

10. Шаров В.Д. Методика оценки вероятности выкатывания воздушных судов за пределы ВПП при посадке // Научный вестник МГТУ гражданской Авиации. – 2007. – № 122.
11. Завершинский В.В. Устройство для предотвращения выкатывания воздушных судов за пределы взлетно-посадочной полосы // Российская Федерация. Патент RU2373115, Опубликовано: 20.11.2009.
12. Constans F. Landing assistance device and method for aircraft // Франция. Патент FR 0605157. Дата публикации 21.12.2007
13. Борисов В.Г., Павлов Б.В., Шевченко А.М. Средства информационной поддержки пилота в нештатных ситуациях // Матер. 7-й науч.-техн. конф. «Мехатроника, автоматизация, управление». – СПб. ОАО «Концерн «ЦНИИ Электроприбор», 2010. – С. 74-77.
14. Shevchenko A.M. Some Means for Informational Support of Airliner Pilot // 5th Int. Scientific Conf. on Physics and Control (Physcon 2011). Leon, Spain. Sept. 5-8, 2011. – P. 1-5 <http://lib.physcon.ru/doc?id=78f90e41e746/>.
15. Шевченко А.М., Павлов Б.В., Начинкина Г.Н. Метод прогнозирования взлета самолета при наличии высотных препятствий // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2012. – № 3 (128). – С. 167-172.
16. Kurdjukov A.P., Nachinkina G.N., Shevchenko A.M. Energy Approach to Flight Control // AIAA Conf. Navigation, Guidance & Control. AIAA. – Boston, 1998. – P. 98-4211.
17. Борисов В.Г., Начинкина Г.Н., Шевченко А.М. Энергетический подход к управлению полетом // Автоматика и телемеханика. – 1999. – № 6. – С. 59-70.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н., профессор В.Н. Афанасьев.

**Шевченко Андрей Михайлович** – Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова Российской академии наук; e-mail: anshev@ipu.ru; 117997, ГСП-7, В-342, г. Москва, Профсоюзная, 65; тел.: 84953349039; лаборатория динамических информационно-управляющих систем; к.т.н.; с.н.с.

**Павлов Борис Викторович** – e-mail: pavlov@ipu.ru; тел.: 84953349351; лаборатория динамических информационно-управляющих систем; д.т.н.; гл.н.с.

**Начинкина Галина Николаевна** – e-mail: vicabo@ipu.ru; тел.: 84953349039; лаборатория динамических информационно-управляющих систем; научный сотрудник.

**Shevchenko Andrei Mihailovich** – V.A. Trapeznikov Institute of Control Sciences of Russian Academy of Sciences; e-mail: anshev@ipu.ru; 65, Profsoyuznaya street, Moscow, GSP-7, B-342, 117997, Russia; phone: +74953349039; laboratory of dynamic information\control systems; cand. of eng. sc.; senior scientist.

**Pavlov Boris Viktorovich** – e-mail: pavlov@ipu.ru; phone: +74953349351; laboratory of dynamic information\control systems; dr. of eng. sc.

**Nachinkina Galina Nikolaevna** – e-mail: vicabo@ipu.ru; phone: +74953349039; laboratory of dynamic information\control systems; scientist.

УДК 30, 34, 519.7 и 519.8

**Г.В. Горелова**

## **КОГНИТИВНЫЙ ПОДХОД К ИМИТАЦИОННОМУ МОДЕЛИРОВАНИЮ СЛОЖНЫХ СИСТЕМ**

*Для социально-экономических, политических и других сложных систем «натурный» эксперимент над «живой» системой дорог, невозможен или недопустим (опасен). Необходим эксперимент над моделью системы. Эта задача решается методами имитационного моделирования. В статье представлена концепция имитационного моделирования сложных систем на основе сочетания методов системной динамики и когнитивного анализа. Рассматриваются базовые понятия, подходы, методы и модели, на которые опирается*

данная работа. Приводятся результаты вычислительного эксперимента на имитационных когнитивных моделях региональной социально-экономической системы. Эти результаты обосновывают разрабатываемую стратегию развития региона.

*Сложная система; стратегия развития; риск человеческого фактора; системная динамика; когнитивное моделирование; анализ сценариев.*

**G.V. Gorelova**

## COGNITIVE APPROACH TO SIMULATION OF LARGE SYSTEMS

*For the socio-economic, political, and other complex systems "full-scale" experiment with "live" system of roads, is not possible or not allowed (dangerous). Requires an experiment on a model system. The article introduces the conception of simulation of complex systems based on a combination of system dynamics methods and cognitive analysis. Covers the basic concepts, approaches, methods and models that underpin this work. The results of computational experiments on their cognitive models of simulation of the regional socio-economic system. These results are necessary to develop a strategy for the sustainable development of the region.*

*Complex system; development strategy; the risk of human factors; system dynamics; cognitive modeling; scenario analysis.*

**Введение.** В настоящее время существует огромное количество работ, посвященных имитационному и когнитивному моделированию сложных систем, начало которым было положено в 50–60-е гг. прошлого столетия. Но анализ этих работ показывает, что в современной России крайне мало успешных практических проектов, выполненных с применением как имитационного, так и когнитивного моделирования. Не останавливаясь на всех причинах этого, выделим одну, теоретическую – несогласованность подходов, методов, результатов различных исследователей, хотя зачастую речь идет об одном и том же: одинаковость объектов, целей исследования, использования концепций системности, междисциплинарности, способов получения и обработки данных, методов анализа и т.п. Желательна была бы «интеграция» знаний в данной области. В этом направлении материалы данной статьи представляют идею сочетания возможностей современного имитационного, например [1–5], и когнитивного моделирования в смысле [6–10, 18].

