

## НЕЙРОСЕТЕВОЙ ПОДХОД К МОДЕЛИРОВАНИЮ СЛОЖНЫХ ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМ

*В настоящей работе исследуются проблемы методического обеспечения повышения эффективности управления развитием сложных эколого-экономических систем, предложена адаптация аппарата теории нейронных сетей к решению задачи синтеза специального модельного представления, позволяющего решать задачи диагностики состояния, сценарного прогнозирования.*

Ускорение научно-технического прогресса, требование повышения эффективности и конкурентоспособности народного хозяйства страны обуславливают активное вовлечение в хозяйственную деятельность новых и увеличение объемов традиционно используемых видов природных ресурсов. Интенсификация процессов социально-экономического развития вступает в противоречие с критериями экологизации экономики, несоблюдение которых приводит к негативным проявлениям. Это актуализирует вопросы экологической безопасности, необходимость всестороннего анализа взаимодействия экологического, экономического и социального факторов общественного развития, исследования глубинных эколого-экономических процессов и разработки на этой основе теоретических принципов, подходов и моделей, обеспечивающих реализацию стратегии сбалансированного эколого-экономического развития.

Учитывая, что, во-первых, в настоящее время исследования устойчивости социо-эколого-экономических систем приобрели особую актуальность, во-вторых – объект исследования является чрезвычайно сложным, формирование и реализация устойчивого развития России требует создания научных основ анализа и прогноза его состояния.

Современное состояние исследований в сфере моделирования эколого-экономических систем позволяет сделать вывод о сформированности двух основных направлений:

- создание практически значимых, обеспеченных информационно и аналитически методик и моделей оценки антропогенных воздействий и использования природных ресурсов в воспроизводственных процессах;
- разработка агрегированных формализованных представлений достаточно крупных систем, объединяющих производственно-технологический комплекс и природную среду. Моделирование осуществляется в терминах интегральных характеристик таких систем, что создает трудности их практической реализации.

Одной из серьезных проблем моделирования является реализация взаимного соответствия моделей указанных направлений. Ее решение возможно на основе формирования комплексного подхода, системно учитывающего эффекты влияния хозяйственной и природоохранной деятельности на экосистемы различного масштаба и определяющего основу разработки совокупности взаимосвязанных, различного уровня обобщения моделей функционирования эколого-экономических систем.

Реализация системного подхода к моделированию базируется на положении, в соответствии с которым система-модель отражает систему-оригинал так, что элемент модели соответствует элементу или группе элементов оригинала, и каждая функция модели – функции или группе функций оригинала. То есть, модель не похожа внешне на оригинал, а является системой, структура и функции которой воспроизводят – более или менее упрощенно – структуру и функции оригинала. При этом, в зависимости от того, что именно из действительности мы моделируем и чем (от того, какую систему-оригинал мы мысленно выделяем и на каком материале делаем модель), внешние проявления модели могут отличаться от оригинала, то есть об имитации речь может и не идти<sup>1</sup>.

Для установления существенного для эколого-экономических систем элементного состава математических моделей определим основные традиционно используемые в моделировании термины:

- *компоненты системы* - части системы, которые могут быть вычленены из нее и рассмотрены отдельно;
- *независимые переменные* - они могут изменяться, но это внешние величины, не зависящие от проходящих в системе процессов;
- *зависимые переменные* - значения этих переменных есть результат (функция) воздействия на систему независимых внешних переменных;
- *управляемые (упривляющие) переменные* - те, значения которых могут изменяться исследователем;

- *эндогенные переменные* – их значения определяются в ходе деятельности компонент системы (т.е. «внутри» системы);

- *экзогенные переменные* - определяются либо исследователем, либо извне, т.е. в любом случае действуют на систему извне.

Для построения моделей существуют различные подходы. У них есть общее качество - как можно точнее приблизить характеристики, свойства модели к действительности. Процесс синтеза моделей – итерационный. В зависимости от текущего и требуемого качества модели она может совершенствоваться либо использоваться без изменений. Учитывая свойства объекта исследования, а также возможность выделения отдельных компонентов рассматриваемых систем, в настоящей работе в целях моделирования предлагается использовать нейросетевой подход.

*Итак, искусственная нейронная сеть* - это набор нейронов, соединенных между собой. Как правило, передаточные (активационные) функции всех нейронов в сети фиксированы, а веса являются параметрами сети и могут изменяться. Некоторые входы нейронов помечены как внешние входы сети, а некоторые выходы - как внешние выходы сети. Подавая любые числа на входы сети, мы получаем какой-то набор чисел на выходах сети. Таким образом, работа нейросети состоит в преобразовании входного вектора  $X$  в выходной вектор  $Y$ , причем это преобразование задается весами сети.

Построение сети происходит в два этапа:

Выбор типа (архитектуры) сети.

Подбор весов (обучение) сети.

На первом этапе следует выбрать следующее:

какие нейроны будут использоваться (число входов, передаточные функции);

каким образом следует соединить их между собой;

что взять в качестве входов и выходов сети.

