

КОГНИТИВНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМ: РЕТРОСПЕКТИВНЫЙ АНАЛИЗ ИНСТРУМЕНТОВ И ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ

© 2023 Т. А. Макареня✉, Али Сажи Маннаа, А. И. Калиниченко, С. В. Петренко

*Южный федеральный университет
пер. Некрасовский, 44, ГСП 17А, 347922 Таганрог, Российская Федерация*

Аннотация. В сложившихся геополитических условиях, в условиях введенных экономических санкций в отношении России назревает объективная потребность формирования стратегического плана развития как всей экономики в целом, так и определенных ее отраслей. Для стратегического планирования возможно использование различных методов и инструментов. Одним из методов стратегического планирования является программно-целевой метод планирования, который зарекомендовал себя, как эффективный метод форсайта. Можно говорить о провалах плановой деятельности, но данные провалы были связаны не с недоработками и применением научно-обоснованных методов планирования, а с эффективностью управленческого аппарата, который принимал решения. Необходимо отметить, что именно в период применения научно-обоснованных методов планирования нашей стране удалось сформировать и развить промышленное производство разных отраслей, и вопрос импортозамещения не стоял тогда, так как на всех предприятиях были представлены все этапы жизненного цикла продукции. В настоящее время перед страной стоит проблема стратегического развития в условиях введенных экономических санкций. Объемы санкций с каждым днем возрастают и можно лишь предполагать будущие введенные ограничения. Поэтому возникает потребность прогнозирования деятельности на уровне всей страны, отдельных отраслей и предприятий. Одним из таких методов является метод когнитивного моделирования, основанного на нечеткой логике.

В последние годы когнитивный подход все чаще применяется в управлении социально-экономическими системами как внутри страны, так и за рубежом. Этот подход включает использование когнитивных принципов и методов для понимания поведения отдельных лиц в системе, а также взаимодействий и циклов обратной связи между различными компонентами. В данной статье проводится ретроспективный анализ применения когнитивного метода в моделировании. Рассматриваются информационные системы, которые разработаны в нашей стране для реализации задач когнитивного моделирования. И делается оценка существующих программных продуктов. Также представлены теоретические материалы по когнитивному подходу в моделировании с целью понимания применения данного инструментария для моделирования социально-экономических систем с использованием элементов нечеткой логики. Материал статьи может быть полезен начинающим специалистам в области когнитивного моделирования.

Ключевые слова: теория и история, когнитивное моделирование, социально-экономические системы, нечеткая логика, прогнозирование, долгосрочное планирование, компьютерное моделирование, нейроимиджинг, статистический анализ.

✉ Макареня Татьяна Анатольевна
e-mail: mta-76@inbox.ru



Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License.
The content is available under Creative Commons Attribution 4.0 License.

ВВЕДЕНИЕ

Когнитивное моделирование — это научная дисциплина, которая изучает, как человеческий мозг обрабатывает информацию и создает внутренние представления о мире вокруг нас. Оно основывается на предположении, что работа мозга может быть представлена в виде компьютерной модели, которая может симулировать его функционирование.

Само по себе когнитивное моделирование — это отрасль искусственного интеллекта, целью которой является моделирование человеческого мышления и процессов принятия решений. В экономике когнитивное моделирование используется для понимания и прогнозирования поведения сложных экономических систем.

На отечественном уровне когнитивный подход нашел применение в управлении различными социально-экономическими системами, такими как здравоохранение, образование, бизнес. Например, в здравоохранении для лечения психических расстройств использовались когнитивные вмешательства, такие как когнитивно-поведенческая терапия. В образовании когнитивный подход использовался для разработки учебных стратегий, которые лучше согласуются с тем, как люди обрабатывают и сохраняют информацию. В бизнесе когнитивный подход используется для улучшения процессов принятия решений и оптимизации эффективности организации.

На международном уровне когнитивный подход применяется аналогичным образом, причем некоторые страны уделяют больше внимания его использованию в управлении социально-экономическими системами. Например, в Нидерландах когнитивный подход использовался в управлении транспортными системами, где он применялся для улучшения транспортного потока и снижения аварийности. В Японии когнитивный подход применялся в управлении системами реагирования на стихийные бедствия, где он использовался для улучшения процесса принятия решений и коммуникации между аварийно-спасательными службами.

Анализ результатов предшествующих работ. История когнитивного моделирования начинается с развития кибернетики в 1940-х годах. В 1956 году Джон Маккарти, Марвин Минский, Нэт Рочестер и Клод Шеннон основали Летний институт искусственного интеллекта (Summer Research Conference on Artificial Intelligence), который стал отправной точкой для развития когнитивной науки [6–8]. В 1960-х годах появилась теория символической обработки информации, которая предлагала, что мы можем понимать когнитивные процессы, разбивая их на более простые элементы.

