

- задание целевых, желаемых направлений (увеличение, уменьшение) и силы (слабо, сильно) изменения тенденций процессов в ситуации;
- выбор комплекса мероприятий (совокупности управляющих факторов), определение их возможной и желаемой силы и направленности воздействия на ситуацию;
- выбор комплекса возможных воздействий (мероприятий, факторов) на ситуацию, силу и направленность которых необходимо определить;
- выбор наблюдаемых факторов (индикаторов), характеризующих развитие ситуации, осуществляется в зависимости от целей анализа и желания пользователя.

#### **У этап.** Реализация, внедрение и проверка.

Этап реализации обеспечивает программную и техническую (по мере необходимости) реализацию проектных решений по моделированию. По мере разработки отдельных программных компонентов осуществляется их тестирование, интеграция и внедрение. Осуществляется загрузка первичной нормативно-справочной информации и, собственно, развитие модели. В процессе эксплуатации модели осуществляется регистрация ошибок, проводится экспертиза управленческих решений, формулируются требования к модификации модели в связи с изменениями объекта и функций управления. Как результат – проверка адекватности модели реальной ситуации, т.е. сопоставление полученных результатов с характеристиками системы, которые при тех же исходных условиях были в прошлом, если результаты сравнения — неудовлетворительны, то модель корректируется, и переходят к п. III.1.

Описанный в работе порядок построения модели предлагается использовать для моделирования социально-экономической системы. Модель строится на основе положений теории иерархических многоуровневых систем и когнитивного моделирования, что позволяет анализировать причинно-следственные связи в рассматриваемой системе; проводить анализ ее устойчивости и вырабатывать управляющие решения.

#### **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. *Басовский Л.Е.* Прогнозирование и планирование в условиях рынка.– М.: ИНФРА-М, 1999.– 260 с.
2. *Максимов В.И., Качаев С.В.* Технологии информационного общества в действии: применение когнитивных методов в управлении бизнесом // Институт проблем управления РАН.
3. *Максимов В.И., Корноушенко Е.К., Качаев С.В.* Когнитивные технологии для поддержки принятия управленческих решений // Институт проблем управления РАН, Москва.
4. *Месарович М., Мако Д., Такахара И.* Теория иерархических многоуровневых систем.– М.: Мир, 1973. –345 с.
5. Новая парадигма развития России. Комплексное исследование проблем устойчивого развития / Под ред. В.А. Коптюга, В.М. Матросова, В.К. Левашова.– М, 1999.
6. *Трахтенгерц Э.А.* Компьютерная поддержка принятия решений: Научно-практическое издание. Серия “Информатизация России на пороге XXI века”.– М.: СИНТЕГ, 1998.– 376 с.
7. *Чернов И.В.* Имитационное моделирование при исследовании процессов, возникающих в социально-экономических системах // Институт проблем управления РАН, Москва.

**Г.В. Горелова, С.А. Радченко**

### **ПРОГРАММНАЯ СИСТЕМА КОГНИТИВНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ СОЦИОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ**

Проблема устойчивого и безопасного развития любой страны, в том числе России, ее регионов и территорий является крупномасштабной, требующей учета различных несопоставимых аспектов, описываемых совокупностью взаимозависимых

мых динамических факторов. Конкретные стратегические проблемы безопасного и устойчивого развития индивидуальны и разнообразны по содержанию. В условиях сложившегося неизменного государственного устройства и неизменного общественно-экономического уклада или механизма структура проблем и задач устойчивого развития однозначно определена, она фиксирована и не изменяется во времени. Например, развитие по пятилетним планам с постоянными планируемыми темпами роста социально-экономических показателей. К другому классу относятся задачи, в которых их структура не остается фиксированной и последовательно формируется в зависимости от принимаемых решений. Такие задачи возникают в развивающихся и трансформирующихся системах, к которым относится и Россия в настоящее время. Для трансформирующихся систем проблему устойчивого развития необходимо рассматривать и решать комплексно, как проблему безопасности и выживания, что требует разработки соответствующей методологии, формализованного аппарата и эффективных методов решения. Предпринимаемые до настоящего времени попытки построить экспертную систему поддержки и принятия решений в области устойчивого развития пока не нашли общепризнанного успешного завершения. Но имеющиеся экспертные знания и существующие формализованные научные знания по общей проблеме и методам принятия решений обосновывают необходимость и возможность разработки интеллектуальной системы поддержки управленческих решений. В последнее время в основу построения таких систем положен когнитивный подход, который позволяет совмещать формализованные научные знания с опытом экспертов и творческим потенциалом лиц, поддерживающих и принимающих решения.