Поскольку в многочисленных работах, посвященных сложным системам, используются одинаковые понятия, но с различными оттенками их смыслов, уточним их в данном случае. Так, понятие «сложные» (*complex*) / «большие» (*large*) системы, активно используемое с середины 20-го века, как известно, является собирательным названием систем, состоящих из большого числа взаимосвязанных, взаимодействующих элементов («агентов»)/подсистем, закономерно объединенных в единое целое. Социально-экономические, экологические, политические, технические системы являются сложными по определению. Сложным системам присущи закономерности, которые всегда необходимо иметь в виду при их исследовании, прогнозировании развития, принятия решений, управлении и т.п. Будем следовать источнику [11] в выделении и определении этих закономерностей. Это тесно связанные между собой: 1) закономерности взаимодействия частей и целого (целостность – эмерджентность, интегративность); 2) закономерности иерархической упорядоченности систем (коммуникативность, иерархичность); 3) закономерности функционирования и развития систем (историчность, самоорганизация); 4) закономерности осуществимости систем (эквивинальность, закон необходимого разнообразия, потенциальная эффективность); 5) закономерности целеобразования.

Функционирование сложных систем, их взаимодействие с окружающей средой трудно или невозможно представить в виде традиционных формальных количественных моделей, в том числе из-за сопутствующей им неопределенности – внутренней и внешней, и проблем, порождаемых неопределенностью. Как извест-

но, например [6], проблемы принято классифицировать как структурированные, слабоструктурированные, неструктурированные в зависимости от характера неопределенности. Большинство проблем экономического, технического, политического, военно-стратегического и т.п. характера относится к классу слабоструктурированных. Эти проблемы характеризуются наличием как качественных, так и количественных элементов сложной системы; в возникновении таких проблем доминируют неопределенные, не поддающиеся количественному анализу закономерности, зависимости, признаки, характеристики.

Все вышесказанное следует принимать во внимание при исследовании сложных систем разной природы. Кроме того, для социально-экономических, политических и т.п. систем, в которых человек, как активный элемент (агент), играет существенную роль, дорог, невозможен или недопустим (опасен) «натурный» эксперимент над «живой» системой. Необходим эксперимент над моделью системы. Как известно, этот факт нашел отражение в разработке многочисленных моделей имитационного моделирования (*simulation modeling*), с помощью которых воспроизводится поведение сложной системы, представляемой структурой взаимосвязей между ее элементами. Имитационное моделирование применяется, когда невозможно построить аналитическую модель системы, учитывающую причинные связи, последствие, нелинейности, стохастические переменные, когда необходимо имитировать поведение системы во времени, рассматривая различные возможные сценарии ее развития при изменении внешних и внутренних условий. «Классические» методы имитационного моделирования – это метод статистических испытаний (метод Монте-Карло), статистическое имитационное моделирование, ситуационное моделирование (ситуационное управление). В настоящее время под имитационным моделированием понимают методы системной динамики, дискретно-событийное моделирование, потоковые диаграммы, агентное моделирование, ситуационное моделирование. Когнитивное моделирование также относится к современным методам имитационного моделирования.

**Базовые понятия, подходы, методы и модели, на которые опирается данная работа.** Представим обзор основных методов имитационного моделирования, отражающих особенности принятия решений в современной динамической сложной среде и которые в той или иной мере учитывают явно закономерности сложных систем.

Модели системной динамики делятся на качественные и количественные.

Качественные модели системной динамики – это графические диаграммы прямых и обратных причинно-следственных связей и глобальных влияний одних параметров на другие во времени – предложены Дж. Форрестером [1]. Примером такой диаграммы может послужить рис. 1 (взят из [5], с. 86, но изображен с помощью программной системы когнитивного моделирования [9]). На рис. 1 сплошные линии и символ «+1» означают положительную связь между вершинами  $V_i$  и  $V_j$ , т.е. рост (уменьшение) влияния фактора  $V_i$  вызывает рост (уменьшение) в вершине  $V_j$ , штрихпунктирные линии и «-1» означают отрицательную связь между  $V_i$  и  $V_j$ , т.е. рост (уменьшение) влияния фактора  $V_i$  вызывает уменьшение (рост) в вершине  $V_j$ .

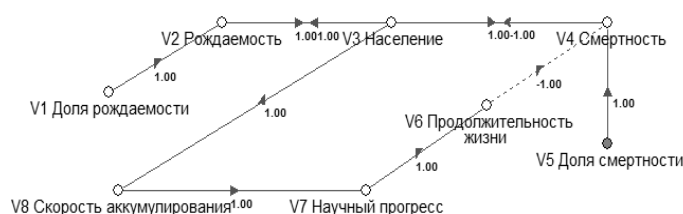


Рис. 1. Научный прогресс и население

Структура модели системной динамики определяет тип поведения системы во времени. Следует добавить, что представление структуры сложной системы в виде причинно-следственных диаграмм – петель прямой и обратной связи - в моделях мировой динамики Дж. Форрестера разворачивается в формулы для вычисления показателей в вершинах  $V_i$ , в описание уравнениями взаимосвязей между  $V_i$  и  $V_j$ , что позволяет получить математическую модель сложной системы в виде системы уравнений со многими переменными и параметрами (модели «Word» Форрестера, модели народонаселения Медоуза); решение системы уравнений при разных условиях дает прогнозные сценарии развития системы.

