

УДК 004

ОСОБЕННОСТИ ГИБРИДНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ ПРОЦЕССОВ ЦИФРОВИЗАЦИИ СОЦИАЛЬНО- ЭКОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Акперов И.Г.

д.э.н., профессор, ректор ЧОУ ВО ЮУ (ИУБИП)

e-mail: rector@iubip.ru

Аннотация: Рассмотрено использование моделей, имеющих гибридную архитектуру для интеллектуального анализа данных в сложных социально-экономических системах. Предложены подходы к идентификации свойств геоинформационного пространства: адаптивности, самообучаемости, самонастройки и обеспечения устойчивости развития. **Ключевые слова:** сложные системы, геоинформационное пространство, интероперабельность, мягкие вычисления, гибридные модели.

FEATURES OF HYBRID MODELING IN RESEARCH OF DIGITALIZATION PROCESSES OF SOCIO-ECONOMIC SYSTEMS

Акперов I.G.

Abstract: The use of models with a hybrid architecture for data mining in complex socio-economic systems is considered. Approaches to identifying the properties of the geographic information space are proposed: adaptability, self-learning, self-adjustment and ensuring sustainable development.

Keywords: complex systems, geoinformation space, interoperability, soft computing, hybrid models.

К основным достоинствам геоинформационного пространственного подхода в исследовании распределенных экономических, социальных, экологических и др. процессов, относятся возможность использования преимуществ связности измерений, системного подхода и эффекта самоорганизации.

На данный момент создана серьезная инструментальная база моделирования пространственной организации жизнедеятельности людей, обоснованы основные закономерности отдельных информационных слоев

этого геопространства [1,2], трансформации его отдельных компонентов в условиях конкурентной цифровой экономики.

Так П.А. Минакир отметил, что: «Пространственная экономика есть форма существования экономики как совокупности взаимодействующих экономических агентов, определенным образом распределенных в географическом пространстве (ГИП). При этом под экономическим агентом имеется в виду индивидуум, который участвует хотя бы в одном из процессов производства, обмена, потреблении» [3].

В ходе системного анализа «были выделены методы лексико-семантического моделирования когнитивных структур знаний, которые позволяют учесть особенности геоинформационной среды»[4].

Методы и подходы *нечеткого лексико-семантического моделирования*, как показано в работе[3], могут успешно применяться при проектировании архитектуры информационного пространства, формировании структуры технических и программных средств для интеллектуального анализа геоданных и интеграции лингвистического обеспечения тезаурусного типа в едином ГИП.

Этот подход, предназначен для изучения методов и подходов компьютерной лингвистики для создания нового поколения информационных технологий (ИТ) ГИС- направленности. Однако, существует принцип несовместимости Л.Заде: «По мере возрастания сложности системы наша способность формулировать точные, содержащие смысл утверждения о её поведении уменьшаются вплоть до некоторого порога, за которым точность и смысл становятся взаимоисключающими» [5].

При этом оценка адекватности модели реально существующему объекту управления в социально-экономических системах связана с совокупностью принятых ограничений на исследуемую, (по факту – нечеткую) динамическую систему.

Системные исследования социально-экономической составляющей (СЭС) ЕГИП предполагают, что «в их результате будут оптимизированы как

условия его формирования, но и эффективность дальнейшего функционирования и развития»[6]. Особое внимание в исследованиях СЭС «должно уделяться изучению причинных связей поведения социально-экономической системы и выявлению такой ее структуры и свойств, которые обеспечат эффективную реализацию целей проводимых мероприятий»[7].

Реальные социально-экономической системы обладают практически полным набором «НЕ-факторов: неточность, нечеткость, неполнота, недоопределенность и т.д.»[8]. При этом, далеко не все из них можно учесть с использованием традиционных теории вероятностей и математической статистики [9,10]. Для сложных современных систем типа System of Systems (SOS), к которым, безусловно, относятся и СЭС, имеющих в своих фазовых портретах «странные» аттракторы (т.н. «эффект бабочки»)[11], имеется хаос, обусловленный «детерминированной случайностью», и, следовательно, нелинейностями общей модели и некоторым набором начальных условий [11,12]. Даже малейшее возмущение такой сложной системы, как СЭС, например, погоды, не говоря уже об экономическом кризисе или коронавирусе, может повлечь за собой цепочку событий, ведущую к полной непредсказуемости. Использованию мягких моделей в этой ситуации альтернативы нет.

