

**Горелова Г.В.**

## **Киберфизические системы и когнитивное моделирование сложных систем**

**Аннотация:** В работе определено место когнитивного моделирования и когнитивных моделей сложных систем (социально-экономических, экологических, социотехнических, политических и др.) в современном научном и практическом направлении «Кибер-физические системы». Рассматриваются когнитивные модели как образующие структуру базы знаний интеллектуальных систем. Теоретические и практические результаты применения когнитивного моделирования сложных систем позволяют отнести их к интеллектуальным системам поддержки принятия решений в социально-экономической и производственных сферах. Обсуждается возможность повышения безопасности функционирования киберфизических систем за счет предварительного сценарного анализа на когнитивных моделях сложных систем для выявления опасных ситуаций.

**Ключевые слова:** киберфизические системы, безопасность, когнитивное моделирование, интеллектуальные системы, человек в обратной связи

Переход от одного технологического уклада к другому в настоящее время среди многих признаков (время НБИК-технологий, когнитивной революции) характеризуется как время развития кибер-физических систем (cyber-physical system – CPS). Киберфизические системы – понятие достаточно комплексное. Это объединение разрозненных некогда достижений в науке и технике в некое целое, которое в настоящее время однозначного и общепринятого определения не получило [6,7], т.к. эти системы находятся на пересечении сразу нескольких сфер и, в зависимости от реализации, способны затрагивать самые разные аспекты жизни. Рассмотрим несколько определений киберфизических систем, выделив в них существенное. Во-первых, CPS – это комплексная система, состоящая из вычислительных и физических элементов, которая постоянно получает данные из окружающей среды и использует их для дальнейшей оптимизации процессов управления.

Во-вторых, CPS рассматривается как информационно-технологическая концепция, подразумевающая интеграцию вычислительных ресурсов в физические сущности любого вида, включая биологические и рукотворные объекты; в CPS вычислительная компонента распределена по всей физической системе, которая является ее носителем и синергетически увязана с ее составляющими элементами. В-третьих, CPS – это системы, состоящие из различных природных объектов, искусственных подсистем и управляющих контроллеров, позволяющих представить такое образование как единое целое; в CPS обеспечивается тесная связь и координация между вычислительными и физическими ресурсами, компьютеры осуществляют мониторинг и управление физическими процессами с использованием такой петли обратной связи, где происходящее в физических системах оказывает влияние на вычисления и наоборот, причем в петлю обратной связи включается и человек. CPS – это сложные распределенные системы, интегрированную в Интернет и его пользователями. Примером этого является Интернет вещей (Internet of Things, IoT). К области действия CPS относятся робототехника, транспорт, энергетика, управление промышленными процессами и крупными инфраструктурами. Примеры CPS включают «умный грид», автономные автомобильные системы, медицинский мониторинг, системы управления технологическими процессами, робототехнические системы, автоматическую пилотную авионику и др.

Техническими предпосылками, сделавшими возможными CPS считаются следующие. Первая – это рост числа устройств со встроенными процессорами и средствами хранения данных – сенсорные сети, работающие во всех протяженных технических инфраструктурах; медицинское оборудование; умные дома и, наконец, умные города (SMART CITY), когнитивные города. Вторая – это рост интеграции, позволяющей достигнуть наибольшего эффекта путем объединения отдельных компонентов в большие системы, такие как Internet of Things, World Wide Sensor Net, умные среды обитания (Smart Building Environment), оборонные системы будущего. Третья предпосылка – ограничение когнитивных способностей человека, которые эволюционируют медленнее, чем машины, и непременно наступает момент, когда они

уже не в состоянии справиться с объемом информации, требуемой для принятия решений, и какую-то часть действий нужно передать CFS, выведя человека из контура управления (human out of loop). В то же время в ряде случаев CPS могут усилить аналитические способности человека, поэтому есть потребность в создании интерактивных систем нового уровня, сохраняющих человека в контуре управления (human in the loop). Полагается, что человечество прошло эру автоматизации производства, для которой была характерна описательная аналитика, диагностическая аналитика, и вступило в эру адаптивной когнитизации, эру предсказательной и предписывающей аналитики.

