

Компьютерное моделирование – инструмент, используемый в цифровой экономике

Коньков Михаил Николаевич, кандидат экономических наук, доцент кафедры
Управления информационными системами и программирования
Российский экономический университет имени Г.В. Плеханова (г. Москва)

Аннотация. Создание экосистемы цифровой экономики Российской Федерации является важным направлением экономической сферы страны. Компьютерное моделирование – один из инструментов применяемый в этой области. Такой подход основывается на использовании конкретных видов имитационных моделей.

Ключевые слова: цифровая экономика, компьютерное моделирование, имитационные модели, системы массового обслуживания, кусочно-линейные агрегаты, сети Петри, агентное моделирование.

Цифровая экономика — хозяйственная деятельность, в которой ключевым фактором производства являются данные в цифровом виде, обработка больших объемов и использование результатов анализа которых по сравнению с традиционными формами хозяйствования позволяют существенно повысить эффективность различных видов производства, технологий, оборудования, хранения, продажи, доставки товаров и услуг. Изменяется и специфика управленческого труда в фирмах, организациях и учреждениях любой формы собственности и любого размера. [1, с. 151] Тема внедрения цифровых технологий все активнее включается в повестки дня экономических форумов. Развитию цифровых технологий посвящаются масштабные государственные программы. В этом аспекте важным направлением является создание экосистемы цифровой экономики Российской Федерации, в которой данные в цифровой форме — это ключевой фактор производства во всех сферах социально-экономической деятельности [2]. В различных сферах деятельности требования к представлению данных могут быть разными, но одним из важных требований при создании информационной системы является адаптивность системы и ее интегрируемость с другими. Так, в работе [3, с. 156] отмечаются именно такие требования к информационной системе, внедряемой в центре повышения квалификации: «наличие адаптивной системы электронного документооборота, связь с бухгалтерской системой (1с), совместимость системы электронного документооборота с системой дистанционного обучения». То есть важным является возможность комплексирования различных программных систем.

Такая тенденция требует активного использования различных инструментов информационно-коммуникационных технологий, в том числе и компьютерного моделирования, которое позволяет представлять объект в виде информации, описывающей существенные для данного рассмотрения параметры и переменные величины объекта, связи между ними, входы и выходы объекта и позволяющие путём подачи на модель информации об изменениях входных величин моделировать возможные состояния объекта. [4, 5]

Для анализа свойств и поведения объекта не всегда возможно проведение натурального эксперимента, хотя такой эксперимент и представляет собой самый лучший способ исследования свойств и поведения объекта в нужных условиях [6]. Действительные процессы и объекты могут быть настолько сложными и многогранными, что самый простой способ их

исследования — построение модели объекта в упрощенном виде, отображающей лишь какую-то грань реальности.

Приведем случаи, когда натуральный эксперимент невозможен или нецелесообразен:

- исследование воздействия нового лекарства на организм человека;
- испытание новой конструкцией самолета;
- эксперимент с элементами космических станций;
- испытания, близкие к граничным условиям, могут привести к аварии и разрушения объекта;
- применение нового вида вооружения;
- и т.п.

Моделирование позволяет проводить эксперимент без использования натурального объекта. Модель — абстрактное описание системы (объекта, процесса, проблемы, понятия) в некоторой форме, отличной от формы их реального существования.

Применяя моделирование можно получить:

- улучшения характеристик реальных процессов и объектов;
- понимания сути явлений и выработки навыков управления ими;
- прогноз поведения системы при сочетании ее управляемых параметров и случайных воздействий;
- реинжиниринг объектов с определенной целью.

Моделирование помогает человеку принимать обоснованные и продуманные решения, предвидеть последствия своей деятельности.

Компьютерное моделирование — позволяет на базе компьютерной модели сложной системы применять метод анализа её поведения или синтеза её структуры. Результат компьютерного моделирования — получение количественных и качественных результатов по имеющейся модели. Причем качественные аспекты позволяют обнаружить неизвестные ранее свойства сложной системы: ее структуру, динамику развития, устойчивость, целостность и др.

Количественные характеристики представляют собой прогноз некоторых будущих состояний системы или объяснения прошлых её поведений.

Основные этапы создания и анализа компьютерных моделей (рис. 1):

- 1) Определение исследуемой предметной области.
- 2) Целевое назначение моделирования.
- 3) Требования к модели.
- 4) Выбор инструмента и среды разработки модели.
- 5) Построение и реализация модели.

- 6) Планирование эксперимента.
 7) Выполнение эксперимента.

- 8) Анализ полученных результатов.