Выбор структуры нейросети осуществляется в соответствии с особенностями и сложностью задачи. Для решения некоторых отдельных типов задач уже существуют оптимальные, на сегодняшний день, конфигурации. Если же задача не может быть сведена ни к одному из известных типов, разработчику приходится решать сложную проблему синтеза новой конфигурации. При этом необходимо руководствоваться несколькими основополагающими принципами:

возможности сети возрастают с увеличением числа ячеек сети, плотности связей между ними и числом выделенных слоев;

введение обратных связей наряду с увеличением возможностей сети поднимает вопрос о динамической устойчивости сети;

сложность алгоритмов функционирования сети (в том числе, например, введение нескольких типов синапсов – возбуждающих, тормозящих и др.) также способствует усилению мощи НС.

Одним из основных достоинств нейросетей является универсальность. Хотя нейросети проигрывают специализированным аналитическим методам для конкретных задач, благодаря универсальности и перспективности для решения глобальных задач, они являются важным направлением исследования, требующим тщательного изучения.

Основные принципы реализации нейросетевого подхода к моделированию эколого-экономических систем:

*обучаемость* - нейросеть, грамотным образом обученная, может с большой вероятностью правильно реагировать на новые, не предъявленные ей ранее данные, то есть, однажды обучившись определенному процессу, она может верно, действовать и в тех ситуациях, в которых она не бывала в процессе обучения. На этапе обучения сети предъявляются некоторые входные образы, называемые обучающей выборкой, и исследуются получаемые выходные реакции. Цель обучения состоит в приведении наблюдаемых реакций на заданной обучающей выборке к требуемым (адекватным) реакциям путем изменения состояний синаптических связей<sup>2</sup>. Сеть считается обученной, если все реакции на заданном наборе стимулов являются адекватными;

*адаптивность* – значительная часть задач исследования экологических систем может быть решена на основе использования нейросетей. В процессе получения новых данных о функционировании объекта моделирования сама модель (нейросеть) может дообучаться;

<sup>2</sup> Круглов В.В., Голунов Р.Ю. Нечеткая логика и искусственные нейронные сети: Учеб. пособие. – М.: Издательство Физико-математической литературы, 2001. – 224 с.

при математическом моделировании систем (объектов или процессов), внутренняя структура которых сложна и (или) неизвестна и математически не может быть построена, удобным является подход с использованием понятия «черного ящика». «Черный ящик» - система, в которой наблюдению доступны лишь входные и выходные величины, а внутреннее устройство ее и процессы, в ней протекающие, неизвестны. Выводы о поведении системы делаются на основе наблюдения реакций выходных величин на изменение входных. Этот подход широко используют для решения задач моделирования при исследовании сложных кибернетических систем в тех случаях, когда представляет интерес результат поведения системы, а не ее строение.

Таким образом, методика реализации нейросетевого подхода к моделированию сложных эколого-экономических систем может быть представлена в следующем виде:

формулируется цель построения модели;

в соответствии с поставленной целью определяются показатели качества модели (например, допустимый уровень отклонения расчетных данных от фактических);

формирование совокупности компонентов объекта моделирования, выделенных в соответствии с решаемой задачей;

синтез информационной модели объекта исследования, включающий сбор количественной информации о состоянии эколого-экономической системы, проводимый по полученному на предыдущем этапе набору компонентов системы;

характеристики каждого компонента могут включать множество параметров, которые разделяются на зависимые, независимые и управляемые;

выбирается конфигурация нейросети;

по информационной модели объекта производится обучение нейросети;

определяются показатели качества модели. При удовлетворительном качестве модель используется для анализа функционирования исследуемой эколого-экономической системы. В противном случае, необходима корректировка модели и/или требований, предъявляемых к ней. Корректировка предполагает возврат к пунктам 3-4, 6-7 в зависимости от причин рассогласования.

Полученная в результате реализации приведенной методики нейросеть, не отражая внутреннюю структуру связей в исследуемом объекте (если такая задача специально не ставилась), позволит, тем не менее, получить, помимо общего представления о закономерностях развития эколого-экономических систем, количественные оценки параметров их состояния как для текущего момента времени, так и в пределах горизонта прогнозирования.

#### Литература:

1. Голуб, А.А. Экономика природных ресурсов / А.А., Голуб, Е.Б. Струкова. М.: Аспект Пресс, 2001. – 319 с.

2. Гофман, К. Экономическая защита природы / К. Гофман, Н. Федоренко. – М.: Коммунист, 1989. – № 5. – С. 31-39.

3. Гусев, А.А. Ассимиляционный потенциал окружающей среды в системе прав собственности на природные ресурсы / А.А. Гусев // Экономика и математические методы. – 1997. – Т. 33. – Вып. 3. – С. 5-15.

4. Перелет, Р.А. Международные аспекты в формировании экологического предпринимательства и переход к устойчивому развитию // Экология. Экономика. Бизнес (Эколого-экономические аспекты устойчивого развития) / Р.А. Перелет. – М., 1995. – С. 152-166.

5. Рюмина, Е.В. Анализ эколого-экономических взаимодействий / Е.В. Рюмина. – М.: Наука, 2000. – 159 с.