

Построение нечетких когнитивных моделей социально-экономических систем на примере модели управления комплексным развитием сельских территорий

С.В. Подгорская^a 

E-mail: svetlana.podgorskaya@gmail.com

А.Г. Подвесовский^b 

E-mail: apodv@tu-bryansk.ru

Р.А. Исаев^b 

E-mail: Ruslan-Isaev-32@yandex.ru

Н.И. Антонова^a 

E-mail: antonova_nadezhda@bk.ru

^a Федеральный Ростовский аграрный научный центр
Адрес: 344006, г. Ростов-на-Дону, пр. Соколова, д. 52

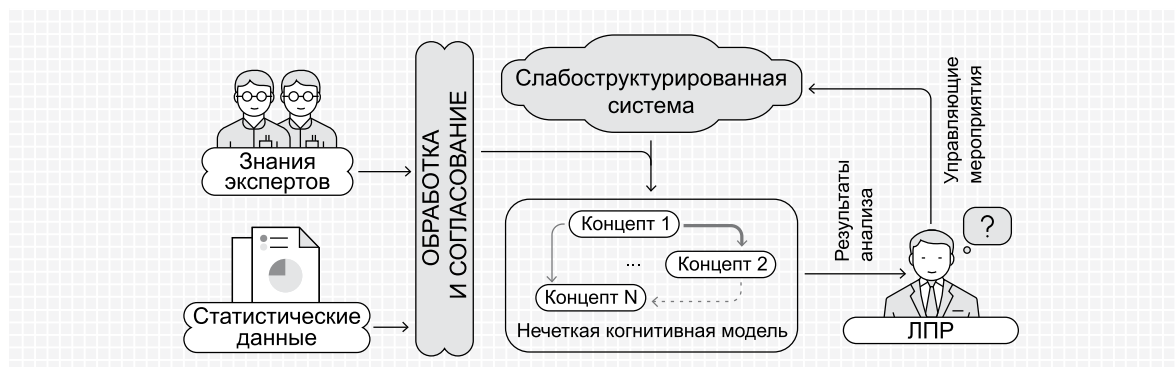
^b Брянский государственный технический университет
Адрес: 241035, г. Брянск, бульвар 50 лет Октября, д. 7

Аннотация

В работе рассматривается нечеткое когнитивное моделирование как эффективное средство исследования слабоструктурированных социально-экономических систем. Основное внимание уделяется процессу построения (идентификации) нечетких когнитивных моделей как наиболее сложному и ответственному этапу когнитивного моделирования. Приведена классификация существующих методов идентификации: в соответствии с источником используемой информации, они подразделены на экспертные и статистические. Отмечается, что при построении нечетких когнитивных моделей слабоструктурированных систем типичной является ситуация, при которой в составе исследуемой системы одновременно имеются как количественные (измеримые) факторы, так и факторы относительной, качественной природы. При этом могут иметься в наличии статистические данные, описывающие количественные факторы, в то время как для описания качественных факторов единственным доступным источником информации остаются экспертные знания. В то же время каждый из существующих подходов к идентификации ориентирован на использование информации лишь одного из возможных типов: либо экспертной, либо статистической. Таким образом, актуальной является задача разработки более общего подхода к построению нечетких когнитивных моделей слабоструктурированных систем, обеспечивающего возможность согласованной обработки информации как экспертного, так и статистического происхождения и получения на ее основе достоверных и непротиворечивых результатов. Такой подход предложен в настоящей работе и основан на совместном использовании ранее разработанных авторами методик идентификации с последующим согласованием получаемых промежуточных результатов. С целью

демонстрации работы предложенного подхода описан процесс его прикладного применения к задаче управления комплексным развитием сельских территорий. Полученная в результате нечеткая когнитивная модель может быть использована с целью прогнозирования состояния сельских территорий в условиях различных начальных тенденций и управляющих воздействий, а также для поиска и анализа эффективных стратегий управления их развитием.

Графическая аннотация



Ключевые слова: когнитивное моделирование; нечеткая когнитивная модель; идентификация когнитивной модели; метод парных сравнений; регрессионный анализ; социально-экономическая система; комплексное развитие сельских территорий.

Цитирование: 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. DOI: 10.17323/1998-0663.2019.3.7.19

Введение

Разработка управленческих решений и прогнозирование в социально-экономических и других гуманитарных системах сопряжены с рядом сложностей, которые обусловлены особенностями подобных систем. К ним относятся:

- ◆ многоаспектность процессов, происходящих в системах;
- ◆ сложная структура взаимосвязи данных процессов и изменчивость их характера во времени;
- ◆ отсутствие достаточной количественной информации о динамике данных процессов.

Перечисленные особенности являются основанием для отнесения социальных, экономических и других подобных систем к классу слабоструктурированных. Весьма затруднительно (а зачастую просто невозможно) исследовать такие системы и управлять ими на основе аналитических моделей, описывающих зависимости между входными или выходными параметрами. Однако можно применять модели, основанные на информации, получаемой от экспертов

и обрабатываемой на основе их опыта, суждений и интуиции.

В настоящее время для моделирования слабоструктурированных систем широко применяется когнитивный подход. Он предусматривает решение управленческих задач на основе формальных моделей и методов, поддерживающих интеллектуальный процесс решения проблем с использованием когнитивных возможностей человека (восприятие, представление, познание, понимание, объяснение) [1]. Соответственно, термин «когнитивное моделирование» относится к методам структурно-целевого и имитационного моделирования систем на основе когнитивного подхода. Иначе говоря, когнитивное моделирование предусматривает исследование структуры системы и процессов ее функционирования путем анализа ее когнитивной модели.

В качестве математического аппарата, применяемого при когнитивном моделировании, часто используется нечеткая логика. Таким образом появился целый класс когнитивных моделей, основанный на различных типах нечетких когнитивных

карт (НКК), подробный обзор таких моделей можно найти в монографии [2]. В практических задачах моделирования и анализа слабоструктурированных систем хорошо зарекомендовали себя НКК Силова, впервые предложенные в работе [3] и представляющие собой развитие знаковых когнитивных карт [4].