В области создания интеллектуальных систем поддержки управленческих решений сейчас широко известны разработки ИПУ РАН [2, 3]. Опыт их работы был учтен при создании ПС КМ. Разработанная ПС КМ реализует идеи и методы когнитивной структуризации знаний экспертов, а также использует разнообразные методы системного анализа для реализации задач когнитивного моделирования. В отличие от существующих программных систем, она обладает более широким спектром решаемых во взаимосвязи задач системного анализа.

Рассмотрим возможности существующих систем.

В секторе 51 ИПУ РАН разработана когнитивная технология стратегического управления развитием сложных социально-экономических объектов в нестабильной внешней среде. Технология помогает руководителю создавать стратегии деятельности в нестандартных условиях, обусловленных нарастающей изменчивостью внешней среды. Разработанный диалоговый комплекс «Ситуация» обеспечивает: 1) построение когнитивной модели исследуемой ситуации (выделение и обоснование базисных факторов ситуации; установление и обоснование взаимосвязей факторов; построение графовой модели ситуации); 2) структурную интерпретацию проблем, требующих решения в исследуемой ситуации; 3) поиск и обоснование стратегий достижения цели в стабильных или изменяющихся ситуациях (выбор и обоснование желаемых целей в условиях неопределенности; выбор мероприятий (управлений) для достижения цели; анализ принципиальной возможности достижения цели из текущего состояния ситуации с использованием выбранных мероприятий; анализ ограничений на возможности реализации выбранных мероприятий в реальной действительности; анализ и обоснование реальной возможности достижения цели; выработка и сравнение стратегий достижения цели); 4) поиск и обоснование стратегий решения проблем в конфликтных ситуациях (анализ целей участников конфликта; анализ ресурсов участников конфликта; анализ и обоснование возможностей образования коалиций среди участников конфликта; анализ и обоснование различных сценариев поведения участников конфликта); 5) обоснование возможных сценариев развития ситуации.

У разработчиков есть опыт использования их технологий в помощь руководителям предприятий, банков, муниципальных округов, органов государственной власти и целых регионов в стратегическом анализе и планировании, квалифицированном проведении структурных преобразований, грамотном вложении инвестиций.

В другом секторе ИПУ РАН разработана технология моделирования сложных динамических систем на базе аппарата модифицированных функциональных графов. Указанный математический аппарат обладает следующими свойствами: возможность работать с данными как количественного, так и качественного типов; возможность поэтапного наращивания сложности (и адекватности) модели по мере получения более точных исходных данных; широкие выразительные возможности аппарата, что позволяет использовать его для моделирования динамических процессов в разнообразных предметных областях; простота модульной структуризации модели, что позволяет автоматизировать процедуру построения на основе содержательной картины пользователя и заранее созданной библиотеки функциональных модулей. Разработанный программный комплекс "ИМПАН" предназначен для моделирования систем различного назначения с использованием аппарата знаковых графов. Основные реализуемые функции: 1) формирование модели исследуемой системы в виде знакового (взвешенного) графа; 2) модификация модели, изменение ее структуры; 3) проведение поэтапного моделирования с заданием количества шагов на каждом этапе; 4) возврат процедуры моделирования на заданное количество шагов с восстановлением предыдущего состояния модели; 5) возможность внесения изменения в ходе моделирования; 6) создание программы внешних воздействий на заданный управляющий компонент системы с целью обеспечения необходимой тенденции изменения управляемого фактора на выбранном временном интервале; 7) формирование на основе существующей модели новой и последующая ее модификация; 8) получение результатов моделирования для выбранных вершин в графическом виде, наиболее пригодном для анализа; 9) визуальное изменение и последующее запоминание расположения вершин.

Использование данного комплекса было представлено, в частности, на примерах моделирования взаимовлияния экономических, социальных и политических факторов на объем и стабильность налоговых поступлений, и показатели экономического роста, а также анализа инвестиционной привлекательности различных регионов РФ в зависимости от их структурных и динамических качеств и соответствующей типологии.