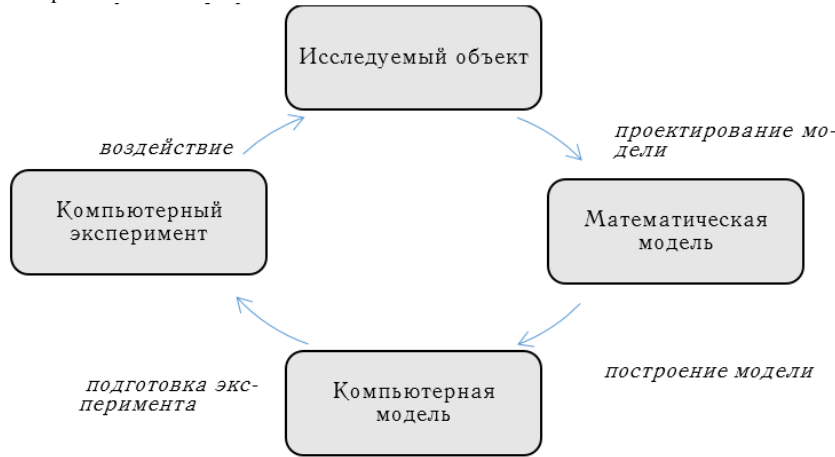


Рис. 1. Этапы создания и анализа компьютерной модели

Модель представляет собой объект эксперимента, который должен быть максимально приближен к реальному прототипу и обеспечивать получение данных с необходимой точностью и достоверностью.

Эксперименты на имитационной модели позволяют получить необходимые данные, анализ которых переводятся в термины предметной области. Результат эксперимента – информация, необходимая для принятия решения о воздействии на реальную систему.

Если рассматривать систему, как совокупность взаимодействующих элементов, функционирующих во времени, то имитационную модель можно представить в виде тройки составляющих:

$$\langle A, S, T \rangle (1)$$

где: **A** – множество элементов модели (в их число может быть включена и внешняя среда);

S – множество допустимых связей между элементами (структура модели);

T – множество моделируемых моментов времени.

«При имитационном моделировании структура моделируемой системы непосредственно отображается в модели, а процессы её функционирования проигрываются (имитируются) на построенной модели. Построение модели заключается в описании структуры и процессов функционирования моделируемого объекта или системы.» [7, с. 22]

Описание модели включает две части:

- статистическое описание структуры системы, который определяет состав элементов модели;
- описание динамики взаимодействия элементов системы, отражающей моделируемые процессы.

Взаимодействие элементов системы можно реализовать через алгоритм функционирования отдельных элементов с учетом обмена информацией как между элементами, так и с внешней средой.

Любая система характеризуется набором её состояний, которые описываются набором переменных. При этом изменяя значения таких переменных можно имитировать переход системы из одного состояния в другое.

«Имитационное моделирование – это представление динамического поведения системы через продвижение её из одного состояния в другое согласно хорошо определенным операционным правилам. Такие

изменения состояния могут происходить или непрерывно, или в дискретные моменты времени. Или по-другому: имитационное моделирование – это динамическое отражение изменений состояния системы с течением времени.» [7, с. 25]

Рассмотрим основные виды имитационных моделей:

- процессно-ориентированный подход (**системы массового обслуживания**);
- сети **кусочно-линейных агрегатов**, моделирующие дискретные и непрерывно-дискретные системы;
- **сети Петри** и их расширения, применяемые при структуризации причинных связей и моделировании систем с параллельными процессами;
- потоковые диаграммы и конечно-разностные уравнения **системной динамики**, являющиеся моделями непрерывных систем;
- **агентное моделирование**.

Система массового обслуживания – абстрактный объект, в котором выполняется последовательность операций, объект включает совокупность блоков обслуживания, которые связаны каналами, по которым происходит движение заявок на обслуживание. Модель имеет блочную структуру. Моделируемый процесс представляется как поток заявок в системе обслуживания. Блоки интерпретируются как обслуживающие устройства. Заявки конкурируют между собой за место в обслуживающем устройстве, образуя очереди перед этими блоками, если они заняты. Схема модели описывает маршруты движения заявок в системе.

Объекты **кусочно-линейного агрегата** принято изображать в виде преобразователя (рис. 2). функционирующего во времени $t \in T = [0, \infty)$ и способного воспринимать входные сигналы **X** со значениями из некоторого множества **X**, выдавать выходные сигналы **Y** со значениями из множества **Y** и находиться в каждый момент времени в некотором состоянии **Z** из множества **Z**.

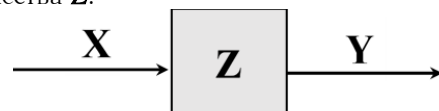


Рис. 2. Вид преобразователя.

