ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ. АГРОИНЖЕНЕРИЯ

DOI: 10.32786/2071-9485-2020-03-38

COMPUTER IMPLEMENTATION OF FUZZY COGNITIVE MODELS FOR PREDICTING FOOD SECURITY TAKING INTO ACCOUNT IMPORT SUBSTITUTION AND AGRICULTURAL PRODUCTION

A. F. Rogachev^{1,2}, E. V. Melikhova¹, E. N. Antamoshkina¹

¹Federal State Budget Educational Institution of Higher Education
«Volgograd State Agrarian University, Volgograd, Russia

²Federal State Budget Educational Institution of Higher Education
«Volgograd State Technical University», Volgograd, Russia

Received 14.06.2020

Submitted 15.08.2020

The article was prepared with the financial support of the RFBR under the project № 19-07-01132

Summary

The article presents the results of computer implementation of fuzzy cognitive models for predicting the integral level of food security. The simulation is implemented using the developed fuzzy cognitive maps using a computer program. The development of cognitive maps took into account such key factors as production and consumption of agricultural products, environmental conditions and the level of import substitution.

Abstract

Introduction. The relevance of the study is due to the complexity of computer support for cognitive modeling and forecasting food security, taking into account various factors, including import substitution. On the basis of a systemic cognitive approach, the author considers the methodology and structural optimization of software and hardware for assessing and predicting the level of food security, taking into account such consolidated concepts as the share of imports and agricultural production. **Materials and methods.** The results of a patent study of software and hardware decision support for multivariate cognitive modeling of various socio-economic systems, including the subsystem for analysis and forecasting of food security, according to the classes of the International Patent Classification G 06 F 12/00, 13/40, 13/38, 15 / 40, 17/30; G 06 Q 10/04, 50/00. Basic mathematical relations for impulse modeling of self-development and evolution of the system under study are presented. The functional of the "Strategist" computer system toolkit for the construction and research of cognitive models is presented. **Results and Conclusions.** Based on the results of the analysis of selected domestic and foreign promising technical solutions (patents of Russian Federation No. 59285 U1, 128746 U1, 2305319, 2310230, etc.), the problems to be solved and tendencies for their improvement are identified. Using the mathematical apparatus for analyzing fuzzy cognitive maps, an example of cognitive mathematical modeling of the evolution of the level of food security is considered, taking into account the mutual influence of enlarged groups of conceptual factors of food security - production, stocks, consumption, the share of food imports, ecology and a number of others. It is shown that conducting a cognitive analysis of the evolutionary patterns of the analyzed socio-economic system allows us to identify trends in their development. The use of the «Strategist» system toolkit for the construction and research of a cognitive model of food security is presented. The ERP for the analysis and forecasting of the level of food security is described, which provides a scenario analysis of the mutual influence of the main concepts, including the level of import substitution. It has been established that the main directions of improving the ERP software and hardware in the field of assessing and predicting the level of food security are increasing the reliability and speed of such systems, as well as optimizing their parameters.

Key words: food security, agricultural production, mathematical modeling, fuzzy cognitive map, software and hardware, forecasting.

Citation: Rogachev A.F., Melikhova E.V., Antamoshkina E.N. Computer implementation of fuzzy cognitive models for predicting food security taking into account import substitution and agricultural

production. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2020. 3 (59). 355-365 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2020-03-38.

Author's contribution. All authors of this research paper have directly participated in the planning, execution, or analysis of this study. All authors of this paper have read and approved the final version submitted.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

УДК 51-74

КОМПЬЮТЕРНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ НЕЧЕТКИХ КОГНИТИВНЫХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПРОДОВОЛЬСТВЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ С УЧЕТОМ ИМПОРТОЗАМЕЩЕНИЯ И СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА

А. Ф. Рогачев^{1,2}, доктор технических наук
Е. В. Мелихова¹, кандидат технических наук
Е. Н. Антамошкина¹, кандидат экономических наук

