
ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ: СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ И НОВЫЕ МОДЕЛИ

Юрова Яна Александровна,

аспирант экономического факультета Воронежского государственного университета; ya.yurova@mail.ru

В данной статье последовательно рассматриваются основные типы имитационных моделей, их преимущества и недостатки. Проводится анализ данных моделей по критерию правдоподобности результатов, а также предлагается способ наиболее полного воспроизведения многообразия ожидаемых ситуаций.

Ключевые слова: имитационное моделирование, метод Монте-Карло, адаптивно-имитационная модель, агентное моделирование, имитационно-эконометрическое моделирование, принцип стохастического воспроизведения закономерностей исторического периода.

Суть имитационного моделирования заключается в том, чтобы как можно точнее, полнее, нагляднее отобразить моделируемый объект и динамику его функционирования. В основе имитационного моделирования положена идея подражания поведению моделируемого объекта. С помощью него получают характеристики, оценивающие моделируемый процесс с точки зрения разнообразия возможных вариантов его проявления. Таковыми могут быть, например, размах возможных значений, оценка вероятности отдельных ситуаций, среднее квадратическое отклонение и т.д. В задачах, где используются вышеуказанные характеристики использование имитационного моделирования видится целесообразным в тех случаях, когда эти характеристики неизвестны.

Процесс имитации осуществляется с различной степенью детализации имитируемых процессов. Наибольший научный интерес, а также практическую значимость всегда представляют модели, позволяющие получать наиболее реалистичные варианты траекторий поведения изучаемых процессов. Распространенным методом моделирования случайных величин в социально-экономических процессах является метод Монте-Карло.

Данный метод был разработан и впервые применен к решению ряда задач в середине прошлого столетия Джоном фон Нейманом и Станиславом Уламом. Изначально он применялся в работах по ядерной технике и ядерным излучениям, а затем получил распространение и в экономике.

Метод Монте-Карло дает возможность моделировать большое количество сложных систем с многочисленными внутренними процессами. Кроме того, он позволяет строить модель поведения системы управления на промежутке времени в несколько лет.

Описываемый метод подробно рассматривается А.А. Емельяновым. Исследователь утверждает, что в различных задачах, встречающихся при создании сложных систем, могут использоваться различные величины, значения которых определяются случайным образом. Примерами таких величин являются:

- 1) случайные моменты времени, в которые поступают заказы на фирму;
- 2) загрузка производственных участков или служб объекта экономики;
- 3) внешнее воздействия (требования или изменения законов, платежи по штрафам и др.);
- 4) ошибки измерений [2, с. 18].

Метод Монте-Карло чаще всего применяется при решении полностью детерминированных задач, он основан на статистических испытаниях и имеет экстремальную сущность. С помощью повторяющихся испытаний данный подход позволяет получать статистические результаты, чья вероятность отличия от истинных не более чем за заданную величину есть функция количества испытаний.

В процессе практических вычислений с помощью метода Монте-Карло используются случайные числа из заданного вероятностного распределения, которые могут быть как полученные путем конкретных операций, так и взятые из таблиц.

Применение метода Монте-Карло может дать существенный эффект при моделировании развития процессов, натурное наблюдение которых нежелательно или невозможно, а другие математические методы применительно к этим процессам либо не разработаны, либо не приемлемы из-за многочисленных оговорок и допущений, которые могут привести к серьезным погрешностям или неправильным выводам. В связи с этим, необходимо не только наблюдать развитие процесса в нежелательных направлениях, но и оценивать гипотезы о параметрах нежелательной ситуации, к которым приведет такое развитие, в том числе и параметрах риска [2, с. 19].

Точность подражания реальным процессам в значительной степени зависит от правильности выбора используемых в имитационных моделях законов распределения случайных величин. Правильность выбора, в свою очередь, обусловлена точностью идентификации этих законов и соответствующих параметров. Таким образом, правдоподобность имитации зависит от двух составляющих: адекватности, с которой моделируются законы, характеризующие взаимосвязь процессов, и точности воспроизведения случайных величин [5].

Первая связана с необходимостью отражения структурной нестабильности

реальных процессов, потому что воздействие множества факторов искажает получаемое соотношение формализованных величин. Вторая характеризуется постоянной нестабильностью параметров распределения.

Если пренебречь указанными обстоятельствами, то уровень подражания снизится, а модель станет неправдоподобной и даст недостоверные прогнозные образы. Стремление ученых найти выход из подобной ситуации отразилось в разработке нового класса моделей, которые получили название адаптивно-имитационных.

