

СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ И КОГНИТИВНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ В ИЗУЧЕНИИ СЛОЖНЫХ СИСТЕМ

Г.В. Горелова

Южный федеральный университет
Россия, 347922, Таганрог, Чехова ул., 22
E-mail: gorelova-37@mail.ru

Ключевые слова: сложная система, имитационное моделирование, свойства, процессы, когнитивный и системный анализ, сценарий, предвидение, решение.

Аннотация: В работе рассмотрены вопросы совместного применения подходов, принципов и методов системного анализа и когнитивного имитационного моделирования для исследования сложных систем, таких, как социальные, экономические, политические, киберфизические и др. Целью исследования сложных систем, осуществляемом в когнитивном процессе, является понимание, объяснение, прогнозирование их поведения, принятие решений для управления системой или адаптации лица, принимающего решения (наблюдателя) к системе в окружающей ее среде. Представлены основные задачи когнитивного моделирования, решение которых требует реализации системного подхода. Приведен пример когнитивного моделирования системы образования и общества по данным республики Адыгея. Исследования проводились с использованием программной системы когнитивного моделирования как инструмента изучения сложных систем.

1. Введение

К настоящему времени существует сложившееся представление о том, что представляет собой когнитивный процесс. Если рассмотреть основные характеристики этого концепта, то можно выделить следующие, существенные для когнитивного имитационного моделирования сложных систем. Традиционно понимание: «когнитивный» - это процесс познания, «когнитивный процесс» - это познавательный процесс человека, включающий в себя восприятие, запоминание, переработку информации, принятия решений, это не условно-рефлективный ответ на воздействие внешних стимулов, как в животном мире, а формирование внутренних представлений о событиях и связях между ними. Когнитивные процессы выполняют функцию рационального познания окружающего мира, обеспечивают отражение мира и представляют собой логическую последовательность действий по обработке, фильтрации, интерпретации, систематизации информации, которая хранится в памяти человека, а в результате использования инструментария когнитивного моделирования [1-5] – и в памяти машины. Для практической реализации этих функций исследование сложных систем базировалось на положениях общей теории систем [6]; в работе осуществлялось следование принципам системного анализа [7], использовались его модели и методы.

Когнитивное имитационное моделирование сложных систем является поэтапным процессом междисциплинарных исследований, что диктуется особенностями сложных систем. Среди учитываемых особенностей рассматривались: большой размер (много элементов, требующих определения как количественные, так и качественные,

вербальные), множество цепочек причинно-следственных связей между элементами; зависимость от внешней среды; сложность описания структуры, поведения, динамики, предвидения возможного будущего системы; сложность принятия решений и управления, а также подчинение закономерностям систем [7] и слабоструктурированность проблем сложных систем. Эти особенности определяют круг основных задач когнитивного моделирования. Когнитивное моделирование относится к классу имитационного моделирования, позволяющего проводить исследование свойств сложной системы без «натурного эксперимента» над нею в связи с тем, что последний может потребовать затрат многих временных, финансовых, человеческих ресурсов и, кроме того, быть опасным и недопустимым из-за применяемых необходимых воздействий на систему для получения ее отклика.

2. О задачах когнитивного моделирования сложных систем и методах их решения

2.1. Задачи когнитивного моделирования и этапы моделирования

Количество решаемых задач в когнитивном моделировании зависит от цели исследования, имеющейся информации и лица, принимающего решения. В системе задач когнитивного моделирования можно назвать следующие, если следовать, например, работе [9]:

1. идентификация объекта, разработка когнитивной модели (когнитивной карты/ параметрической векторной когнитивной модели / функционального графа ...);
2. анализ структурных свойств модели (вершин, дуг, путей, циклов, связности, сложности, симплициальный анализ);
3. анализ устойчивости (к возмущениям и структурной);
4. анализ чувствительности модели;
5. анализ наблюдаемости;
6. анализ управляемости;
7. сценарный анализ (импульсное моделирование развития ситуаций под воздействием сигналов внутренней и внешней среды системы);
8. анализ самоорганизации;
9. анализ катастроф;
10. прогнозирование;
11. решение обратной задачи, оптимизация;
12. принятие решений.

Основные этапы:

Этап 1. Постановка цели исследования, сбор и обработка информации разработка когнитивной модели, изображение модели.

Этап 2. Анализ свойств модели.

Этап 3. Моделирование сценариев.

Этап 4. Принятие решений.

2.2. Схема когнитивного моделирования

Для решения обозначенных задач была разработана программная система когнитивного моделирования CMCS (Cognitive Modeling Complex Systems) [10], которая позволяет выполнять этапы когнитивного моделирования, рис. 1.