В ходе моделирования, для обеспечения наглядности и оперативности в получении результата, отдельные свойства могут быть агрегированы, например, по управляемости. Среди свойств сложных нелинейных СЭС особую значимость имеют свойства динамичности, гибкости и адаптивности, которые, в свою очередь, определяют устойчивость и, в конечном счете, эффективность.

В основу исследования ЕГИП необходимо положить принцип системности для рассмотрения каждого его слоя в виде агрегата из компонентов семантически связанных типов, обладающих хотя и разнородными свойствами но совместно существующими в некотором когнитивном пространстве.

Все виды пространств ЕГИП обладают «рядом общих свойств: протяженностью в разных направлениях, взаиморасположением объектов пространства, узлами (центрами), сетями и т.п. Важнейшим преимуществом пространственного подхода является возможность многомерного представления пространственно-локализованной системы»[6].

Время Ляпунова – это время, в течение которого система приходит в состояние хаоса. То есть это время, в течение которого можно предсказать поведение системы (время «не хаоса»). Его можно посчитать, если использовать *показатель* Ляпунова для динамической СЭС, то есть скорость с которой две точки в фазовом пространстве сближаются или удаляются друг от друга:

$$\Lambda = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1}{n} \sum_{k=0}^n \log_2 \left| \frac{df(x_k)}{dx_k} \right|.$$

Смысл этого показателя: при изменении расстояния $df(x_k)$ на k -том шаге по сравнению с соответствующим параметром dx_k в большую сторону, значение показателя Ляпунова $\Lambda > 0$, значит, появляется хаос или неустойчивость системы СЭС. При $df(x_k)$ на k -том шаге, по сравнению с соответствующим параметром dx_k в меньшую сторону, логарифм от числа меньше единицы, отрицательный, $\Lambda \leq 0$ – СЭС – устойчива.

Решение такого типа многокритериальных задач моделирования в ЕГИП предполагает использование математических систем, описывающих основные процессы функционирования этой SoS.

В качестве гибридных, обычно используют [7,13]:

- neuro computing+fuzzy logic (NF);
- fuzzy logic+chaos theory (FCh);
- neural networks+chaos theory (NCh) и др.

Рассмотрим пример формирования хаоса в абсолютно детерминированной модели Лоренца в форме Коши[2], задаваемой системой трех нелинейных дифференциальных уравнений первого порядка.

На следующем слайде показан фазовый портрет поведения системы, на котором очевидно присутствие странного аттрактора даже визуально. Такое качественное исследование удобно при экспресс -анализе состояния общества на предмет оперативного прогноза хаоса.

Для более точного прогноза желательно заручиться сведениями о запасе устойчивости текущего тренда.

Алгоритм количественной оценки состояния модели системы предполагает следующую последовательность действий:

$$1) \quad \text{формирование модели Коши, например: } \begin{cases} \dot{x} = -k(x - y) \\ \dot{y} = -xz - y + px ; \\ \dot{z} = -qz + xy \end{cases}$$

2) получение матрицы Якоби, составленной из частных производных от правых частей соответствующих дифференциальных

$$\text{уравнений } \begin{bmatrix} -k & k & 0 \\ -z + p & -1 & -x \\ y & x & -q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -10 & 10 & 0 \\ -z + 28 & -1 & -x \\ y & x & -11 \end{bmatrix} ;$$

$$3) \quad \text{подстановка начальных условий } \begin{bmatrix} -10 & 10 & 0 \\ -z_0 + 28 & -1 & -x_0 \\ y_0 & x_0 & -11 \end{bmatrix} ;$$

