

УДК 330.101.8

## МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ (SENS-СИСТЕМ)

**Тихомирова О.Г.**

*СПб НИУ ИТМО «Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики», Санкт-Петербург,  
e-mail: olgatihomirov@yandex.ru*

Проведен анализ социально-экономических систем как самоорганизующихся нейронных сетей. Исследованы фундаментальные теоретические положения функционирования и развития нейронных сетей и самоорганизующихся информационных систем. Исследование показало, что социально-экономические системы относятся к особому классу систем – информационных самоорганизующихся нейронных сетей. Предложено определение и разработаны теоретические основы функционирования и развития социально-экономических нейронных сетей – SENS-систем. Представленная методология проектирования систем основана на информационном взаимодействии нейронных модулей социально-экономической системы и самоорганизации. Рассмотрен механизм производства и преобразования информации в SENS-системах. Исследован механизм взаимосвязи между информацией и устойчивостью, стабильностью системы. Установлено, что устойчивость SENS-системы находится в тесной связи с управляющей информацией, что проявляется в характере управления: саморегулирование и самоуправление, или прямое управление системой. Изучены некоторые особенности функционирования управляющей подсистемы социально-экономических нейронных сетей.

**Ключевые слова:** социально-экономические системы, нейронные сети, информационные системы, самоорганизация, устойчивость

## METODOLOGICAL BASES OF THE OF SOCIAL-ECONOMIC NEURAL NETWORKS DESIGN (SENS-SYSTEMS)

**Tikhomirova O.G.**

*St. Petersburg National Research University of Information Technologies, Mechanics and Optics,  
Saint-Petersburg, e-mail: olgatihomirov@yandex.ru*

We have done the analysis of social-economic systems as neural networks. We studied theoretical bases of functioning and development of neural networks and self-organized informational systems. Definition of SENS-systems and theoretical bases of development were proposed. Research has shown that the social-economic systems belong to special class of systems – informational self-organized systems. The presented methodology of systems design is based on informational cooperation of neural modules. The mechanism of the production of information and relationship between information and stability of the system were considered. It's established, that stability of SENS-systems is connected with control information. And, we studied some of specificity of functioning of management system.

**Keywords:** social-economic systems, neural networks, informational systems, self-organization, sustainability

Социально-экономические системы относятся к особому классу информационных систем: самоорганизующихся, самообучающихся нелинейных адаптивных систем, созданных человеком. Информационное взаимодействие между элементами и значительная роль информации позволяют исследовать социально-экономические системы как нейронные сети. Классическая искусственная нейронная сеть (например, сеть Коско, сеть Хопфилда, самоорганизующиеся карты Кохонена) представляет собой образец самоорганизующейся информационной системы. Однако если проблема создания искусственной нейронной сети в рамках информационных технологий и инженерных задач на сегодняшний момент достаточно хорошо изучена, то проектирование социальных систем как эффективной нейронной сети до настоящего времени является нерешенной задачей. Из-

вестную сложность создает отсутствие формализованного подхода и исследования социально-экономических систем с позиций универсальных общесистемных принципов и законов.

### **Понятие, структура и механизм функционирования социально- экономической нейронной сети – SENS-системы**

Искусственная нейронная сеть представляет собой систему взаимодействующих искусственных нейронов, спроектированную по принципу организации и функционирования биологических нейронных сетей. Основной принцип работы нейронных сетей основан на управляемом информационном взаимодействии элементов сети, причем каждый элемент оперирует с ограниченным объемом информации и взаимодействует только с заданными элементами. Таким

образом, объем информационного потока (входных и выходных сигналов) снижается за счет строгого ограничения элементов, с которыми каждый вступает в связь.

Обозначим информационную социально-экономическую нейронную сеть SENS-системой. Система состоит из элементов, имеющих определенные связи и взаимодействия между собой. Назовем их SENS-модули. Каждый из модулей получает входной сигнал (управляющую информацию,

функциональную). На выходе имеется преобразованная информация – выходной сигнал, результат действия на основе входящей информации. Совокупность SENS-модулей образует нейронную сеть.

Решение сложных задач осуществляется за счет взаимодействия (коллаборации) модулей при временной и пространственной когерентности процессов. Например, на рис. 1 представлено схематичное изображение простой нейронной сети.