Количественные модели. К ним принято относить потоковые, дискретно-событийные, агентные модели.

Потоковые модели. Считается, что причинно-следственные диаграммы позволяют проводить только качественный анализ сложных систем. Для количественного анализа переходят к потоковым диаграммам – моделям «поток»-«накопитель» (простейший аналог такой модели – это бассейн, в который втекает и из которого вытекает вода). Потоковые диаграммы имеют четкое математическое описание и, соответственно, позволяют проводить количественный анализ. Потоковые модели находят широкое применение в стратегическом управлении, точнее, в теории ресурсного подхода к организации (Resource-Based View, RBV). К. Уоррен [12, 13] объединил основные идеи системной динамики (графические диаграммы прямых и обратных причинно-следственных связей), основав новое направление исследований с постулатами ресурсного подхода в стратегическом управлении – (Dynamic Strategy Resource View, DSRV).

Дискретно-событийные модели. При дискретно-событийном моделировании (Discrete event modeling) функционирование системы представляется как хронологическая дискретная последовательность событий. Такой подход к моделированию (предложен Дж. Гордоном в 1960-х гг.) предполагает отказ от рассмотрения непрерывного изменения системы во времени, рассматриваются только основные события моделируемой системы, происходящие в определенный момент времени, когда наблюдаются изменения состояния системы. То есть в таких моделях реальные процессы аппроксимируются событиями. Этот вид моделирования чаще всего используется для производственных процессов, где динамика системы может быть представлена как последовательность операций («процессное моделирование»). Основное средство процессного моделирования в широко распространенной системе AnyLogic – это библиотека Enterprise Library, в которую также входят объекты, разработанные для моделирования процессов, происходящих в пространстве (и зависящих от него). В связи с этим следует упомянуть сетевое моделирование (Network Based Modeling), моделирование сетями Петри.

Ситуационное моделирование. Ситуационное моделирование (situational simulation), ситуационное управление (management situations) – *направление исследований и принятия решений, развиваемое с 60-х гг. прошлого столетия. В России эти исследования тесно связаны с именами Д.И. Поспелова, Ю.И. Клыкова, Л.С. Загадской (ныне Болотовой) [16, 17, 18]. Цитируем определение из [17. С. 2] «Ситуационное управление – метод управления сложными техническими и организационными системами, основанный на идеях теории искусственного интеллекта: представление знаний об объекте управления и способах управления им на уровне логико-лингвистических моделей, использование обучения и обобщения в качестве основных процедур при построении процедур управления по текущим ситуациям, использование дедуктивных систем для построения многошаговых решений». По словам Болотовой Л.С.: «Процесс построения ситуационных абстракций говорит о том, что этот процесс является по существу процессом выявления системы элементов, составляющих проблемную ситуацию, установление связей между ними и закономерностей их поведения» [16. С. 321].*

Представленные выше направления моделирования подразумевают моделирование централизованных систем, динамика поведения которых определяется глобальными законами и правилами (моделирование «сверху-вниз»). В агентном моделировании подход противоположный (моделирование «снизу-вверх»).

Агентное моделирование – новое (1990–2000 гг.) направление в имитационном моделировании [5, 14, 15]. Предложено для исследования децентрализованных систем, динамика функционирования которых определяется индивидуальной активностью членов (агентов) группы, а не глобальными правилами и законами. Глобальные правила и законы являются результатом взаимодействия агентов. Агент – некая сущность, обладающая активностью, автономным поведением, может принимать решения в соответствии с некоторым набором правил, взаимодействовать с окружением, а также самостоятельно изменяться [5]. С помощью агентных моделей стараются получить представление об общем (глобальном) поведении системы исходя из предположений об индивидуальном поведении её отдельных активных сущностей и взаимодействии их в системе.

Все описанные направления моделирования в настоящее время базируются на принципах теории систем, системного подхода [11] и требуют проведения междисциплинарных исследований. Эти же слова относятся и к современным направлениям когнитивного моделирования [6–10, 16–18]. Представим особенности когнитивного моделирования, развиваемого в Южном федеральном университете [9, 10, 16, 17].

Когнитивное моделирование. Систематизирующей базой для методологии когнитивного моделирования является метамодель исследования [21], в которую введена модель наблюдателя  $M_n$ :

$$M = \{M_O(Y, U, P), M_E(X), M_{OE}, M_D(Q), M_{MO}, M_{ME}, M_U, A, M_n\}.$$

В модели  $M$ :  $M_O(Y, U, P)$  – идентифицирующая модель системы (модель объекта), в которой вектор  $Y$  – эндогенные переменные, характеризующие фазовое состояние объекта,  $U$  – вектор управляемых переменных,  $P$  – вектор выделенных ресурсов;  $M_O(Y, U, P) = \{M\Phi, Stat\}$ ,  $Stat$  – статистические модели,  $M\Phi$  – модифицированный параметрический векторный граф;  $M_E$  – модель окружающей среды,  $X$  – экзогенные величины;  $M_{OE} = \{M_{YSX}, M_{YS}\}$  – модель взаимодействия объекта и среды ( $M_{SX}$ ,  $M_{YS}$  – модели связи системы со средой на входе и выходе);  $M_D(Q)$  – модель поведения системы,  $Q$  – возмущающие воздействия,  $M_{MO}$  и  $M_{ME}$  – модели измерения состояния системы и окружающей среды;  $M_U$  – модель управляющей системы;  $A$  – правило выбора процессов изменения объекта. Существенным в этой метамодели является учет не только самой системы, но и ее среды. Важным является то, что введение «наблюдателя» в метамодель позволяет строить методологию исследования и принятия решений с учетом развития процесса познания объекта в сознании исследователя. Разработанная когнитивная методология и поддерживающая ее программная система когнитивного моделирования ПС КМ [9] являются инструментом, помогающим эксперту (экспертам) структурировать знания и, главное, системно и всесторонне проводить исследования различных аспектов функционирования сложной системы, которые чаще всего остаются вне поля зрения. Последнее может привести к неверным (необдуманным, опасным) решениям, с какой бы целью ни проводились исследования сложной системы – с целью понять и объяснить механизм явлений и процессов в системе, с целью предвидения возможных путей ее развития или с целью управлять ситуациями или адаптироваться к ним. Полагаем, что когнитивное моделирование позволяет существенно снизить риск человеческого фактора.

