

**ЗАДАЧИ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ В ОЦЕНИВАНИИ
РЕАКЦИИ СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМ НА ВНЕШНИЕ
ВОЗДЕЙСТВИЯ****Д. Н. Верзилин, С. Н. Потапычев, Н. А. Рыжков (Санкт-Петербург)**

Общие подходы и принципы концептуального моделирования причинно-следственных связей между событиями в социально-экономической системе. Текущее состояние социально-экономической системы описывается набором факторов, которые естественно назвать внутренними, или эндогенными факторами. В свою очередь, на процессы наступления событий в системе оказывают влияние факторы макросреды, т.е. внешние, или экзогенные факторы. Факторы могут быть количественными, обладающими некоторыми числовыми значениями, или качественными, характеризующимися одним из нескольких возможных признаков. При моделировании процессов наступления событий в системе количественные факторы описываются числовыми переменными, а качественные – категоризованными переменными. Как и факторы, переменные могут разделяться на эндогенные и экзогенные. Значения эндогенных переменных формируются внутри моделируемой социально-экономической системы. Значения экзогенных переменных определяются внешними условиями. Отнесение факторов, или переменных к эндогенным (внутренним) или экзогенным (внешним) является условным и зависит от того, как, в соответствии с целями исследования, определяются границы моделируемой системы. Некоторые экзогенные переменные соответствуют нерегулируемым факторам. Значения таких переменных определяются внешними условиями. Эти переменные выступают в качестве параметров для моделей, описывающих процедуры наступления массовых событий. Значения переменных, соответствующих регулируемым факторам, можно варьировать.

Значения эндогенных переменных с течением времени изменяются. Изменения определяются причинно-следственными связями между событиями в системе. Даже в ситуациях, при которых внешние факторы с течением времени остаются неизменными, причинно-следственные связи между событиями в системе могут обуславливать изменение эндогенных переменных и, в некоторых случаях, вызывать их неконтролируемое изменение. Целенаправленное воздействие на рассматриваемую социально-экономическую систему есть такое изменение значений регулируемых внешних факторов, которое обеспечивает благоприятную динамику состояния системы. Таким образом, цель моделирования причинно-следственных связей между событиями в социально-экономической системе состоит в описании зависимостей между факторами, позволяющими вырабатывать целенаправленное воздействие на систему.

Сетевые модели причинно-следственных связей между процессами наступления массовых событий. Концептуальная модель причинно-следственных связей между процессами наступления массовых событий должна описывать качественные зависимости между эндогенными переменными, определяющие направления их изменения. Для построения такой модели целесообразно использовать аппарат графов и сетей.

На этапе построения концептуальной модели используются априорные сведения о зависимостях между переменными, основанные на «здравом смысле», известных социально-экономических соотношениях и инвариантах. Например, рассматривается инвариант в форме соотношения, связывающего среднее количество элементов системы, находящихся в заданном состоянии, среднюю интенсивность появления этого состояния и среднее время пребывания в данном состоянии, и инвариант в форме баланса потоков событий, связывающего изменение количества элементов, находящихся в заданном состоянии, количество элементов, перешедших в данное состояние и количество элементов, сменивших данное состояние на другое.

Для построения концептуальной сетевой модели целесообразно использовать аппарат знаковых графов [2, 3]. Использование статистических данных о массовых событиях позволит осуществить коррекцию концептуальной модели и описать количественные и логико-временные зависимости между переменными.

Введем в рассмотрение граф $G=(X,A,Q)$, где X – множество вершин графа, A – множество дуг графа, Q – разметка на множестве дуг. Каждая дуга графа представляет собой пару вершин: $a \in A, a = (x, y), x, y \in X$. Разметка Q приписывает каждой дуге $a \in A$ знак «+» или «-»: $q(a) = +$ или $q(a) = -$.

Далее, каждой вершине графа соответствует эндогенная переменная. Для переменных и вершин будем использовать одинаковые обозначения.

Если увеличение (уменьшение) переменной $x \in X$ влечет увеличение (уменьшение) $y \in X$ и $a = (x, y)$, то $q(a) = +$.