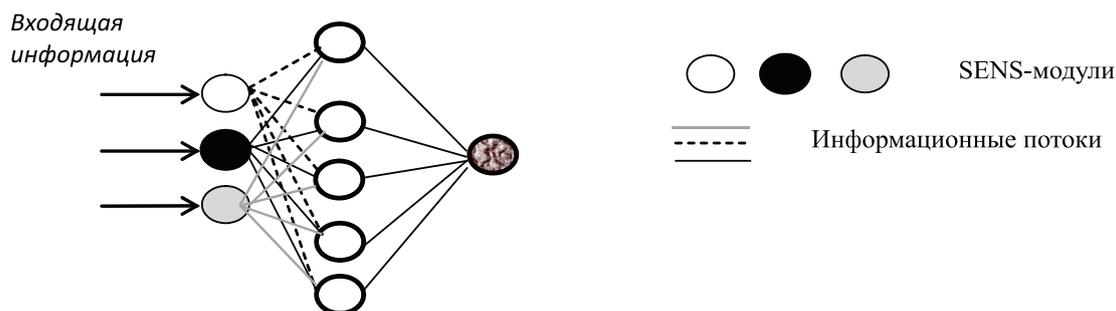


Рис. 1. Схематичное изображение простой нейронной сети

Каждый из SENS-модулей производит информацию и генерирует информационный поток. В результате взаимодействия модулей информационный поток становится организованным, и в результате самоорганизации принимается согласованное решение. На рис. 1 наглядно видна реализация принципа «лазера», когда множество неорганизованных потоков энергии или информации организуются в единый пучок.

Важно, что информационное взаимодействие в нейронных сетях является управляемым, то есть управляющая подсистема строго ограничивает тот набор модулей, с которыми вступает во взаимодействие каждый модуль, что позволяет добиться снижения информационной энтропии и повышает управляемость системы. Применительно к SENS-системам это означает, что управляющая подсистема (менеджмент) должны четко определить состав взаимодействующих элементов (исполнителей и структурных подразделений) и ограничить поток входящей и исходящей информации, обеспечив лишь объем, необходимый для реализации функций элементов. Взаимодействие SENS-модулей осуществляется по определенным каналам связи. Каждый модуль принимает реше-

ние в рамках своей компетенции, при этом каждый элемент реализует свои функции (функционально дифференцирован). Если увеличить число связей, то это приведет к усложнению системы и росту числа возможных альтернативных состояний, которые может принять система в процессе своего развития.

Центральный сбор и обработку информации выполняют внутренние регуляторы, осуществляющие мониторинг работы всей системы, носителями и хранителями информации являются человек и технические средства информационных систем. Задачи и проблемы, связанные с информационными потоками, в основном решаются техническими средствами, а взаимодействие между людьми осуществляется через корпоративную информационно-социальную сеть. Информационные технологии должны быть построены таким образом, что элементы системы сами находят друг друга, формируя сеть, а в случае сбоя – находят новый маршрут передачи информации.

Информационное взаимодействие между элементами-модулями носит ассоциативный и диссоциативный характер, то есть нейронные модули могут объединяться и распадаться (рис. 2).

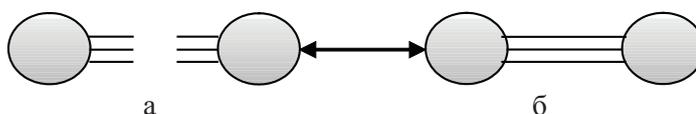


Рис. 2. Ассоциативное (а) и диссоциативное (б) взаимодействие SENS-модулей

Связи между элементами носят динамический характер, то есть являются не постоянными, заданными заранее, а корректирующимися в процессе развития и обучения. При этом SENS-система является рекуррентной сетью, то есть выходной сигнал (результат) либо полностью, либо частично передается обратно на модули входной информации (обратная связь). Поэтому как и любая нейронная сеть SENS-система является обучаемой и, главное, самообучаемой.

