

СЕКЦІЯ 22

SECTION 22

**МАТЕМАТИЧНІ МЕТОДИ, МОДЕЛІ ТА  
ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ В ЕКОНОМІЦІ  
MATHEMATICAL METHODS, MODELS, AND  
INFORMATIONAL TECHNOLOGIES IN ECONOMICS**

УДК 330.4

**Хмелев А. Г.**

д. э. н., доцент,

Белорусский государственный университет  
информатики и радиоэлектроники,

**Хмелева А. В.**

к. т. н., доцент,

Белорусский государственный университет  
информатики и радиоэлектроники,

**Потапов В. Д.**

к. т. н., доцент,

Белорусский государственный университет  
информатики и радиоэлектроники

**ИДЕНТИФИКАЦИЯ СЛОЖНЫХ ЭКОНОМИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ  
С ПРИМЕНЕНИЕМ АССОЦИАТИВНЫХ НЕЙРОМАШИН**

В современной экономике довольно остро стоит проблема идентификации экономических объектов. Практически любая экономическая среда является сложным нелинейным динамическим многофакторным объектом, поэтому проблема является значимой как для макроэкономического анализа, так и как в микроэкономике. Макроэкономический анализ преимущественно оперирует весьма значительными временными промежутками, поэтому в ходе исследования всегда есть достаточный временной лаг как на разработку, так и на проверку гипотез моделей исследуемого объекта. Однако, на микроуровне обозначенная проблема проявляется особенно явно. В этом случае эмпирический метод построения модели исследуемого процесса (постановка задачи – сбор и анализ статистики – разработка гипотез – проверка на адекватность – имитационное моделирование – принятие решений) может оказаться длительным, вплоть до потери адекватности из-за изменения внешних условий.

Известно, что любую непрерывную функцию нескольких переменных можно представить в виде суперпозиций непрерывных функций одного переменного и сложения [1], что позволяет широко использовать аппарат искусственных нейронных сетей (ИНС) для идентификации экономических объектов. В этом случае подход к генерации рабочей гипотезы модели является классическим, т. е. ИНС обучается на основе статистических данных об исследуемом объекте с применением одного из алгоритмов поиска экстремума (минимума) гиперпространства отклонений модели объекта от опорных точек-примеров, полученных из статистических данных. Чаще других применяются алгоритм обратного распространения ошибки и метод сопряженных градиентов. Этот подход особенностей не имеет, но имеет два значительных недостатка: во-первых, требуется участие эксперта по ИНС для формирования оптимальной структуры и емкости ИНС, а во-вторых адекватность одиночной ИНС не всегда является достаточной [2]. Преодоление названных недостатков является весьма актуальной проблемой.

С учетом изложенного выше, исследование различных методов идентификации процессов сложных экономических объектов на основе искусственных нейронных сетей и формирование достаточно универсальной и строго формализованной стратегии такой идентификации представляют значительный интерес в теоретическом и практическом аспектах. Дальнейшее развитие теории нейронных сетей как современного инструментария экономической кибернетики вообще, и идентификации сложных экономических объектов в частности предоставляет возможность оперировать данными высокой размерности. В зависимости от способа представления данных (скаляр, вектор, матрица, тензор) и их характера, классические модели объектов как правило структурно меняются. ИНС этого недостатка лишены, т. к. их структура изначально просто масштабируется количеством слоев и нейронов, что делает их достаточно универсальным инструментом идентификации в теоретическом плане. В то же

время строгая формализация процесса идентификации дает возможность полностью автоматизировать процесс идентификации, что представляет значительную практическую ценность для конечных реализаций в системах поддержки принятия решений (СППР).

Для преодоления перечисленных недостатков разработан метод формализованного обучения ИНС, который основан на принципе автоматического подбора емкости, характеристик слоев и отдельных нейронов ИНС на базе классического генетического алгоритма, одна из возможных реализаций которого описана в [2]. Суть метода состоит в генерации нейропопуляции, которая является конечным множеством ИНС с последующим отбором наиболее адекватных особей. Использование операторов скрещивания и мутации приводит к нейропопуляции адекватность особей которой существенно не изменяется, и полученная популяция представляет собой нейрокомитет из ИНС отображающий искомое гиперпространство состояний.

Однако далеко не всегда гиперпространство состояний исследуемого объекта является непрерывным. Множество производственных процессов имеют дискретную природу, что в конечном счете приводит к коллизиям при попытках аппроксимации таких объектов одиночной ИНС или нейрокомитетом. В этой ситуации перспективным выходом может быть применение ассоциативных нейромашин [3]. Предлагается следующий принцип формирования нейромашин: по данным статистики формируется первая ИНС № 1 (с использованием формализованного подхода, описанного выше). После обучения из обучающей выборки извлекаются те обучающие пары, для которых отклонение оказалось выше среднеквадратичного. Для них формируется вторая ИНС № 2. Далее процесс итерационно повторяется пока не будут исчерпаны все аномальные примеры выборки до ИНС № N. После разделения выборки все полученные ИНС (кроме ИНС № N) переобучаются на данных оставшихся для каждой ИНС. Наконец на последнем этапе формируется управляющая ИНС, в функции которой входит распределение веса решений между полученными N ИНС.

Данная ассоциативная нейромашинка отличается от классической [3] тем, что формирование её компонентных ИНС полностью формализовано, сами компонентные ИНС являются нейрокомитетом и существует дополнительное переобучение после классификации выборки. Этот подход является наиболее точным и универсальным среди трех рассмотренных вариантов идентификации экономических систем. Из недостатков можно отметить два: вычислительная сложность и высокие требования к объемам статистических данных. Однако, использование предложенного принципа обучения ассоциативных нейромашин позволяет идентифицировать сложные экономические объекты полностью формализованным путем. Для полученных в ходе идентификации моделей наиболее привлекательной сферой применения является имитационное моделирование производственных процессов в системах поддержки принятия решений.

#### **Список литературы**

1. Колмогоров А. Н. О представлении непрерывных функций нескольких переменных в виде суперпозиций непрерывных функций одного переменного и сложения. *Нейрокомпьютер*, 1994. № 1 – 2. С. 51 – 55.
2. Круглов В. В., Борисов В. В. Искусственные нейронные сети. Теория и практика. М.: Горячая линия, Телеком, 2001. 382 с.
3. Хайкин С. Нейронные сети: полный курс, 2-е издание. Пер. с англ. М.: Издательский дом «Вильямс», 2008. 1104 с.