В 1970-х и 1980-х годах когнитивное моделирование стало одним из основных направлений в когнитивной науке. Исследователи разработали компьютерные модели, которые имитировали процессы восприятия, памяти и мышления. Такие модели позволили исследователям тестировать свои гипотезы о том, как работает человеческий мозг, и выявить противоречия между теорией и реальностью.

Сегодня когнитивное моделирование продолжает свое развитие с помощью современных методов компьютерного моделирования и статистического анализа. Оно успешно применяется во многих областях, включая психологию, нейробиологию, философию, искусственный интеллект и робототехнику.

В России когнитивное моделирование в приложениях к сложным системам началось в 1990-х годах благодаря трудам ученых ИПУ РАН [10, 24, 25]. Из этих работ выросли исследования во многих университетах РФ, в том числе в ИТА ЮФУ. Опыт, накопленный за это время, показал, что когнитивное моделирование является эффективным для социально-экономических, экологических, геополитических, социотехнических и других сложных систем. Результаты некоторых исследований были опубликованы в работах [12, 15, 17, 18].

Термин «когнитивные карты» был впервые предложен в 1948 году американским психологом Э. Толменом в работе «Когнитивные карты у крыс и человека» [9]. В развитии этой когнитивной методологии были главными образом работы Дж. Касти, Р. Ат-

кина и Ф. Робертса [1–3, 5]. В соответствии с этими работами, когнитивная карта — это схема, которая визуальнo отображает представление субъекта (исследователя, эксперта, принимающего решение) о системе причинно-следственных связей между концептами (объектами, сущностями, понятиями, факторами, взаимодействующими системами и их блоками) в рамках той или иной предметной области или направления когнитивной науки. Создание такой карты выполняется с определенной целью.

1. МЕТОДЫ И МАТЕРИАЛЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Когнитивная карта представляет собой структуру знаний, которая математически описывается знаковым ориентированным графом G. Когнитивная структуризация, или *cognitive mapping*, относится к процессу выявления целевых и нежелательных состояний объекта управления, а также наиболее важных факторов управления и факторов внешней среды, которые могут повлиять на переход объекта в эти состояния. Кроме того, когнитивная структуризация включает установление качественных и количественных связей между факторами, учитывая их взаимодействие друг с другом.

Когнитивное моделирование большой системы может дать представление о факторах, влияющих на поведение сложных систем, и может помочь определить возможности для вмешательства или улучшения. Например, понимание когнитивных искажений в процессах принятия решений, может помочь лицам, принимающим решения, разработать более эффективные стратегии развития.

Один из подходов к когнитивному моделированию истории большой системы заключается в создании вычислительных моделей, моделирующих поведение системы и ее различных компонентов. Эти модели могут включать когнитивные принципы, такие как принятие решений, обучение и восприятие, чтобы лучше понять факторы, повлиявшие на развитие системы, и то, как она может развиваться в будущем.

Другой подход заключается в использовании исторических и статистических данных и их анализа для выявления закономерностей и тенденций в системе. Это может включать изучение поведения отдельных элементов в системе, а также взаимодействий и циклов обратной связи между различными компонентами.

В системах поддержки принятия решений (СППР) когнитивное моделирование используется для анализа и оптимизации процессов принятия решений, а также для разработки более эффективных стратегий принятия решений.

Инструментальные средства когнитивного моделирования могут варьироваться в зависимости от целей и задач СППР. Некоторые из них включают в себя:

1. Когнитивные карты (Mind maps) — это графические модели, которые отображают связи между идеями и концепциями, которые могут быть использованы для исследования принятия решений. Карты могут быть использованы для визуализации концептуальных отношений и для облегчения процесса принятия решений.

2. Диаграммы причинно-следственных связей — это методология, которая используется для определения причинных связей между событиями. Диаграммы причинно-следственных связей помогают идентифицировать факторы, которые влияют на принятие решений, и позволяют эффективнее разрабатывать стратегии.

3. Моделирование событий и процессов — это метод, который используется для создания моделей, отображающих процессы, которые происходят в системе. Эти модели могут быть использованы для анализа производительности системы и для определения наилучших стратегий принятия решений.

4. Когнитивные агенты — это инструменты, которые используются для моделирования мыслительных процессов человека. Эти инструменты позволяют анализировать принятие решений и предсказывать результаты принятых решений.