Анализ существующих программно-методологических комплексов, а также опыт когнитивного моделирования [2, 3] позволили разработать и выполнить требования к созданной ПС КМ. В процессе разработки требований должны были решаться следующие задачи: 1) определения формата поступающей со стороны исследуемой системы информации; 2) определения функций, подлежащих выполнению ПС и их взаимосвязь; 3) определение взаимосвязи между функциями ПС; 4) выполнение анализа ограничений на структуру и состав исследуемых моделей; 5) определение требований к алгоритмам и вычислительным ресурсам ПС.

**Формат.** Поступающая со стороны исследуемой системы информация должна представляться в виде вербального описания региональной ситуации.

**Функции.** Предлагается следующий основной состав функций, который будет обеспечивать решение задач ПС: а) функция создания и обработки гипертекста; б) функция взаимодействия с базой данных, связанной с изучаемой предметной областью; в) функция создания и корректировки когнитивной карты; г) функция импульсного моделирования; д) функция решения обратной задачи импульсного моделирования; е) функция анализа устойчивости модели; ж) функция структурного анализа.

*Функция создания и обработки гипертекста (а).* Функция должна поддерживать создание пользователем на основе обычного текста гипертекста (текста, снабженного ссылками элементов текста друг на друга) и преобразование его в когнитивную карту. Требования к функции следующие. Гипертекст должен содержаться в отдельном прокручиваемом окне, размеры которого могут меняться. Параметры формата вывода гипертекста должны изменяться с изменением размеров окна. Гипертекст должен содержать элементы двух видов: сущность, то есть фактор, присутствующий в тексте, и связь, то есть отношение между факторами, также указанное в тексте. Отношения между факторами задаются как "многие к многим", то есть каждый фактор (и соответствующие ему элементы гипертекста) может быть связан с несколькими факторами. Одни и те же факторы можно указывать в разных предложениях естественного языка. При этом разные элементы гипертекста могут соответствовать одному и тому же фактору, название которого задается один раз. Каждый элемент гипертекста сопоставлен с его свойствами: для фактора – свойства фактора, для дуги – свойства дуги. Необходимо, чтобы при создании гипертекста были доступны функции добавления, изменения и удаления сущностей (факторов) и связей (отношений). При просмотре свойств сущностей должны быть доступны для просмотра и навигации списки сущностей, которые связаны с рассматриваемой. Данное требование относится также и к связи. При этом для навигации должны быть доступны сущности, образующие данную связь.

*Функция взаимодействия с базой данных, связанной с изучаемой предметной областью (б).* Функция необходима для визуального анализа динамики изменения показателей. Для реализации функции необходимо: 1) создать логическую и физическую структуру будущей базы данных; 2) организовать доступ пользователя к просмотру и поиску записей базы данных, хранящих необходимые статистические данные; 3) организовать возможность выбора записи, соответствующей временному ряду изменения показателя, и просмотра графика изменения показателя.

*Функция создания и корректировки когнитивной карты (в).* Для реализации необходимо: 1) задать вершины графа, представляющие собой элементы когнитивной карты; 2) задать дуги графа, представляющие собой отношения между элементами когнитивной карты; 3) задать текущие значения параметров вершин графа; 4) представить и отобразить на экране дисплея созданный ориентированный граф; 5) сохранить данные построенного графа в файле на жестком диске для последующего использования построенной когнитивной карты.

*Функция импульсного моделирования (г).* Для реализации необходимо: 1) открыть для работы файл данных когнитивной модели; 2) задать текущие импульсы в вершинах; 3) задать количество шагов моделирования; 4) провести расчеты импульсного моделирования по заданным входным данным; 5) выбрать вершины, изменения которых будут отображаться на графике при моделировании; 6) отобразить на графике результаты моделирования; 7) сохранить результаты моделирования в файл на жестком диске для последующей распечатки на принтере.

