

**НЕЧЕТКИЕ КОГНИТИВНЫЕ МОДЕЛИ В УПРАВЛЕНИИ
СЛАБОСТРУКТУРИРОВАННЫМИ
СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИМИ СИСТЕМАМИ**

Захарова Алёна Александровна

Д.т.н., доцент, профессор кафедры «Информатика и программное обеспечение»

e-mail: zaa@tu-bryansk.ru

ORCID: 0000-0003-4221-7710,

Подвесовский Александр Георгиевич

К.т.н., доцент, заведующий кафедрой «Информатика и программное обеспечение»

e-mail: apodv@tu-bryansk.ru

ORCID: 0000-0002-1118-3266,

Исаев Руслан Александрович

Ассистент кафедры «Информатика и программное обеспечение»,

e-mail: ruslan-isaev-32@yandex.ru

ORCID: 0000-0003-3263-4051,

Брянский государственный технический университет,
241035, Россия, г. Брянск, бул. 50 лет Октября, д. 7,

Аннотация. В статье рассматривается проблематика моделирования слабоструктурированных социально-экономических систем на основе применения когнитивного подхода. Предлагается авторская информационная технология поддержки когнитивного моделирования таких систем, основанная на использовании нечетких когнитивных карт. Описывается опыт применения предложенной технологии и реализующей ее программной системы при решении ряда практических задач исследования стратегий управления социально-экономическими системами.

Ключевые слова: управление социально-экономическими системами, слабоструктурированная система, когнитивная модель, нечеткая когнитивная карта, структурно-целевой анализ, сценарный анализ.

Цитирование: Захарова А.А., Подвесовский А.Г., Исаев Р.А. Нечеткие когнитивные модели в управлении слабоструктурированными социально-экономическими системами // Информационные и математические технологии в науке и управлении. 2020. № 4 (20). С. 5-23. DOI: 10.38028/ESI.2020.20.4.001

Введение. В современной практике управления организационными и социально-экономическими системами лицу, принимающему решение (ЛПР), все чаще приходится иметь дело со слабоструктурированными задачами управления и ситуациями принятия решений. Одной из причин этого является недостаток информации о состоянии системы в условиях слабо контролируемой и изменяющейся внешней среды. Отсутствие достаточных знаний о системе, относительно которой принимаются управленческие решения, не является единственной неопределенностью, обусловленной субъективными причинами. Также можно выделить неопределенность, противоречивость, сложную структуру взаимосвязи целей

развития социально-экономических систем и, как следствие, сложность формирования критериев оценки управленческих решений. Как правило, неудовлетворенность текущим состоянием системы осознается субъектом управления, но его представления о причинах и возможных способах изменения ситуации размыты, нечетки и противоречивы. Выявление таких представлений и их формализация являются одними из главных задач, которые необходимо решать при разработке моделей и методов принятия решений в слабоструктурированных системах и ситуациях.

Одним из подходов, применяемых для разработки, анализа и обоснования решений в слабоструктурированных системах, является когнитивный подход. Этот подход ориентирован на структуризацию знаний о слабоструктурированной системе, для понимания основных процессов, протекающих в ней. При этом множество процессов описываются в виде модели экспертных знаний о законах и закономерностях функционирования системы, с преобладанием субъективных оценок и лингвистических значений. В рамках когнитивного подхода способом описания экспертных знаний об исследуемой системе и происходящих в ней процессах является когнитивная модель, которая допускает формальное представление в виде когнитивной карты. Когнитивной картой называется причинно-следственная сеть, которая отражает субъективное представление исследователя о системе (индивидуальное или коллективное) в виде множества семантических категорий, называемых факторами или концептами, и множества причинно-следственных связей между ними [1, 5, 9, 22].

Когнитивная модель представляет собой эффективный инструмент для разведочного, оценочного анализа ситуации. Она не позволяет получить точные, количественные характеристики исследуемой системы, но позволяет оценить тенденции и тренды, связанные с ее функционированием и развитием, и выявить значимые факторы, оказывающие наибольшее влияние на указанные процессы. Как отмечено в [14], считается, что знание грубой, возможно даже гипотетической модели системы позволяет прогнозировать сценарии развития ситуаций при различных управляющих воздействиях путем варьирования переменных модели. Благодаря этому появляется возможность поиска и генерации эффективных решений по управлению системой, а также выявления рисков и разработки стратегий их снижения.

В статье рассматривается предложенная авторами информационная технология поддержки когнитивного моделирования в управлении слабоструктурированными социально-экономическими системами, а также примеры ее применения при решении практических задач.

1. Структура и особенности представления когнитивной модели на основе нечетких когнитивных карт. В общем случае построение и анализ когнитивной модели предполагает решение следующих задач [9]:

1. Выявление множества факторов (концептов), характеризующих моделируемую систему и ее окружение.
2. Выявление причинно-следственных отношений, которые возникают между этими факторами в процессе функционирования и/или развития системы, а также влияний на систему со стороны внешних факторов.
3. Построение когнитивной карты системы в виде причинно-следственной сети, объединяющей факторы и отношения между ними.

4. Применение к построенной когнитивной карте методов аналитической обработки, направленных на исследование структуры причинно-следственных связей, выявление наиболее значимых факторов, циклов обратной связи и др., а также получение прогнозов развития ситуации при различных управляющих воздействиях на систему и возмущениях со стороны внешней среды.

В качестве математического аппарата, применяемого для представления когнитивных моделей и лежащего в основе методов их анализа, чаще всего используется нечеткая логика. Благодаря этому возник целый класс когнитивных моделей, основанный на так называемых нечетких когнитивных картах [5]. Одной из разновидностей нечетких когнитивных карт (НКК) являются так называемые НКК Силова, предложенные В.Б. Силовым в монографии [22]. Приведем более развернутое описание структуры когнитивной модели, основанной на НКК Силова, и общих принципов ее формального представления (описание частично базируется на материале работы [9]):

- Моделируемая система описывается конечным множеством концептов и причинно-следственных связей между ними.
- Концепты могут выражать как относительные (качественные), так и абсолютные (измеримые) характеристики системы.
- Когнитивная карта системы представляет собой взвешенный ориентированный граф, вершины которого соответствуют концептам, а дуги – причинно-следственным связям.
- С концептами связываются переменные состояния, которые могут принимать значения, выраженные в некоторой шкале, в пределах установленных ограничений.
- Причинно-следственные связи могут быть положительными или отрицательными. Увеличение значения переменной состояния концепта-причины приводит к увеличению значения переменной состояния концепта-следствия при положительной причинно-следственной связи, и к уменьшению этого значения при отрицательной.
- Причинно-следственные связи различаются по силе. Сила связи может быть постоянной либо переменной во времени. Чем она больше, тем сильнее изменение состояния концепта-причины влияет на состояние концепта-следствия.
- Среди концептов можно выделить: целевые (которые необходимо привести в заданное целевое состояние); управляемые (состояние которых поддается непосредственному управлению); наблюдаемые (состояние которых не может задаваться непосредственно, и определяется изменением состояний концептов-причин); внешние (состояние которых подвержено влиянию со стороны внешних факторов, не отраженных в модели).
- Текущее состояние системы описывается состояниями всех ее концептов.
- Исходное состояние системы задается вектором начальных состояний концептов.
- Существует некоторое целевое состояние, описываемое вектором состояний подмножества целевых концептов, в которое необходимо привести систему либо максимально к нему приблизиться.
- Под воздействием на концепт понимается допустимое изменение его состояния относительно текущего.
- Под управляющим воздействием на систему понимается вектор воздействий на подмножество управляемых концептов. Множество управляющих воздействий конечно,

поскольку число управляемых концептов конечно и обычно невелико, также ограничен диапазон возможных их значений и шаг изменения этих значений.

- Под внешним воздействием понимается вектор допустимых воздействий на подмножество внешних концептов.
- Сценарий описывает изменение состояния системы, вызванное управляющими и внешними воздействиями на нее.