5. Экспертные системы — это компьютерные программы, которые используют знания

экспертов для принятия решений. Экспертные системы могут быть использованы для анализа принятых решений и для определения наилучших стратегий.

6. Моделирование сценариев — это метод, который используется для создания моделей, отображающих различные сценарии развития ситуаций.

Для организации исследовательской работы и разработки последовательной программы действий используется «метаналог описания объекта (системы)» [16], который также является «метамоделью исследования». В эту модель включается «наблюдатель» — метаналог, который учитывает влияние исследователя на систему и ее исследование.

$$M = \{M_O(Y, U, P), M_E(X), M_{OE}, M_D(Q), \dots \dots M_{MO}, M_{ME}, M_U, M_H, A\}, \quad (1)$$

где $M_O(Y, U, P)$ — идентифицирующая модель системы (модель объекта), в которой Y — эндогенные переменные, U — вектор управляемых переменных, P — вектор ресурсов;

$M_E(X)$ — модель окружающей среды, в которой X — экзогенные величины;

$M_{OE} = \{M_{SX}, M_{SY}\}$ — модель взаимодействия объекта и среды;

$M_D(Q)$ — модель поведения системы, в которой Q — возмущающие воздействия;

M_{MO} и M_{ME} — модели измерения состояния системы и окружающей среды;

M_U — модель управляющей системы,

A — правила объединения моделей и выбора процессов изменения объекта;

M_H — модель «наблюдателя» (инженера-когнитолога, эксперта, исследователя).

Модели M_O, M_E, M_{OE} представляют собой когнитивные модели. Модель поведения системы M_D — это модель импульсного процесса, которая описывает эволюцию ситуации на модели при внесении возмущающих воздействий Q . Модель наблюдателя M_H является частью процесса когнитивного моделирования, отражающего процесс познания субъектом изучаемого объекта. Одним из исторических примеров когнитивной карты сложной системы является модель, разработанная Магоро Маруямой и обозначенная им как «Зна-

ковый орграф для анализа проблем удаления твердых отходов» [14]. Для создания этой модели была использована программная система когнитивного моделирования [26]. На рис. 1 приведена когнитивная карта G1.

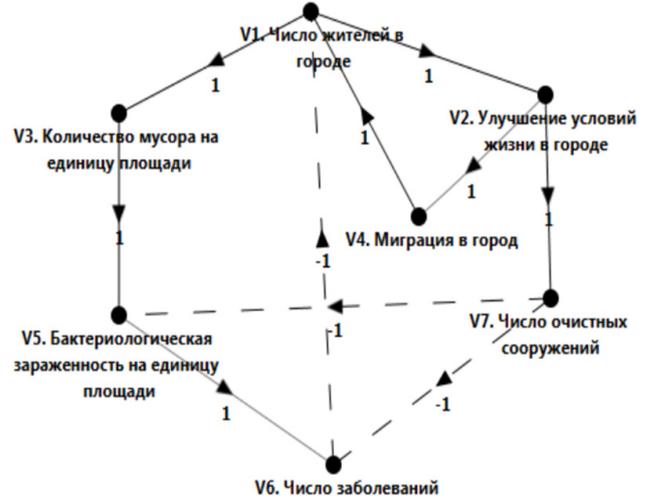


Рис. 1. Когнитивная карта G1 «Знаковый орграф для анализа проблем удаления твердых отходов», Магоро Маруяма [Fig. 1. Cognitive map G1, «The Sign Orgraph for Analyzing Solid Waste Management Problems», by Magoro Maruyama]

Математически когнитивная карта — это знаковый ориентированный граф.

$$G = \langle V, E \rangle, \quad (2)$$

где V — множество факторов ситуации (вершин, объектов, концептов), в которой вершины $V_i \in V, i = 1, 2, \dots, k$ являются элементами изучаемой системы;

E — множество причинно-следственных отношений между факторами ситуации (дуг), в которой дуги $E_{ij} \in E, i, j = 1, 2, \dots, N$ отражают взаимосвязь между вершинами V_i и V_j ;

Для дальнейшего моделирования развития ситуации можно использовать импульсное моделирование [13].

$$x_i(n+1) = x_{V_i}(n) + \sum_{j=1}^{k-1} f_{ij} P_j(n) + Q_i(n), \quad (3)$$

где $x_i(n)$ — величина импульса в вершине V_i в предыдущий момент-такт моделирования n ,

$x_i(n+1)$ — в интересующий исследователя $(n+1)$ момент;

f_{ij} — коэффициент преобразования импульса;

$P_j(n)$ — значение импульса в вершинах, смежных с вершиной V_i ;

$Q_i(n)$ — вектор возмущений и управляющих воздействий, вносимых в вершины V_i в момент n . Это начальный импульс.