Если увеличение (уменьшение) переменной $x \in X$ влечет уменьшение (увеличение) $y \in X$ и $a = (x, y)$, то $q(a) = -$.

Если изменение $x \in X$ не влечет изменение $y \in X$ и $a = (x, y)$, то $a \notin A$.

Исследование построенной сетевой концептуальной модели позволяет выявить ситуации, при которых первоначальное незначительное увеличение (уменьшение) значения одной эндогенной переменной, вызванное изменением экзогенной переменной, приводит к неконтролируемому увеличению (уменьшению) значений эндогенных переменных, расположенных вдоль «положительного» цикла графа.

Цикл (замкнутый путь) графа G считается положительным, если положительно произведение знаков составляющих его дуг. Для отрицательного цикла гарантируется уменьшение (увеличение) значения переменной, которая первоначально была увеличена (уменьшена). В этой ситуации возможны колебательные процессы (на практике обычно затухающие) изменения значений переменных.

Как будет видно из дальнейшего изложения, предложенные сетевые концептуальные модели причинно-следственных связей между процессами наступления событий в системе интегрируются с динамическими и регрессионными моделями, разрабатываемыми на основе статистических данных о массовых событиях, и имитационными моделями, описывающими поведение элементов системы.

Приведенные понятия, характеризующие процессы наступления событий в социально-экономической системе, предложенные сетевые модели, представляющие причинно-следственные связи между событиями, позволяют сформулировать следующие основные принципы концептуального моделирования.

1. Принцип ограниченности рассматриваемой социально-экономической системы. Необходимо ограничиться рассмотрением событий, источником которых являются элементы заданной социально-экономической системы.

2. Принцип разделения факторов. Следует различать внешние регулируемые, внешние нерегулируемые и внутренние факторы наступления событий.

3. Принцип априорного определения направления причинно-следственных связей между событиями. Необходимо определить знаки взаимного влияния эндогенных переменных.

Особенности применения имитационного моделирования при описании поведения элементов социально-экономической системы. Охарактеризуем совокупность знаний для оценивания реакции социально-экономических систем на внешние воздействия.

1. Теоретические экономические построения и уточняющие их эконометрические модели, описывающие взаимосвязи между рассмотренными выше эндогенными и экзогенными переменными.

2. Статистические данные о состоянии элементов социально-экономической системы и внешних воздействиях, позволяющие определить значения эндогенных и экзогенных переменных. Например, значение некоторой эндогенной переменной может определяться количеством элементов заданного типа, находящихся в заданном состоянии.

3. Модели процессов изменения состояния элементов системы. Модели могут быть использованы для преодоления фрагментарности статистических данных. В случае если вероятность перехода элемента системы в заданное состояние зависит от текущего состояния других элементов, то такие модели приобретают вид классических имитационных моделей.

Построение комплекса моделей для оценивания на основе фрагментарных данных реакции социально-экономической системы на внешние воздействия. Считаем, что источником событий в системе являются ее элементы, наблюдаемые в дискретные моменты времени. В соответствии с введенными ранее терминами совокупность состояний элементов определяет значения эндогенных и экзогенных переменных. В результате наблюдения за элементами формируется трехмерная таблица статистических данных (элементы таблицы имеют три индекса):

$$v_i^{pj}, \quad w_j^{pt}; \quad i = 1, \dots, N; \quad j = 1, \dots, M; \quad p = 1, \dots, P; \quad t = 1, \dots, T,$$

где символ v использован для обозначения эндогенных переменных, символ w – для обозначения экзогенных переменных, i, j – номера переменных, p – номер объекта, t – номер момента времени.

Таким образом, имеются так называемые «панельные» данные, т.е. значения переменных фиксируются для различных элементов в различные моменты времени.

Данные могут быть фрагментарными (трехмерная таблица может содержать пропуски).

Сами переменные, а не их значения, будем обозначать: $v_i(t), \quad w_j(t); \quad i = 1, \dots, N; \quad j = 1, \dots, M$, в зависимости от рассматриваемого момента времени t .