4) нахождение собственных чисел полученной числовой матрицы – для $n=3$ их и будет 3: μ_1, μ_2, μ_3 ;

5) нахождение показателей Ляпунова первого порядка как действительную часть собственного числа $\lambda_j^1 = \text{Re } \mu_j^1$;

$$6) \quad \text{нахождение одномерного показателя Ляпунова } \lambda_1 = \max_j \lambda_j^1 ;$$

$$7) \quad \text{нахождение } \lambda_1^2 = \lambda_1^1 + \lambda_2^1 ; \lambda_2^2 = \lambda_1^1 + \lambda_3^1 ; \lambda_3^2 = \lambda_3^1 + \lambda_2^1 ;$$

$$8) \quad \text{нахождение } \lambda_2 = \max_j \lambda_j^2 ;$$

$$9) \quad \text{нахождение } \lambda_1^3 = \lambda_1^1 + \lambda_2^1 + \lambda_3^1$$

В этом случае формируется информационное пространство социально-экономической системы, в рамках которой находят зоны его прогнозного поведения, используя показатели Ляпунова [4].

Сложность моделирования СЭС, как подсистемы ЕГИП, обусловлена [6,14]:

- сложностью объекта исследования, нелинейностью и недоопределенностью процессов и начальных условий, наличием пороговых эффектов, бифуркаций и временных лагов (дифференциальных моделей СЭС с запаздыванием);

- эффектом взаимодействия переменных модели СЭС, которые в большинстве своем реализуют НЕ-факторы;

- сложностью измерения нечетких переменных модели;

- нечеткостью и неустойчивостью взаимосвязей в модели;

- значительным влиянием человеческого фактора на все социально-экономические процессы.

В результате «гибридизации методов интеллектуальной обработки данных, объединения нескольких технологий искусственного интеллекта появился термин мягкие вычисления (soft computing)» [**Ошибка! Источник ссылки не найден.**], который в 1994 году ввел Л. Заде. «Мягкие вычисления представляют собой набор вычислительных методологий, которые обеспечивают основу для понимания, конструирования и развития интеллектуальных систем. Soft Computing объединяет такие области, как вероятностные рассуждения и эволюционные алгоритмы, искусственные нейронные сети (НС) и нечеткая логика (НЛ). Эти области дополняют друг друга и используются в различных комбинациях для создания гибридных интеллектуальных систем» [3].

Представляемая нами модель ЕГИП, использует весь набор возможных гибридных составляющих. Такая ее структура позволяет оценить, на модельном уровне, устойчивость и адаптивность ее СЭС [1,2]. Устойчивость архитектуры ЕГИП определяется относительной стабильностью (и предсказуемостью) ее состава, параметров состояния, и, главное, стабильностью поведения. Свойство адаптивности СЭС означает, прежде всего, ее гибкость и самонастраиваемость.

Адаптивная архитектура — это «разумная» архитектура, обладающая свойством настраиваться на потребности конкретного предприятия и

позволяющая организациям оперативно реагировать на изменения рынка и информационно-технологических потоков» [7].

Для достоверной оценки устойчивости геоинформационной СЭС могут быть применены, гибридные модели, сочетающие в себе основные преимущества мягких вычислений. «Среди них выделим такие методы, которые могут реализовать свойства адаптивности и способности обучаться, самонастраиваться. Это, прежде всего, нейронные сети и нечеткая логика. Обе технологии являются средствами моделирования и работают после стадии обучения или извлечения знаний. Нейронные сети применяются в тех случаях, когда зависимые и независимые переменные связаны сложными нелинейными соотношениями»[13], следовательно, имеют возможность генерировать хаос.