В импульсном моделировании ситуация определяется набором значений Q и X , который изменяется в каждом такте моделирования. Набор реализаций импульсных процессов является «сценарием развития», который указывает на возможные тенденции развития ситуаций.

2. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

На данный момент существует несколько программных инструментов для когнитивного моделирования сложных экономических систем. Они базируются на различных методах моделирования, таких как агентное моделирование, моделирование системной динамики и сетевое моделирование, для описания экономических систем.

Некоторые из популярных программ для когнитивного моделирования сложных экономических систем:

1. NetLogo — это программное обеспечение для моделирования на основе агентов, которое широко используется в экономике. Он позволяет пользователям создавать и моделировать сложные экономические системы, такие как динамика рынка, социальные сети и модели теории игр. NetLogo имеет открытый исходный код и большое сообщество пользователей, которые вносят свой вклад в его развитие [20].

2. Vensim — это программное обеспечение для моделирования системной динамики, которое используется для моделирования сложных экономических систем. Это позволяет пользователям создавать динамические модели экономических систем, такие как макроэкономические модели, экологические модели и бизнес-модели. Vensim имеет ряд функций для анализа и визуализации данных [19].

3. GAMA — это программное обеспечение для моделирования на основе агентов, которое используется для моделирования

сложных экономических систем. Он предоставляет ряд методов моделирования, таких как многоагентные системы, пространственные модели и социальные симуляции. GAMA имеет открытый исходный код и удобный интерфейс [4].

4. Repast — это программное обеспечение для моделирования на основе агентов, которое используется для моделирования сложных экономических систем. Он предоставляет ряд методов моделирования, таких как многоагентные системы, социальные сети и пространственные модели. Repast имеет открытый исходный код и большое сообщество пользователей [28].

5. Arena — это инструмент моделирования, который широко используется в производстве, логистике и сфере услуг. Он предлагает интерфейс перетаскивания для создания симуляций и поддерживает широкий спектр методов моделирования. Arena также предоставляет инструменты статистического анализа для оценки результатов моделирования [11].

В России также имеется ряд программных средств для когнитивного моделирования сложных экономических систем. В числе таких средств можно выделить программные комплексы, которые, в отличие от редакторов типа Mind maps, обладают расширенным функционалом для анализа построенной модели и импульсного моделирования.

Среди них можно выделить СППР **Канва** [22] которая позволяет проводить концептуальный анализ и моделирование сложных и недостаточно определенных политических, экономических или социальных ситуаций. Эта система может быть использована для разработки стратегий управления и механизмов их реализации, а также для создания программных документов стратегического развития страны, региона, предприятия, фирмы и т. д. Кроме того, она может использоваться для постоянного мониторинга состояния ситуации, генерации и проверки гипотез о механизмах развития и управления ситуацией.

Сюда же относится и разрабатываемая программа когнитивного моделирования сложных систем **CMCS** [12]. А также полноценные комплексы по поддержке принятия

стратегических решений в области экономики, политики, социологии, военно-политических конфликтов, медицины и т. д., такие как **КоС-МоС** [27], **ИГЛА** [21], **Компас** [23] и другие.

Эти инструменты позволяют быстро и комплексно охарактеризовать сложные и неопределенные ситуации, а также на качественном уровне предложить пути решения проблем в этих ситуациях, учитывая факторы внешней среды и системный подход.

Каждая из систем моделирования имеет свои сильные и слабые стороны, и выбор инструмента моделирования зависит от предметной области, требований к моделированию и предпочтений пользователя.

В настоящее время когнитивный подход широко используется в интеллектуальных системах поддержки управленческих решений. Он позволяет сочетать формализованные научные знания с опытом экспертов и творческим потенциалом решающих лиц. Результаты когнитивного моделирования сложных систем относятся к области искусственного интеллекта, а также используются для создания интеллектуальных систем поддержки принятия решений (ИСППР).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В целом, использование когнитивного подхода в управлении социально-экономическими системами показало многообещающие результаты в улучшении производительности и результатов. Лучше понимая когнитивные процессы, лежащие в основе поведения в системе, менеджеры могут определить области для улучшения и разработать более эффективные стратегии для достижения своих целей. Однако необходимы дальнейшие исследования, чтобы полностью понять потенциальные преимущества и ограничения этого подхода, а также определить передовой опыт его реализации.

