УДК 330.46+007.3:519.711.3

МУЛЬТИАГЕНТНЫЙ ПОДХОД К МОДЕЛИРОВАНИЮ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ В УСЛОВИЯХ НЕСТАЦИОНАРНОЙ ВНЕШНЕЙ СРЕДЫ

МЕРКУЛОВА Т. В.
доктор экономических наук
АКУЛОВ Н. В.
Харьков

Экономические системы существуют в условиях изменяющейся внешней среды. Здесь под экономической системой можно понимать как отдельное предприятие, так и совокупность предприятий или регион. Для нормального функционирования системе необходимо обладать представлениями о предполагаемых воздействиях среды в будущем, например, для организации поставок сырья, учёта технологических циклов, спроса на продукцию и т. д.

Изменения среды могут быть как дискретными, так и непрерывными; при этом периоды, когда внешняя среда с точки зрения системы не изменяется, можно считать частными случаями изменения.

Термин «нестационарность» широко используется в разных отраслях науки, зачастую означая невыполнение условий стационарности. Так, в теории массового обслуживания под стационарностью понимается неизменность вероятностного режима потока событий во времени [1, с. 12]. Иными словами, стационарным называют процесс, все статистические характеристики которого не зависят от начала отсчёта времени. При этом также выделяют стационарный в широком смысле процесс – такой, для которого требование инвариантности по отношению к сдвигу во времени выдвигается только для моментов первого и второго порядков [2, с. 16]. В моделировании нелинейной динамики химических процессов под стационарностью понимается постоянство диссипативной (т. е. нелинейной неравновесной упорядоченной) структуры во времени [3, с. 47]. При решении оптимизационных задач реального времени критерий оптимальности в некоторых случаях может изменяться (например, вследствие «дрейфа» характеристик объекта). Такие задачи называют нестационарными [4, с. 175].

Рассмотрим дискретный случай, как традиционно более часто применимый для анализа реальных экономических систем. Пусть матрица A вида $A=\begin{pmatrix} a_{1t_0} & \dots & a_{1t_0+k} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{nt_0} & \dots & a_{nt_0+k} \end{pmatrix}$ представляет собой матрицу наблюдений (которая может содержать как числовые, так и иные значения: отношения, описания и т. д.) за внешней средой, которые, как предполагается, оказывают влияние на целевые процессы внешней среды. Тогда матрица B вида

$$B=\begin{pmatrix} f_1(A,\ t_0+l) & \dots & f_1(A,\ t_0+m) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ f_s(A,\ t_0+l) & \dots & f_s(A, t_0+\ m) \end{pmatrix}$$ – матрица

прогнозируемых значений целевых процессов в моменты времени $\overline{t_0+l \dots t_0+m},\ k<l\le m$, которая также может содержать не числовые значения. Полагается, что наблюдения значений всех целевых процессов также входят в матрицу A.

Выделим 4 вида нестационарности.

1. *Нестационарность ряда.* Моменты первого или второго порядка изменяются, однако динамика ряда подчиняется некоторой зависимости, вид и параметры которой известны или могут быть определены.

2. *Нестационарность параметров*. Наблюдаемые значения параметров внешней среды описываются известными или определяемыми по историческим данным или исходя из каких-либо иных соображений зависимостями, параметры которых меняются со временем (параметры функций $f_1 \dots f_s$ изменяются, вид зависимостей сохраняется).

3. *Нестационарность зависимости.* Наблюдаемые значения параметров внешней среды описываются зависимостями, вид которых изменяется со временем, т. е. вид функций $f_1 \dots f_s$ меняется, однако их количество и соответствие реальным процессам остаются неизменными.

4. *Нестационарность структуры.* Изменяются состав и взаимосвязи между матрицами A и B. Иными словами, изменяется набор наблюдаемых и прогнозируемых факторов, а также, возможно, взаимосвязи между теми из них, которые вошли в новый набор из старого.

Отметим, что нестационарность с меньшим номером может быть представлена в виде частного случая нестационарности с большим номером. Следовательно, алгоритмы, решающие задачи в условиях нестационарности третьего вида, способны решить задачи в условиях неопределённости первого и второго видов, и так далее.

Устранение нестационарности первого вида решается в рамках анализа временных рядов (при условии, что матрицы *A* и *B* содержат только числовые данные). При этом влияние нечисловых данных может быть учтено, например, путём экспертной оценки.

Способ прогнозирования в условиях нестационарности второго и, частично, третьего вида предложен в работе [5], авторы которой предлагают решение оптимизационных задач с помощью синтетического моделирования, сочетающего инструментарий искусственных нейронных сетей и генетических алгоритмов. Решением задачи является оптимальный вектор значений, который в нашем случае будет минимизировать ошибку прогнозирования. При этом функции $f_1 ... f_s$ в явном виде не строятся.

Ситуация нестационарности четвёртого вида описывается в [6], где она рассматривается с точки зрения устойчивости системы к изменившимся неопределённым образом воздействиям внешней среды. Решением задачи максимизации относительной устойчивости системы полагается равномерное распределение «активностей-сопротивлений» (наличных ресурсов – материальных, энергетических, интеллектуальных) системы. При этом поднимается важный вопрос о принципиальной разрешимости задач такого рода. Например, муравьи не способны в общем случае решить задачу защиты от любых внешних врагов, включая людей, однако успешно решают задачу защиты от других муравьёв.