Формализованное представление нечеткой когнитивной модели, основанное на перечисленных положениях, можно найти, например, в авторских работах [13, 18, 21].

К построенной когнитивной модели применяются два вида анализа: статический (или структурно-целевой) и динамический (или сценарный). В рамках структурно-целевого анализа решаются следующие задачи:

- Выявление концептов, оказывающих наибольшее влияние на целевые концепты и систему в целом, а также концептов, в наибольшей степени подверженных влиянию со стороны системы и других концептов. Это позволяет находить факторы, наиболее чувствительные по отношению к управляющим и внешним воздействиям, а также определять точки наиболее эффективного приложения управляющих воздействий.
- Выявление устойчивых подмножеств концептов, в совокупности оказывающих значительное влияние на систему в целом, что позволяет находить и исследовать комплексные управляющие воздействия, одновременно затрагивающие множество факторов.
- Нахождение циклов положительной и отрицательной обратной связи.

Сценарный анализ ориентирован на исследование сценариев развития системы и управления ею. Типовыми задачами сценарного анализа являются:

- моделирование сценариев саморазвития, т.е. сценариев поведения системы без вмешательства в нее извне либо при наличии только внешних воздействий;
- моделирование сценариев управляемого развития, т.е. сценариев поведения системы при различных управляющих воздействиях.

2 Информационная технология поддержки когнитивного моделирования слабоструктурированных систем. Для обеспечения программной поддержки когнитивного моделирования при управлении слабоструктурированными системами была разработана информационная технология, впервые предложенная и описанная в работе [18]. С течением времени данная технология совершенствовалась, в нее включались новые математические модели и методы построения и анализа когнитивных моделей. Схема предложенной технологии на текущем уровне ее развития показана на рис. 1.

В рамках этой технологии используется комплекс методов и алгоритмов, обеспечивающих реализацию ее основных этапов. Большинство методов являются авторскими. В табл. 1. приводится описание этапов технологии и реализующих эти этапы методов, со ссылками на источники, содержащими их подробное описание.

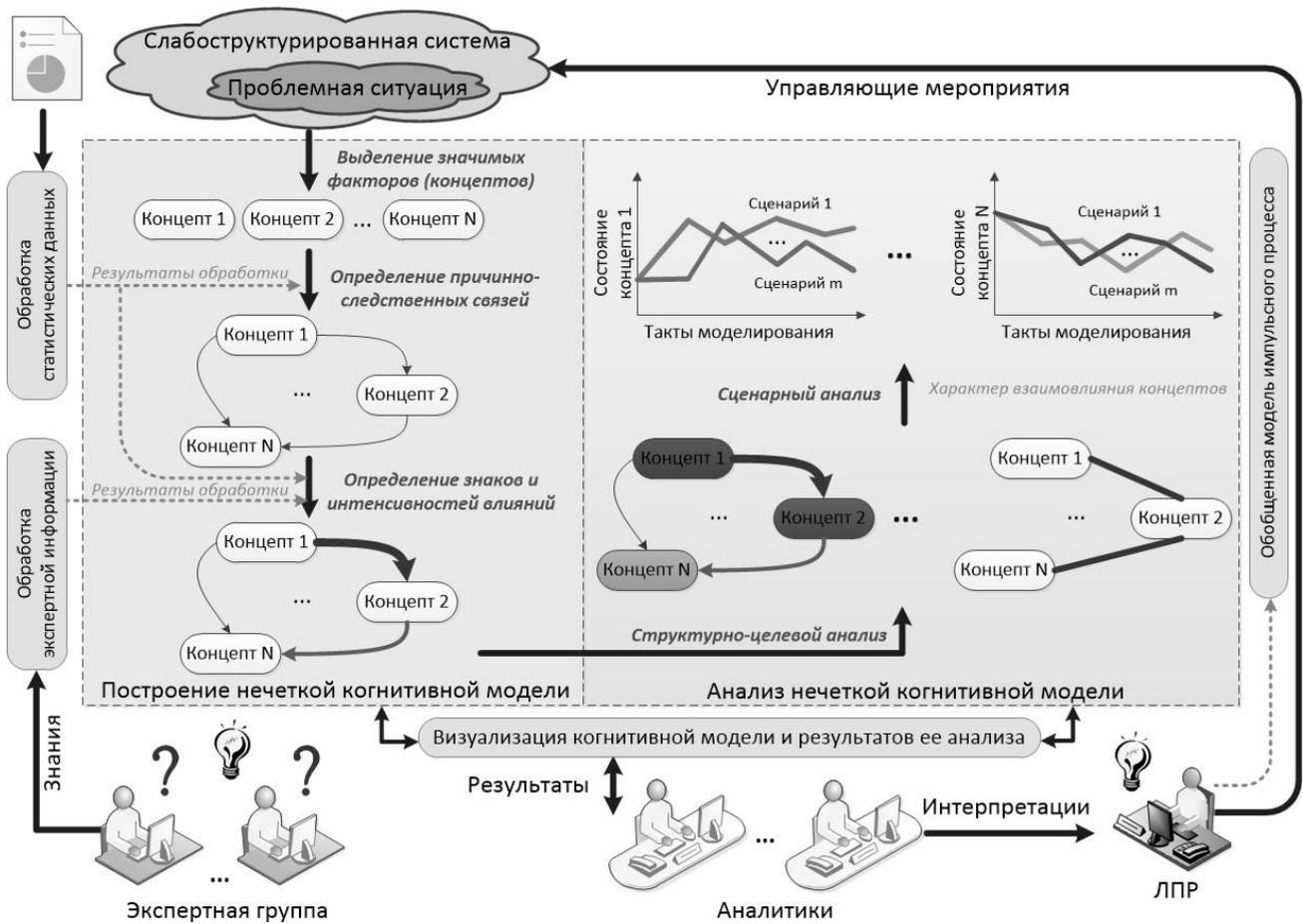


Рис. 1. Информационная технология поддержки когнитивного моделирования слабоструктурированных систем

Таблица 1. Реализация этапов технологии поддержки когнитивного моделирования

Этап когнитивного моделирования	Методы и алгоритмы, обеспечивающие реализацию этапа
Построение НКК	Методы и алгоритмы идентификации структуры и параметров когнитивной карты на основе совместного использования разнородных данных об исследуемой системе [17]
Структурно-целевой анализ НКК	Методы расчета системных показателей НКК и анализа альфа-срезов [13, 22]
Сценарный анализ НКК	Методы и алгоритмы прогнозирования состояния системы при различных воздействиях и поиска управляющих решений по приведению системы в целевое состояние [18, 19, 23]
Визуализация НКК	Методы и алгоритмы визуализации и интерактивного управления визуальным образом НКК [10, 16]

Предложенная информационная технология когнитивного моделирования и комплекс связанных с ней моделей, методов и алгоритмов построения, анализа и визуализации НКК

были реализованы в виде программной системы поддержки принятия решений «ИГЛА» (Интеллектуальный Генератор Лучших Альтернатив) [9].

3. Опыт применения когнитивного подхода в моделировании и управлении слабоструктурированными социально-экономическими системами. Разработанная информационная технология поддержки когнитивного моделирования и программная система «ИГЛА» применялись при построении и исследовании нечетких когнитивных моделей для ряда прикладных задач моделирования и управления слабоструктурированными социально-экономическими системами. Рассмотрим некоторые примеры задач.

3.1. Стратегическое управление инновационным механизмом предприятия

Согласно определению [11], инновационный механизм представляет собой «организационно-экономическую форму осуществления инновационной деятельности и способствования ее проведению, поиска инновационных решений, а также рычаг стимулирования и регулирования этой деятельности». В работе [8] было показано, что инновационный механизм относится к числу слабоструктурированных социально-экономических систем, и была построена его нечеткая когнитивная модель. Задачей моделирования являлся поиск управляющих воздействий на инновационный механизм предприятия с целью повышения объема продаж новой продукции и ее рентабельности, сокращения времени разработки новой продукции, а также повышения конкурентоспособности предприятия в целом. Исследование проводилось на примере машиностроительного предприятия ЗАО «Термотрон-Завод» (г. Брянск).