БЛАГОДАРНОСТИ

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-28-00537, <https://rscf.ru/project/23-28-00537/>

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Atkin R. H.* Combinatorial Connectivities in Social Systems. An Application of Simplicial Complex Structures to the Study of Large Organisations. Interdisciplinary Systems Research : Birkhäuser Basel, 1977.

2. *Axelrod R.* The Structure of Decision: Cognitive Maps of Political Elites. Princeton : University Press, 1976.

3. *Casti J.* Connectivity, Complexity, and Catastrophe in Large-scale Systems. A Wiley-Interscience Publication International Institute for Applied Systems Analysis. Chichester-New York-Brisbane-Toronto: JOHN WILEY and SONS, 1979.

4. GAMA. – Режим доступа: <http://code.google.com/p/gama-platform/>. – (Дата обращения: 24.02.2023)

5. *Roberts F.* Graph Theory and its Applications to Problems of Society. Philadelphia: Society for Industrial and Applied Mathematics, 1978.

6. *Solomonoff R. J.* The Time Scale of Artificial Intelligence // Reflections on Social Effects. Human Systems Management. – Vol 5, P. 149–153.

7. *Moor J.* The Dartmouth College Artificial Intelligence Conference: The Next Fifty years. // AI Magazine. – Vol. 27. N 4. – P. 87. <https://doi.org/10.1609/aimag.v27i4.1911>.

8. *Ronald R.* Cybernetics, Automata Studies and the Dartmouth Conference on Artificial Intelligence // IEEE Annals of the History of Computing. – Vol. 33, No 4. – October-December 2011. – P. 5–16.

9. *Tolman E. C.* Cognitive maps in rats and men // Psychological Review. – Vol. 55. No 4. – P. 189–208.

10. *Абрамова Н. А., Авдеева З. К.* Когнитивный анализ и управление развитием ситуаций: проблемы методологии, теории и практики / Н. А. Абрамова, З. К. Авдеева // Проблемы управления. – 2008. – № 3. – С. 85–87.

11. *Высочин О. С.* Моделирование производственных процессов на промышленном предприятии при помощи системы имитационного моделирования Arena / О. С. Высочина, В. Н. Данич, В. П. Пархоменко // Радиоэлектроника, информатика, управління. – 2012. – № 1. – С. 82–65.
12. *Горелова Г. В.* Инструментарий когнитивного моделирования сложных систем / Г. В. Горелова, А. И. Калиниченко // Системный анализ в проектировании и управлении (SAEC-2018) : сб. науч. тр. XXII междунар. науч.-практ. конф. Ч. 1. – Санкт-Петербург : Изд-во СПбГПУ, 2018. – С. 399–412.
13. *Горелова Г. В.* Исследование слабоструктурированных проблем социально-экономических систем: когнитивный подход / Г. В. Горелова, Е. Н. Захарова, С. А. Радченко. – Ростов н/Д : Изд-во РГУ, 2006. – 332 с.
14. *Горелова Г. В.* Инструментарий когнитивных исследований сложных систем и риск человеческого фактора / Г. В. Горелова, А. И. Калиниченко // Когнитивное моделирование : сб. тр. Шестого Международного форума по когнитивному моделированию (Тель-Авив, Израиль, 30 сентября – 07 октября 2018 г.). В 2-х частях. Ч.2. Когнитивное моделирование в науке, культуре, образовании: труды (CMSCE-2018)». – Ростов н/Д: Фонд науки и образования, 2018. – С. 265–279.
15. *Горелова Г. В.* Моделирование конкуренции с помощью программной системы когнитивного моделирования / Г. В. Горелова, А. И. Калиниченко // Вестник Адыгейского государственного университета. Серия: Экономика. – 2018. – № 2. – С. 114–125.
16. *Горелова Г. В.* Инновационное развитие социально-экономических систем на основе методологий предвидения и когнитивного моделирования / Г.В. Горелова, Н. Д. Панкратова. – Киев : Наукова думка, 2015. – 464 с.
17. *Калиниченко А. И.* О программной системе когнитивного моделирования сложных систем как элементе искусственного интеллекта / А. И. Калиниченко // Системный анализ в проектировании и управлении» (SAEC-2019) : сб. научн. тр. XXIII Междунар. науч.-практич. конф. Ч. 3. – Санкт-Петербург: СПбГТУ, 2019. – С. 471–478.
18. *Калиниченко А. И.* (2019). Применение когнитивного инструментария к исследованию трудовых аспектов качества жизни [Электронный ресурс] / А. И. Калиниченко // Вопросы экономики и управления. – 2019. – № 2 (18). – С. 1–14. – Режим доступа: <https://moluch.ru/th/5/archive/117/3937/>. – (дата обращения: 24.02.2023).
19. *Каримов М. Х.* Применение методов системной динамики к исследованию особенностей системы управления рисками в организации / М. Х. Каримов // Проблемы современной науки и образования. – 2017. – № 24(106). – С. 13–16.
20. *Клейнер Г. Б.* Менталитет экономических агентов и институциональные изменения в поисках модели равновесия / Г. Б. Клейнер, М. А. Рыбачук, Д. В. Ушаков // Современная экономическая теория. Terra Economicus. – 2021. – № 19(4). – С. 6–20. DOI: 10.18522/2073-6606-2021-19-4-6-20.
21. *Коростелев Д. А.* Система поддержки принятия решений на основе нечетких когнитивных моделей «ИГЛА» / Д. А. Коростелев, Д. Г. Лагерев, А. Г. Подвесовский // Одиннадцатая нац. конф. по искусственному интеллекту с международным участием КИИ–2008. (Дубна, 28 сентября – 3 октября 2008 г.). Дубна, 2008. – Т. 3. – С. 327–329.
22. *Кулинич А. А.* Когнитивная система поддержки принятия решений «Канва» / А. А. Кулинич // Программные продукты и системы. – 2002. – № 3. – С. 25–28.
23. *Кулинич А. А.* Система концептуального моделирования социально-политических ситуаций «Компас» / А. А. Кулинич, В. И. Максимов // сб. докл.: «Современные технологии управления». Москва, ИПУ 21–22 мая 1998 г.). – Москва, 1998. – С. 115–123.
24. *Сценарный анализ динамики поведения социально-экономических систем: научное издание / В. В. Кульба [и др.].* – Москва : ИПУ РАН, 2002. – 122 с.
25. *Максимов В. И.* Когнитивные технологии – от незнания к пониманию / В. И. Максимов // Когнитивный анализ и управление развитием ситуаций: сб.тр. 1-й Междунар. конф. (CASC'2001). – Москва, 2001. –Т. 1. – С. 4–18.