В настоящей работе рассматривается подход к построению когнитивных моделей слабоструктурированных систем на основе экспертной и статистической информации, а также демонстрируется вариант его применения на примере модели управления комплексным развитием сельских территорий.

1. Основные понятия когнитивного моделирования

Когнитивная модель основана на формальном представлении причинно-следственных связей между факторами, описывающими рассматриваемую систему. В результате система представляется в виде причинно-следственной сети (когнитивной карты), имеющей вид:

$$G = \langle E, W \rangle, \quad (1)$$

где $E = \{e_1, e_2, \dots, e_n\}$ – множество факторов (концептов);

W – бинарное отношение, заданное на множестве E и определяющее связи между его элементами.

Концепты могут соответствовать как абсолютным, измеримым характеристикам системы (таким как численность населения, доход), так и относительным, качественным величинам (популярность, конкурентоспособность и т.п.).

Если изменение состояния концепта e_i влечет за собой изменение состояния концепта e_j , то считают, что e_i влияет на e_j , и это обозначается $(e_i, e_j) \in W$ или $e_i W e_j$ (здесь и далее $i, j = 1, \dots, n$, где n – число концептов). Если увеличение состояния e_i приводит к увеличению состояния e_j , то влияние называют положительным, в противоположном случае – отрицательным.

При построении нечеткой когнитивной модели предполагается, что взаимное влияние концептов может быть различным по силе (интенсивности). Тогда W задается как нечеткое отношение, а соответствующая когнитивная карта называется нечеткой когнитивной картой (НКК).

Одной из разновидностей таких моделей является НКК Силова, где отношение W задается в виде набора чисел w_{ij} , определяющих направление и уро-

вень интенсивности (вес) влияния между концептами e_i и e_j . При этом полагается следующее:

- а) $-1 \leq w_{ij} \leq 1$;
- б) $w_{ij} = 0$, если влияние e_i на e_j отсутствует;
- в) $w_{ij} = 1$ при наибольшем по интенсивности положительном влиянии e_i на e_j ;
- г) $w_{ij} = -1$ при наибольшем по интенсивности отрицательном влиянии e_i на e_j ;
- д) w_{ij} принимает остальные допустимые значения в случае промежуточной интенсивности влияния.

Отметим, что такая НКК может быть представлена в виде ориентированного взвешенного графа, вершины которого соответствуют концептам, а дуги – причинно-следственным связям. Веса дуг определяются соответствующими значениями w_{ij} . Отношение W может быть представлено в виде матрицы размерности $n \times n$ (где n – количество концептов в составе НКК), которая называется *когнитивной матрицей* и является матрицей смежности когнитивного графа.

На первом этапе нечеткого когнитивного моделирования формируется НКК исследуемой системы. Это делается на основе данных, получаемых от экспертов или путем анализа имеющейся статистической информации. Далее выполняется непосредственно само моделирование, при этом решаемые в его рамках задачи могут быть разделены на два типа:

- ♦ статический (структурно-целевой) анализ, в ходе которого осуществляется поиск концептов, существенно влияющих на цели моделирования, а также выявление противоречий между имеющимися целями, анализ контуров обратной связи и др.;

- ♦ динамический (сценарный) анализ, направленный на прогнозирование состояния системы при различных управляющих воздействиях, а также генерацию и отбор оптимальных воздействий для приведения системы в желаемое состояние (при этом для описания динамики поведения системы могут применяться различные модели *импульсного процесса* [5]).

Результаты моделирования, получаемые, как правило, в виде таблиц и графиков, должны быть подвергнуты интерпретации и представлены эксперту с применением естественного языка и понятной ему терминологии [6].

2. Идентификация параметров нечеткой когнитивной модели: существующие подходы

Этап определения весов связей между концептами, называемый также параметрической иденти-

фикацией, является одним из наиболее сложных и ответственных этапов когнитивного моделирования, поскольку от достоверности полученных на нем результатов во многом зависит качество построенной когнитивной модели в целом. Классификация методов определения весов связей представлена на *рисунке 1*.

Для определения весов при построении НКК чаще всего используются экспертные методы, которые подразделяются на прямые и косвенные.

При использовании прямых методов веса задаются экспертом в явном виде [7]. Это наиболее простой способ, но при его использовании из-за произвольности и субъективности назначаемых весов снижаются достоверность и обоснованность результатов. При использовании косвенных методов субъективность снижается, при этом задача определения весов представляется в виде последовательности менее трудоемких подзадач. Примерами могут служить метод парных сравнений Саати [8] и метод множеств уровня Ягера [9], а также авторские модификации этих методов, направленные на повышение их эффективности при построении НКК [10, 11].

Как уже было отмечено, некоторые концепты могут отражать количественные характеристики исследуемой системы. Если при этом имеются статистические данные о значениях этих характеристик, то их можно использовать для определения весов связей между соответствующими концептами в дополнение к экспертным оценкам, либо вместо них. Поэтому помимо экспертных методов для идентификации параметров НКК можно применять статистические методы [12, 13].

Рассмотрим описание двух методов, которые применялись в рамках экспериментальной части данной работы.

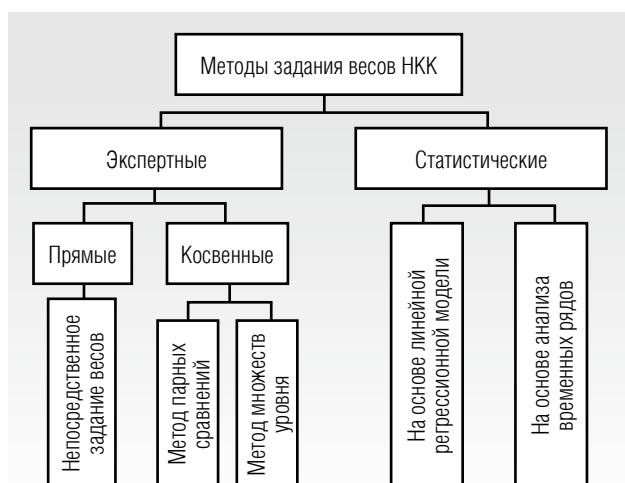


Рис. 1. Классификация методов параметрической идентификации НКК

3. Применение метода парных сравнений для определения весов связей нечеткой когнитивной модели

Данный раздел основывается на авторском исследовании [10]. В настоящей работе рассматриваемый метод используется как часть более общего подхода, предлагаемого для построения НКК.