*Функция решения обратной задачи импульсного моделирования (д).* Для реализации необходимо: 1) открыть для работы файл данных когнитивной модели; 2) задать текущие импульсы в вершинах когнитивной модели; 3) задать вершины-субъекты когнитивной модели; 4) задать вершины-объекты; 5) задать ограничения, налагаемые на тенденцию изменения вершин-объектов; 6) задать интервал времени воздействия на вершины-субъекты со стороны лица, принимающего решение; 7) задать интервал времени, в течение которого должны выполняться ограничения на изменение значений вершин-объектов; 8) провести расчет программы воздействий на вершины-субъекты, которая удовлетворяет заданным ограничениям при минимальных расходах; 9) отобразить результаты расчета программы воздействий на экране

дисплея; 10) сохранить результаты расчета программы воздействий в виде текстового файла на жестком диске для возможности последующей распечатки и анализа;

*Функция анализа устойчивости модели (е).* Функция позволяет произвести анализ устойчивости построенной когнитивной модели. Для этого необходимо: 1) открыть для работы файл данных когнитивной модели; 2) произвести расчет собственных чисел матрицы взаимосвязей вершин когнитивной модели; 3) произвести отображение найденных собственных чисел на экране дисплея; 4) сохранить найденные собственные числа в текстовый файл для последующей распечатки и анализа;

*Функция структурного анализа (ж).* Она позволяет произвести поиск циклов, путей и компонентов связности когнитивной модели. Для этого: 1) открыть для работы файл данных когнитивной модели; 2) произвести поиск всех простых элементарных циклов и т.п.; 3) произвести отображение списка найденных циклов и т.п. на экране дисплея в отсортированном по количеству вершин виде; 4) отобразить некоторые циклы и т.п. для последующего выделения их на когнитивной модели; 5) выделить выбранные циклы и т.п. на когнитивной модели; 6) перенести текущие выделенные циклы и т.п. в отдельную новую когнитивную модель для последующей работы; 7) сохранить список найденных циклов и т.п. в текстовый файл для последующей распечатки и анализа.

**Взаимосвязи между функциями.** Взаимосвязи между ними следующие.

1. Функции импульсного моделирования, разработки программы воздействий, анализа устойчивости и структуры требуют для своей работы построенной когнитивной модели, то есть реализации функции формирования во взаимодействии с пользователем ПС взвешенного орграфа. 2. Для формирования когнитивной модели может быть необходима функция создания и обработки гипертекста. 3. Функция доступа к базе данных помогает оценить адекватность, а также может быть полезной при построении когнитивной модели для оценки отношений между факторами. 4. Функцию разработки управляющих воздействий целесообразно использовать после оценки развития ситуации с помощью функции импульсного моделирования.

Таким образом, будем иметь схему взаимосвязей между функциями ПС, отображенную на рис. 1.

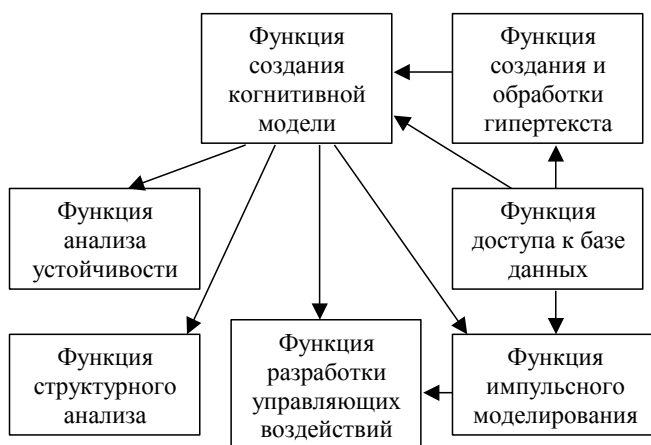


Рис. 1. Схема взаимосвязей между функциями ПС

На рис. 2 представлена структура задач, решаемых ПС КМ, на рис. 3 – структурная схема модулей программы.



Рис. 2. Структура задач ПС КМ

С помощью программного комплекса ПС КМ были проведены исследования различных региональных социально-экономических и экологических систем. В этих целях использовались различные виды моделей, являющиеся модификациями параметрического векторного функционального графа [3, 4]:

$$\Phi_{\Pi} \langle \langle V, E \rangle, X, F, \theta \rangle. \quad (1)$$

Выражение (1) – это кортеж, в котором:

$G = \langle V, E \rangle$ ,  $V = \{v_i \mid v_i \in V, i=1, 2, \dots, k\}$ ;

$E = \{e_i \mid e_i \in E, i=1, 2, \dots, k\}$ ;