Под когнитивным моделированием слабоструктурированных проблем сложных систем, поддерживаемым программной системой когнитивного моделирования (ПС КМ), понимаем решение системных задач: идентификации объекта, анализа путей и циклов когнитивной модели, сценарный анализ, решение обратной задачи, решение задач реализации, наблюдаемости, управляемости, оптимизации, прогнозирования, анализа связности и сложности системы, задачи композиции – декомпозиции, анализа устойчивости, анализа чувствительности, теории катастроф, адаптируемости, самоорганизации системы, принятия решений. Задачи когнитивного анализа (построения когнитивных карт) и управления ситуациями (импульсное моделирование) являются традиционными в когнитивных исследованиях, например [7, 9, 19]. Остальные задачи являются предметом теоретических и практических разработок в настоящее время и идея их объединения в единую систему возникла на основе работ [22–24]. Таким образом, под когнитивной методологией понимаем «когнитивно-логическую» организацию деятельности исследователя, состоящую в определении цели, объекта и предмета исследования, методов и информационных технологий когнитивного моделирования, позволяющих понимать механизм явлений и процессов в объекте, разрабатывать возможные сценарии его развития, выбирать эффективные решения по управлению объектом и/или адаптации его к окружающей среде. Схема когнитивного моделирования представлена в работах [9, 10, 16, 17].

*Первый этап когнитивного моделирования* – это разработка когнитивной модели в виде когнитивной карты (рис. 1 фактически изображает когнитивную карту) или в виде более сложных когнитивных моделей типа: векторный параметрический граф, параметрический векторный функциональный граф  $\Phi_n$  (1), модифицированный функциональный граф [25]:

$$\Phi_n = \langle G, X, F, \theta \rangle. \quad (1)$$

В формуле (1):  $G = \langle V, E \rangle$ ,  $G$  – знаковый ориентированный граф, в котором  $V = \{v_i\}$ ,  $i = 1, 2, \dots, k$  – множество вершин (концептов) когнитивной карты,  $E = \{e_{ij}\}$  – множество дуг, соединяющих вершины  $v_i$  и  $v_j$ ;  $X = \{x_i\}$  – множество параметров вершин  $F = f\{v_i, v_j, e_{ij}\}$  – функция (или функционал  $f\{v_i, v_j, e_{ij}\}$ , или коэффициент  $f_{ij}$ ) связи между вершинами,  $\theta$  – пространство параметров вершин. При разработке когнитивной модели в виде (1) часть ее (подграф) может быть построена по статистическим данным об объекте, часть – на основании обработки экспертных и теоретических данных. Нами разрабатываются также нетрадиционные когнитивные модели в виде иерархических когнитивных карт, которые представляют собою раскрытие обобщенных объектов (вершин) верхнего уровня когнитивной карты в составляющие их объекты, в том числе объекты нижнего уровня и/или иерархию управления.

*Последующие этапы когнитивного моделирования*: это этапы исследования причинно-следственных связей (путей и циклов когнитивной модели); это анализ структуры модели, отображающей механизм исследуемых сложных объектов, в том числе – симплициальный (топологический, q-анализ связности) анализ [22, 25, 26], позволяющий обнаружить глубинную связь между блоками (симплексами) когнитивной карты, которая не очевидна на графе; это анализ устойчивости системы к возмущениям и структурным изменениям; это исследование возможного развития процессов в системе путем импульсного моделирования, т.е. переход от предыдущих исследований статики системы к исследованию ее динамики.

При исследовании зависимости изменения параметров вершин  $x_i$  от времени:  $x_i(t)$ ,  $t = 1, 2, 3, \dots$  можно определить процесс распространения возмущения по графу  $G$ , т.е. переход системы из состояния  $t_{n-1}$  в  $t_n, t_{n+1}, \dots$  [7, 8, 9, 10, 18, 22,]. Пусть зна-

чение  $x_i(t_{n+1})$  в вершине  $V_i$  зависит от  $x_i(t_n)$  и от вершин, смежных с  $V_i$ . Пусть  $V_i$  смежна с  $V_j$ , тогда влияние этого изменения на параметр  $x_i$  в момент  $t$  будет описываться функцией  $\pm P_j(t_n)$  в зависимости от знака дуги, соединяющего  $V_i$  и  $V_j$ . Тогда правило изменения параметров в вершинах в момент  $t_{n+1}$  будет следующим:

$$x_{v_i}(n+1) = x_{v_i}(n) + \sum_{v_j: e_{ij} \in E}^{k-1} f(x_i, x_j, e_{ij}) P_j(n) + Q_i(n), \quad (2)$$