С помощью ведущих специалистов предприятия и экспертов в области управления инновациями был выявлен ряд факторов, оказывающих существенное влияние на инновационную деятельность предприятия и его инновационный потенциал. По итогам согласования мнений экспертов (основной целью которого являлось устранение двусмысленностей и повторений, а также согласование используемой экспертами терминологии) был составлен список из 19 концептов, которые, по характеру и уровню влияния, могут быть разделены на 4 группы: персонал, маркетинг, НИОКР, предприятие в целом. Для определения связей между концептами и задания их интенсивности использовались экспертные методы. Построенная когнитивная карта показана на рис. 2. Сплошные дуги соответствуют положительным влияниям, пунктирные – отрицательным.

По результатам *структурно-целевого анализа* когнитивной модели были выявлены концепты, в наибольшей степени оказывающие влияние на систему. В терминах предметной области, на инновационный потенциал предприятия положительно влияют факторы, которым соответствуют концепты «Интенсивность мотивационных мер», «Уровень предварительных маркетинговых исследований», «Усилия по продвижению новой продукции на рынок». Именно эти концепты целесообразно выбирать в качестве управляемых, поскольку воздействие руководства предприятия на соответствующие факторы может дать наибольший эффект для роста его инновационного потенциала.

Наибольшему положительному влиянию со стороны системы подвержены концепты «Горизонт планирования стратегии развития предприятия», «Инвестиционная привлекательность», «Конкурентоспособность предприятия», «Резерв ресурсов», «Рентабельность новой продукции». Исходя из этого, с достаточно высокой достоверностью можно предположить, что путем контроля состояния соответствующих факторов можно предотвратить отрицательное воздействие на систему извне. При этом, если руководство

предприятия намерено оказывать долговременное управляющее воздействие на эти факторы, ему следует делать акцент на влияние опосредованное, через систему, путем воздействия на концепты, выбранные в качестве управляемых. В частности, на рентабельность новой продукции невозможно влиять напрямую, однако данный показатель зависит от таких факторов, как маркетинговые усилия, мотивация персонала и т.п.

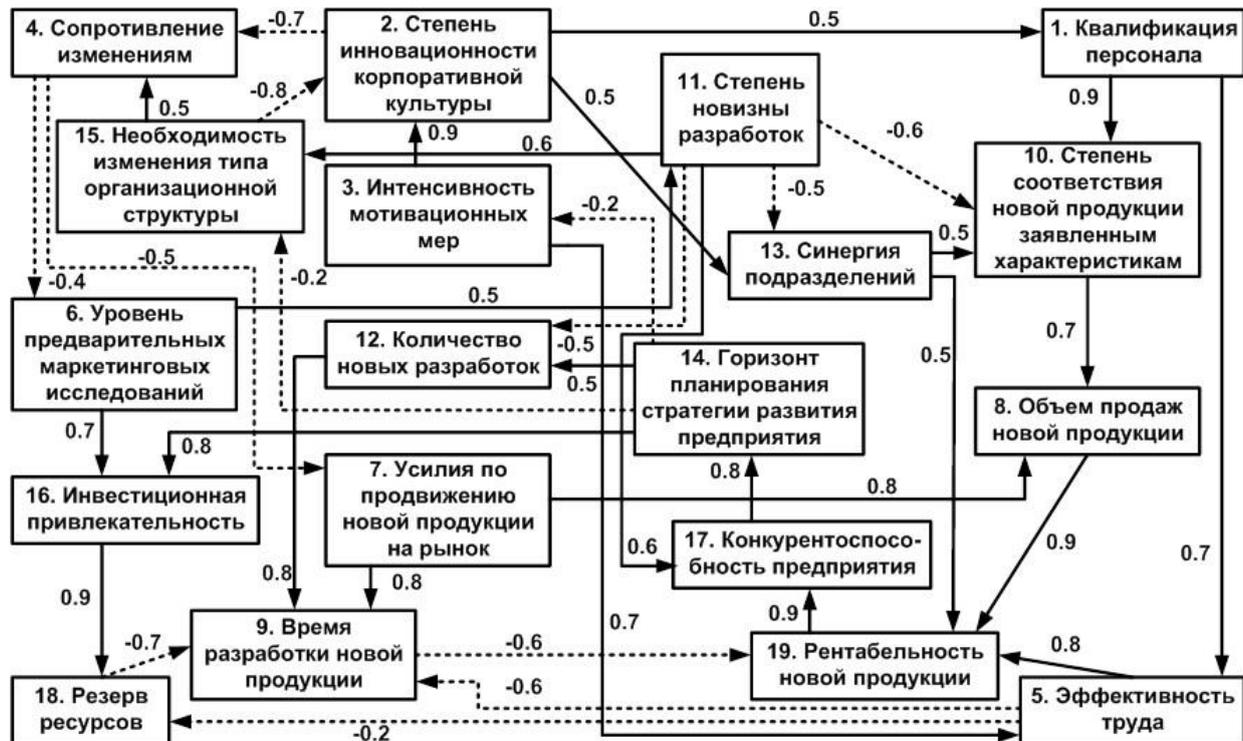


Рис. 2. Нечеткая когнитивная карта инновационного механизма предприятия (источник: [8])

Аналогично, в результате выявления концептов, оказывающих отрицательное влияние на систему в целом, а также концептов, подверженных отрицательному влиянию со стороны системы, был также сделан ряд выводов. В частности, ускорению инновационных процессов на предприятии будут способствовать такие меры, как противодействие росту сопротивления изменениям, сокращение сроков разработки новой продукции, а также постоянный мониторинг технологических и рыночных новшеств.

Кроме того, было обнаружено, что концепты «Степень инновационности корпоративной культуры» и «Время разработки новой продукции» присутствуют одновременно в узлах положительных и отрицательных взаимовлияний. Это позволяет предположить, что управляющее воздействие со стороны руководства на данные факторы целесообразно, но требует осторожности, поскольку ошибочные решения могут привести к ощутимым негативным последствиям для инновационного механизма предприятия в целом.

В ходе сценарного анализа когнитивной модели моделировались различные стратегии управления инновационным механизмом, и исследовалась динамика состояния целевых показателей при тех или иных управляющих воздействиях. В качестве целевых были выбраны концепты «Объем продаж новой продукции», «Время разработки новой продукции», «Степень соответствия новой продукции заявленным характеристикам»,

«Конкурентоспособность предприятия», «Рентабельность новой продукции». Моделировались следующие сценарии:

- оказание управляющего воздействия на один управляемый концепт (соответствует ситуации, когда руководство предприятия вкладывает основной ресурс только в один выбранный фактор, например, только в стимулирование мотивации сотрудников либо только в проведение предварительных маркетинговых исследований);
- оказание комплексного воздействия на некоторое подмножество либо на все управляемые концепты.

Пример представления результатов сценарного анализа показан на рис. 3. Ось абсцисс соответствует условному модельному времени (деления соответствуют тактам моделирования). Каждый график соответствует некоторой альтернативе, т.е. вектору управляющих воздействий на концепты, выбранные в качестве управляемых.