При применении для параметрической идентификации НКК метода парных сравнений эксперт попарно рассматривает определенный концепт A и все непосредственно связанные с ним концепты. Концепты, влияющие на A и концепты, на которые влияет A , рассматриваются отдельно. Также отдельно рассматриваются концепты, влияние которых имеет разные знаки. Для каждой пары эксперт определяет концепт, связи с которым, по его мнению, должен быть назначен больший вес. В результате формируется матрица парных сравнений D , каждый элемент d_{ij} которой показывает, во сколько раз связь с концептом e_i сильнее связи с концептом e_j . Матрица D обладает двумя свойствами: $d_{ii} = 1$ и $d_{ij} = 1/d_{ji}$. Для формализации оценок d_{ij} могут использоваться шкалы, представленные в *таблице 1* (альтернативная шкала введена и обоснована авторами в работе [10]).

Таблица 1.

Значения оценок двух допустимых шкал

Вербальное описание степени превосходства	Классическая шкала	Альтернативная шкала
Отсутствие превосходства	1	9/9
Совсем незначительное	2	9/8
Незначительное	3	9/7
Почти значительное	4	9/6
Значительное	5	9/5
Почти явное	6	9/4
Явное	7	9/3
Почти абсолютное	8	9/2
Абсолютное	9	9/1

Далее матрицу D необходимо проверить на предмет ее согласованности. Для этого рассчитывается индекс согласованности CI , а также отношение согласованности CR :

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1}, \quad (2)$$

$$CR = \frac{CI}{CIS}, \quad (3)$$

где CIS – оценка математического ожидания значения согласованности, определенная экспериментальным путем;

λ_{\max} – максимальное собственное число матрицы D ;
 n – размерность матрицы D .

Если значения CR превышают 0,1, то это свидетельствует о несогласованности матрицы D . В этом случае эксперту может быть предложено пересмотреть свои суждения.

Вектор весов связей W рассчитывается на основе собственного вектора матрицы D при λ_{\max} :

$$DW = \lambda_{\max} W \quad (4)$$

На заключительном шаге производится нормализация вектора W путем деления на его максимальный элемент с последующим умножением на коэффициент силы связей $k \in (0, 1]$, который, как правило, задается экспертом и может быть интерпретирован как вес самого сильного влияния (среди участвовавших в сравнениях).

4. Определение весов связей на основе регрессионного анализа и коэффициентов эластичности

Методика определения весов связей НКК на основе анализа статистических данных, подробно описанная авторами в работах [12, 14], включает в себя следующие этапы:

1. построение модели линейной регрессии (парной или множественной) по имеющимся статистическим данным;
2. оценка качества модели в целом и значимости отдельных ее параметров;
3. проверка наличия мультиколлинеарности (для случая множественной регрессии) и ее устранения в случае обнаружения;
4. переход к коэффициентам эластичности в качестве основы для задания весов связей НКК:

$$E_i = b_i \frac{\bar{x}_i}{\bar{y}}, \quad (5)$$

где b_i – регрессионный коэффициент в модели линейной регрессии, \bar{x}_i и \bar{y} – выборочные средние.

5. нормализация коэффициентов эластичности с целью приведения значений весов связей к диапазону $[-1, 1]$ с помощью сигмоидальной нормировочной функции:

$$S(E_i) = \frac{1 - \exp(-bE_i)}{1 + \exp(-bE_i)}, \quad (6)$$

где b – коэффициент, определяющий угол наклона функции.

Один из вариантов определения значения b – задание экспертным путем значения эластичности $E_0 > 0$, при котором вес связи будет равен некоторому заданному значению α . В этом случае коэффициент b вычисляется по формуле:

$$b = -\frac{1}{E_0} \ln \frac{1-\alpha}{1+\alpha}, \quad (7)$$

где E_0 – выбираемое экспертом значение коэффициента эластичности;

α – вес связи, соответствующий, по мнению эксперта, выбранному значению коэффициента.

5. Построение нечетких когнитивных моделей на основе согласованной обработки экспертной и статистической информации

При построении нечетких когнитивных моделей слабоструктурированных (и, в первую очередь, социально-экономических) систем типичной является ситуация, при которой в составе исследуемой системы одновременно имеются как количественные (измеримые) факторы, так и факторы относительной, качественной природы. При этом могут иметься статистические данные, описывающие количественные факторы, в то время как для описания качественных факторов единственным доступным источником информации остаются экспертные знания. В то же время каждый из существующих методов идентификации ориентирован на использование информации лишь одного из возможных типов: либо экспертной, либо статистической.

Таким образом, актуальной является задача разработки более общего подхода к построению нечетких когнитивных моделей слабоструктурированных систем, обеспечивающего возможность согласованной обработки информации как экспертного, так и статистического происхождения и получения на ее основе достоверных и непротиворечивых результатов.

Такой подход может быть основан на совместном применении существующих (в том числе, разработанных авторами) методов идентификации с последующим согласованием получаемых результатов. То есть, для идентификации связей между концептами, о которых имеются статистические данные, приме-

нять статистические методики их обработки, а для задания весов остальных связей применять экспертные методы. В то же время для обеспечения необходимой степени обоснованности и непротиворечивости результатов идентификации требуется проводить согласование части результатов, полученной по итогам обработки статистических данных, и части, полученной в ходе экспертного оценивания.

Кратко опишем возможные приемы согласования результатов обработки информации экспертного и статистического происхождения.

1. Использование статистических оценок в качестве информации, уточняющей и дополняющей результаты экспертного оценивания. Так, коэффициент силы связей, задание которого требуется в ходе экспертного оценивания весов связей методом парных сравнений, может быть определен на основе имеющихся статистических оценок. Этому приему следует отдавать предпочтение, если уверенность в высоком качестве статистических данных превосходит уверенность в достоверности экспертных оценок.