### **Производство и создание информации в SENS-системе**

Для понимания сущности процесса производства информации в SENS-системах мы будем основываться на понятии информации по Шеннону, а именно, как число возможных исходов [4, 5]:

$$I = \log_2 Z.$$

Возникновение информации тесно связано со снижением энтропии. Например, мы имеем набор символов, частота появления каждого имеет определенную вероятность  $p$ . Когда мы складываем из букв слово, набор букв обретает смысл – возникает информация. Аналогично можно рассмотреть цифры. Г. Кестлер приводит пример с сейфом: до выбора кода все комбинации являются равновероятными и равноправными. Как только код выбран – возникает информация, и только одна комбинация имеет ценность и смысл [1].

Алгоритм производства информации SENS-системой следующий. В процессе развития система постоянно осуществляет выбор одного из возможных состояний или направлений развития, «запоминая» уже пройденные состояния. Таким образом, в системе накапливаются данные и сведения о прошлых состояниях, ошибках и т.д., то есть создается информация. Осуществляя выбор на основе накопленной информации, реализуется процесс самообучения системы.

Рассмотрим простейший случай. Если рассматривать информацию как вероятность того или иного исхода, то имеем следующее: менеджер принимает стратегическое решение, определяет целевое состояние системы и ожидает адекватной реакции системы. Для реализации управленческого решения используются располагаемые ресурсы. Информация в ходе реализации решения преобразуется в выходную.

Однако для реализации принципа свободы выбора и обеспечения самоорганизации необходимо обеспечение возможности изменения целей и заданной программы функционирования и достижения целей системой. Тогда необходимо ввести элемент,

выполняющий функции запоминающего устройства, на входе имеющего информационную память (результат опыта), а на выходе – стратегический целевой вектор и программу функционирования (рис. 3).

Если имеется несколько возможных вариантов исхода события, то появляется возможность выбора наиболее предпочтительного. Полученные результаты сравниваются с запланированными (ожидаемыми), стратегия адаптируется. Пробуя различные варианты стратегии, путей достижения целей, SENS-система обучается, тем самым реализуя процесс системного самообучения. Важной отличительной чертой социально-экономических систем является то, что управляющая подсистема – это менеджеры, люди, имеющие свою информацию и свой личный опыт, то есть к исходной информации, кроме объективной, добавляется и субъективная информация. Если в алгоритм ввести случайный элемент, который вынуждает выбрать ту или иную стратегию (цель и программу достижения целей) на основе случайного значения, то в определенный момент возникает ветвление траектории движения – бифуркация. Тогда стратегическая цель и программа функционирования выбирается в зависимости от значения случайного параметра, к которому обращается регулятор (например, показатель фондовых индексов, курсы валют и др.).

### **Информация и устойчивость социально-экономической системы**

Мы установили, что при взаимодействии между SENS-модулями осуществляется передача информации. Причем передается не вся имеющаяся у модуля информация, а лишь ее часть. Назовем эту часть информации месседжем, или ценностной информацией. Передача информации основана на сохранении исходной информации в процессе ее трансляции, ретрансляции и воспроизведения. У любого объекта – носителя информации – может быть несколько месседжей, возникающих в ходе выполнения различных функций и имеющих различное функциональное назначение (отчеты руководству, приказы подчиненными, слухи для коллег, задания на смену, сведения о выработке, оплате и т.п.).

Обозначим месседж  $M \in E$  (месседж  $M$  содержит определенный объем и содержание информации всего информационного массива, имеющегося у модуля  $E$ ). Информация, содержащаяся в месседже, может быть значительно шире, чем обладает  $E$  (например, сведения о ценах на сырье для конкретной компании и весь рынок сырья; процент брака данного рабочего и в целом

по предприятию; производительность, выработка каждого исполнителя и в целом по компании). То есть изменение области значений переменных месседжа может значительно выходить за пределы информаци-

онного массива объекта-носителя информации, но при этом сами переменные входят в  $M$  (например, рабочий  $X$  дает 3% брака при возможной области значений, предположим от 0 до 100%).