Процесс когнитивного моделирования является процессом циклическим, предусматривающим возможность возвращения к предыдущим этапам или к самому началу исследований – сбору дополнительной информации, уточнению начальной

когнитивной модели. Такая необходимость возникает, если при анализе свойств модели обнаруживается противоречие свойствам наблюдаемой системы. Использовать в данном случае термин «адекватность модели», полагаем, не всегда корректно, ибо установить численную меру адекватности (как в статистике) для вербальных блоков когнитивной модели является проблемой. Во многих случаях приходится ограничиваться понятием «полнота продукций исходных данных».

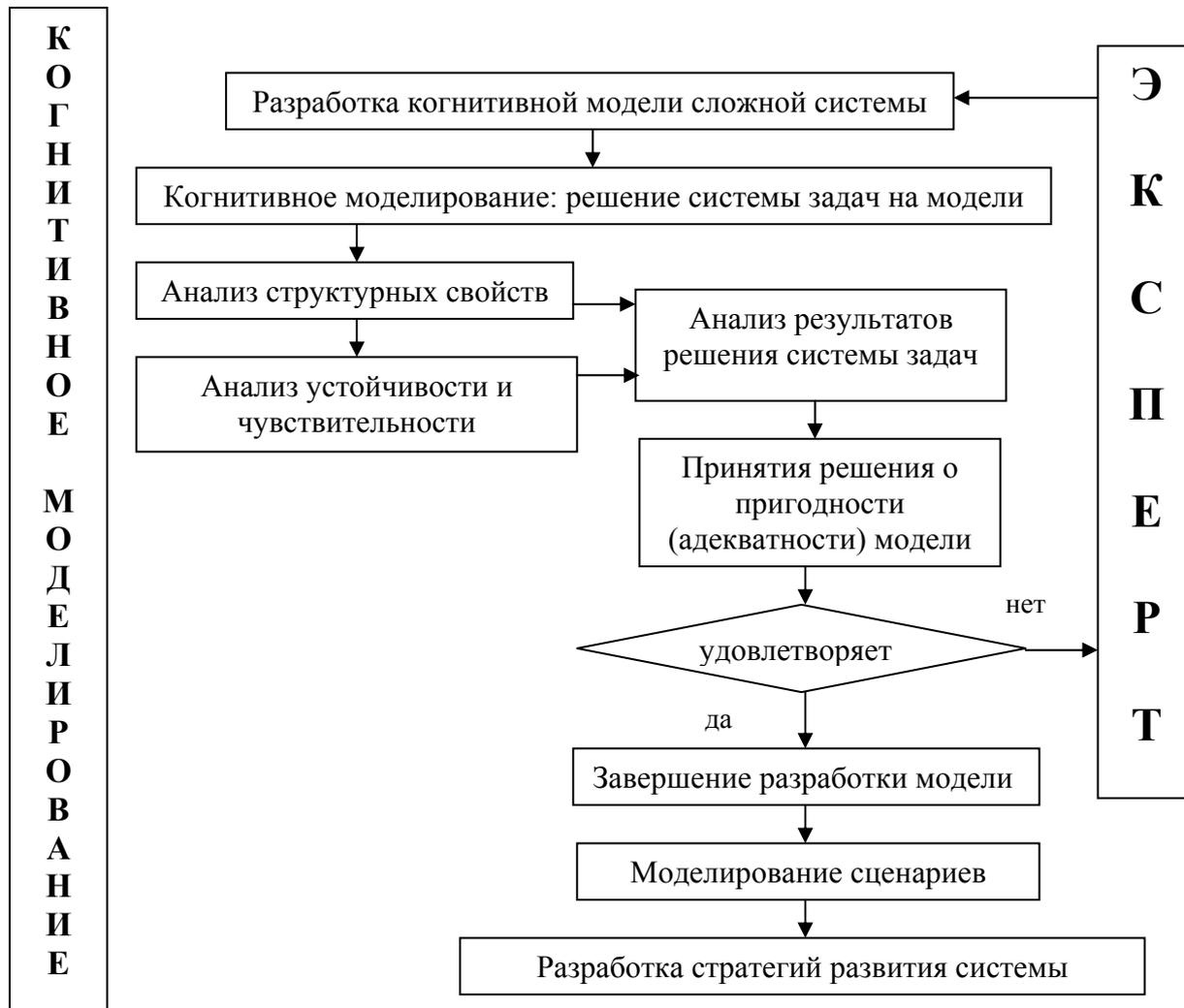


Рис. 1. Укрупненная схема когнитивного моделирования.