¹ Волгоградский государственный аграрный университет, Волгоград, Россия

² Волгоградский государственный технический университет, Волгоград, Россия

Дата поступления в редакцию 14.06. 2020

Дата принятия к печати 15.08.2020

Статья подготовлена при финансовой поддержке РФФИ по проекту 19-07-01132

Актуальность исследования обусловлена сложностью компьютерной поддержки когнитивного моделирования и прогнозирования продовольственной безопасности с учетом различных факторов, включая импортозамещение. На основе системного когнитивного подхода рассмотрены методология и структурная оптимизация программно-аппаратных средств для реализации оценки и прогнозирования уровня продовольственной безопасности (ПБ) с учетом таких укрупненных концептов, как доля импорта и производство сельскохозяйственной продукции. **Материалы и методы.** Приведены результаты проведенного патентного исследования программно-аппаратных средств поддержки решений при многофакторном когнитивном моделировании различных социально-экономических систем (СЭС), включая подсистему анализа и прогнозирования ПБ, по классам МПК G 06 F 12/00, 13/40, 13/38, 15/40, 17/30; G 06 Q 10/04, 50/00. Приведены базовые математические соотношения для импульсного моделирования саморазвития и эволюции исследуемой системы. Представлен функционал инструментария компьютерной системы «Strategist» для построения и исследования когнитивных моделей. **Результаты и выводы.** На основе результатов анализа отобранных отечественных и зарубежных перспективных технических решений (патенты РФ №59285 U1, 128746 U1, 2305319, 2310230 и др.) выявлены решаемые проблемы и тенденции их совершенствования. С использованием математического аппарата анализа нечетких когнитивных карт (НКК) рассмотрен пример когнитивного математического моделирования эволюции уровня ПБ, учитывающий взаимное влияние укрупненных групп концептов-факторов ПБ: производство, запасы, потребление, доля продовольственного импорта, экология и ряд других. Показано, что проведение когнитивного анализа закономерности эволюции анализируемой СЭС позволяет выявить тенденции их развития. Приведено использование инструментария системы «Strategist» для построения и исследования когнитивной модели ПБ. Описана ППР для анализа и прогнозирования уровня ПБ, обеспечивающая проведение сценарного анализа взаимного влияния основных концептов, включая уровень импортозамещения. Установлено, что основными направлениями совершенствования программно-аппаратных средств ППР в сфере оценки и прогнозирования уровня ПБ являются повышение надежности и быстродействия таких систем, а также оптимизация их параметров.

Ключевые слова: продовольственная безопасность, прогнозирование сельскохозяйственного производства, когнитивные математические модели, нечеткая когнитивная карта, программно-аппаратные средства.

Цитирование: Рогачев А. Ф. Мелихова Е. В., Антамошкина Е. Н. Оценка и прогнозирование

сельскохозяйственного производства и продовольственной безопасности на основе нечетких когнитивных математических моделей. *Известия НВ АУК*, 2020. 3 (59). 355-365. DOI: 10.32786/2071-9485-2020-03-38.

Авторский вклад. Все авторы настоящего исследования принимали непосредственное участие в планировании, выполнении или анализе данного исследования. Все авторы настоящей статьи ознакомились и одобрили представленный окончательный вариант.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение. Обеспечение продовольственной безопасности (ПБ) / Food Security (FS) России характеризуют четыре основные сферы: производство, потребление, импорт и управление запасами, каждая из которых характеризуется множеством частных показателей [6]. В сфере национальной безопасности Российской Федерации обеспечение ПБ является одной из ключевых задач. Без надежного обеспечения сельскохозяйственной продовольственной продукцией, а также системного учета складывающейся доли импорта продовольствия, уровня развития экономики, экологических и других факторов невозможно обеспечить продовольственную независимость и безопасность [1, 2].

Проблемы построения систем поддержки решений (СПР) в сфере обеспечения ПБ на основе математического моделирования, в том числе с использованием когнитивных подходов, обусловлены необходимостью гибкого учета ряда групп факторов и их взаимовлияний при проведении сценарного анализа в процессе прогнозирования эволюции состояния моделируемых систем [6]. Несмотря на известность ряда программно-аппаратных технических средств СПР на основе когнитивного моделирования [4, 5, 8, 12], остаются не полностью решенными задачи обеспечения эргономичности их интерфейсов, надежности и быстродействия при проведении прогнозных вычислений в процессе сценарного анализа. Это обуславливает актуальность настоящего исследования с целью дальнейшего совершенствования подобных систем.

Материалы и методы. Системный анализ множества реализаций технических исполнений компьютерных средств поддержки решений на основе когнитивных технологий и структурно-параметрический синтез осуществлялись с учетом известных подходов, включая защищенных патентами и свидетельствами о регистрации программ для ЭВМ. Патентный поиск с целью отбора технических решений в исследуемой предметной области осуществлялся по классам МПК G 06 F 12/00, 13/40, 13/38, 15/40, 17/30; G 06 Q 10/04, 50/00.

Нечеткие когнитивные карты представляются ориентированными взвешенными графовыми структурами, вершины которых отображают базовые концепты (факторы), а дуги характеризуют связи между ними, при этом «веса» ребер являются вещественными числами, характеризующими степень взаимного влияния концептов, соответствующую лингвистической шкале значимости [7, 10, 11, 13].

Импульсное моделирование эволюции саморазвития исследуемой системы осуществлялось в соответствии с (1):

$$x(t) = (I + A + A^2 + \dots + A^t)x(0), \quad (1)$$

где $x(t)$ – вектор значений концептов размерности n , I – единичная матрица размерности $n \times n$; $x(0)$ – вектор начальных значений концептов размерности n , $A = \|a_{ij}\|$ – безразмерная нормализованная матрица смежности размерности $n \times n$, t – индекс временного моделирующего импульса.

Численные значения элементов матрицы смежности (размерности $n \times n$) определялись экспертным путем с учетом мнений компетентных в данной области экспертов в системе «Strategist».

Результаты и обсуждение. Некоторые известные технические решения задачи

поддержки принятия решений при управлении сложными СЭС [4, 5], отобранные по отечественным и зарубежным источникам, представлены в таблице.