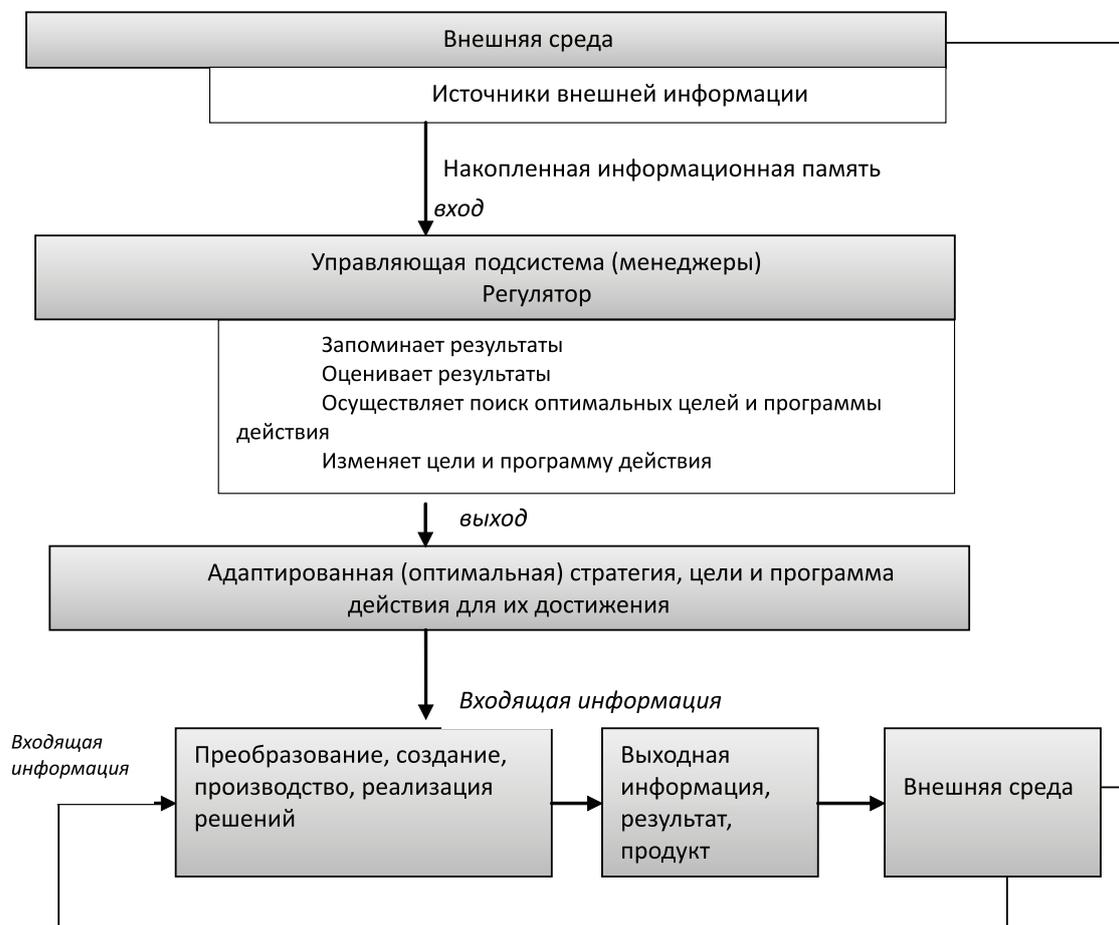


Рис. 3. Алгоритм преобразования информации в социально-экономической нейронной сети (SENS-системе)

Если носитель информации обладает несколькими месседжами, имеющими различные функциональные назначения, может возникнуть явление, называемое в теории информации двусмысленностью – то есть неопределенность результата (или эффекта). Если у нескольких объектов одинаковые месседжи, возникает двусмысленность, или неопределенность причины полученного результата (например, при оценке вклада каждого рабочего в производственную программу, когда все делают одну и ту же работу, сложно определить, кто больше повлиял на результат).

По определению, любая входная информация, поступающая в социально-экономическую систему, выводит ее из устойчивого состояния. Следовательно, задача обеспечения устойчивости и стабильности системы заключается в поиске и установле-

нии объема информации, способного вывести систему из устойчивого состояния. Как и в любой искусственной информационной системе, в социально-экономических системах должна осуществляться фильтрация информации с тем, чтобы система имела возможность возврата в исходное устойчивое состояние. Однако это осуществимо только до момента пересечения бифуркационной границы – критических значений переменных состояния, в том числе и информации, после которого в системе происходят необратимые изменения параметров, и система переходит в новое качественное состояние (более подробно см. [2]).