Метод сочетания адаптивного подхода с имитационным моделированием впервые был применен Е.М. Левицким [4]. Несмотря на то, что в работах данного ученого отсутствуют конкретные модели, ему по праву принадлежит первенство в разработках данного подхода.

Основным назначением адаптивно-имитационных моделей выступают многовариантные прогнозные расчеты с учетом возможных изменений в характере функционирования эндогенных и экзогенных факторов.

Изучая данный подход, необходимо рассматривать не только модели обеспечивающие подражание в области законов, но и модели описывающие подражание случайных величин (имитационные системы второго ранга). Именно в рамках моделей второго типа существенно повышается надежность прогнозирования, а также расширяется спектр решаемых задач благодаря совместному применению имитационного и адаптивного подходов. Необходимая трансформация адаптивных моделей в модели второго ранга осуществляется посредством методологии имитационного моделирования. Совместимость такой методологии с адаптивным прогнозированием объясняется следующими обстоятельствами.

В первую очередь следует отметить, что прогнозирование поведения моделируемого объекта выступает важным направлением применения имитационного моделирования. Имитационные эксперименты в отличие от экспериментов с реальными объектами позволяют получать информацию о состоянии характеристик объектов в упреждающий момент времени. Благодаря тому что непосредственные объекты заменены на модели, появляется возможность изучения и прогнозирования их поведения в отличный от текущего момент времени. Данная возможность позволяет корректировать коэффициенты модели в те моменты времени, в которые отсутствуют необходимые для этого фактические значения. Это предоставляет возможность устранить запаздывание реакции адаптивной модели.

Вторым обстоятельством совместимости является возможность многократного проведения имитационных экспериментов для одного и того же момента времени. Данный факт способствует реализации качественно нового подхода в использовании адаптивных моделей при вычислении прогнозных траекторий. Многократные имитационные эксперименты в конечном итоге, таким образом, позволяют сделать расчет значения

усредненной прогнозной траектории. Её статистическая надежность в конечном итоге значительно выше, чем у отдельной реализации.

В-третьих, эксперименты с адаптивными моделями, основанные на имитации, зачастую выступают единственным подходом, позволяющим построить интервальный прогноз.

Далее необходимо подчеркнуть тот факт, что участие экспертов в рамках проведения вычислительных экспериментов на ЭВМ с использованием методологии имитационного моделирования позволяет работать с адаптивными моделями в интерактивном режиме.

И, наконец, комплексное применение этих двух подходов дает возможность создать новый класс моделей, которые получили название «адаптивно-имитационные».

Имитационное моделирование, являясь более емким понятием, чем адаптивное, может включать в себя последнее как один из разделов математического моделирования, и тогда не имеет смысла говорить о новом классе моделей. Однако варианты совместного применения этих двух подходов могут быть различны.

Общие принципы применения элементов имитации в адаптивных моделях показывают, что такое комбинирование приводит к моделям, которые наделены своеобразным набором свойств. Такие модели, обладая адаптивным механизмом, способны имитировать не только потенциально возможные варианты внешне проявляемого поведения, но и варианты, отражающие изменения внутренней структуры взаимосвязей между факторами и исследуемым процессом. В силу этих возможностей область их практического использования может оказаться весьма обширной и распространяться не только на решение прогнозных задач экстраполяционного характера, но и на аналитические задачи перспективного анализа [1, с. 302-309].

Следующим подходом к применению имитационного моделирования выступает агентное моделирование. Разработка данного подхода связана с представлением об экономике как о сложной адаптивной системе. Одним из преимуществ агентного моделирования является возможность выявления взаимосвязей между факторами, незначительными на первый взгляд, и масштабными социальными последствиями, которые могут быть их следствием. Агентное моделирование позволяет успешно конструировать именно сложные адаптивные системы. В основе модели заложен комплекс основных элементов, посредством взаимодействия которых генерируется обобщенное поведение системы. Задачей агентного моделирования выступает зачастую попытка понимания природы сложных социальных явлений. Конечное поведение системы есть ни что иное, как результат взаимодействия ее элементов. Из сказанного следует, что при применении данного подхода неотъемлемым является релевантное отображение механизма поведения и взаимодействия агентов, которыми могут выступать как отдельные индивиды, так и их общности.

Для экономических моделей основным элементом является некое количество взаимодействующих между собой «агентов». Ю.Г. Карпов отмечает, что агент представляет собой «некую сущность, которая обладает активностью, автономным поведением, может принимать решения в соответствии с некоторым набором правил, может взаимодействовать с окружением и другими агентами, а также может изменяться» [3, с.120].