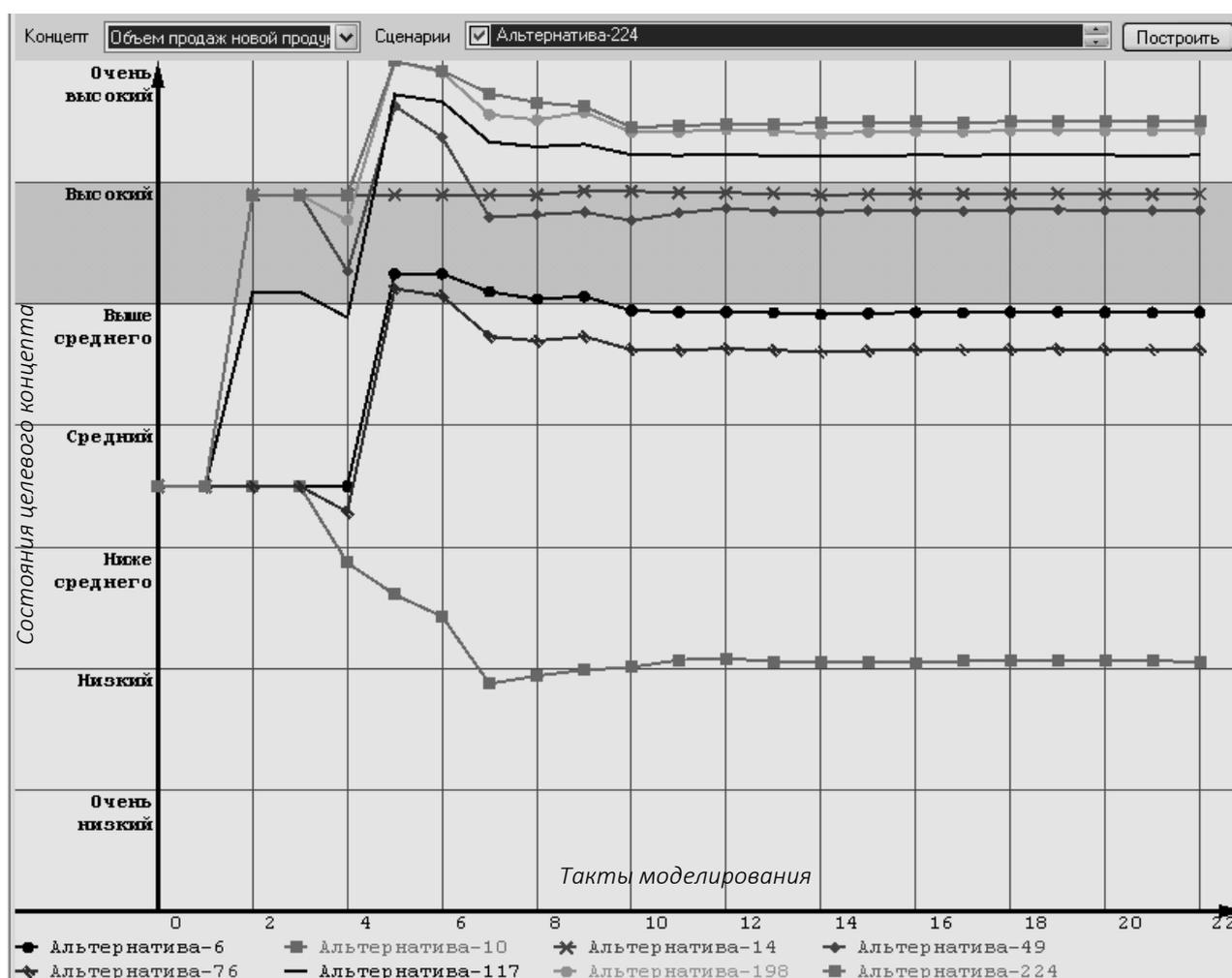


Рис. 3. Динамика изменения состояния целевого концепта «Объем продаж новой продукции» при различных воздействиях на управляемые концепты (источник: [8])

В результате сценарного анализа удалось выявить наиболее эффективные стратегии управления инновационным механизмом предприятия, которые способны в динамике обеспечить желаемые состояния большинства целевых факторов. Вместе с тем, по причине противоречивости поставленной цели (повышение объема продаж новой продукции, ее

рентабельности и степени соответствия заявленным характеристикам, при одновременном сокращении времени ее разработки), применение каждого сценария обеспечивает желаемые результаты лишь для некоторых целевых концептов. Например, усиление мотивационных мер наилучшим образом влияет на повышение объема продаж и рентабельности новой продукции, но в части сокращения сроков разработки новой продукции данная стратегия уступает такому решению, как увеличение объема предварительных маркетинговых исследований. Также результаты моделирования комплексных сценариев показали, что при попытке одновременно воздействовать на все управляемые факторы происходит распыление ресурсов, и результаты оказываются посредственными для всех целевых показателей.

3.2. Моделирование стратегий управления комплексным развитием сельских территорий. Исследование проводилось авторами совместно со специалистами ФГБНУ «Федеральный Ростовский аграрный научный центр», которые выступали в роли заказчиков исследования и экспертов соответствующей предметной области. Целью исследования являлось прогнозирование развития сельских территорий при различных начальных тенденциях и управляющих воздействиях, а также поиск эффективных управленческих решений для обеспечения их устойчивого развития [21].

Определение списка ключевых факторов, влияющих на развитие сельских территорий, выполнялось с привлечением группы экспертов, в результате чего были отобраны 11 наиболее значимых факторов взятых за основу для формирования множества концептов когнитивной модели. С предметной точки зрения, эти концепты можно разделить на 4 блока:

Институциональный блок:

- 1) развитие рыночной инфраструктуры (налоговая, кредитная, бюджетная, инновационная политика);
- 2) развитие сельского самоуправления.

Социально-демографический блок:

- 1) среднегодовая численность населения;
- 2) уровень безработицы;
- 3) развитие социальной сферы.

Экономический блок:

- 1) доходы на душу населения;
- 2) производство сельскохозяйственной продукции;
- 3) развитие малого и среднего предпринимательства;
- 4) инвестиции в основной капитал;
- 5) уровень диверсификации экономики.

Экологический блок

- 1) негативное воздействие на окружающую природную среду.

При построении когнитивной карты авторами была впервые применена новая авторская методика идентификации структуры и параметров нечеткой когнитивной модели, основанная на совместном использовании экспертной и статистической информации [17, 20]. В качестве последней использовались данные Росстата. Построенная когнитивная карта показана на рис 4. Толщина дуг пропорциональна интенсивности влияний между концептами, при этом светлый оттенок дуги соответствует положительному влиянию, а темный – отрицательному.

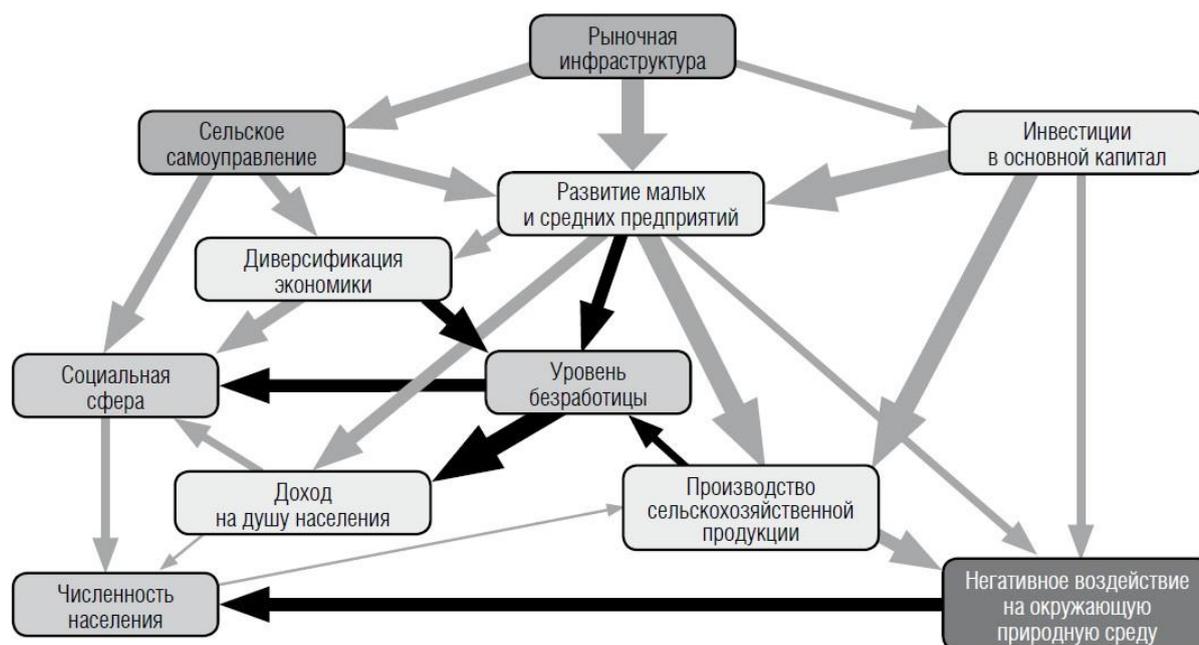


Рис. 4. Нечеткая когнитивная карта для модели управления комплексным развитием сельских территорий (источник: [20])