2.3. О методах системного анализа в когнитивном моделировании

Для обозначения методов системного анализа, необходимых для разработки инструментария когнитивного моделирования, была использована схема методов, предложенная в работах Волковой В.Н., например, [6, 7]. Ею была выдвинута идея методов постепенной формализации задач, выделены 2 класса методов:

- Методы, направленные на активизацию использования интуиции и опыта специалистов (МАИС),
- Методы формализованного представления систем (МФПС).

К МАИС отнесены все методы экспертного анализа, в том числе SWOT и PERT анализы, варианты методов мозгового штурма, форсайт-методы. В настоящее время можно насчитать более 100 основных методов этого класса. Все они могут использоваться на этапе разработки когнитивной модели и дальнейшем её применении.

К МФПС относятся методы математического программирования, статистические методы, теоретико-множественные методы, теория графов, методы ситуационного моделирования и другие методы формального представления и анализа данных.

В текущем варианте программной системы CMCS [10] использованы методы представления изображений когнитивной карты – графа, методы операций над матрицами смежности графа, позволяющие проводить анализ свойств модели, методы импульсного моделирования и выбора сценариев.

3. Пример когнитивного моделирования

На рис. 2 изображена когнитивная карта, за основу которой была взята модель, предложенная в работе Шукшунова В.Е и Овсянникова А.А. [11].