26. Программа для ЭВМ: Программа для когнитивного моделирования и анализа социально-экономических систем регионального уровня: свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2018661506 от 07.09.2018; правообладатели Горелова Г. В.; Калиниченко А. И.; Кузьминов А. Н.; заявл. 29.08.18; опублик. 07.09.18, Бюл. № 9.

27. Силов В. Б. Принятие стратегических решений в нечеткой обстановке / В. Б. Силов. – М. : ИНПРО-РЕС, 1995. – 228 с.

28. Якимов И. М. Имитационное моделирование в системе Repast Simphony / И. М. Якимов, А. П. Кирпичников, М. В. Трусфус // Вестник технологического университета. – 2016. – Т. 19, № 22. – С. 609–613.

Макареня Татьяна Анатольевна — д-р экон. наук, доцент, заведующий кафедрой инженерной экономики, Институт управления в экономических, экологических и социальных системах Южного федерального университета.

E-mail: mta-76@inbox.ru

ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-8251-3912>.

Маннаа Али Сажи — аспирант, ассистент каф. синергетики и процессов управления им. проф. А. А. Колесникова Южного федерального университета.

E-mail: ali88mannaa@gmail.com

ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0003-0824-8038>.

Калиниченко Алексей Игоревич — аспирант Южного федерального университета.

E-mail: alecsy.k@gmail.com

ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-5460-5369>.

Петренко Светлана Владимировна — канд. экон. наук, доцент кафедры инженерной экономики Южного федерального университета.

E-mail: lana.stash@gmail.com

ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-0767-2200>.

DOI: <https://doi.org/10.17308/sait/1995-5499/2023/3/84-94>

ISSN 1995-5499

Received 09.04.2023

Accepted 30.09.2023

COGNITIVE MODELING OF SOCIO-ECONOMIC SYSTEMS: A RETROSPECTIVE ANALYSIS OF TOOLS AND INFORMATION SYSTEMS

© 2023 Т. А. Макареня✉, А. И. Калиниченко, Али Сажае Маннаа, С. В. Петренко

Southern Federal University

Nekrasovsky lane, 44, GSP 17A, 347922 Taganrog, Russian Federation

Annotation. In the current geopolitical conditions under the economic sanctions imposed on Russia, there is an objective need to form a strategic plan for the development of the economy, and for certain sectors of the economy. For strategic planning it is possible to use various methods and tools. One of the methods of strategic planning is the program-targeted method of planning, which has proven itself as an effective method of foresight. It is possible to speak about failures of planning activity, but these failures were connected not with shortcomings and application of scientifically grounded methods of planning but were connected with efficiency of the administrative apparatus which made decisions. It should be