В результате структурно-целевого анализа построенной когнитивной карты было выявлено, что наиболее существенное положительное влияние на развитие сельских территорий оказывают такие факторы, как «Развитие рыночной инфраструктуры», «Развитие сельского самоуправления» и «Инвестиции в основной капитал». Таким образом, управляющие воздействия следует в первую очередь оказывать на эти факторы, т.е. выбирать соответствующие концепты в качестве управляемых. В свою очередь, наибольшее отрицательное влияние на систему оказывает фактор «Уровень безработицы», при этом он также влияет на целевые факторы «Доход на душу населения» и «Развитие социальной сферы», что свидетельствует о необходимости его контроля при моделировании управляющих воздействий.

Также было замечено, что значение консонанса влияния концептов на систему в большинстве случаев превышало 0,9, что свидетельствует о высоком уровне доверия к знаку и интенсивности указанных влияний.

Было сформулировано желаемое целевое состояние моделируемой системы: «Проживание в сельских населенных пунктах должно обеспечивать гражданам получение стабильно высокого уровня доходов и доступность социальных благ» [21]. Соответственно, в качестве целевых были выбраны концепты «Доход на душу населения» и «Развитие социальной сферы». В рамках сценарного анализа моделировались сценарий саморазвития системы (т.е. при отсутствии вмешательства в протекающие в ней процессы), а также ряд сценариев ее управляемого развития. На рис. 5 показана динамика изменения состояния целевого концепта «Доход на душу населения» в результате реализации различных сценариев.

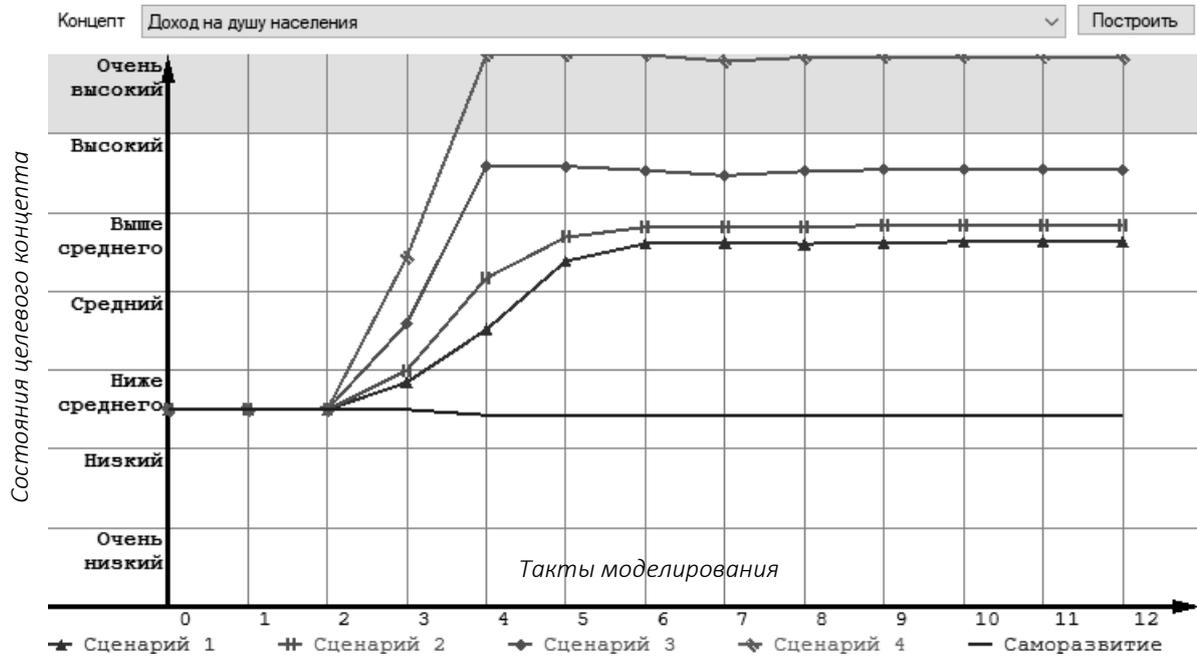


Рис. 5. Динамика состояний концепта «Доход на душу населения» при реализации различных сценариев (источник: [21])

Результаты сценарного анализа показали, что при отсутствии управляющих воздействий (сценарий саморазвития) основные тенденции, характерные для социально-экономических процессов сельских территорий в настоящее время, сохраняются и в последующие периоды времени. При реализации «умеренно-оптимистических» сценариев, когда воздействие оказывается только на один из трех управляемых концептов, динамика развития целевых факторов становится положительной, однако достичь целевых показателей не удастся даже в отдаленной перспективе. Наконец, «оптимистический» сценарий, когда управляющее воздействие оказывается одновременно на все управляемые концепты, не только обеспечивает положительную динамику развития целевых факторов, но и позволяет достичь их желаемого уровня. Вместе с тем, при реализации данного сценария угрозой развитию системы является ухудшение экологической обстановки, что потребует дополнительных решений по предотвращению негативного влияния развития производства на окружающую среду.

3.3. Анализ и планирование программных проектов. В качестве исходных данных для построения когнитивной модели программного проекта была взята системная модель «Пирамида программного проекта», описанная в работе [6]. Была рассмотрена одна из граней пирамиды, и на ее основе построена нечеткая когнитивная модель, учитывающая ресурсы проекта и точку зрения правообладателей [19]. На рис. 6 показано представление результатов структурно-целевого анализа данной модели в системе «ИГЛА». Степень насыщенности заливки концептов определяет влияние соответствующих факторов на систему. Так, наибольшее влияние на результаты реализации проекта оказывают такие факторы, как «Объем требований заказчика» и «Сложность технического задания». Результаты структурно-целевого анализа послужили исходными данными для поиска и исследования стратегий управления с помощью сценарного анализа. В качестве целевых

были выбраны концепты «Ценность ПП с точки зрения пользователей» и «Количество доработок на стадии внедрения».



Рис. 6. Представление когнитивной карты анализа и планирования программных проектов в системе «ИГЛА» (источник когнитивной карты: [19])

Для данного исследования была впервые использована авторская модифицированная модель сценарного анализа [23], что позволило повысить гибкость сценарного анализа и достоверность получаемых на его основе результатов. В частности, количество найденных эффективных сценариев развития моделируемой системы увеличилось в 3 раза, по сравнению с использованием стандартной модели импульсного процесса. Результаты динамического моделирования некоторых сценариев показаны на рис. 7.

По итогам сценарного анализа был сделан вывод, что если в момент описания предметной области программного проекта определены все источники требований (выделены заинтересованные лица, операционное окружение и организационная среда программного проекта), извлечены и проанализированы все полученные требования, обнаружены и разрешены конфликты между ними, все разделы технического задания полностью описаны и соответствуют требованиям стандартов, а также подготовлен и согласован технический проект, то можно ожидать следующие результаты [19]:

- на этапе внедрения программного продукта придется осуществлять лишь незначительные его доработки вследствие низкой вероятности появления изменений в требованиях;
- хорошо проработанные и полностью описанные требования позволят упростить процессы разработки и тестирования программного продукта, обеспечить его высокое качество, повысить ценность продукта с точки зрения пользователей (в том числе в соотношении с его стоимостью), а также избежать ситуаций, связанных как с невыполнением каких-либо требований, так и с реализацией избыточных функций.

