Monte Carlo, system dynamics, discrete-event modeling

В настоящее время все компании нацелены на получение прибыли при наименьших затратах. Одним из таких способов является предсказание бизнес-событий. Яркий пример целевой аудитории - биржевые компании. Одним из наиболее популярных и зарекомендовавших себя подходов к представлению процессов и систем - имитационное

моделирование. Имитационная модель – универсальное средство исследования сложных систем, представляющее собой логико-алгоритмическое описание поведения отдельных элементов системы и правил их взаимодействия, отображающих последовательность событий, возникающих в моделируемой системе [1, с. 240]. Такие модели не ограничиваются временем и их можно использовать в различных испытаниях при любых условиях, поэтому они выступают основой имитационного моделирования. А двигателем такого моделирования являются возникающие случайные процессы. Такая модель может работать без вмешательства человека при условии, если в нее были заложены определенные зависимости. Конечный результат системы во многом зависит от используемого подхода к проектированию имитационных моделей. Поэтому очень важно выбрать подходящий подход при разработке системы.

Можно выделить 5 основных подходов [2], используемых для проектирования имитационных моделей:

1. Динамическое моделирование;
2. Системная динамика;
3. Дискретно-событийный подход;
4. Агентное моделирование;
5. Метод Монте-Карло.

**Динамическое моделирование** [3] позволяет описать возможные факторы и последствия определенного процесса, побуждающих к переходу системы в новое состояние. Цель такого подхода - исследование предприятия, как информационной системы с обратной связью, которая позволяет с каждым шагом совершенствовать формы организации и управления системой. Такие системы описываются алгебраическими и дифференциальными уравнениями, диаграммами и блок-схемами. Выделяют 6 основных этапов формирования имитационной динамической модели [4]:

1. Построения структурной схемы системы;
2. Сбор данных и детализация схемы;
3. Формирования математических моделей;
4. Компоновка и отладка модели;
5. Проверка работоспособности модели;
6. Ввод прогнозирования и других расчетов.

Несмотря на то, что данный метод является одним из первых, он остается достаточно действенным. В основном применяется социально-экономическое развитие, которое позиционируется, как очень важная проблема в современном мире.

**Системно-динамический подход** (системная динамика) – это способ имитационного моделирования, своими методами и инструментами позволяющий понять структуру и динамику сложных систем [5]. Подход позволяет создавать уменьшенную копию реальных систем с модельным временем, в который есть возможность управлять временем (ускорять, замедлять или останавливать), что дает нам понять и более детально рассмотреть последствия принятых решений. Под модельным временем понимается «сжатое» время, в котором функционирует модель, или, иначе, это время, которое является имитацией времени реальной системы [6]. Формирование модели для такого подхода выполняется в 5 основных этапов:

1. Подготовка и обработка входных данных;
2. Определение и разработка схемы причинно-следственных связей;
3. Задание математической модели;
4. Внедрение баз данных;
5. Тестирование имитационной модели на исходных данных.

Затем выполняется поиск готовых решений или, иными словами, модель применяется на практике. Такой подход на основе причинно-следственных и обратных связей позволяет исследовать поведение сложных систем. У данной модели имеется множество достоинств, среди которых просчет множества вариантов будущего при изменении входных параметров, а также она позволяет выявлять наиболее слабые места системы. Поэтому данный подход нашел применение в различных сферах, таких как:

- экономическая динамика;
- бизнес-динамика;
- городская динамика;
- мировая динамика.

**Дискретно-событийный подход** [7] (дискретно-событийное моделирование) – это вид имитационного моделирования, при котором система представляется, как хронологическая последовательность событий, позволяющих переводить систему из одного состояния в другое. Основными направлениями являются моделирование бизнес-процессов, логистики, производства, здравоохранения и т.д [8]. Основное отличие от остальных подходов связано с понятием времени. Тут оно представляется в виде отдельных событий, которые несут определённое время и выступают синхронизирующим инструментом (например часы), который порождает все события модели. Можно выделить следующие этапы формирования модели:

1. Анализ предметной области системы;
2. Выявление ключевых процессов;
3. Формирования процессной диаграммы;
4. Подбор оптимального времени события;
5. Тестирование имитационной модели.