2. Использование полученных экспертных оценок для нормирования статистических оценок, в частности, для идентификации нормировочной функции. Данный прием является противоположным первому и его применение целесообразно в случае уверенности в высокой степени достоверности экспертных оценок.

3. В отдельных случаях статистические оценки могут применяться для согласования отдельных наборов экспертных оценок.

4. Оценки, полученные экспертным путем, могут использоваться для согласования статистических оценок, относящихся к разным участкам НКК, а также полученных на основе статистических данных разных типов.

Далее продемонстрируем применение данного подхода при построении нечеткой когнитивной модели управления комплексным развитием сельских территорий.

6. Нечеткая когнитивная модель управления комплексным развитием сельских территорий

Сельские территории, как объект исследования и управления, характеризуются высокой динамичностью и многоаспектностью характера происходящих в них процессов. Многие элементы и взаимосвязи данной системы до конца не изучены и описывают-

ся качественными характеристиками, отсутствует достаточная количественная информация о поведении системы. Процессы, протекающие в системе, изменчивы во времени и описываются преимущественно нелинейными зависимостями. Таким образом, сельские территории являются слабоструктурированной системой.

Поэтому для исследования тенденций развития сельских территорий с целью поиска эффективных управленческих решений для обеспечения их устойчивого развития предлагается использовать методологию нечеткого когнитивного моделирования.

Построение нечеткой когнитивной модели управления комплексным развитием сельских территорий проводилось с использованием системы поддержки принятия решений «ИГЛА» (Интеллектуальный Генератор Лучших Альтернатив), разработанной научным коллективом кафедры «Информатика и программное обеспечение» Брянского государственного технического университета [15].

Высокая степень полноты и достоверности информации о структуре и тенденциях развития социально-экономической системы сельских территорий достижимы только с применением соответствующих технологий сбора данных. Для этих целей привлекались эксперты в области социально-экономического развития села (10 человек), которым предлагалось ответить на вопросы специально разработанной анкеты. Одновременно проводились монографические исследования трудов отечественных ученых по проблематике управления устойчивым развитием сельских территорий [16–23].

На основании полученных знаний был сделан вывод о целесообразности использования для построения когнитивной модели управления комплексным развитием сельских территорий набора из 11 наиболее значимых факторов (концептов). Эти концепты могут быть разделены на четыре блока (*таблица 2*).

Следующим этапом построения когнитивной модели является выявление зависимостей между концептами. На когнитивной карте эксперты устанавливали причинно-следственные связи между концептами и характер влияния (положительное или отрицательное).

Выделенные концепты когнитивной модели представляют элементы системы как качественного, так и количественного характера. Некоторые из последних описываются статистическими показателями, в таких случаях имеется возможность оценить силу взаимовлияний концептов путем применения ста-

Таблица 2.

Концепты, составляющие когнитивную модель управления комплексным развитием сельских территорий

Институциональный блок
1. Развитие рыночной инфраструктуры (налоговая, кредитная, бюджетная, инновационная политика) 2. Развитие сельского самоуправления
Социально-демографический блок
3. Среднегодовая численность населения 4. Уровень безработицы 5. Развитие социальной сферы
Экономический блок
6. Доходы на душу населения 7. Производство сельскохозяйственной продукции 8. Развитие малого и среднего предпринимательства (МСП) 9. Инвестиции в основной капитал (ОК) 10. Уровень диверсификации экономики
Экологический блок
11. Негативное воздействие на окружающую природную среду

статистических методов, что может существенно повысить объективность и обоснованность модели.

Вместе с тем концепты институционального и экологического блоков не могут быть измерены количественно и, как следствие, их влияние на другие концепты не может быть оценено на основе статистических методов. Поэтому силы влияния таких концептов определялись экспертным путем, на основе опроса специалистов. В качестве метода получения и обработки экспертных знаний применялась авторская модификация метода парных сравнений, подразумевающая использование альтернативной шкалы оценки предпочтения [10].

В состав когнитивной модели включены такие концепты социально-демографического и экономического блоков, как «Численность населения», «Уровень безработицы», «Производство сельскохозяйственной продукции», «Доход на душу населения» и «Инвестиции в основной капитал». Данные концепты описывают показатели, о которых имеется доступная статистическая информация. В данном случае с целью снижения влияния субъективизма экспертов при задании весов, повышения их достоверности и обоснованности интенсивность взаимовлияний концептов определялась на основе данных Росстата за 2000–2017 гг. путем применения авторской методики [12], основанной на парном и множественном регрессионном анализе [24] и кратко описанной в данной работе выше.

Поскольку в составе когнитивной модели имеются как стоимостные, так и нестоимостные показатели, для получения адекватных результатов регрессионного анализа было целесообразным устранить фактор инфляции. В качестве дефляторов были использованы следующие индексы за 2000–2017 гг.:

- ◆ по показателю «Доход на душу населения» – индекс потребительских цен;
- ◆ по показателю «Производство сельскохозяйственной продукции» – индекс цен производителей сельскохозяйственной продукции;
- ◆ по показателю «Инвестиции в основной капитал» – индекс годовой инфляции.

На основе имеющихся статистических данных были построены четыре уравнения регрессии, позволяющие оценить в общей сложности пять связей, имеющихся в составе когнитивной модели:

- 1). влияние дохода на численность населения;
- 2). влияние производства сельскохозяйственной продукции на уровень безработицы;
- 3). влияние уровня безработицы на доходы населения;
- 4). влияние численности населения и инвестиций в основной капитал на производство сельскохозяйственной продукции (множественная регрессия).

В результате проведенного исследования регрессионных моделей было установлено следующее:

- ◆ в первом случае значимость полученной зависимости достаточно высока, но знак коэффициента регрессии противоположен знаку соответствующей связи, определенному экспертным путем. На наш взгляд, это связано с тем, что на селе негативные демографические процессы определяются такими факторами, как сложившаяся половозрастная структура населения, численность сельских женщин репродуктивного возраста, отрицательные естественный и миграционный приросты сельского населения, которые в качестве концептов в модели не отражены;

- ◆ для связи численности населения и производства коэффициент является незначимым по *t*-статистике и соответствующее влияние оценивается как несущественное;

- ◆ для остальных трех связей регрессионный коэффициент имеет верный знак (т.е. совпадает с экспертным) и хорошую значимость по *t*-статистике (влияние производства на безработицу, влияние безработицы на доход и влияние инвестиций на производство).