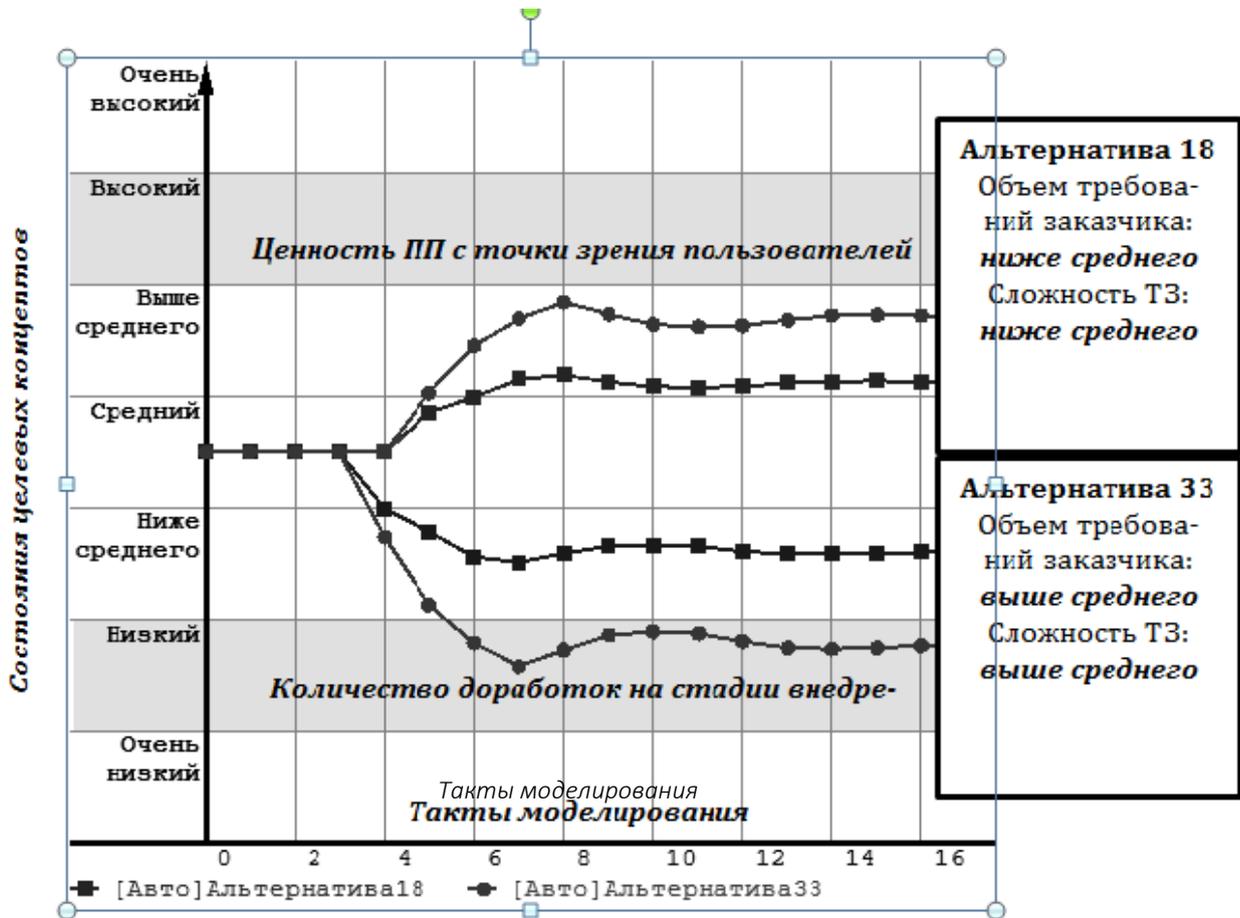


Рис. 7. Некоторые результаты сценарного анализа нечеткой когнитивной модели программного проекта (источник: [19])

Предложенная модель позволяет уже на начальном этапе разработки программного проекта оценить тенденции, связанные с выбором и реализацией того или иного решения, и выявить факторы, оказывающие наибольшее влияние на результаты. В частности, применение данной модели может быть актуальным при анализе портфелей проектов, поскольку позволяет снизить риски старта «неблагоприятных» проектов, а также на этапе планирования работ проекта, т.к. позволяет спрогнозировать их ход.

Помимо этого, разработанная информационная технология поддержки когнитивного моделирования и программная система «ИГЛА» в разное время применялись при решении следующих задач анализа и моделирования слабоструктурированных организационно-технических и социально-экономических систем:

- Моделирование стратегий управления научным потенциалом региона (на примере Брянской области) [2]. Построена когнитивная модель управления научным потенциалом, на основе которой выполнено прогнозирование региональной потребности в кадрах высшей научной квалификации, а также анализ и моделирование стратегий повышения их численности.
- Управление качеством в сварочном производстве [24]. Построена когнитивная модель процесса сварочного производства (при участии специалистов ФГУП ЦНИИ КМ «Прометей»), на основе которой выполнено моделирование стратегий выбора прочностных характеристик металла шва для совершенствования состава покрытия

сварочных электродов. При построении когнитивной модели принимался во внимание тот факт, что качество и прочность сварного соединения определяются не только параметрами сварочного материала, но и целым рядом других факторов, среди которых общетехнический уровень сварочного производства, средняя заработная плата сварщиков, качество проектной и нормативной документации, уровень аттестации, сертификации и контроля качества. Использование результатов моделирования позволило сократить объем экспериментов в 5-8 раз за счет успешного прогнозирования результатов испытаний.

- Моделирование трудноформализуемых задач организации производства [13]. Были построены и исследованы нечеткие когнитивные модели принятия концептуальных решений на ранних стадиях проектирования оснастки: оценка целесообразности использования модульных пресс-форм и выбор технологии изготовления штампованного изделия.

Известны и другие примеры применения системы «ИГЛА» для моделирования социально-экономических систем, в частности:

- управление инновационной деятельностью вуза (на примере Брянского государственного технического университета) [7];
- моделирование стратегий управления экономическим ростом сельскохозяйственной отрасли [3, 4, 12];
- моделирование тенденций и закономерностей трудовой деятельности в России [15].

Заключение. В статье представлена информационная технология поддержки когнитивного моделирования слабоструктурированных систем, основанная на использовании нечетких когнитивных карт Силова, хорошо зарекомендовавших себя в практических приложениях. Описан опыт применения указанной технологии и входящих в ее состав методов и алгоритмов построения и анализа нечетких когнитивных моделей при решении практических задач исследования стратегий управления социально-экономическими системами, среди которых:

- стратегическое управление инновационным механизмом предприятия;
- моделирование стратегий управления развитием сельских территорий;
- анализ и планирование программных проектов.

Применение разработанной информационной технологии поддержки когнитивного моделирования и программной системы «ИГЛА», реализующей данную технологию, в этих и ряде других задач исследования стратегий управления социально-экономическими системами позволило: сократить трудоемкость разработки и обоснования решений, повысить уровень их оперативности при одновременном снижении объема используемых вычислительных ресурсов, а также обеспечить возможность нахождения неочевидных для аналитиков стратегий и сценариев управления.