Таким образом, мы выходим на понимание того, что состояние социально-экономической информационной системы во многом определяется информацией. Традиционные количественные показатели

результативности деятельности социально-экономической системы, такие как прибыль, загрузка производственных мощностей, производительность труда и т.п. имеют информационную привязку, так как обретают смысл в сравнении с аналогичными значениями в другое время и в других системах. В информационных системах проблема устойчивости может быть решена через управление информационными потоками и обратной связи. Тогда устойчивая система – это система, в которой элементы способны к двустороннему обмену информационными потоками. В противном случае (однонаправленный информационный поток) информационные ресурсы полностью расходуется в одну сторону (вход или выход). Следовательно, равновесие (гомеостазис) предполагает уравнивание потоков информации. В устойчивом состоянии управление системой осуществляется в форме саморегулирования и самоуправления, без непосредственного управляющего воздействия, так как внутренний механизм позволяет адекватно реагировать на изменения. Следовательно, значение управляющего сигнала (управляющей информации) стремится к нулю при устойчивом состоянии системы, а при неустойчивом становится положительным. При этом нестабильные системы, в состоянии неустойчивости быстрее и лучше реагируют на изменения и получают ресурсы в большем объеме, так как их деятельность ориентирована на создание новых связей.

### Заключение

Современная информационная эпоха ставит задачи поиска новых методов проектирования социально-экономических систем. Обобщая проведенное исследование можно сделать вывод, что проектирование социально-экономических систем как нейронных сетей является одной из наиболее актуальных и интересных задач, стоящих перед современной наукой и практикой управления. Применение принципов функционирования и развития нейронных сетей

в социально-экономических системах позволяет повысить их эффективность, управляемость в условиях все возрастающих объемов и значимости информации в современном обществе и экономике.

### Список литературы

1. Кастлер Г. Возникновение биологической организации. – М.: Мир, 1967. – 90 с.
2. Пригожин И., Стенгерс И. Порядок из хаоса: Новый диалог человека с природой: пер. с англ. / под. общ. ред. В.И. Аршинова, Ю.Л. Климонтовича и Ю.В. Сачкова. – М.: Прогресс, 1986. – 432 с.
3. Уоссермен Ф. Нейрокомпьютерная техника: Теория и практика (Neural Computing Theory and Practice). – М.: МИР, 1992. – 240 с.
4. Хакен Г. Информация и самоорганизация. Макроскопический подход к сложным системам: пер. с англ. – 2-е изд., доп. – М.: КомКнига, 2005. – 248 с.
5. Шеннон К. Работы по теории информации и кибернетике // Сб. перев. с англ. – М.: ИЛ, 1963.

### References

1. Kastler G. Vozniknovenie biologicheskoy organizacii. M.: Mir, 1967. 90 p.
2. Prigozhin I., Stengers I. Porjadok iz haosa: Novyj dialog cheloveka s pri-rodoj: Per. s angl./ Obshh. red. V. I. Arshinova, Ju. L. Klimontovicha i Ju. V. Sachkova. M.: Progress, 1986. 432 p.
3. Uossermen F. Nejrokomp'juternaja tehnika: Teorija i praktika (Neural Computing Theory and Practice). M.: MIR, 1992. 240 p.
4. Haken G. Informacija i samoorganizacija. Makroskopičeskij podhod k slozhnym sistemam; Moscow, KomKniga, 2005, 248 p.
5. Shannon K. Raboty po teorii informacii i kibernetike. Sb. perev. s angl. M.: IL, 1963.

### Рецензенты:

Смирнов С.Б., д.э.н., профессор, заведующий кафедрой экономической теории и бизнеса НИУ «ИТМО», декан гуманитарного факультета, НИУ «ИТМО», г. Санкт-Петербург;

Терешкина Т.Р., д.э.н., профессор, декан факультета экономики и менеджмента, зав. кафедрой маркетинга и логистики Санкт-Петербургского государственного технологического университета растительных полимеров, г. Санкт-Петербург.

Работа поступила в редакцию 19.02.2013.