где  $x(n)$ ,  $x(n+1)$  – величины показателя в вершине  $V$  при шагах имитации в момент  $t = n$  и следующим за ним  $t = n+1$ ,  $n$  – такты моделирования;  $P_j(n)$  – изменение в вершине  $V_j$  в момент времени  $t_n$ ;  $Q_i(n) = \{q_{ij}\}_{i=1}^k$ ,  $n = 0, 1, 2, \dots$ , – вектор внешних импульсов  $q_{ij}$ , вносимых в вершины  $V_i$  в момент времени  $t_n$  (на тактах моделирования  $n$ ). Внесение возмущений моделирует сценарий, отвечающий на вопрос научного предвидения: «А что будет, если?» Таким образом, импульсное моделирование развития ситуаций позволяет выявить возможные сценарии развития системы – от пессимистичных, до оптимистичных. На основании сценариев проектируется стратегия управления системой, которая далее реализуется лицами, принимающими решения, в соответствии с диктующими условиями внешней и внутренней среды.

Проиллюстрируем сказанное на примере импульсного моделирования на когнитивной карте (рис. 1). Зададимся вопросами: «Что будет, если доля рождаемости начнет возрастать?» – Сценарий №1:  $q_1=+1$  – рис. 2 и «Начнется научный прогресс?» Сценарий №2:  $q_7=+1$  – рис. 3.

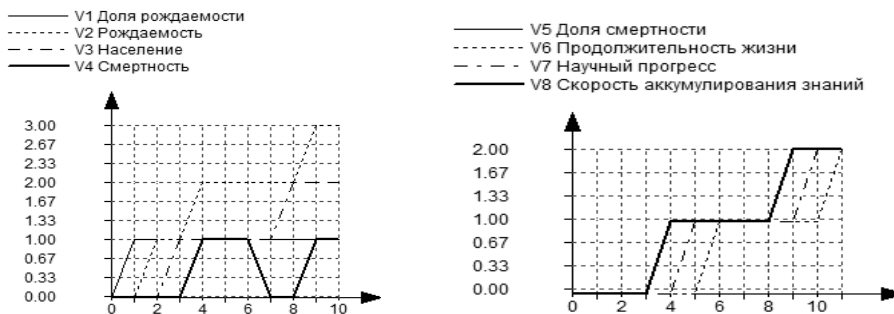


Рис. 2. Сценарий №1: Доля рождаемости возрастает ( $q_1=+1$ )

На графиках рис. 2 и 3 по оси абсцисс отложены такты моделирования, по оси ординат – числа, отображающие изменения сигнала (+1) при обходе соответствующих вершин. Эти числа можно интерпретировать как коэффициенты, на которые можно умножать реальные значения параметров вершин, если переходить к параметрической модели (1). Но следует уточнить, что в приведенном примере не учитывалось возможное запаздывание в системе и начальные значения параметров в вершинах. Данный пример предназначен только для иллюстрации этапа начального исследования системы, задачей которого является разработка структуры в виде когнитивной карты  $G$ , отображающей механизм системы, и анализ свойств этой структуры.

Анализируя полученные графики рис. 2 и 3, которые отражают возможные тенденции развития системы  $G$  «Научный прогресс и население», видим, что они не противоречат интуитивным экспертным представлениям взаимосвязи факторов и их взаимовлияния. Так, например, на всех тактах моделирования (рис. 2) возрастание доли рождаемости приводит к росту рождаемости, количества населения, продолжительности жизни, аккумуляции знаний, научному прогрессу; интересны колебания показателя «смертность», что объяснимо наличием петель обратной связи: положительных 3-2-3, 8-7-6-4-3-8 и отрицательной (стабилизирующей) 4-3-4. Наличие научного прогресса (рис. 3) так же благоприятно для системы.

По ходу исследования производится анализ чувствительности решений к различным изменениям когнитивной модели и вносимым возмущениям.

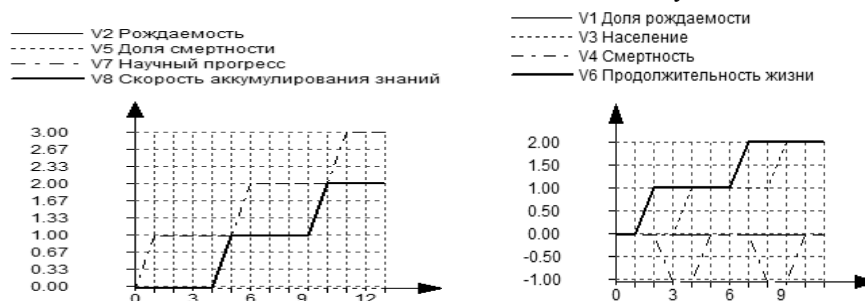


Рис. 3. Сценарий №2: Научный прогресс ( $q_7=+1$ )

**Композиция когнитивных моделей и моделей системной динамики.** Объединение существующих технологий когнитивного моделирования и технологий системной динамики нам представляется возможным в общей модели причинно-следственных связей – когнитивной модели, матрица которой содержит и блоки в виде «простой» когнитивной карты (знаковый ориентированный граф), и блоки в виде параметрического векторного функционального графа со связями между вершинами типа

$$F(X, E) = f(x_i, x_j, e_{ij}) = \begin{cases} +f_{ij}, & \text{если рост (падение) } x_i \text{ влечет} \\ & \text{за собой рост (падение) } x_j; \\ -f_{ij}, & \text{если рост (падение) } x_i \text{ влечет} \\ & \text{за собой падение (рост) } x_j; \end{cases} \quad (3)$$

где  $f_{ij}$  – это функциональная зависимость параметров вершин, которая ставится в соответствие каждой дуге. Зависимость  $f_{ij}$  может быть не только функциональной, но и стохастической. Кроме того, в более простом варианте она может существовать как «коэффициент усиления»  $f_{ij}=w_{ij}$ . Этот блок (подграф когнитивной модели) может быть моделью системной динамики, поскольку структура модели системной динамики (диаграммы причинно-следственных связей) также представима графом.