Полученные значения коэффициентов регрессии и коэффициентов эластичности представлены в *таблице 3*.

Для достижения непротиворечивости результатов, полученных путем обработки статистических данных, и результатов, полученных экспертным путем, необходимо провести их согласование. С этой целью рассмотрим влияние концепта «Инвестиции в основной капитал» на концепт «Производство сельскохозяйственной продукции». В соответствии с описанной выше методикой идентификации нормировочной функции, вычислим такое значение ее параметра b , чтобы значение коэффициента эластичности после нормализации совпадало со значением, полученным экспертным путем и равным 0,8:

$$b = -\frac{1}{0,809} \ln \frac{1-0,8}{1+0,8} = 2,71. \quad (8)$$

В результате нормализации имеющихся коэффициентов эластичности были получены значения весов связей между концептами, также представленные в *таблице 3*.

Итоговые результаты параметрической идентификации НКК приведены в *таблице 4*.

Отметим, что оценки весов связей, вычисленные на основе анализа статистических данных, с одной стороны, дополняют результаты, полученные путем применения экспертного метода, а с другой – в целом повышают объективность и обоснованность параметров нечеткой когнитивной модели.

На *рисунке 2* приведено графическое представление НКК, построенное в подсистеме визуализации в СППР «ИГЛА». Разделение концептов по цветовым стилям отражает их разделение по блокам (*таблица 2*). Ряд других возможных подходов к визуализации НКК описан в авторской работе [25].

Полученная модель может быть использована в следующих целях:

- ♦ нахождение факторов, оказывающих наиболее существенное влияние на развитие сельских терри-

Таблица 3.

Веса некоторых связей НКК, определенные на основе статистических данных

Оцениваемое влияние	Коэффициент регрессии	Коэффициент эластичности	Вес связи
«Производство сельскохозяйственной продукции» на «Уровень безработицы»	-0,00236	-0,306	-0,39
«Уровень безработицы» на «Доход на душу населения»	-1272,176	-3,378	-0,99
«Инвестиции в основной капитал» на «Производство сельскохозяйственной продукции»	6,975	0,809	0,8

Таблица 4.

Нечеткая когнитивная матрица

№ влияющих концептов	№ концептов, подверженных влиянию										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	0	0,434	0	0	0	0	0	0,654	0,512	0	0
2	0	0	0	0	0,53	0	0	0,471	0	0,417	0
3	0	0	0	0	0	0	0,178	0	0	0	0
4	0	0	0	0	-0,55	-0,99	0	0	0	0	0
5	0	0	0,353	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0,118	0	0,353	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	-0,39	0	0	0	0	0	0	0,564
8	0	0	0	-0,69	0	0,527	0,8	0	0	0	0,446
9	0	0	0	0	0	0	0,78	0,691	0	0	0,418
10	0	0	0	-0,52	0,531	0	0	0,393	0	0	0
11	0	0	-0,6	0	0	0	0	0	0	0	0

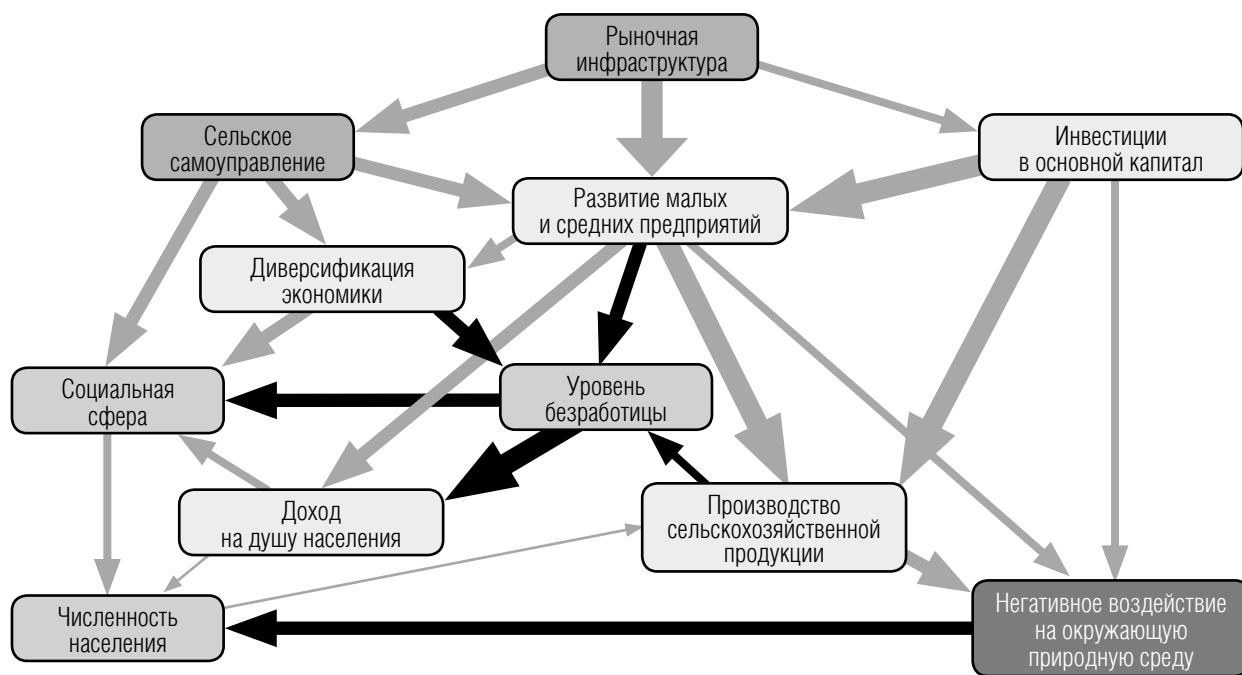


Рис. 2. Нечеткая когнитивная модель управления комплексным развитием сельских территорий

торий и, таким образом, являющихся точками приложения наиболее эффективных управляющих воздействий;

- ◆ прогнозирование состояния сельских территорий при тех или иных начальных тенденциях и управляющих воздействиях, а также при отсутствии таковых;
- ◆ поиск эффективных стратегий управления развитием сельских территорий, позволяющих достичь желаемых значений целевых показателей.