Множества X, Y, Z описывают допустимые входных и выходных сообщений (функции $x(t)$ и $y(t)$, $t \in T$ и траекторию $z(t)$, $t \in T$), а также способ преобразования входного сообщения в выходное. Объединение конечного числа **кусочно-линейный агрегатов** в схему сопряжения позволяет создать **агрегативную систему**.

Сети Петри позволяют моделировать процессы, протекающие независимо один от другого. При разработке таких моделей используют информацию о логической взаимосвязи событий в системе и условия наступления событий. Сети Петри описывают асинхронной системы динамической структуры базируясь на взаимосвязи событий и условий.

Модели **системной динамики** не принимают в расчет мелкие детали элементной базы (индивидуальные свойства потоков, событий или людей), что позволяет моделировать сложные системы на высоком уровне абстракции. Данный подход хорошо применять для стратегического планирования или при необходимости получить общее представление о системе. Основной модели системной динамики являются потоки и накопители некоторых сушествностей системы (рис. 3). Идея моделирования динамики сложных систем в 1958 г. высказана Дж. Форрестером, предложившим для описания агрегированных характеристик систем использовать «гидродинамическую» метафору «накопительных сосудов» и «вентилей», управляющих потоками «веществ» любой природы, перемещающимися между «сосудами».

Агентное моделирование предполагает исследование поведение децентрализованных агентов и на этой базе осуществляется построение модели, позволяющей имитировать динамику системы в целом. Моделирование использует технологию разработки «снизу-вверх»: аналитик определяет индивидуальное поведение агентов, а поведение всей системы генерируется

как результат деятельности множества агентов. Каждый из агентов, функционируя асинхронно и по своим законам, может изменять свое поведение, взаимодействуя с другими агентами и внешней средой, и при этом оказывать влияние на поведение как других агентов, так и на внешнюю среду.

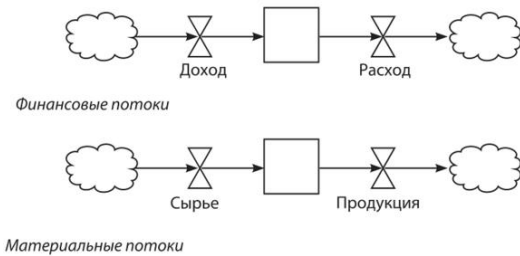


Рис. 3. Диаграмма потоков, накопителей и уровней.

Используя агентные модели можно получать представление о глобальных правилах, общих закономерностях и тенденциях в поведении системы исходя из предположений об индивидуальном, частном поведении ее отдельных активных объектов и их взаимодействиях. Наиболее продуктивным считается использование агентных моделей для исследования динамики функционирования систем, поведение которых определяется не глобальными правилами и законами, а является результатом индивидуальной активности её элементов.

При разработке компьютерной модели важным этапом является выбор вида имитационной модели и её описание. При выборе можно базироваться на одном виде модели или использовать комбинацию различных методологий.

Литература:

1. Черноусов А.А., Черноусова Н.А. Оценка эффективности поиска деловой информации в сети интернет / РИСК: Ресурсы, информация, снабжение, конкуренция. 2010. № 1. – С. 151-154
2. Галахов Д.В., Уринцов А.И., Черноусов А.А., Об электронном обучении специалистов в области гостиничного бизнеса // Проблемы развития электронного образования в России: сборник научных трудов // Московский государственный университет экономики, статистики и информатики. М., 2015. – С. 237-243
3. Черноусов А.А. Автоматизация бизнес процессов в центрах повышения квалификации / РЭУ им. Г.В. Плеханова, 2016. Сборник научных трудов XIX научно-практической конференции «Инжиниринг предприятий и управление знаниями (ИП & УЗ-2016)» – С. 152-156
4. Исследование выполнено по гранту Президента РФ по государственной поддержке ведущих научных школ № НШ-5449.2018.6 «Исследование цифровой трансформации экономики»
5. Днепроvская Н.В., Шевцова И.В. Уровни управления знаниями при разработке электронных курсов / Н.В. Днепроvская, И.В. Шевцова // Открытое образование, 2017 №1 – С. 20-26.
6. Иванов Е.А., Кузищн Д.О. Лаборатория удалённого доступа или новые возможности обучения программированию // Совершенствование подготовки специалистов по направлению «Прикладная информатика» на основании инновационных технологий и E-learn: Сб. научных трудов / МЭСИ. М., 2006. – С. 77-81.
7. Лычкина Н.Н. Имитационное моделирование экономических процессов. Учебное пособие. – М.: ИНФРА-М, 2012. – 254 с.