В целом применение когнитивного подхода в моделировании слабоструктурированных социально-экономических систем и управлении такими системами позволяет обнаруживать скрытые взаимосвязи между факторами, положительно и отрицательно влияющими на динамику функционирования и развития таких систем, выявлять факторы, не оказывающие какого-либо заметного влияния, а также находить точки

наиболее эффективного приложения управляющих воздействий. Это позволяет уже на ранних стадиях анализа систем оценивать последствия тех или иных управленческих решений и возможные риски реализации различных стратегий управления.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, проект № 19-07-00844.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Авдеева З.К., Коврига С.В., Макаренко Д.И. Когнитивное моделирование для решения задач управления слабоструктурированными системами (ситуациями) // Управление большими системами. 2007. Вып. 16. С. 26-39.
2. Аверченков В.И., Кожухар В.М., Подвесовский А.Г., Сазонова А.С. Мониторинг и прогнозирование региональной потребности в специалистах высшей научной квалификации. Брянск: БГТУ. 2010. 163 с.
3. Анохина М.Е. Моделирование стратегии управления экономическим ростом сельского хозяйства // Экономика сельскохозяйственных и перерабатывающих предприятий. 2019. Часть 1. № 2. С. 23-34.
4. Анохина М.Е. Моделирование стратегии управления экономическим ростом сельского хозяйства. Часть 2 // Экономика сельскохозяйственных и перерабатывающих предприятий. 2019. № 3. С. 50-53.
5. Борисов В.В., Круглов В.В., Федулов А.С. Нечеткие модели и сети. М.: Горячая линия -Телеком. 2012. 284 с.
6. Гвоздев В.Е., Ильясов Б.Г. Пирамида программного проекта // Программная инженерия. 2011. № 1. С. 16-24.
7. Горленко О.А., Лагереv Д.Г., Мирошников В.В., Чистоклетов Н.Ю. Методологические основы управления инновационной деятельностью вуза на основе когнитивных моделей. Брянск: БГТУ. 2009. 127 с.
8. Ерохин Д.В., Лагереv Д.Г., Ларичева Е.А., Подвесовский А.Г. Стратегическое управление инновационной деятельностью предприятия. Брянск: БГТУ. 2010. 196 с.
9. Захарова А.А., Подвесовский А.Г., Исаев Р.А. Математическое и программное обеспечение поддержки когнитивного моделирования слабоструктурированных организационно-технических систем // Междунар. конф. СРТ2019. Нижний Новгород: Изд-во ННГАСУ и НИЦФТИ. 2019. С. 131-141.
10. Захарова А.А., Подвесовский А.Г., Лагереv Д.Г. Визуальная аналитика и когнитивные методы для обработки и анализа гетерогенных данных мультисенсорных систем: проблемы и тенденции // Информационные и математические технологии в науке и управлении. 2019. № 4 (16). С. 60-74.
11. Колоколов В.А. Инновационные механизмы функционирования предпринимательских структур // Менеджмент в России и за рубежом. 2002. № 1. С. 95- 104.
12. Кондрашина О.Н., Анохина М.Е. Использование нечетких когнитивных карт в оценке качества экономического роста отдельной отрасли // Экономика и предпринимательство. 2017. № 5-1. С. 896-899.

13. Копелиович Д.И., Подвесовский А.Г., Сафонов А.Л., Вилюха А.В., Исаев Р.А. Применение нечетких когнитивных моделей в автоматизации проектирования технологической оснастки // Вестник компьютерных и информационных технологий. 2018. № 3. С.20-35.
14. Кулинич А.А. Ситуационный, когнитивный и семиотический подходы к принятию решений в организациях // Открытое образование. 2016. Т. 20. № 6. С. 9-17.
15. Мельник М.С., Орехов В.Д., Причина О.С. Моделирование тенденций и закономерностей трудовой деятельности в России: когнитивный подход // Проблемы экономики и юридической практики. 2018. № 3. С. 94-101.
16. Подвесовский А.Г., Исаев Р.А. Метафоры визуализации нечетких когнитивных карт // Научная визуализация. 2018. Т. 10. № 4. С. 13-29.
17. Подвесовский А.Г., Исаев Р.А. Идентификация структуры и параметров нечетких когнитивных моделей: экспертные и статистические методы // International Journal of Open Information Technologies. 2019. Т. 7. № 6. С. 35-61.
18. Подвесовский А.Г., Лагерев Д.Г., Коростелев Д.А. Применение нечетких когнитивных моделей для формирования множества альтернатив в задачах принятия решений // Вестник Брянского государственного технического университета. 2009. № 4 (24). С. 77-84.
19. Подвесовский А.Г., Титарев Д.В., Исаев Р.А. Нечеткие когнитивные модели в задачах анализа и планирования программных проектов // Вестник компьютерных и информационных технологий. 2019. № 8. С. 22-31.
20. Подгорская С.В., Подвесовский А.Г., Исаев Р.А., Антонова Н.И. Построение нечетких когнитивных моделей социально-экономических систем на примере модели управления комплексным развитием сельских территорий // Бизнес-информатика. 2019. Т. 13. № 3. С. 7–19.
21. Подгорская С.В., Подвесовский А.Г., Исаев Р.А., Тарасов А.С., Бахматова Г.А. Моделирование сценарного развития сельских территорий на основе нечеткой когнитивной модели // Проблемы управления. 2019. № 5. С. 49-59.
22. Силов В.Б. Принятие стратегических решений в нечеткой обстановке. М.: ИНПРО-РЕС. 1995. 228 с.
23. Isaev R.A., Podvesovskii A.G. Generalized Model of Pulse Process for Dynamic Analysis of Sylov's Fuzzy Cognitive Maps // CEUR Workshop Proceedings of the Mathematical Modeling Session at the International Conference Information Technology and Nanotechnology (MM-ITNT 2017). Vol. 1904. Pp. 57-63.
24. Podvesovskii A.G., Gulakov K.V. , Dergachyov K.V., Korostelyov D.A., Lagerev D.G. The choice of parameters of welding materials on the basis of fuzzy cognitive model with neural network identification of nonlinear dependence // Proceedings of 2015 International Conference on Mechanical Engineering, Automation and Control Systems (MEACS). IEEE Catalog Number: CFP1561Y-ART. Pp. 02-38-NSAP.

FUZZY COGNITIVE MODELS IN MANAGEMENT OF SEMI-STRUCTURED SOCIO-ECONOMIC SYSTEMS

Alena A. Zakharova

Dr. Tech. Sc., Professor of Informatics and Software Engineering Department

e-mail: zaa@tu-bryansk.ru

ORCID: 0000-0003-4221-7710,

Aleksandr G. Podvesovskii

Cand. Tech. Sc., Head of Informatics and Software Engineering Department

e-mail: apodv@tu-bryansk.ru

ORCID: 0000-0002-1118-3266,

Ruslan A. Isaev

Assistant Lecturer of Informatics and Software Engineering Department,

e-mail: ruslan-isaev-32@yandex.ru

ORCID: 0000-0003-3263-4051,

Bryansk State Technical University

50 let Oktyabrya blvd., 241035, Bryansk, Russia

Abstract. The article deals with the problems of modeling semi-structured socio-economic systems based on the use of the cognitive approach. The original information technology for supporting the cognitive modeling of such systems based on the use of fuzzy cognitive maps is proposed. The experience of using the proposed technology and the software system that implements it in solving a number of practical problems of researching strategies for managing socio-economic systems is described.

Keywords: management of socio-economic systems, semi-structured system, cognitive model, fuzzy cognitive map, structure-and-target analysis, scenario analysis.

References

1. Avdeeva Z.K., Kovriga S.V., Makarenko D.I. Kognitivnoe modelirovanie dlja reshenija zadach upravlenija slabostrukturirovannymi sistemami (situacijami) [Cognitive Modeling for Solving Problems of Control of Semi-structured Systems (Situations)] // Upravlenie bol'shimi sistemami = Large Systems Control. 2007. Issue 16. Pp. 26-39 (in Russian).
2. Averchenkov V.I., Kozhukhar V.M., Podvesovskii A.G., Sazonova A.S. Monitoring i prognozirovanie regional'noj potrebnosti v specialistah vysshej nauchnoj kvalifikacii [Monitoring and Forecasting of Regional Demand for Specialists of the Higher Scientific Qualification] Bryansk: Bryanskiy gosudarstvennyy universitet=Bryansk: Bryansk State Technical University. 2010. 163 p. (in Russian).
3. Anokhina M.E. Modelirovanie strategii upravlenija jekonomicheskim rostom sel'skogo hozjajstva [Modeling Strategy for Management of Economic Growth of Agriculture] // Jekonomika sel'skohozjajstvennyh i pererabatyvajushhih predpriyatij = Economy of agricultural and processing enterprises. 2019. Part 1. № 2. Pp. 23-34 (in Russian).