Многолетние исследования в области когнитивного моделирования сложных систем [1-5] позволяют прийти к заключению, что в обширном направлении развития CPS когнитивное моделирование занимает определенное место – рис.1.

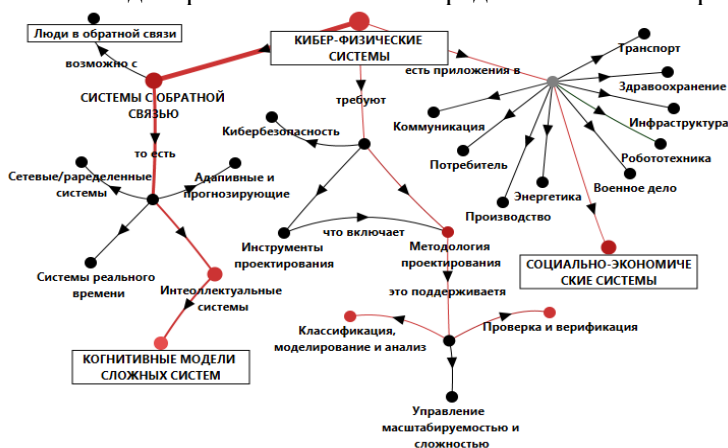


Рис.1 – Когнитивное моделирование в концептуальной карте киберфизических систем

Математический [2, 3, 4] и программный аппарат (Программа для когнитивного моделирования и анализа социально-экономических систем регионального уровня. Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ № 2018661506 от 07.09.2018) когнитивного моделирования сложных систем предназначен для описания структуры и поведения сложной

системы в условиях неопределенности, реализует междисциплинарный подход к проблемам принятия решений.

Когнитивное моделирование сложных систем производится поэтапно. На первом этапе происходит понимание, объяснение, описание сложной системы – идентификация объекта в виде когнитивной карты или более сложной когнитивной модели типа параметрического функционального графа. Второй этап – это всестороннее исследование модели, анализ свойств знакового ориентированного графа - когнитивной карты, анализ путей и циклов, устойчивости (структурной и к возмущениям), топологический анализ (симплициальный анализ связности) и др. На третьем этапе, после решения о том, что модель обладает необходимыми качествами, производится сценарный анализ путем импульсного моделирования [5], результатом которого является предвидение возможных тенденций развития системы в будущем [2, 4]. На рис. 2 изображена когнитивная карта региональной социально-экономической системы.

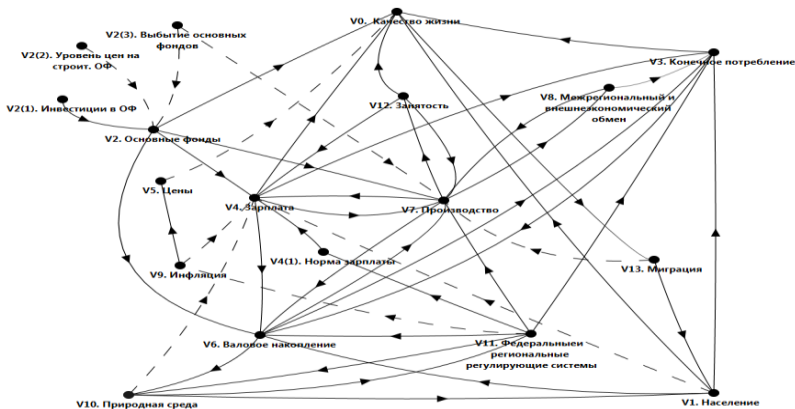


Рис.2 – Когнитивная карта региональной системы

Целью построения когнитивной карты было проанализировать, как изменения в ее вершинах повлияют на качество жизни. Моделирование различных сценариев развития ситуаций при изменениях в вершинах когнитивной карты позволяет выявить нежелательные, опасные сценарии развития системы. Так, на рис.3 изображены графики фрагмента «пессимистического» сценария,

получившегося в предположении падения производства и отсутствия инвестиций в основные фонды.