Такая модель позволяет пошагово просчитывать, принимать и отслеживать решения имитационной модели на каждом этапе, а также возвращаться и рассматривать другие решения.

**Агентное моделирование** – это вид имитационного моделирования, предназначенный для исследования поведения децентрализованных агентов и того, как индивидуальное поведение каждого агента влияет на глобальное поведение моделируемой системы в целом [9]. Основой агентного моделирования является понятие «агент» – некий объект, способный принимать решения на основе заложенных правил, взаимодействовать с другими сущностями системы, проявлять активность и самостоятельно действовать. Хорошими примерами агентов, можно выделить социальных агентов (люди, социальные группы, покупатели), экономические агенты (государство, фирмы, регионы), технические агенты (автомобили, роботы, самолеты), экосистемные агенты (облака, пожары, тайфуны) и т.д. В отличие от остальных методов,

глобальное поведение системы складывается из множества локальных поведений каждого агента. Выделяют следующие этапы разработки агентной модели:

1. Анализ предметной области и формирования агентов;
2. задания параметров агентам и их поведения;
3. Создание окружающей среды и добавление в нее агентов;
4. Установка взаимоотношений между агентами;
5. Тестирование системы.

Такой подход применяется в имитационных моделях распределенных систем, где важно влияние всех элементов по отдельности на систему в целом.

**Метод Монте-Карло** [10] – это вид имитационного моделирования, позволяющий строить модели, описывающие процессы на основе случайных величин. В данном подходе применяется генератор равномерно распределенных случайных чисел в связи с функцией распределения вероятностей изучаемого процесса. Основная суть метода заключается в математическом описании процесса с использованием генератора случайных величин, далее выполняются множество прогонов модели и в результате чего, получаются вероятностные характеристики процесса. Статический анализ вероятностных характеристик позволяет принимать наиболее верные решения. Выделяют следующие этапы формирования модели:

1. Определение и анализ входных параметров;
2. Выявление ключевых факторов риска;
3. Подсчет функции распределения случайных величин;
4. Проведение циклов имитации модели и корректировка параметров;
5. Анализ полученных результатов;
6. Тестирование модели.

Такой подход применяется в сферах, где необходимо просчитывать все возможные риски изучаемой системы, например: в физике, математике, экономике, оптимизации и теории управления.

При моделирование сложных систем, часто возникает ситуация, когда одного из перечисленных подходов недостаточно. В связи с этим, разработчики прибегают к их различным комбинациям. Пожалуй, самым ярким примером является сфера грузоперевозок, где чаще всего применяется комбинация из дискретно-событийного и агентного подхода. В этом случае, дискретно-событийная составляющая отвечает за мониторинг и глобальное взаимодействие элементов системы, что позволяет пошагово и детально ею управлять. А агентное моделирование предоставляет возможность ввести в процесс моделирования интеллектуальных агентов, которые действуют в соответствии с описываемой онтологией и способны путем переговоров найти оптимальное решение ставящихся перед ними задач. Такая комбинация позволяет в довольно короткие сроки находить решения проблемных моментов, при возникновении которых система выходит из равновесия, что делает её довольно мощным инструментом в системах поддержки принятия решений.

### **Заключение**

В статье были рассмотрены подходы имитационного моделирования, а также основные этапы формирования моделей. Выделены основные области применения и подчеркнуты

положительные и отрицательные стороны каждого метода. Например, дискретно-событийный подход, который выполняет все действия в хронологической последовательности, хорошо подходит для формирования бизнес-моделей и производства. А при моделировании систем, где прослеживаются маленькие и большие группы, стоит применить комбинацию из нескольких методов, чтобы получить наилучший результат.

На основе анализа подходов имитационного моделирования, можно заметить, что все методы нашли применение в различных сферах жизни и необходимо серьезно подойти к подбору используемого метода, чтобы получить наилучшие результаты при различных событиях моделируемого процесса.