4. Anokhina M.E. Modelirovanie strategii upravlenija jekonomicheskim rostom sel'skogo hozjajstva [Modeling Strategy for Management of Economic Growth of Agriculture] // *Jekonomika sel'skhozjajstvennyh i pererabatyvajushhijh predpriyatij = Economy of agricultural and processing enterprises*. 2019. Part 2. № 3. Pp. 50-53 (in Russian).
5. Borisov V.V., Kruglov V.V., Fedulov A.S. Nechetkie modeli i seti [Fuzzy Models and Networks]. M.: Goryachaya Liniya–Telekom = Hot Line–Telecom. 2012. 284 p. (in Russian).
6. Gvozdev V.E., Ilyasov B.G. Piramida programmnoho projekta [Software project pyramid] // *Programmnaia inzhenerija = Software Engineering*. 2011. № 1. Pp. 16-24 (in Russian).
7. Gorlenko O.A., Lagerev D.G., Miroshnikov V.V., Chistokletov N.Yu. Metodologicheskie osnovy upravlenija innovacionnoj dejatel'nost'ju vuza na osnove kognitivnyh modelej [Methodological foundations of university innovation management based on cognitive models]. Bryansk: Bryanskiy gosudarstvennyy universitet=Bryansk: Bryansk State Technical University. 2009. 127 p. (in Russian).
8. Erokhin D.V., Lagerev D.G., Laricheva E.A., Podvesovskii A.G. Strategicheskoe upravlenie innovacionnoj dejatel'nost'ju predpriyatija [Strategic Management of Innovation Activity of Enterprise]. Bryansk: Bryanskiy gosudarstvennyy universitet=Bryansk: Bryansk State Technical University. 2010. 196 p. (in Russian).
9. Zakharova A.A., Podvesovskii A.G., Isaev R.A. Matematicheskoe i programmnoe obespechenie podderzhki kognitivnogo modelirovanija slabostrukturirovannyh organizacionno-tehnicheskijh system [Mathematical and Software Support for Cognitive Modeling of Semi-structured Organizational and Technical Systems]. In: CPT2019 International Conference Proceedings. Pub. NNGASU and SRCIPT. Nizhniy Novgorod. 2019. Pp. 131-141 (in Russian).
10. Zakharova A.A., Podvesovskii A.G., Lagerev D.G. Vizual'naja analitika i kognitivnye metody dlja obrabotki i analiza geterogennyh dannyh mul'tisensornyh sistem: problemy i tendencii [Visual analytics and cognitive methods for processing and analysis of heterogeneous data in multi-sensor systems: issues and trends] // *Informacionnye i matematicheskie tehnologii v nauke i upravlenii = Information and mathematical technologies in science and management*. 2019. № 4 (16). Pp. 60-74 (in Russian).
11. Kolokolov V.A. Innovacionnye mehanizmy funkcionirovanija predprinimatel'skijh struktur [Innovative mechanisms for the functioning of entrepreneurial structures] // *Menedzhment v Rossii i za rubezhom = Management in Rissia and Abroad*. 2002. № 1. Pp. 95-104 (in Russian).
12. Kondrashina O.N., Anokhina M.E. Ispol'zovanie nechetkijh kognitivnyh kart v ocnke kachestva jekonomicheskogo rosta otdel'noj otrasli [Using of Fuzzy Cognitive Maps in Quality Assessment of Economic Growth of Separate Sector] // *Jekonomika i predprinimatel'stvo = Journal of Economy and entrepreneurship*. 2017. № 5-1. Pp. 896-899 (in Russian).
13. Kopeliovich D.I., Podvesovskii A.G., Safonov A.L., Vilyukha A.V., Isaev R.A. Primenenie nechetkijh kognitivnyh modelej v avtomatizacii proektirovaniya tekhnologicheskoih osnastki [Application of Fuzzy Cognitive Models in Computer-Aided Production Tooling Design] // *Vestnik komp'yuternyh i informacionnyh tekhnologij = Herald of Computer and Information Technologies*. 2018. № 3. Pp. 20-35 (in Russian).
14. Kulinich A.A. Situacionnyj, kognitivnyj i semioticheskij podhody k prinjatiju reshenij v organizacijah [Contingency, cognitive and semiotic approaches to decision-making in the

- organizations] // *Otkrytoe obrazovanie = Open Education*. 2016. Vol. 20. № 6. Pp. 9-17 (in Russian).
15. Mel'nik M.S., Orekhov V.D., Prichina O.S. Modelirovanie tendencij i zakonomernostej trudovoj dejatel'nosti v Rossii: kognitivnyj podhod [Simulation of Trends and Legislation of Labor Activities in Russia: Cognitive Approach] // *Problemy jekonomiki i juridicheskoj praktiki = Economic problems and legal practice*. 2018. № 3. Pp. 94-101 (in Russian).
16. Podvesovskii A.G., Isaev R.A. Visualization metaphors for fuzzy cognitive maps // *Scientific Visualization*. 2018. Vol. 10. № 4. Pp. 13-29.
17. Podvesovskii A.G., Isaev R.A. Identifikacija struktury i parametrov nechetkih kognitivnyh modelej: jekspert-nye i statisticheskie metody [Identification of structure and parameters of fuzzy cognitive models: expert and statistical methods] // *International Journal of Open Information Technologies*. 2019. Vol. 7. № 6. Pp. 35-61 (in Russian).
18. Podvesovskii A.G., Lagerev D.G., Korostelyov D.A. Primenenie nechetkih kognitivnyh modelej dlja formirovanija mnozhestva al'ternativ v zadachah prinjatija reshenij Применение нечетких когнитивных моделей для формирования множества альтернатив в задачах принятия решений [Application of fuzzy cognitive models to form a set of alternatives in decision-making problems] // *Vestnik Brjanskogo gosudarstvennogo tehničeskogo universiteta = Bulletin of Bryansk State Technical University*. 2009. № 4 (24). Pp. 77-84 (in Russian).
19. Podvesovskii A.G., Titarev D.V., Isaev R.A. Nechetkie kognitivnye modeli v zadachah analiza i planirovanija programmnyh proektov [Fuzzy cognitive models in software projects analysis and planning] // *Vestnik komp'juternyx i informacionnykh tekhnologii = Herald of computer and information technologies*. 2019. № 8. Pp. 22-31 (in Russian).
20. Podgorskaya S.V., Podvesovskii A.G., Isaev R.A., Antonova N.I. Fuzzy cognitive models for socio-economic systems as applied to a management model for integrated development of rural areas // *Business Informatics*. 2019. Vol. 13. № 3. Pp. 7-19.
21. Podgorskaya S.V., Podvesovskii A.G., Isaev R.A., Tarasov A.S., Bakhmatova G.A. Modelirovanie scenarnogo razvitija sel'skih territorij na osnove nechetkoj kognitivnoj modeli [Modeling of Scenario Development of Rural Territories Based on Fuzzy Cognitive Model] // *Problemy upravlenija = Control Sciences*. 2019. № 5. Pp. 49-59.
22. Sylov V.B. Prinyatie strategicheskikh reshenij v nechetkoj obstanovke [Strategical Decision Making in Fuzzy Environment]. Moscow: INPRO-RES. 1995. 228 p. (in Russian).
23. Isaev R.A., Podvesovskii A.G. Generalized Model of Pulse Process for Dynamic Analysis of Sylov's Fuzzy Cognitive Maps // *CEUR Workshop Proceedings of the Mathematical Modeling Session at the International Conference Information Technology and Nanotechnology (MM-ITNT 2017)*. Vol. 1904. Pp. 57-63.
24. Podvesovskii A.G., Gulakov K.V., Dergachyov K.V., Korostelyov D.A., Lagerev D.G. The choice of parameters of welding materials on the basis of fuzzy cognitive model with neural network identification of nonlinear dependence // *Proceedings of 2015 International Conference on Mechanical Engineering, Automation and Control Systems (MEACS)*. IEEE Catalog Number: CFP1561Y-ART. Pp. 02-38-NSAP.