Американский исследователь Томас Шелленг разработал одну из первых агентных моделей, исследуя проблему расовой сегрегации в американских городах. Итогом работы ученого стал вывод, что система, агенты которой основывают собственное поведение лишь на оценке локальной ситуации, показывает значительное изменение из-за самоорганизующихся процессов.

Дэвид Баттен на основе экспериментальных данных Томаса Шелленга сделал вывод о том, что даже незначительное изменение в правилах принятия решения агентами способно повлечь совершенно иной результат. Данное наблюдение получило название «эффект бабочки».

В общем, механизм построения агентной модели включает три этапа:

1. Определение границ модели: какое событие моделируется, каковы его рамки.

2. Определение поведения/взаимодействий агентов: разработка модели поведения/принятия решений агентом и его взаимодействия с остальными агентами.

3. Разработка и апробация модели, поведение анализа чувствительности.

Агентное моделирование выступает очень перспективным видом имитационного моделирования. Оно является серьезным инструментом поддержки руководителей предприятий при принятии решений. Но важно помнить, что разработка подобных моделей требует грамотной формулировки проблемы и постановки задачи, а так же профессиональной экспертизы и большого опыта.

Однако помимо имитационного моделирования широко используется построение имитационно-эконометрических моделей, которые, в свою очередь, обладают рядом дополнительных возможностей, реализуемых за счет использования при их построении принципа стохастического воспроизведения закономерностей исторического периода. За счет указанного принципа повышается вероятность имитирования тех значений, в которых отражена приближенная взаимосвязь с закономерностями исторического периода. В целом, получаемые результаты являются более правдоподобными.

Принцип стохастического воспроизведения закономерностей исторического периода дает основание для конструирования имитационно-аналитической модели, в которой в обычную расчетную схему внедряется аналитическая составляющая. Последняя служит для получения значений в соответствии с выявленными в моделируемом процессе закономерностями, а также позволяет использовать стохастическую составляющую для отбора

рандомных значений. Результатом использования данной аналитической составляющей служит сумма полученных таким образом чисел.

Специальная зависимость, показывающая в режиме имитационных расчетов вероятностную взаимосвязь получаемых результатов с условиями, в которых эти результаты правдоподобны, необходима в дополнение к эконометрической модели.

В моделях, описанных в данном исследовании, регламентирующим элементом выступает принцип стохастического воспроизведения закономерностей исторического периода, который реализуется с помощью эконометрических моделей с дискретной зависимой переменной.

Все неопределенности в имитационном моделировании трактуются в вероятностном смысле, и для них принимается соответствующий закон распределения. В данном случае построение модели требует повышения ресурсно-временных затрат, с одной стороны, снижая при этом правдоподобность результата, – с другой.

В прогнозном образе, сформированном на основе принципа стохастического воспроизведения закономерностей исторического периода, отсутствует субъективная составляющая. Ее отсутствие не позволяет сформировать правдоподобный образ упреждающего периода и, следовательно, в принимаемом решении доминируют ориентиры на исторический период. Вероятность подобных ситуаций значительно снижается, если имитационную модель строить на основе принципа рационально-стохастического воспроизведения закономерностей исторического периода.

В основе данного принципа заложена возможность стохастического воспроизведения не только закономерности исторического периода, но и частных суждений о вероятных тенденциях упреждающего периода.

Однако, как было сказано выше, данная имитационно-эконометрическая модель оставляет вероятность девиации полученных результатов.

Во избежание указанной проблемы предлагается разработка нечетко-вероятностной имитационной модели.

Далее показан простейший вариант модели, в которой реализован принцип стохастического воспроизведения закономерностей исторического периода:

$$r_{t+1}^k = a_0 + a_1 r_t + dx_k + \varepsilon_k,$$

$$dx_k = d - 2dF(z),$$

$$F(x) = \frac{e^{b_0 + b_1 z}}{1 + e^{b_0 + b_1 z}},$$

$$\varepsilon_k = N(\gamma, \sigma^2),$$

$$z = RND,$$

где r_{t+1}^k – уровень доходности финансового актива, полученный в результате k -го имитационного эксперимента для момента времени $t+1$;

a_0, a_1, d – оцениваемые коэффициенты модели;
F(..) – функция логического распределения;
z – случайная величина, сгенерированная датчиком равномерно распределенных случайных чисел в k-м имитационном эксперименте;
RND – датчик равномерно распределенных случайных чисел;
 b_0, b_1 – оцениваемые коэффициенты логической функции;
 ε_k – случайная величина, сгенерированная датчиком нормально распределенных случайных чисел в k-м имитационном эксперименте;
 γ – нечеткая величина с функцией принадлежности;

Нечеткая величина γ является характеристикой функцией распределения случайной переменной ε_k . Именно обращение к нечеткому параметру приводит к достижению наиболее полного воспроизведения многообразия ожидаемых ситуаций.