По результатам исследования можно сделать вывод, что имитационное моделирование является одним из самых эффективных и наглядных видов моделирования при котором исследуемая система заменяется моделью, используемой для предсказания, планирования и с достаточной точностью описания протекающих в системе процессов.

### Список литературы

1. Т.И. Алиев. Основы моделирования дискретных систем: учеб. пособие – СПб: ИТМО, 2009. – 363 с.
2. Е.А. Рамзаева, В.Г. Смелов, В.В. Кокарева. Имитационное моделирование производственных систем предприятия *tesnomatixplantsimulaton*: методические указания – Самара: СГАУ, 2013. – 51 с.
3. Д.Форрестер. Основы кибернетики предприятия. Москва: ПРОГРЕСС, 1971. 277 с.
4. С.Г. Светуных, И.С. Светуных. Методы социально-экономического прогнозирования: учеб. пособие СПб: СПбГЭУ, 2010. – 103 с.
5. Л.А. Муравьева-Витковская. Основы распределенного моделирования: учеб. пособие – СПб: НИУ ИТМО, 2013. – 150 с.
6. А.С. Акопов. Имитационное моделирование: учебник и практикум для академического бакалавриата. Москва: Юрайт, 2017. – 389 с.
7. С.В. Чубейко. Дискретно-событийное моделирование сетевых компьютерных систем в условиях высоких нагрузок // *Фундаментальные исследования*. – 2014. – № 8-2. – с. 340-344.
8. В.Н. Сидоренко, А.В. Красносельский. Имитационное моделирование в науке и бизнесе: подходы, инструменты, применение // *Бизнес информатика*. – 2009. – №2. – с. 52-57.
9. Е.В. Стельмашенок. Моделирование процессов и систем: учебник и практикум для академического бакалавриата – Москва: Юрайт, 2018. – 289 с.
10. И.С. Крысанов. Имитационное моделирование на примере метода Монте-Карло симуляции // *Лаборатория фармэкономике ММА им. И.М. Сеченова*. – 2008. – №2. – с. 3-5.

## References

1. T.I. Aliev. Osnovy modelirovaniya diskretnykh sistem: ucheb. posobie – St. Petersburg: ITMO, 2009. – 363 p.
  2. E.A. Ramzaeva, V.G. Smelov, V.V. Kokareva. Imitacionnoe modelirovanie proizvodstvennykh sistem predpriyatiya tecnomatixplantsimulaton: metodicheskie ukazaniya – Samara: SGAU, 2013. – 51 p.
  3. D.Forrester. Osnovy kibernetiki predpriyatiya. Moscow: PROGRESS, 1971. 277 p.
  4. S.G. Svetun'kov, I.S. Svetun'kov. Metody social'no-ekonomicheskogo prognozirovaniya: ucheb. posobie St. Petersburg: SPbGEU, 2010. – 103 p.
  5. L.A. Murav'eva-Vitkovskaya. Osnovy raspredelennogo modelirovaniya: ucheb. posobie – St. Petersburg: NIU ITMO, 2013. – 150 p.
  6. A.S. Akopov. Imitacionnoe modelirovanie: uchebnik i praktikum dlya akademicheskogo bakalavriata. Moscow: YUrajt, 2017. – 389 p.
  7. S.V. CHubejko. Diskretno-sobytijnoe modelirovanie setevykh komp'yuternykh sistem v usloviyah vysokih nagruzok // Fundamental'nye issledovaniya. – 2014. – № 8-2. – P.P. 340-344.
  8. V.N. Sidorenko, A.V. Krasnosel'skij. Imitacionnoe modelirovanie v nauke i biznese: podhody, instrumenty, primenenie // Biznes informatika. – 2009. – №2. – P.P. 52-57.
  9. E.V. Stel'mashonok. Modelirovanie processov i sistem: uchebnik i praktikum dlya akademicheskogo bakalavriata – Moscow: YUrajt, 2018. – 289 p.
  10. I.S. Krysanov. Imitacionnoe modelirovanie na primere metoda Monte-Karlo simulyacii // Laboratoriya farmoekonomiki MMA im. I.M. Sechenova. – 2008. – №2. – P.P. 3-5.
-