✉ Макареня Татьяна А.
e-mail: mta-76@inbox.ru

noted that it was in the period of application of science-based planning methods that our country managed to form and develop industrial production of different branches, and the issue of import substitution did not arise then, as all stages of the product life cycle were represented at all enterprises. Currently, the country is facing the problem of strategic development in the context of the imposed economic sanctions. The volume of sanctions is increasing day by day and one can only speculate on the future restrictions imposed. Therefore, there is a need to forecast activities at the level of the whole country, individual industries and enterprises. One of such methods is the method of cognitive modeling based on fuzzy logic.

In recent years, the cognitive approach has been increasingly used in the management of socio-economic systems both at home and abroad. This approach involves the use of cognitive principles and methods to understand the behavior of individuals in a system, as well as the interactions and feedback loops between the various components. This article provides a retrospective analysis of the application of the cognitive method to modeling. The information systems which have been developed in our country for realization of tasks of cognitive modeling are considered. And an evaluation of existing software products is made. Also, theoretical materials on the cognitive approach in modeling are presented in order to understand the application of this toolkit for modeling socio-economic systems using elements of fuzzy logic. The material of the article can be useful for beginners in the field of cognitive modeling.

Keywords: theory and history, cognitive modeling, socio-economic systems, fuzzy logic, forecasting, long-term planning, computer modeling, neuroimaging, statistical analysis.

CONFLICT OF INTEREST

The authors declare the absence of obvious and potential conflicts of interest related to the publication of this article.

REFERENCES

1. *Atkin R. H.* (1977) *Combinatorial Connectivities in Social Systems. An Application of Simplicial Complex Structures to the Study of Large Organisations.* Interdisciplinary Systems Research. Birkhäuser Basel.
2. *Axelrod R.* (1976) *The Structure of Decision: Cognitive Maps of Political Elites.* Princeton. University Press.
3. *Casti J.* (1979) *Connectivity, Complexity, and Catastrophe in Large-scale Systems.* A Wiley – Interscience Publication International Institute for Applied Systems Analysis. Chichester – New York – Brisbane – Toronto: JOHN WILEY and SONS.
4. GAMA. Available from: <http://code.google.com/p/gama-platform/>. [Accessed 24th February 2023].
5. *Roberts F.* (1978) *Graph Theory and its Applications to Problems of Society.* Philadelphia: Society for Industrial and Applied Mathematics.
6. *Solomonoff R. J.* (1985) *The Time Scale of Artificial Intelligence; Reflections on Social Effects.* Human Systems Management. (5). P. 149–153.
7. *Moor J.* (2006) *The Dartmouth College Artificial Intelligence Conference: The Next Fifty years.* AI Magazine. 27 (4). P. 87. <https://doi.org/10.1609/aimag.v27i4.1911>.
8. *Ronald R.* (2011) *Cybernetics, Automata Studies and the Dartmouth Conference on Artificial Intelligence: IEEE Annals of the History of Computing, October–December, 2011.* 33 (4). P. 5–16.
9. *Tolman E. C.* (1948). *Cognitive maps in rats and men.* *Psychological Review.* 55 (4). P. 189–208.
10. *Abramova N. A. and Avdeeva Z. K.* (2008). *Cognitive analysis and management of situation development.* *Problems of methodology, theory and practice.* (3). P. 85–87. (in Russian)
11. *Vysochina O. S., Danich V. N. and Parkhomenko V. P.* (2012) *Modeling of production processes at an industrial enterprise by means of simulation modeling system Arena.* *Radioelectronics, Informatics, Management.* (1). P. 82–65. (in Russian)
12. *Gorelova G. V. and Kalinichenko A. I.* (2018) *Toolkit of cognitive modeling of complex systems // Proceedings of XXII International Scientific and Practical Conference “System analysis in design and management” (SAEC-2018), part 1. – SPbGTU: St. Petersburg.* P. 399–412. (in Russian)
13. *Gorelova G. V., Zakharova E. N. and Radchenko S. A.* (2006) *Investigation of weakly structured problems of socio-economic systems: a*

cognitive approach. Rostov-on-Don: Publishing house of Russian State University. (in Russian)