Возможны две формы разработки такой общей модели: «сверху» и «снизу».

«Сверху»: на начальном этапе разрабатывается когнитивная модель в виде когнитивной карты  $G_0$ , которая в дальнейшем уточняется и дорабатывается до модифицированного функционального графа [25], когда в структуру включаются и качественные факторы (например, федеральные регулирующие системы), и количественные (например, количество населения). В этом случае ее подграфом может стать модель системной динамики, которая уже существует или строится по соответствующим технологиям системной динамики.

При построении «снизу» разрабатываются сначала отдельные блоки когнитивной модели, а далее происходит синтез их в общую когнитивную модель.

Рациональным представляется путь последовательного построения «сверху» – «снизу». Этот принцип был применен при анализе системы «Юг России» и проектировании стратегии развития Чусовского района [19, 20].

**Пример. Анализ системы «Чусовский муниципальный район».** При моделировании социально-экономической системы Чусовского муниципального образования Пермского края (муниципальный контракт № 01/05.2 от 16.06.2012) был использован принцип сочетания способов построения «сверху» и «снизу».



Целью начального этапа была разработка структуры социально-экономического механизма. В качестве системообразующей, базовой модели социально-экономического механизма региона была взята схема академика А.Г. Гранберга [31], модифицированная с учетом современных региональных условий, рис.4.

После разработки когнитивной карты был проведен ее анализ согласно разработанной когнитивной методологии [9]. Так, анализ структурной устойчивости показал, что структура системы, представленная картой  $G_0$  устойчива, так как среди ее 142 циклов имеется нечетное число – 67 отрицательных циклов (см. теорему об устойчивости в [22]). Но система не устойчива ни по возмущению, ни по начальному значению – имеются корни характеристического уравнения матрицы отношений больше 1:  $\max |M| = 2,62$ .

Импульсное моделирование производилось по формуле (2). Следующим этапом являлся этап разработки функциональной модели на данной структуре, «раскрытие» вершин в подчиненные когнитивные карты.

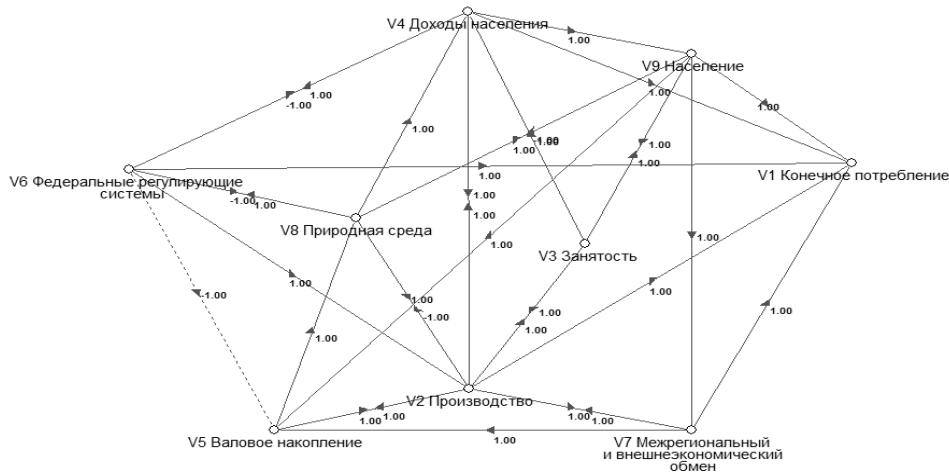


Рис. 4. Когнитивная карта  $G_0$  регионального социально-экономического механизма

В рассматриваемом случае для построения модели в виде функционального графа в качестве его подграфа  $G^1_0$  была адаптирована к проблемам Чусовского района существующая модель системной динамики, представленная в работах [6, 19, 20].

Предварительно были построены когнитивные карты (как диаграммы причинно-следственных связей), соответствующие формулам системной динамики: качество жизни населения, динамика населения, динамика основных фондов региона, валовой региональный продукт, продукт потребленный в регионе, текущий средний уровень цен, уровень заработной платы, природная среда.

Приведем пример. *Качество жизни  $Q_i$* . Для математического описания динамики процесса уровня жизни была использована гладкая нелинейная функция

$$Q_i = \text{sign}_s \left( \frac{2F_i(t)}{q_F X(t)} \right) \text{sign}_s \left( \frac{2S_i(t)}{q_S X(t)} \right) \text{sign}_s \left( \frac{2}{q_R R_i(t)} \right), \quad (4)$$

где  $q_F$  – коэффициент зависимости качества жизни от уровня обеспеченности основными фондами,  $q_S$  – коэффициент зависимости качества жизни от уровня обеспеченности зарплатами,  $q_R$  – коэффициент зависимости качества жизни от плотности населения,  $F_i(t)/X(t)$  – количество основных фондов в соответствии с текущим

уровнем цен, приходящихся на одного жителя региона,  $S_i(t)/X(t)$  – количество товаров, которое может купить на заработную житель региона. Когнитивная карта, соответствующая модели (4), изображена на рис. 5.