Общая «структура системы, использующей нечеткую логику и нейронные сети, содержит основные блоки, синергетический эффект совместного взаимодействия которых определяет интеллектуальность функционирования системы: базу знаний, блок решений, блоки фаззификации ($\mu_A^i(x_j)$), агрегирования и дефаззификации ($y_k(x)$)» (Рис.1)

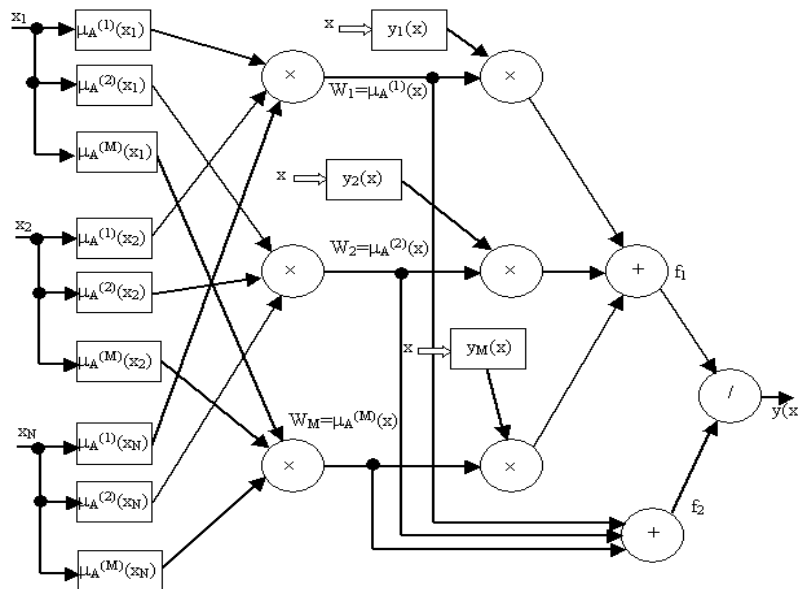


Рис.1 - Классическая нейро-нечеткая (NF) модель исследования процессов

Классические нейронные сети, состоят из входного вектора, нескольких слоев нейронов, соединенных между собой определенным

образом, и выходного вектора. Каждый нейрон – это некоторая функция от линейной комбинации входов (рис.2а).

Процесс обучения сети – это уменьшение ошибки выхода сети по отношению к ожидаемому выходу обучающей выборки [2б]. Задача уменьшения погрешности обучения или оптимизации решается путем подстройки коэффициентов линейной комбинации на каждом из нейронов, с использованием обучающей выборки, при помощи одной из модификаций метода градиентного спуска. Чем больше слоев, тем настройка дольше.

Резервуарные вычисления основаны на использовании преимущественно выходных, конечных слоев в многослойной нейросети. То есть можно не настраивать внутренние слои. Появился т.н. «динамический резервуар» нелинейных нейронов, соединенных между собой, в общем случае, случайным образом. У резервуара есть вход и выход. На выходе простой слой линейных нейронов.

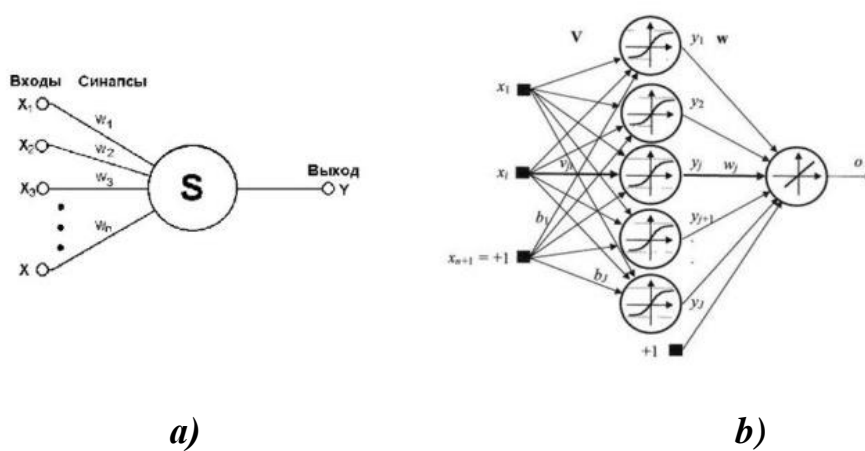


Рис.2 – Нейронная сеть как векторный оператор

А резервуар, фактически, представляет собой обширный набор разных нелинейных функций, из которого можно «собрать» любую, нужную в данный момент, функцию.