$G$  – знаковый ориентированный граф (когнитивная карта), в котором:

$V$  – множество вершин, вершины («концепты»)  $V_i \in V, i=1, 2, \dots, k$  являются элементами изучаемой системы;

S1. Модуль формирования и обработки гипертекста
S1.1. Модуль формирования гипертекста
S1.1.1. Модуль формирования сущностей и факторов гипертекста
S1.1.2. Модуль формирования связей гипертекста
S1.2. Модуль преобразования гипертекста в когнитивную модель
S2. Модуль создания и корректировки когнитивной модели
S2.1. Модуль формирования вершин
S2.2. Модуль формирования дуг
S3. Модуль импульсного моделирования
S3.1. Модуль расчёта результатов
S3.2. Модуль графического отображения результатов
S4. Модуль расчёта управляющих воздействий
S4.1. Модуль ввода входных данных и формирование задачи линейного программирования
S4.2. Модуль решения задачи линейного программирования и выдачи результатов
S5. Модуль анализа устойчивости
S5.1. Модуль приведения исходной матрицы к правой, почти треугольной матрице
S5.2. Модуль поиска собственных чисел матрицы
S6. Модуль структурного анализа
S6.1. Модуль поиска циклов
S6.2. Модуль поиска путей
S6.3. Модуль поиска компонентов связности
S7. Модуль анализа связности структуры
S7.1. Модуль построения симплициальных комплексов
S7.2. Модуль анализа q-связности
S7.3. Модуль последующего анализа структурной сложности
S7.4. Модуль определения степени интегрированности симплекса, эксцентриситет

Рис. 3. Структурная схема модулей программы

$E$  – множество дуг, дуги  $e_{ij} \in E$ ,  $i, j=1, 2, \dots, N$  отражают взаимосвязь между вершинами  $V_i$  и  $V_j$ , влияние  $V_i$  на  $V_j$  в изучаемой ситуации может быть положительным, отрицательным или отсутствовать;

$X: V \rightarrow \theta$ ,  $X$  – множество параметров вершин;

$X = \{ X^{(v_i)} \mid X^{(v_i)} \in X, i=1, 2, \dots, k \}$ ,  $X^{(v_i)} = \{ x_{ij}^{(g)} \}$ ,  $g=1, 2, \dots, 1$ ;  $x_{ij}^{(g)}$  – значение  $g$ -параметра вершины  $V_i$ ; если  $g=1$ , то  $x_{ij}^{(1)} = x_{ij}$ ;

$\theta$  – пространство параметров вершин;

$F: E \times X \times \theta \rightarrow R$ ;  $F = F(X, E) = F(x_i, x_j, e_{ij})$  – функционал преобразования дуг, ставящий в соответствие каждой дуге либо знак («+», «-»), либо весовой коэффициент  $\omega_{ij}$ , либо функцию  $f(x_i, x_j, e_{ij}) = f_{ij}$ . Зависимость  $f_{ij}$  может быть не только функциональной, но и стохастической  $\eta_{ij}$ . По мере накопления знаний о процессах становится возможным более детально раскрывать характер связей между факторами.

Для отражения динамики происходящих в системе под воздействием всевозможных возмущений изменений в модель (1) вводится время. Существуют различные правила изменения параметров модели. Пусть параметр  $x_i$  зависит от времени, т.е.  $x_i(t)$ ,  $t=1, 2, 3, \dots$ . Тогда можно определить процесс распространения возмущения по графу, т.е. переход системы из состояния  $t-1$  в  $t$ ,  $t+1, \dots$  например, по правилу изменения параметров в вершинах в момент  $t_{n+1}$ , если в момент времени  $t_n$  в вершины поступили импульсы  $P$ , то

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

Выражение (2) реализовано в ПС КМ.

Программу можно использовать для анализа и моделирования систем различной сложности и природы. Основным инструментом анализа являются графики изменения показателей-вершин когнитивной модели.

Рассмотрим использование программной системы на примере.

На рис. 4 представлена когнитивная карта – модель регионального социально-экономического механизма.