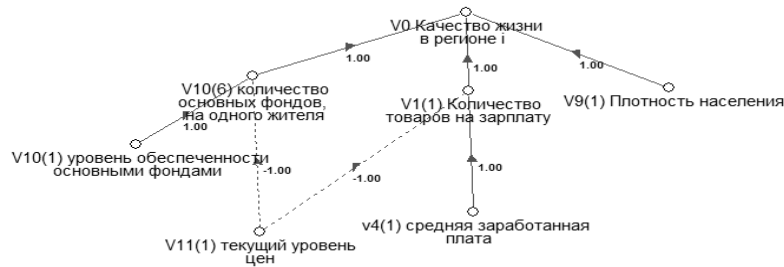


Рис. 5. Когнитивная карта «Качество жизни»

Аналогично по основным формулам модели системной динамики были построены когнитивные карты, объединенные по одинаковым вершинам в общую когнитивную карту, которая затем по тому же принципу была объединена с картой регионального социально-экономического механизма (рис. 4). В результате была получена когнитивная модель в виде функционального графа, структура которого изображена расширенной когнитивной картой рис. 6.

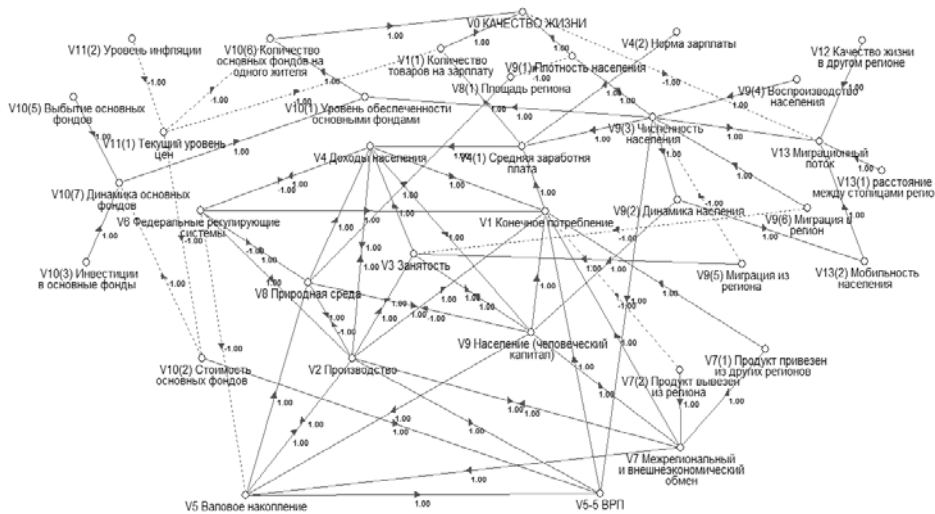


Рис. 6. Расширенная когнитивная карта региональной системы

**Заключение.** Как показало проведенное исследование, объединение существующих технологий когнитивного моделирования и технологий системной динамики существенно расширяет возможности исследования таких сложных систем, как социально-экономические, экологические, политические. Имитационное моделирование систем «Чусовское муниципальное образование», «Юг России» [19, 20] с помощью предложенного инструментария позволило выявить механизмы явлений и тенденции развития ситуаций в этих системах при инерционном развитии и при реализации модельных сценариев и предложить обоснованные стратегии их развития. Разработанный инструментарий предназначен для применения в системах искусственного интеллекта, в интеллектуальных системах поддержки принятия решений.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Форрестер, Дж. Мировая динамика. – М.: АСТ, 2003. – 384 с.
2. Хемди А. Таха. Глава 18. Имитационное моделирование // Введение в исследование операций = Operations Research: An Introduction. – 7-е изд. – М.: Вильямс, 2007. – С. 697-737.
3. Строгалев В. П., Толкачева И. О. Имитационное моделирование. – М.: МГТУ им. Баумана, 2008. – С. 697-737.
4. Борцев А. От системной динамики и традиционного моделирования – к практическим агентным моделям: причины, технологии, инструменты. <http://www.xjtek.com>.
5. Каталевский Д.Ю. Основы имитационного моделирования и системного анализа в управлении: Уч. пособие. – М.: Изд-во МГУ, 2011. – 304 с.
6. Новая парадигма развития России (Комплексные исследования проблем устойчивого развития) / Под ред. В.А. Коптюга, В.М. Матросова, В.К. Левашова. Второе издание. – М.: Изд-во «Академия», Иркутск: РИЦ ГП «Облформпечать», 2000. – 460 с.
7. 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.
8. Абрамова Н.А., Авдеева З.К. Когнитивный анализ и управление развитием ситуаций: проблемы методологии, теории и практики. Проблемы управления. – 2008. – № 3. – С. 85-87.
9. Горелова Г.В., Захарова Е.Н., Радченко С.А. Исследование слабоструктурированных проблем социально-экономических систем: когнитивный подход. – Ростов-на-Дону: Изд-во РГУ, 2006. – 332 с.
10. Горелова Г.В. О когнитивном моделировании сложных систем, инструментарий исследования // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2012. – № 6 (131). – С. 236-240.
11. Волкова В.Н., Денисов А.А. Основы теории систем и системного анализа: Учебник. – СПб.: Изд-во СПбГТУ, 1998. – 520 с.
12. Warren K. The Dynamics of Strategy // Business Strategy Review. – 1999. – Vol.10, Iss3. – P. 1-16
13. Warren K. Strategic Management Dynamics/ John Wiley&Sons, 2008.
14. Axelrod, Robert «The Complexity of Cooperation: Agent-Based Models of Competition and Collaboration», Princeton: Princeton University Press, 1997.
15. Bonabeau, Eric, Agent-based modeling: methods and techniques for simulating human systems. Proc. National Academy of Sciences 99(3): 7280-7287, 2002.
16. Болотова Л.С. Системы искусственного интеллекта: модели и технологии, основанные на знаниях: Учебник. ФГОУ ВПО РГУИП; ФГАУ ГНИИ ИТТ «Информатика». – М.: Финансы и статистика, 2012. – 664 с.
17. Поспелов Д.А. Ситуационное управление: теория и практика. – М.: Наука, 1986. – 284 с.
18. Клык Ю.И. Ситуационное управление большими системами. – М.: Энергия, 1974. – 135 с.
19. Горелова Г.В., Масленникова А.В. Имитационное моделирование на основе когнитивной методологии и системной динамики, анализ системы «Юг России» / В тр. научн.-практ. конф. «Системный анализ в экономике-2012», секц. 2. – М.: ЦЭМИ РАН, 2012. – С. 50-65.
20. Горелова Г.В., Масленникова А.В. Проблемы развития юга России: результаты моделирования // Материалы 5-й Российской мультikonф. по проблемам управления, конф. «Управление в технических, эргатических и сетевых системах» (УТЭОСС-2012). – СПб.: Изд-во СПбГПУ, 2012. – С. 1152-1155.
21. 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. (Научное издание). – М.:ИПУ РАН, 2002. – 122 с.
22. Моделирование и управление процессами регионального развития / Под ред. С.Н. Васильева. – М.: Физматлит, 2001. – 432 с.
23. Сиразетдинов Т.К., Родионов В.В., Сиразетдинов Р.Т. Динамическое моделирование экономики региона. – Казань: Изд-во «Фэн» Академии наук РТ, 2005. – 320 с.
24. Масленникова А.В. Исследование социально-эколого-экономического потенциала региональной системы для реализации стратегии устойчивого развития // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2008. – № 4. – С. 95-101.
25. Робертс Ф.С. Дискретные математические модели с приложениями к социальным, биологическим и экологическим задачам. – М.: Наука, 1986.