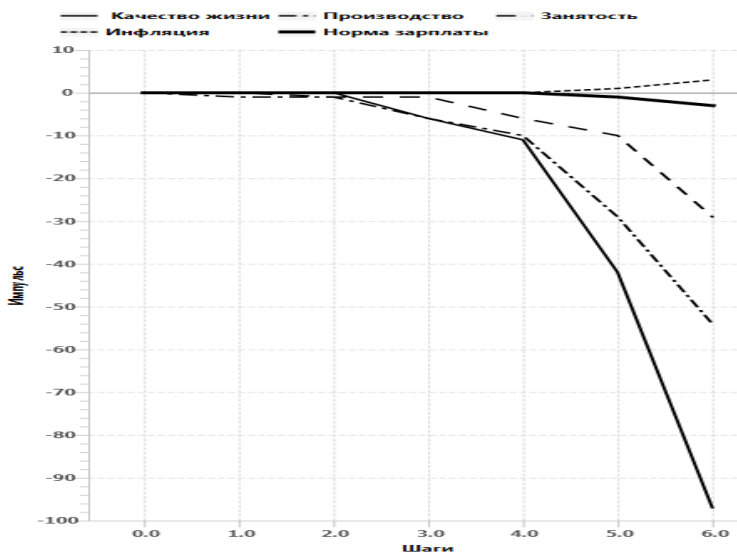


Рис. 3 – Фрагмент пессимистичного сценария

Анализ результатов возможного развития ситуаций в системе при разных сценариях позволяет предвидеть опасные сценарии. Их предотвращение должно приводить к повышению безопасности сложной системы, в данном примере – региональной социально-экономической.

В процессе когнитивных исследований сложных систем когнитивные модели и когнитивное моделирование рассматривались с позиций применения их в проектировании интеллектуальных систем поддержки принятия управленческих решений [3].

В заключение заметим, что практическое применение существующего инструментария когнитивного моделирования сложных систем к конкретным реализациям концепции кибер-физических систем – пока дело будущего. Тем более, что по мнению Эдварда Ли [6], целостной теории кибер-физических систем еще тоже нет.

### Литература:

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. *Gorelova G.V., Pankratova N.D.* Scientific Foresight and Cognitive Modeling of Socio-Economic Systems. In: 18 th IFAC Conference on Technology, Culture and International Stability (TECIS2018), IFAC. Papers On Line, pp. 145–149.
3. *Горелова Г.В., Мельник Э.В.* Когнитивные модули интеллектуальной поддержки решений в информационных управляющих системах / Системный анализ в экономике. Материалы научно-практической конференции. – М.: ЦЭМИ РАН, 2010. — С.45-49.
4. Инновационное развитие социо-экономических систем на основе методологий предвидения и когнитивного моделирования. Коллективная монография / Под ред. Г.В.Гореловой, Панкратовой Н.Д. – Киев: Изд-во «Наукова Думка», 2015. – 464 с.
5. *Кульба В.В., Кононов Д.А., Ковалевский С.С., Косяченко С.А., Нижнегородцев Р.М., Чернов И.В.* Сценарный анализ динамики поведения социально-экономических систем (Научное издание). – М.:ИПУ РАН, 2002. – 122 с.
6. *Lee Edward A.*, "The Past, Present, and Future of Cyber-Physical Systems: A Focus on Models," *Sensors*, 15(3), pp. 4837-4869, doi:10.3390/s150304837, February, 2015.
7. *H.Zhuge and Y.Xing*, "Probabilistic Resource Space Model for Managing Resources in Cyber-Physical Society," *IEEE Transactions on Service Computing* (2011).