Предлагается следующий мультиагентный [7] алгоритм прогнозирования в условиях неопределённости третьего вида (*рис. 1*). Пусть каждая функция $f_1..f_s$ может иметь один из *z* видов зависимости, $z > 1$. Тогда общее количество сочетаний «вид зависимости – номер функции» равно $s * z$. В блоке «Создание агентов» создаётся $s * z$ агентов, за каждым из которых закрепляются правила расчёта параметров одной из *z* зависимостей для одной из *s* функций. При первом вхождении в блок «Предварительный расчёт параметров» каждый агент рассчитывает «свои» параметры для «своей» функции по 75% имеющихся наблюдений[1]. После этого для оставшихся 25% рассчитываются ошибки прогноза. При повторном вхождении в блок для расчёта параметров берутся только последние наблюдения в количестве, 75% от которого составляет минимально необходимое для построения прогноза. Для каждой из s функций в блоке «Выбор лучших функций» выбирается один агент, ошибка прогноза у которого для данной функции минимальная. При первом вхождении в блок «Пересчёт параметров» агенты, выбранные в предыдущем блоке, пересчитывают параметры зависимостей по полному набору данных. Если повторное вхождение было выполнено из блока «Выбор лучших функций», следовательно, имеет место ситуация повторного роста ошибки (см. рис. 1), то берётся тот же набор данных, что и для блока «Предварительный расчёт параметров». Если же вхождение было выполнено из блока «Повторный рост», то объём данных следует брать больше, чем в предыдущем случае, но меньше 100% всех имеющихся. Точнее установить количество необходимых данных можно в ходе эксперимента на тестовой выборке. В блоке «Прогнозирование» выбранные агенты по рассчитанным параметрам строят прогноз для каждой из функций $f_1..f_s$, после чего сравнивают прогнозные значения с фактическими (на момент построения прогноза неизвестными). Если наблюдается систематический рост ошибки прогноза, то для выбранных агентов пересчитываются параметры зависимостей. Если рост ошибки продолжается, то алгоритм переходит в стадию выбора лучших зависимостей.

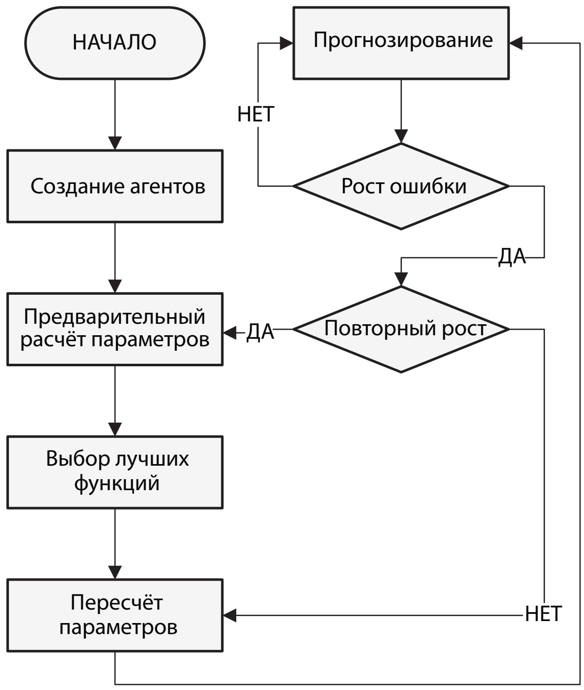

Рис. 1. Алгоритм прогнозирования в условиях неопределённости третьего вида

[1] 75% получены в результате проведённых авторами экспериментов.

Таким образом, выделены четыре вида нестационарности внешней среды и предложен алгоритм решения задач для трёх из них. Алгоритм основан на применении мультиагентного подхода, который позволяет организовать распределённые вычисления, что позволит снизить время их выполнения

Данный алгоритм может быть реализован и без использования мультиагентной системы. Однако при достаточно больших s, z и значительной размерности матриц A и B объём вычислений будет достаточно велик.

Формализовать прогнозирование в условиях нестационарности четвёртого вида затруднительно, поскольку этот вид нестационарности предполагает революционные изменения внешней среды, и, как следствие, непригодность накопленных данных для построения прогноза. В такой ситуации для решения задачи построения прогноза целесообразно привлечение экспертов либо построение нелинейной непараметрической модели, например, мультиагентной, алгоритмы поведения агентов в которой представляют собой направление дальнейших исследований. ■

ЛИТЕРАТУРА

1. **Хинчин А. Я.** Работы по математической теории массового обслуживания.– М.: Физматгиз, 1963.– 236 с.
2. **Грибанов Ю. И., Мальков В. Л.** Спектральный анализ случайных процессов.– М.: Энергия, 1974.– 260 с.
3. **Капица С. П., Курдюмов С. П., Малинецкий Г. Г.** Синергетика и прогнозы будущего. Изд. 3-е.– М.: Едиториал УРСС, 2003.– 288 с.– (Синергетика: от прошлого к будущему.)
4. **Поляк Б. Т.** Введение в оптимизацию.– М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1983.– 384 с.
5. **Шарапов В. М., Снитюк В. Е.** Биокибернетический метод определения оптимума целевой функции в условиях неопределенности / В. М. Шарапов // Искусственный интеллект.– 2002.– № 4.– С. 123 – 129.
6. **Богданов А. А.** Тектология: Всеобщая организационная наука. В 2-х кн.: Кн. 1 / Редкол. Л. И. Абалкин (отв. ред.) и др./ Отд-ние экономики АН СССР. Ин-т экономики АН СССР.– М.: Экономика, 1989.– 304 с.– (Экон. наследие).
7. **Иванов А.** Агенты и мультиагентные системы: Что такое (интеллектуальные) агенты? [Электронный ресурс].– http://aivanoff.blogspot.com/2007/12/blog-post_18.html