Регрессионные модели описывают статистически значимые зависимости между переменными. Построению регрессионных моделей предшествует определение тождеств и априорных моделей [1].

Тождества определяют однозначные функциональные зависимости между переменными. Тождества формируются на основе балансов потоков событий, инвариантов систем массового обслуживания и т.п. Тождества позволяют однозначно выразить значения некоторых эндогенных переменных через значения других переменных. Будем считать, что такие переменные уже исключены из рассмотрения, и оставшиеся переменные не связаны функциональными зависимостями.

Используем понятие предопределенной переменной. Значения предопределенных переменных могут влиять на формирование значений эндогенных переменных в заданный момент времени. Предопределенная переменная представляет собой либо экзогенную переменную $w_j(\tau); \quad j = 1, \dots, M$, в этом случае $\tau < t$, либо эндогенную переменную $v_i(\tau); \quad i = 1, \dots, N$, в этом случае $\tau < t$.

Совокупность априорных моделей представляет собой систему линейных одновременных уравнений. Одновременные уравнения составляются в соответствии с теоретическими представлениями о зависимостях между переменными. Коэффициенты при переменных обычно не имеют точного числового выражения. Для них известен знак либо диапазон. В общем виде уравнения записываются так:

$$\begin{aligned}
 c_{11}v_1(t) + c_{12}v_2(t) + \dots + c_{1n}v_n(t) + a_{10} + a_{11}z_1 + a_{12}z_2 + \dots + a_{1k}z_k &= \delta_1 \\
 c_{21}v_1(t) + c_{22}v_2(t) + \dots + c_{2n}v_n(t) + a_{20} + a_{21}z_1 + a_{22}z_2 + \dots + a_{2k}z_k &= \delta_2 \\
 \dots & \dots \\
 c_{n1}v_1(t) + c_{n2}v_2(t) + \dots + c_{nn}v_n(t) + a_{n0} + a_{n1}z_1 + a_{n2}z_2 + \dots + a_{nk}z_k &= \delta_n
 \end{aligned}$$

Здесь $\delta_1, \delta_2, \dots, \delta_n$ – переменные-невязки, z_1, z_2, \dots, z_k – предопределенные переменные. Предполагается, что число уравнений совпадает с числом эндогенных переменных. Как правило, про многие коэффициенты при переменных можно однозначно сказать, что они равны 0.

Именно априорное представление о том, какие коэффициенты равны 0, облегчает составление регрессионных моделей и идентификацию их коэффициентов. В предположении, что коэффициенты при эндогенных переменных образуют неособенную матрицу, выражаем значения эндогенных переменных через значения предопределенных переменных:

$$\begin{aligned}
 v_1(t) &= b_{10} + b_{11}z_1 + b_{12}z_2 + \dots + b_{1k}z_k + \xi_1 \\
 v_2(t) &= b_{20} + b_{21}z_1 + b_{22}z_2 + \dots + b_{2k}z_k + \xi_2 \\
 \dots & \dots \\
 v_n(t) &= b_{n0} + b_{n1}z_1 + b_{n2}z_2 + \dots + b_{nk}z_k + \xi_n
 \end{aligned}$$

По-прежнему про многие коэффициенты известно, что они равны 0 (матрица разрежена).

Записанные таким образом уравнения подлежат идентификации на основе стандартных процедур регрессионного анализа.

Если для какой-нибудь эндогенной переменной не удастся установить статистически значимую регрессионную модель, то такая переменная исключается из рассмотрения. При этом из правых частей уравнения исключаются соответствующие предопределенные переменные. В случае высоких корреляций между предопределенными переменными в правой части одного из уравнений количество переменных с ненулевыми коэффициентами может быть сокращено.

Регрессионные модели естественным образом интегрируются с определенными ранее сетевыми концептуальными моделями причинно-следственных связей между процессами наступления массовых событий.