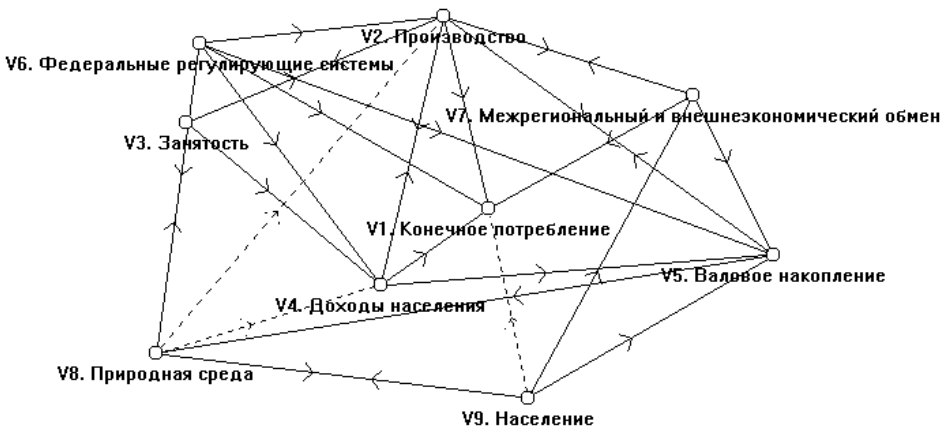


Рис. 4. Когнитивная карта регионального социально-экономического механизма

Снижение уровня объемов производства, то есть отрицательный импульс в вершину  $v1$ :  $qv1 = -1$ , приводит к падению основных социально-экономических показателей (рис. 5).



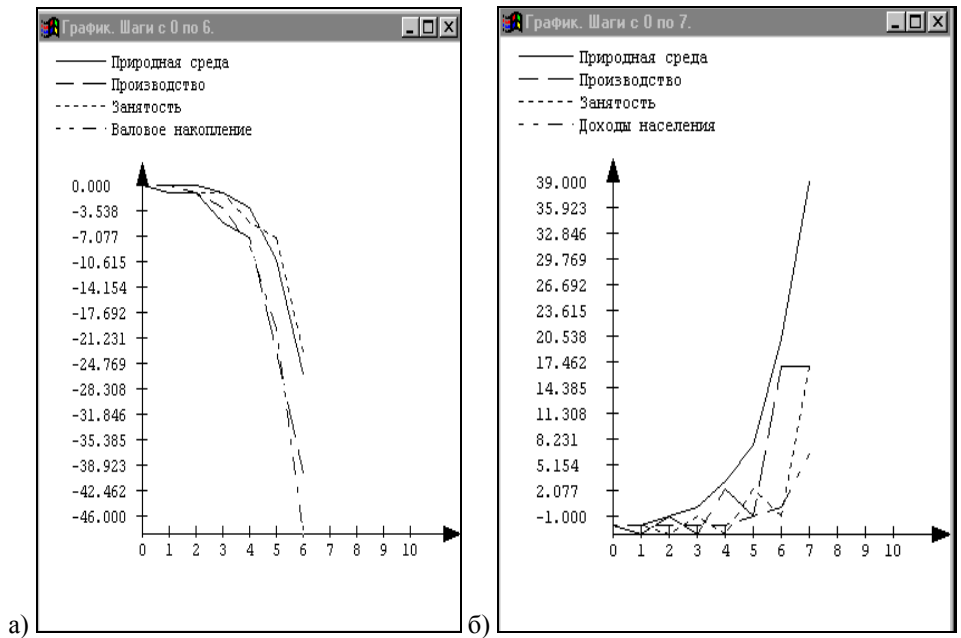


Рис. 5. Переходные процессы: а – при начальном снижении уровня объемов производства ( $qv1 = -1$ ); б – при начальном снижении уровня объемов производства, усилении влияния федеральных регулирующих систем ( $qv1 = -1$ ) и увеличении межрегионального и внешнеэкономического обмена ( $qv6 = +1$ ,  $qv7 = +1$ )

Для преодоления негативных тенденций, вызываемых снижением объемов производства в региональном социально-экономическом механизме, необходима поддержка регионального бюджета, например, помощь из центра и усиление межрегионального обмена. На рис. 5, б представлены переходные процессы, возникающие при внесении в начальный момент времени (на нулевом шаге) отрицательного импульса в вершину  $v1$  – физический объем производства и положительных импульсов в вершины  $v6$  – федеральные регулирующие системы и  $v7$  – межрегиональный и внешнеэкономический обмен:  $qv1 = -1$ ,  $qv6 = 1$ ,  $qv7 = 1$ .