Список источников

1. Давнис, В.В. Адаптивные модели: анализ и прогноз в экономических системах [текст] / В.В. Давнис, В.И. Тинякова. – Воронеж: Воронежский государственный университет, 2006. – 308 с.
2. Емельянов, А.А. Имитационное моделирование экономических процессов: Учеб.пособие [текст] / А.А. Емельянов, Е.А. Власова, Р.В. Дума. – М.: Финансы и статистика, 2002. – 368с.
3. Карпов, Ю.Г. Имитационное моделирование систем. Введение в моделирование с AnyLogic 5 [текст] / Ю.Г. Карпов. – СПб.:БХВ-Петербург, 2005. – 400с.
4. Левицкий, Е.М. Адаптация и моделирование экономических систем [текст] / Е.М. Левицкий. – Новосибирск: Наука, 1978. – 208 с.
5. Хабибулин, Д.А. Имитационно-эконометрические модели в задачах обоснования портфельных инвестиций на фондовом рынке: дис.канд. экон. наук [текст] / Д.А.Хабибулин. – Воронеж, 2010. – 127 с.

IMITATIVE MODELING: MODERN APPROACHES AND NEW MODELS

Yurova Yana Aleksandrovna,

Post-graduate student of Economic Faculty Voronezh State University;
ya.yurova@mail.ru

This article considers in series the basic types of imitative models, their advantages and disadvantages. The data model is analyzed by the plausibility of the results, and also the most complete way to play the expected diversity of situations is offered.

Keywords: imitative modeling, Monte Carlo method, adaptive and imitative model, agent-based modeling, imitative and econometric modeling, principle of stochastic reproduction of laws of the historical period.

ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ

Журнал «Современная экономика: проблемы и решения» принимает к публикации материалы, содержащие результаты оригинальных исследований, оформленных в виде полных статей (до 20 страниц) и кратких сообщений (до 5 страниц).

Опубликованные материалы, а также материалы, представленные для публикации в других журналах, к рассмотрению не принимаются.

Для публикации авторы предоставляют следующие материалы в редакцию журнала (по электронной почте: journal.MEPR@yandex.ru):

1. **Статью**, набранную в текстовом редакторе Microsoft Word и оформленную в соответствии с требованиями: формат А4, шрифт – 14 Times New Roman, интервал – полуторный; поля: левое – 30 мм; верхнее и нижнее – 20 мм; правое – 15 мм.

Не рекомендуется использовать нумерацию страниц и автоматическую расстановку переносов.

Формулы помещаются в текст с использованием редактора формул Microsoft Equation со следующими установками: обычный 14 пт; крупный индекс 9 пт; мелкий индекс 7 пт; крупный символ 18 пт; мелкий символ 12 пт.

Рисунки должны иметь четкое изображение и быть выдержаны, как правило, в черно-белой гамме.

Рисунки и таблицы должны быть пронумерованы и иметь названия; на них должны быть ссылки в тексте.

Таблицы являются частью текста и не должны создаваться как графические объекты.

Обязательным является указание УДК.

Список источников приводится в конце статьи в алфавитном порядке в соответствии с ГОСТ 7.1-2003 «Библиографическая запись. Библиографическое описание. Общие требования и правила составления».

Статья должна носить, по преимуществу, аналитический, а не описательный, характер. В ней должен найти четкое отражение авторский подход к решению исследуемой проблемы

2. **Аннотацию** (2-3 предложения) на русском и английском языках.

3. **Ключевые слова** на русском и английском языках.

4. **Сведения об авторе** (на русском и английском языках): ФИО полностью, ученая степень, ученое звание, место работы, должность, контактный телефон, адрес электронной почты, адрес для пересылки журнала.

Рукописи всех статей, поступивших в журнал, проходят через институт рецензирования. Максимальный срок рецензирования – от даты поступления до вынесения решения – составляет 1 месяц.

Плата с авторов за рецензирование статей не взимается. Плата за публикацию взимается в случае положительной рецензии.

Плата с аспирантов за рецензирование и публикацию статей (без соавторов) не взимается.

Авторы имеют право использовать все материалы в их последующих публикациях при условии, что будет сделана ссылка на публикацию в журнале «Современная экономика: проблемы и решения».

Материалы, не соответствующие указанным требованиям, рассматриваться не будут.