Перечисленные задачи решаются посредством структурно-целевого и сценарного анализа разработанной когнитивной модели. Данные этапы когнитивного моделирования выходят за рамки настоящей работы и представляют собой направление дальнейших исследований.

Заключение

Представленный в работе подход к построению нечетких когнитивных моделей социально-экономических систем ориентирован на поддержку когнитивного моделирования в ситуациях, при которых в составе исследуемой системы имеются как количественные факторы, так и факторы относительной, качественной природы.

При этом предполагается, что по факторам первого типа могут иметься статистические данные. В таком

случае они могут быть обработаны с применением авторских методик идентификации НКК на основе статистической информации.

Другой ключевой составляющей подхода является использование знаний эксперта (или группы экспертов), получаемых и обрабатываемых посредством применения экспертных методов параметрической идентификации НКК. В качестве таких методов могут применяться авторские модификации метода парных сравнений Т. Саати и метода множеств уровня Р. Ягера.

Наконец, важным этапом рассмотренного подхода является согласование промежуточных результатов идентификации когнитивной модели, получаемых с применением экспертных и статистических методов, за счет чего достигается высокая степень обоснованности и непротиворечивости получаемых итоговых результатов. Это, в свою очередь, является залогом надлежащего качества создаваемых когнитивных моделей и высокой эффективности управленческих решений, формируемых посредством их анализа.

Для демонстрации работы предложенного подхода описан процесс его применения к задаче управления комплексным развитием сельских территорий. Полученная в результате НКК может быть использована для прогнозирования развития сельских территорий при различных начальных тенденциях и управляю-

щих воздействиях, а также для поиска и анализа эффективных стратегий управления их развитием.

В связи с этим важным направлением дальнейших исследований является проведение структурно-целевого и сценарного анализа разработанной модели, с формулировкой содержательных выводов по результатам данных видов анализа.

Другим перспективным направлением исследований является модернизация самого представленного подхода в направлении разработки методик поддержки групповой экспертизы на этапе построения НКК, включающих в себя механизмы оценки согласованности суждений группы экспертов, а также механизмы достижения требуемой степени согласованности. ■

Литература

1. Авдеева З.К., Коврига С.В., Макаренко Д.И. Когнитивное моделирование для решения задач управления слабоструктурированными системами (ситуациями) // Управление большими системами. 2007. № 16. С. 26–39.
2. Борисов В.В., Круглов В.В., Федулов А.С. Нечеткие модели и сети. М.: Горячая линия – Телеком, 2012.
3. Силов В.Б. Принятие стратегических решений в нечеткой обстановке. М.: ИНПРО-РЕС, 1995.
4. Робертс Ф.С. Дискретные математические модели с приложениями к социальным, биологическим и экологическим задачам / Пер. с англ. М.: Наука, 1986.
5. 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 International Conference on Information Technology and Nanotechnology. Samara, Russia, April 25–27, 2017. No 1904. P. 57–63.
6. Подвесовский А.Г., Лагерева 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.
7. Литвак Б.Г. Экспертные технологии в управлении. М.: Дело, 2004.
8. Saaty T.L. Exploring the interface between hierarchies, multiple objectives and fuzzy sets // Fuzzy Sets and Systems. 1978. Vol. 1. No 1. P. 57–68.
9. Yager R.R. Level sets for membership evaluation of fuzzy subset // Fuzzy Sets and Possibility Theory: Recent Developments (R.R. Yager, ed.). N.Y.: Pergamon, 1982. P. 90–97.
10. Исаев Р.А. Модифицированный метод парных сравнений для экспертной оценки параметров нечеткой когнитивной модели // Современные информационные технологии и ИТ-образование. 2016. Т. 12. № 2. С. 35–42.
11. Исаев Р.А., Подвесовский А.Г. Оценка согласованности суждений эксперта при построении функции принадлежности нечеткого множества методом множеств уровня // Современные информационные технологии и ИТ-образование. 2017. Т. 13. № 3. С. 9–15.
12. Подвесовский А.Г., Исаев Р.А. Применение множественного регрессионного анализа для параметрической идентификации нечетких когнитивных моделей // Труды IV международной конференции «Информационные технологии интеллектуальной поддержки принятия решений» (ITIDS'2016). Уфа, 17–19 мая 2016 г. Уфа: УГАТУ, 2016. Т. 2. С. 28–33.
13. Isaev R.A., Podvesovskii A.G. Application of time series analysis for structural and parametric identification of fuzzy cognitive models // CEUR Workshop Proceedings of the International Conference on Information Technology and Nanotechnology. Samara, Russia, April 24–27, 2018. No 2212. P. 119–125.
14. Мониторинг и прогнозирование региональной потребности в специалистах высшей научной квалификации / В.И. Аверченков и [др.]. Брянск: БГТУ, 2010.
15. Коростелев Д.А., Лагерева Д.Г., Подвесовский А.Г. Система поддержки принятия решений на основе нечетких когнитивных моделей «ИГЛА» // Одиннадцатая национальная конференция по искусственному интеллекту с международным участием (КИИ–2008). Дубна, 29 сентября – 3 октября 2008. Т. 3. С. 329–336.
16. Солдатова И.Ю. Государственные инновационные меры по устойчивому развитию сельских территорий // Материалы научно-практической конференции с международным участием «Проблемы повышения эффективности местного самоуправления в условиях современных реформ и политических процессов в России». Ростов-на-Дону, 7–8 апреля 2015 г. С. 323–327.
17. Гатаулина Е.А. Развитие малого и среднего бизнеса в сельском хозяйстве – залог устойчивого развития сельских территорий // Научно-методические основы устойчивого развития сельских территорий. Сер. «Научные труды ВИАПИ» Всероссийский институт аграрных проблем и информатики имени А.А. Никонова. Москва, 2015. С. 70–88.
18. Овчинцева Л.А., Котомина М.А. Новая роль регионов в устойчивом развитии сельских территорий // Никоновские чтения. 2013. № 18. С. 248–252.
19. Подгорская С.В. Повышение кадрового потенциала сельских территорий как основа их устойчивого развития // Материалы международной научно-практической конференции «Сельское хозяйство России и зарубежья: современные вызовы экономического развития». Ростов-на-Дону, 3–4 октября 2018 г. С. 336–341.
20. Подгорская С.В. Концептуальная модель инвестиционного обеспечения развития социальной инфраструктуры села (на материалах Ростовской области). Дис. ... канд. экон. наук. Ростов-на-Дону, 2008.
21. Подгорская С.В., Тарасов А.С. Оценка эффективности маркетинговой деятельности в образовательной организации аграрного профиля // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2017. № 125. С. 247–257.
22. Бахматова Г.А. Дифференциация территорий Ростовской области по уровню устойчивого развития с учетом географического положения // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. 2014. № 1 (13). С. 261–270.
23. Тарасов А.С., Антонова Н.И., Маркина Е.Д., Бахматова Г.А. Формирование комплексного прогноза устойчивого развития инженерной, рыночной, и природоохранной инфраструктуры сельских территорий // Проблемы развития АПК региона. 2017. № 3 (31). С. 147–152.
24. Кремер Н.Ш., Путко Б.А. Эконометрика. М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2010.
25. Подвесовский А.Г., Исаев Р.А. Метафоры визуализации нечетких когнитивных карт // Научная визуализация. 2018. Т. 10. № 4. С. 13–29.