Этот подход имеет много интересных свойств. Например, «можно к одному и тому же резервуару присоединять разные выходные слои и таким образом решать разные задачи. То есть сам резервуар гомогенен, не настроен

под конкретную задачу, и может быть использован для чего угодно. Предполагают» [15], что наш мозг работает похожим образом.

Единое геоинформационное пространство может рассматриваться, как совокупность взаимосвязанных и взаимодействующих слоев в процессе своего функционирования. Так как ЕГИП – это целостная система, то его модель в виде базы знаний, также должна обладать этим свойством.

Как показали исследования, использование гибридных моделей с применением нечетких, хаотических и нейронных моделей способно обеспечить эти условия.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Багиев Г.Л., Пинчук А.В., Серова Е.Г., Шульга А.О. К вопросу формирования концепции а пространственного взаимодействия // Проблемы современной экономики. — 2012 — № 4. — URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=23912488> (дата обращения 03.04.2020)
2. Akperov I., Khramov V., Lukasevich V., Mityasova O. Fuzzy methods and algorithms in data mining and formation of digital plan-schemes in earth remote sensing // 9 th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOFT COMPUTING, COMPUTING WITH WORDS AND PERCEPTIONS ICSCCW 2017 22-23 August 2017, Budapest, Hungary pp 120-125. 1-s2.0-S1877050917325590-main
3. Минакир П.А. Экономический анализ и измерения в пространстве // Пространственная экономика. — 2014 — № 1.
4. Храмов В.В. Задачи принятия решений при исследовании многокритериальных объектов в нечеткой информационной среде // Проблемы обеспечения эффективности и устойчивости функционирования сложных технических систем: Материалы XXI Межведомственной научно-технической конференции. – 2002. – С. 120-124. – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=32877415> (дата обращения 03.04.2020)
5. Zadeh, Lotfi A., Fuzzy Logic, Neural Networks, and Soft Computing, Communications of the ACM, March 1994, Vol. 37 No. 3, pages 77-84.
6. Суслов В.И. Измерение эффектов межрегиональных взаимодействий: модели, методы, результаты. — Новосибирск: Наука, Сиб. отд-ние, 1991. — 247 с.
7. Алиев Р.А. и др. ИУС газопромысловых объектов: современное состояние и перспективы развития. – М.: ООО «Изд. Дом Недра», 2014. – 462с.
8. Нариньяни А.С. Недоопределённость в системах представления и обработки знаний // Известия АН СССР. Техн. кибернетика. – 1986. – №5. – С. 3-28.
9. Храмов В.В. Интеллектуальные информационные системы. Интеллектуальный анализ данных. Учебное пособие. – Ростов-на-Дону: ФГБОУ ВПО РГУПС, 2012. – 98 с.
10. Храмов В.В. Способ агрегирования нескольких источников нечеткой информации // Известия ТРТУ. – 2001. – № 3 (21). – С. 52-53. – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=12886331> (дата обращения 03.04.2020)
11. Серова Е.Г. Формирование устойчивой адаптивной архитектуры маркетинговой информационной системы в условиях пространственной экономики // Научные труды Вольного экономического общества. – 2013. – Т. 179. – С. 643-656.

12. Храмов В.В. Теория информационных процессов и систем: учебно-методическое пособие. – Ростов-на-Дону, 2011. – 47 с. – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=32764234> (дата обращения 03.04.2020).
13. Акперов И.Г., Повх В.И., Храмов В.В., Радчевский А.Н. Патент RU № 2612326 Способ формирования цифровой план-схемы объектов сельскохозяйственного назначения и система для его реализации.
14. Храмов В.В. Методология представления территорий при целевом зондировании Земли из космоса / Интеллектуальные ресурсы – региональному развитию. – 2016. – №2. – С.142-148.