Таким образом, моделирование внесения управляющих воздействий показывает устойчивый рост всех основных социально-экономических показателей после незначительных колебаний.

Для лица, принимающего решения и формирующего управляющие воздействия, важно определить также время внесения воздействий. Так, при внесении управляющих воздействий в вершины  $V6$  и  $V7$  не получается желаемый результат, потому что эффект от снижения объемов производства уже успел распространиться и повлиять на связанные факторы. На рис. 6 представлены переходные процессы, возникающие при внесении в начальный момент времени (на нулевом шаге) отрицательного импульса в вершину  $v1$  – физический объем производства и положительных импульсов на пятом шаге моделирования в вершины  $v6$  – федеральные регулирующие системы и  $v7$  – межрегиональный и внешнеэкономический обмен:  $qv1 = -1$ ,  $qv6 = 1$ ,  $qv7 = 1$ .

Таким образом, ПС КМ позволяет составить прогноз развития исследуемого объекта и составить план управляющих воздействий, направленных на преодоление негативных тенденций.

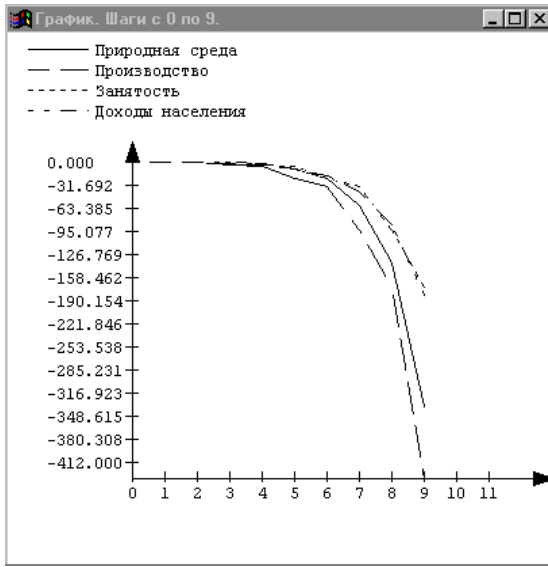


Рис. 6. Импульсные процессы при начальном снижении уровня объемов производства, усилении влияния федеральных регулирующих систем и увеличении межрегионального и внешнеэкономического обмена на пятом шаге:

$$qv1 = -1, qv6 = +1, qv7 = 1$$

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Горелова Г.В., Джаримов Н.Х. Региональная система образования. Методология комплексных исследований.– Краснодар: Изд. КГУКИ, 2002.– С. 358.
2. Гранберг А.Г. Основы региональной экономики: Уч.– М.: ГУ ВШЭ, 2000.– 495 с.
3. Качаев С.В., Корноушенко Е.К., Максимов В.Л., Райков А.Н. Когнитивные модели и технологии интеллектуальной поддержки решений. В кн.: «Новая парадигма развития России (комплексные исследования проблем устойчивого развития)» / Под ред. В.А. Коптюга, В.М. Матросова, В.К. Левашова.– М.: Изд. «Academia», изд. МГУК, 1999.– С. 442–449.
4. 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., 2002 (Научное издание / Институт управления им. В.А. Трапезникова РАН).
5. Пьявченко О.Н., Горелова Г.В., Боженюк А.В., Клевцов С.А., Каратаев В.Л., Радченко С.А., Клевцова А.Б. Методы и алгоритмы моделирования развития сложных ситуаций.– Таганрог: ТРТУ, 2003.– 157 с.

**А.В. Егоров**

#### ОСОБЕННОСТИ СИСТЕМНОГО ПОДХОДА К АНАЛИЗУ ОКРУЖАЮЩЕЙ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ

Понятие «экология» впервые было предложено в 1866 г. немецким натуралистом Э. Геккелем для характеристики совокупности процессов саморегуляции, которые возникают в сообществах организмов при их взаимодействии друг с другом и с окружающей абиотической средой.

В этом понятии делается акцент на системный подход к изучению биологических явлений и на способности к целесообразной деятельности не только на уровне отдельных организмов, но и на уровне довольно сложных надорганизменных объединений – биоценозов вплоть до биосферы в целом как глобальной системы.