Об авторах**Подгорская Светлана Валерьевна**

кандидат экономических наук, доцент;
ведущий научный сотрудник, Федеральный Ростовский аграрный научный центр,
344006, г. Ростов-на-Дону, пр. Соколова, д. 52;
E-mail: svetlana.podgorskaya@gmail.com
ORCID: 0000-0001-8912-7865

Подвесовский Александр Георгиевич

кандидат технических наук, доцент;
заведующий кафедрой «Информатика и программное обеспечение», Брянский государственный технический университет,
241035, г. Брянск, бульвар 50 лет Октября, д. 7;
E-mail: apodv@tu-bryansk.ru
ORCID: 0000-0002-1118-3266

Исаев Руслан Александрович

аспирант кафедры «Информатика и программное обеспечение», Брянский государственный технический университет,
241035, г. Брянск, бульвар 50 лет Октября, д. 7;
E-mail: Ruslan-Isaev-32@yandex.ru
ORCID: 0000-0003-3263-4051

Антонова Надежда Ивановна

заведующая отделом развития сельских территорий, Федеральный Ростовский аграрный научный центр,
344006, г. Ростов-на-Дону, пр. Соколова, д. 52;
E-mail: antonova_nadezhda@bk.ru
ORCID: 0000-0003-3039-2837

Fuzzy cognitive models for socio-economic systems as applied to a management model for integrated development of rural areas

Svetlana V. Podgorskaya^a

E-mail: svetlana.podgorskaya@gmail.com

Aleksandr G. Podvesovskii^b

E-mail: apodv@tu-bryansk.ru

Ruslan A. Isaev^b

E-mail: Ruslan-Isaev-32@yandex.ru

Nadezhda I. Antonova^a

E-mail: antonova_nadezhda@bk.ru

^a Federal Rostov Agricultural Research Centre
Address: 52, Sokolov Avenue, Rostov-on-Don 344006, Russia

^b Bryansk State Technical University
Address: 7, 50 Let Oktyabrya Avenue, Bryansk 241035, Russia

Abstract

The paper is devoted to fuzzy cognitive modeling, which is an effective tool for studying semi-structured socio-economic systems. The emphasis is on the process of developing (identification) fuzzy cognitive models, which are the most complex and critical stage of cognitive modeling. Existing identification methods are classified as either

expert or statistical, depending on the source of information used. Typically, when constructing fuzzy cognitive models of semi-structured systems, the system under consideration possesses both quantitative (measurable) factors and factors of a relative, qualitative nature. While statistical data on the quantitative factors may be available, the only available source of information on the qualitative factors is expert knowledge. However, each of the existing identification approaches focuses on just one source type, either expert or statistical. Thus, it is crucial to develop a more general approach to the development of fuzzy cognitive models for semi-structured systems to ensure reliable and consistent results by coordinated processing of information of both expert and statistical origins. We developed such an approach based on several identification methods with the subsequent coordination of intermediate results. To demonstrate the proposed approach, we applied it to a management problem of integrated development of rural areas. The fuzzy cognitive model we obtained can be used to predict the state of rural areas depending on initial trends and managerial actions, as well as to search and analyze effective managerial strategies for their development.

Key words: cognitive modeling; fuzzy cognitive model; identification of a cognitive model; pairwise comparison method; regression analysis; socio-economic system; integrated development of rural areas.

Citation: Podgorskaya S.V., Podvesovskii A.G., Isaev R.A., Antonova N.I. (2019) Fuzzy cognitive models for socio-economic systems as applied to a management model for integrated development of rural areas. *Business Informatics*, vol. 13, no 3, pp. 7–19. DOI: 10.17323/1998-0663.2019.3.7.19