Рассмотрим уравнение, в правой части которого присутствует с ненулевым коэффициентом эндогенная предопределенная переменная. Допустим, это уравнение с номером i :

$$v_i(t) = e_{ij} + d_{ij} v_j(t)_{\square}, \text{ где } e_{ij} \text{ – сумма всех остальных слагаемых уравнения.}$$

В других обозначениях запишем:

$$v_i(\tau + t_{ij}) = e_{ij} + d_{ij} v_j(\tau)_{\square}.$$

Предполагаем, что e_{ij} не зависит от $v_j(\tau)$. Такое предположение оправданно, поскольку сильные корреляции между переменными правых частей и между переменными и остатками исключены.

Таким образом, изменение v_j в момент времени τ влечет пропорциональное изменение v_i спустя t_{ij} единиц времени:

$$\Delta v_i(\tau + t_{ij}) = d_{ij} \Delta v_j(\tau)_{\square}.$$

Если считать, что коэффициенты регрессий не претерпевают существенных изменений в течение небольших промежутков времени, то d_{ij} не зависит от τ .

Теперь введенную ранее концептуальную сетевую модель можно дополнить следующими данными. Каждой вершине, соответствующей эндогенной переменной, сопоставляются коэффициенты при экзогенных переменных и свободный член из уравнения регрессии. В этом списке отсутствуют коэффициенты при эндогенных предопределенных переменных. Вместо коэффициента вводится дуга, соединяющая переменные v_j и v_i . Эта дуга помечена двумя числами: d_{ij} и t_{ij} , при этом d_{ij} – коэффициент передачи изменений, а t_{ij} – временная задержка. Таким образом, построенная модель описывает динамику состояния системы.

Предложенный подход к анализу циклических изменений значений эндогенных переменных эффективен в случае, если продолжительность циклов существенно превышает шаг наблюдений. Если это условие не выполнено, то отрицательные циклы могут никак себя не проявить, а для положительных циклов будет замечен синхронный рост образующих цикл переменных. В последнем случае между переменными будет наблюдаться корреляционная зависимость (цикл может быть заменен одной переменной с меткой). В случае необходимости исследования «быстрых» циклов шаг наблюдения должен быть уменьшен.

Определение наиболее информативных показателей, описывающих управляющие воздействия и реакцию системы. Выше описаны процедуры формирования моделей для оценивания реакции социально-экономической системы на внешнее воздействие. Совокупность эндогенных и экзогенных переменных в составе предложенных моделей по своему назначению и условиям отбора может быть использована в качестве системы информативных показателей. Сформулируем основные шаги отбора переменных, определяющие алгоритм формирования информативных показателей. Отбираем переменные, входящие в состав одновременных уравнений. Отбираем переменные, для которых идентифицированы регрессионные зависимости. Сокращаем список переменных, устраняя сильные корреляционные зависимости между предопределенными переменными. Используем стандартные процедуры анализа главных компонентов и факторного анализа (вводим новые переменные, ортогональные друг другу).

Выводы

Аппарат знаковых графов может быть использован для описания структуры зависимостей между эндогенными переменными, определяющими состояние социально-экономической системы. Анализ зависимостей между эндогенными переменными позволяет прогнозировать циклические и неконтролируемые изменения состояния системы. Зависимости между эндогенными переменными и зависимости эндогенных переменных от экзогенных переменных могут быть определены на основе регрессионного и факторного анализа фрагментарных данных о массовых событиях в системе.

В контексте рассмотренной ситуации задачи имитационного моделирования заключаются в восполнении отсутствующих статистических данных о состоянии элементов социально-экономической системы (преодолении фрагментарности данных).

Состав и последовательность имитационных экспериментов определяются сетевыми моделями в форме знаковых графов (используются уточняющие значения заданных переменных).

Литература

1. Айвазян С. А., Мхитарян В. С. Прикладная статистика и основы эконометрики. М.: ЮНИТИ, 2001. Т. 2: Айвазян С.А. Основы эконометрики.
2. Плотинский Ю. М. Модели социальных процессов. М.: Логос, 2001. 296 с.
3. Huff A. S. Mapping strategic thought. Chichester: Wiley, 1990. P. 11–49.