26. *Касты Дж.* Большие системы: связность, сложность и катастрофы. – М.: Мир, 1982. – 216.
27. *Axelrod R.* The Structure of Decision: Cognitive Maps of Political Elites. – Princeton. University Press, 1976.
28. *Eden C.* Cognitive mapping // European Journal of Operational Research. – 1998. – № 36. – P. 1-13.
29. *Atkin R. H.*, Combinatorial Connectivities in Social Systems. An Application of Simplicial Complex Structures to the Study of Large Organisations, Interdisciplinary Systems Research, 1997.
30. *Atkin R. H., Casti J.*, Polyhedral Dynamics and the Geometry of Systems, RR-77-International Institute for Applied Systems Analysis, Laxenburg, Austria, March, 1977.
31. *Гранберг А.Г.* Основы региональной экономики: Учебник для вузов. Гос. ун-т – Высшая школа экономики. – 5-е изд. [стер.]. – М.: Изд. дом ГУ ВШЭ, 2006. – 495 с.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н. В.П. Карелин.

**Горелова Галина Викторовна** – Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Южный федеральный университет»; e-mail: g.v.gorelova@gmail.com; 347928, г. Таганрог, пер. Некрасовский, 44; тел.: 88634394264; кафедра государственного и муниципального права и управления; д.т.н.; профессор.

**Gorelova Galina Victorovna** – Federal State-Owned Autonomy Educational Establishment of Higher Vocational Education “Southern Federal University”; e-mail: g.v.gorelova@gmail.com; 44, Nekrasovskiy, Taganrog, 347928, Russia; phone: +78634394264; the department of state and municipal legislation and administration; dr. of eng. sc.; professor.

УДК 004.94

**В.М. Ветошкин, О.В. Саяпин**

#### **МЕТОДИКА ПОСТРОЕНИЯ КОНЦЕПТУАЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ОРГАНИЗАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ**

*Рассматривается структура процесса проектирования баз данных автоматизированных информационных и управляющих систем. Рассматриваются вопросы анализа содержания и взаимосвязи этапов фазы системного анализа и проектирования информационной базы.*

*Представленная методика направлена на ликвидацию технологической неопределенности процесса накопления и систематизации информации о проектируемой автоматизированной системе для формирования обоснованных требований к её подсистемам и видам обеспечения, а также на сокращение сроков разработки и внедрения, повысив одновременно качество проектных решений. Реализация предложенного подхода позволит методологически обеспечить, технологически определить и инструментально оснастить процессы анализа информационного содержания функционирования сложных организационно-технических систем.*

*Организационная система; система баз данных; инфологическая, концептуальная, логическая, физическая модели; этапы системного анализа; автоматизированная система.*

**V.M. Vetoshkin, O.V. Sayapin**

#### **METHODOLOGY OF DEVELOPMENT OF THE CONCEPTUAL INFORMATION MODEL OF THE SYSTEM DATABASE**

*The paper describes the structure of the process of database design automation systems. An analysis of the content and relationship stages phases of system analysis and design information base.*

*The presented method is intended to eliminate the technological uncertainty of accumulation process and systematization of information on future automated system to generate reasonable requirements of its sub-systems and types of security, as well as to reduce the time of development*