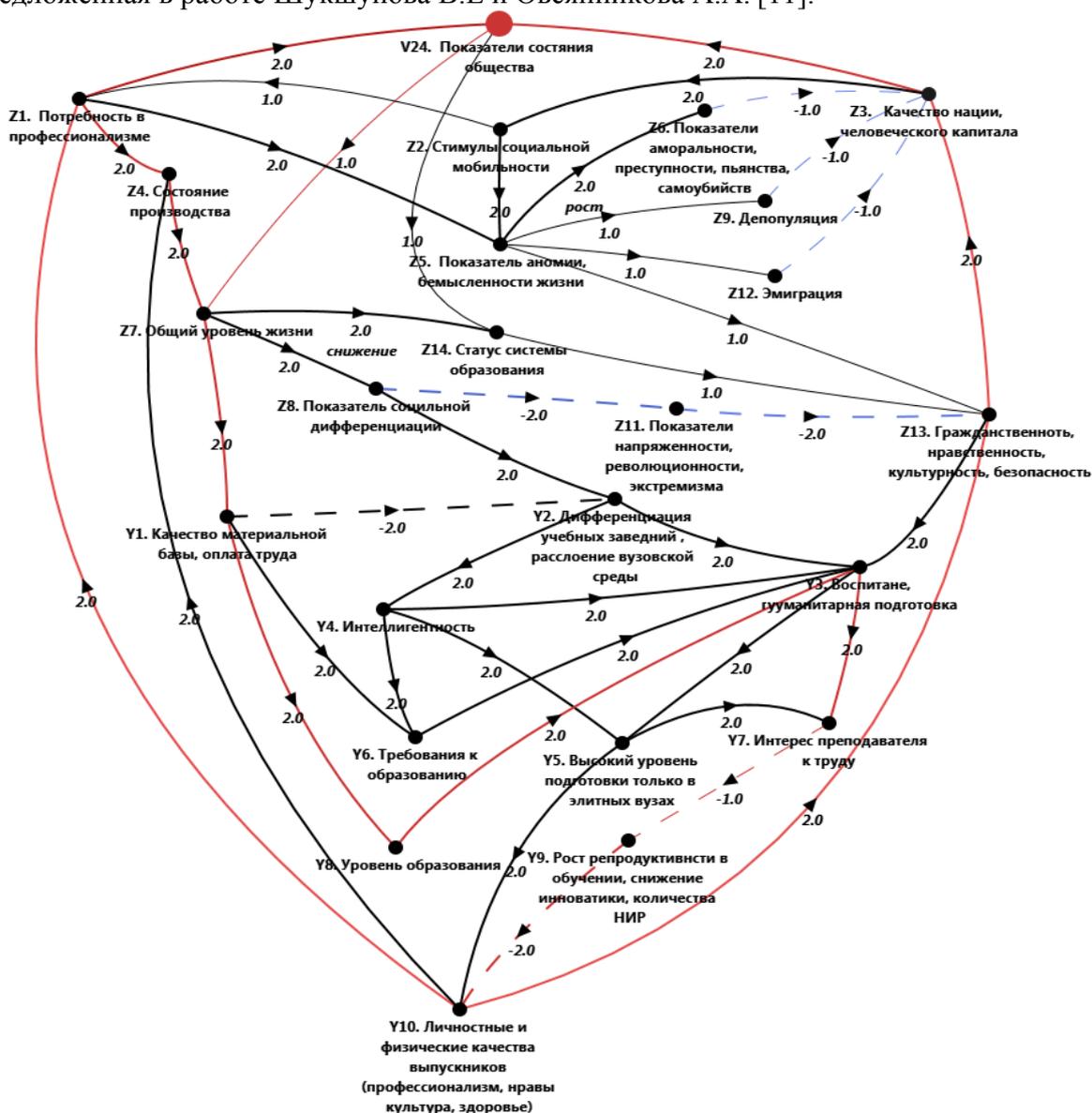


Рис. 2. Двухуровневая когнитивная карта «Система образования и общество».

На рис. 2 вершины группы Z относятся к показателям и факторам состояния общества (1-й уровень), вершины группы Y – к показателям и факторам системы образования (2-й уровень). На карте красным цветом выделен один из циклов

положительной обратной связи, который показывает возможность ухудшения (или улучшения) в системе «Образование и общество». Если, предположим, начнут снижаться профессиональные, личностные и физические качества выпускников образовательных учреждений (вершина Y_{10}) и потребность в профессионализме (Z_1), то далее по контуру $V_{24} \rightarrow Z_7 \rightarrow Y_1 \rightarrow Y_8 \rightarrow Y_3 \rightarrow Y_7 \rightarrow Y_9 \rightarrow Y_{10} \rightarrow Z_{13} \rightarrow Z_3 \rightarrow V_{24}$ будут усиливаться нежелательные процессы снижения показателей в системе.

4. Заключение

В исследовании модели «Система образование и общество» были реализованы все вышеозначенные этапы когнитивного моделирования. Результаты анализа когнитивной карты на втором этапе позволили прийти к заключению, что эти свойства не противоречат теоретическим и логическим предположениям о реальной сложной системе. Практические исследования проводились по данным состояния системы образования республики Адыгея [12]. По результатам проведенного исследования были разработаны рекомендации развития системы образования республики Адыгея.

Список литературы

1. Абрамова Н.А. Авдеева З.К. Когнитивный анализ и управление развитием ситуаций: проблемы методологии, теории и практики // Проблемы управления. 2008. № 3. С. 85-87.
2. Максимов В.И. Когнитивные технологии – от незнания к пониманию // Сб. трудов 1-й Международной конференции «Когнитивный анализ и управление развитием ситуаций» (CASC'2001). М.: ИПУ РАН, 2001. Т. 1. С. 4-18.
3. Gorelova G.V. Intellectual Cognitive Technologies for Cyber-Physical Systems // Lecture Notes in Networks and Systems. 2020. Vol. 95. P. 617-631.
4. Firsova A., Gorelova G., Makarova E.L., Makarova E.A., Chernyshova G. Simulation Cognitive Modeling Approach to the Regional Sustainable Complex System Development for Improving Quality of Life // Mathematics. 2023. Vol. 11, No. 20. P. 4369.
5. Gorelova G., Pankratova N.D. Strategy of complex systems development based on the synthesis of foresight and cognitive modelling methodologies // 2018 IEEE 1st International Conference on System Analysis and Intelligent Computing SAIC 2018. Proceedings. P. 8516884.
6. Волкова В.Н., Горелова Г.В., Козлов В.Н. и др. Моделирование систем и процессов / Под ред. В.Н. Волковой, В.Н. Козлова. М.: Юрайт, 2014. 592 с.
7. Волкова В.Н., Денисов А.А. Теория систем. М.: Высш. школа, 2006. 511 с.
8. Кульба В.В., Кононов Д.А., Ковалевский С.С., Косяченко С.А., Нижегородцев Р.М., Чернов И.В.. Сценарный анализ динамики поведения социально-экономических систем. М.: ИПУ РАН, 2002. 122 с.
9. 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.
10. Горелова Г.В., Калининко А.И., Кузьминов А.Н. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2018661506. Программа для когнитивного моделирования и анализа социально-экономических систем регионального уровня. 07.09.2018.
11. Шукшунов В.Е., Овсянников А.А. Системная модель организационно – экономической реформы образования в России. М.: МАНВШ, 1998. 46 с.
12. Горелова Г.В., Джаримов Н.Х. Региональная система образования, методология комплексных исследований. Краснодар: ГУП «Печатный двор Кубани», 2002. 358 с.