14. *Gorelova G. V. and Kalinichenko A. I.* (2018) Toolkit for cognitive research of complex systems and human factor risk. *Cognitive Modeling: Proceedings of the Sixth International Forum on Cognitive Modeling*, 30 September – 07 October 2018, Tel Aviv, Israel. In 2 parts. Part 2: *Cognitive Modeling in Science, Culture, Education: Proceedings (CMSCE-2018)*. Rostov on/D: Foundation for Science and Education. pp. 265–279. (in Russian)

15. *Gorelova G. V. and Kalinichenko A. I.* (2018) Modeling competition with the help of a software system of cognitive modeling. *Vestnik Adygei State University. Series: Economics.* (2). P. 114–125. (in Russian)

16. *Gorelova, G.V. and Pankratova N. D.* (2015) Innovative development of socio-economic systems on the basis of foresight methodologies and cognitive modeling. Kiev : Naukova Dumka. (in Russian)

17. *Kalinichenko A. I.* (2019) On the software system of cognitive modeling of complex systems as an element of artificial intelligence. *Proceedings of XXIII International Scientific and Practical Conference “System analysis in design and management” (SAEC-2019)*, part 3. – SPbGTU: St. Petersburg. P. 471–478. (in Russian)

18. *Kalinichenko A. I.* (2019) Application of cognitive tools to the study of labor aspects of quality of life. *Voprosy ekonomiki i upravleniya.* 2(18). Available from: <https://moluch.ru/th/5/archive/117/3937/> [Accessed 24th February 2023].

19. *Karimov M. Kh.* (2017) Application of methods of system dynamics to the study of the peculiarities of the risk management system in the organization. *Problems of modern science and education.* 24(106). P. 13–16. (in Russian)

20. *Kleiner G. B., Rybachuk M. A. and Ushakov D. V.* (2021) Mentality of economic agents and institutional changes in search of an equi-

librium model. *Modern economic theory. Terra Economicus.* 19(4). P. 6–20 DOI: 10.18522/2073-6606-2021-19-4-6-20. (in Russian)

21. *Korostelev D. A., Lagerev D. G. and Podvesovsky A. G.* (2008) Decision Support System Based on Fuzzy Cognitive Models: IGLA. Eleventh National Conference on Artificial Intelligence with International Participation KII-2008, Dubna, 28 September – 3 October 2008. (3). P. 327–329. (in Russian)

22. *Kulinich A. A.* (2002) Cognitive decision support system “Kanva”. *Software Products and Systems.* (3). P. 25–28. (in Russian)

23. *Kulinich A. A. and Maksimov V. I.* (1998) System of conceptual modeling of socio-political situations “Compass”. *Collection of papers “Modern Management Technologies”*, Moscow. P. 115–123. (in Russian)

24. *Kulba V. V., Kononov D. A., Kovalevskiy S. S., Kosyachenko S. A., Nizhegorodtsev R. M. and Chernov I. V.* (2002) Scenario Analysis of the Dynamics of Social and Economic Systems Behavior (Scientific publication). Moscow, IPU RAN publ. (in Russian)

25. *Maksimov V. I.* (2001) Cognitive Technologies – from Ignorance to Understanding. *Collected Works. Cognitive Analysis and Situation Analysis Management*, (CASC’2001): Proc. Int. Conf., T. 1. P. 4–18. (in Russian)

26. Program for Cognitive Modeling and Analysis of Socio-Economic Systems of Regional Level. Certificate of state registration of computer programs No. 2018661506 of 07.09.2018.

27. *Silov V. B.* (1995) Strategic decision-making in a fuzzy environment. Moscow, INN-PRO-RES publ. (in Russian)

28. *Yakimov I. M., Kirpichnikov A. P. and Trusfus M. V.* (2016). Simulation modeling in the Repast Symphony system. // *Bulletin of technological university.* (19). P. 609–613. (in Russian)

Т. А. Макареня, Али Сажид Маннаа, А. И. Калиниченко, С. В. Петренко

Makarenya Tatiana A. — doctor of Economics Science, Head of the Department of Engineering Economics of Southern Federal University.

E-mail: mta-76@inbox.ru

ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-8251-3912>.

Manna Ali Sazhi — assistant professor Department of Synergetics and Management Processes named by A.A. Kolesnikov of Southern Federal University.

E-mail: ali88manna@gmail.com

ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0003-0824-8038>.

Kalinichenko Alexey I. — post-graduate student of Southern Federal University.

E-mail: alecsy.k@gmail.com

ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-5460-5369>.

Petrenko Svetlana V. — PhD in Economics, associate PROFESSOR of the Department of Engineering Economics of Southern Federal University.

E-mail: lana.stash@gmail.com

ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-0767-2200>.