References

1. Avdeeva Z.K., Kovriga S.V., Makarenko D.I. (2007) Cognitive modeling for solving problems of managing semi-structured systems (situations). *Large-Scale Systems Control*, no 16, pp. 26–39 (in Russian).
2. Borisov V.V., Kruglov V.V., Fedulov A.S. (2012) *Fuzzy models and networks*. Moscow: Gorjachaja Linija – Telekom (in Russian).
3. Silov V.B. (1995) *Strategic decision making in fuzzy conditions*. Moscow: INPRO-RES (in Russian).
4. Roberts F.S. (1976) *Discrete mathematical models, with applications to social, biological, and environmental problems*. N.J.: Prentice-Hall.
5. Isaev R.A., Podvesovskii A.G. (2017) Generalized model of pulse process for dynamic analysis of Sylov’s fuzzy cognitive maps. *CEUR Workshop Proceedings of the International Conference on Information Technology and Nanotechnology, Samara, Russia, April 25–27, 2017*, no 1904, pp. 57–63.
6. Podvesovskij A.G., Lagerev D.G., Korostelev D.A. (2009) Application of fuzzy cognitive models for alternatives set generation in decision problems. *Bulletin of Bryansk State Technical*
7. Litvak B.G. (2004) *Expert technologies in management*. M.: Delo (in Russian).
8. Saaty T.L. (1978) Exploring the interface between hierarchies, multiple objectives and fuzzy sets. *Fuzzy Sets and Systems*, vol. 1, no 1, pp. 57–68.
9. Yager R.R. (1982) Level sets for membership evaluation of fuzzy subset. *Fuzzy Sets and Possibility Theory: Recent Developments* (ed. R.R. Yager). New York: Pergamon, pp. 90–97.
10. Isaev R.A. (2016) Modified pairwise comparison method for expert estimation of a fuzzy cognitive model parameters. *Modern Information Technology and IT Education*, vol. 12, no 2, pp. 35–42 (in Russian).
11. Isaev R.A., Podvesovskij A.G. (2017) Evaluation of expert judgements consistency when constructing a membership function of fuzzy set using the method of level sets. *Modern Information Technology and IT Education*, vol. 13, no 3, pp. 9–15 (in Russian).
12. Podvesovskij A.G., Isaev R.A. (2016) Application of multiple regression analysis for parametric identification of fuzzy cognitive models. *Proceedings of the 4th International Conference on Information Technologies for Intelligent Decision Making Support, ITIDS’2016, Ufa, Russia, May 17–19, 2016*, vol. 2, pp. 28–33 (in Russian).
13. Isaev R.A., Podvesovskii A.G. (2018) Application of time series analysis for structural and parametric identification of fuzzy cognitive models. *CEUR Workshop Proceedings of the International Conference on Information Technology and Nanotechnology, Samara, Russia, April 24–27, 2018*, no 2212, pp. 119–125.
14. Averchenkov V.I., Kozhuhar V.M., Podvesovskij A.G., Sazonova A.S. (2010) *Monitoring and forecasting of regional needs for specialists of higher scientific qualification*. Bryansk: BSTU (in Russian).
15. Korostelev D.A., Lagerev D.G., Podvesovskij A.G. (2008) Decision support system based on fuzzy cognitive models “IGLA”. *Proceedings of the 11th Russian Conference on Artificial Intelligence (RCAI–2008), Dubna, Russia, September 29 – October 3, 2008*, vol. 3, pp. 329–336 (in Russian).
16. Soldatova I.Yu. (2015) State innovative measures for sustainable rural development. *Proceedings of the Conference on Problems of Improving the Efficiency of Local Self-Government in the Context of Modern Reforms and Political Processes in Russia, Rostov-on-Don, Russia, April 7–8, 2015*, pp. 323–327 (in Russian).
17. Gataulina E.A. (2015) Development of small and medium businesses in agriculture – the key to sustainable rural development. *Scientific and Methodological Fundamentals of Sustainable Rural Development, Ser. “Proceedings of VIAPI”*, pp. 70–88 (in Russian).

18. Ovchinceva L.A., Kotomina M.A. (2013) The new role of the regions in sustainable rural development. *Nikonov Readings*, no 18, pp. 248–252 (in Russian).
19. Podgorskaja S.V. (2018) Increasing rural areas workforce capacity as the basis of their sustainable development. Proceedings of the *International Conference on Agriculture in Russia and Abroad: Modern Challenges of Economic Development, Rostov-on-Don, Russia, October 3–4, 2018*, pp. 336–341 (in Russian).
20. Podgorskaja S.V. (2008) *Conceptual model of investment support for village social infrastructure development (a case study of Rostov region)*. PhD Thesis. Rostov-on-Don (in Russian)
21. Podgorskaja S.V., Tarasov A.S. (2017) Assessment of marketing performance in an agricultural educational organization. *Polythematic Online Scientific Journal of Kuban State Agrarian University*, no 125, pp. 247–257 (in Russian).
22. Bahmatova G.A. (2014) Differentiation of Rostov region territories according to sustainable development level taking into account their geographical location. *Scientific Journal of Russian Research Institute of Land Improvement Problems*, no 1 (13), pp. 261–270 (in Russian).
23. Tarasov A.S., Antonova N.I., Markina E.D., Bahmatova G.A. (2017) Comprehensive forecast generation for sustainable development of engineering, market and environmental infrastructure of rural areas. *Problems of Regional Agricultural and Industrial Complex Development*, no 3 (31), pp. 147–152 (in Russian).
24. Kremer N.Sh., Putko B.A. (2010) *Econometrics*. Moscow: UNITI-DANA (in Russian).
25. Podvesovskij A.G., Isaev R.A. (2018) Visualization metaphors for fuzzy cognitive maps. *Scientific Visualization*, vol. 10, no 4, pp. 13–29.

About the authors

Svetlana V. Podgorskaya

Cand. Sci. (Econ.), Associate Professor;
Leading Researcher, Federal Rostov Agricultural Research Centre, 52, Sokolov Avenue, Rostov-on-Don 344006, Russia;
E-mail: svetlana.podgorskaya@gmail.com
ORCID: 0000-0001-8912-7865

Aleksandr G. Podvesovskii

Cand. Sci. (Tech.), Associate Professor;
Head of Informatics and Software Department, Bryansk State Technical University,
7, 50 Let Oktyabrya Avenue, Bryansk 241035, Russia;
E-mail: apodv@tu-bryansk.ru
ORCID: 0000-0002-1118-3266

Ruslan A. Isaev

Postgraduate Student, Informatics and Software Department, Bryansk State Technical University,
7, 50 Let Oktyabrya Avenue, Bryansk 241035, Russia;
E-mail: Ruslan-Isaev-32@yandex.ru
ORCID: 0000-0003-3263-4051

Nadezhda I. Antonova

Head of Department, Federal Rostov Agricultural Research Centre,
52, Sokolov Avenue, Rostov-on-Don 344006, Russia;
E-mail: antonova_nadezhda@bk.ru
ORCID: 0000-0003-3039-2837