Рассмотрим подробнее основные проблемы поддержки принятия решений (ППР) в исследуемой предметной области и известные подходы к их решению.

Примером успешной реализации когнитивной технологии ППР является система «Игла» [4], содержащая сервер системы, соединенной с базой знаний и системой управления базой знаний, подсистему визуализации, подключенную к системе управления знаниями и к подсистеме согласования, подсистему статического моделирования, с подсистемами визуализации и динамического моделирования, при этом система динамического моделирования подключена к подсистеме управления базой знаний (1).

Таблица – Технические решения систем поддержки решений в сфере управления СЭС

Table – Technical solutions for decision support systems in the field of SES management

Охранный документ / Security document	Наименование / Name	МПК / IPC	Код страны / country code, год / year
№59285	Система мониторинга кризисных ситуаций в социальной сфере / System for monitoring crisis situations in the social sphere	G 06 F 12/00	RU, 2006
№4-38021	Система... / System...	11/30, 13/14	JP, 1992
№0505651	Система ППР / Decision support system	G 06 F 13/40, 13/38	USA, 1992
№05129083	Система ППР / Decision support system	G 06 F 12/00, 15/40	USA, 1992
2305319	Система принятия решений в кризисных ситуациях социальной сферы региона / Decision-making system in crisis situations in the social sphere of the region	G 06 Q 50/00, G 06 F 17/30	RU, 2007
2310230	Система мониторинга кризисных ситуаций в социальной сфере / System for monitoring crisis situations in the social sphere	G 06 Q 50/00, G 06 F 17/30	RU, 2007
128746 U1	Система поддержки принятия решений в неструктурированных ситуациях / Decision support system in unstructured situations	G 06 F 17/30, G 06 Q 10/04	RU, 2013
№ 8539 (ОФАП)	Система поддержки принятия решений «ИГЛА» / The system of support of decision-making "IGLA"	-	RU, 2007

Структурная схема системы «Игла» приведена на рисунке 1.

Базу знаний (БЗ) системы ППР «ИГЛА» представляет множество когнитивных моделей в форме НКК, экспертно характеризующее различные предметные области. Физическая реализация базы знаний осуществляется посредством разработки структуры базы данных и ее наполнения.

Важным этапом формирования НКК является согласование относительно формального описания структуры с параметрами моделируемой предметной области. С целью обеспечения эффективного взаимодействия различных экспертов СППР «ИГЛА» построена по архитектуре «клиент – сервер», обеспечивающей их коллективную работу с удаленных терминалов при сохранении централизованного контроля процессов и результатов упомянутого согласования экспертных суждений.

Рисунок 1 – Структурная схема и архитектура системы «ИГЛА»

Figure 1 – Block diagram and architecture of the «IGLA» system» [4]

Также известна «Система мониторинга кризисных ситуаций в социальной сфере» (патент РФ на ПМ №59285), содержащая блоки: прием запросов экспертов 1, прием данных об уровне социальной напряженности 2, прием записей БД 3 сервера, селекция адресов 4, идентификация источников информации 5, подсчет интегральной социально-экономической напряженности 6, селекция циклов опроса источников информации 7 упомянутой напряженности (рисунок 2).

Рисунок 2 – Блок-схема реализации системы ППР

Figure 2 – Block diagram of the decision support system implementation

Небольшим недостатком описанной системы является невысокая ее надежность в процессе принятия решений по прогнозированию социальной напряженности в обществе, определенной ограничениями, обусловленными неструктурированными ситуациями общественной жизни.

Известно модифицированное техническое решение, включающее следующие блоки (рисунок 3): прием записей планов, прием запросов от пользователей, приема записей планов БД сервера, селекция опорных адресов плана и считывания, селекция адреса пользователя, формирования текущего адреса плана, сумматоры (1-й и 2-й), формирование адреса временного периода анализа, формирование адресов БД сервера, управление записью и считыванием, а также блок вывода информации (пат. РФ 2305319).

Негативной стороной модифицированной СППР является недостаточно высокое быстродействие, связанное с тем, что поиск хранимых показателей проводится по всему массиву БД, что увеличивает затраты времени, необходимого для поиска информации и ее анализа.

Рисунок 3 – Блок-схема реализации модифицированной системы СППР

Figure 2 – Flowchart for implementing a modified decision support system

Таким образом, несмотря на ряд известных схем программно-аппаратной реализации СППР, существует проблема повышения их надежности и быстродействия.

Известны и другие варианты реализации систем СППР для прогнозирования продовольственной безопасности на основе нечетких когнитивных моделей, учитывающих ряд факторов, включая сельскохозяйственное производство и уровень импортозамещения, в частности, система «Стратегист». Алгоритм применения когнитивной технологии оценки уровня ПБ на основе автоматизированного построения нечеткой когнитивной карты в системе «Стратегист» показан на рисунке 4.

Для численного моделирования были отобраны следующие укрупненные группы, предусматривающие дальнейшую декомпозицию: 1 – экономическая инфраструктура; 2 – запасы продовольственных продуктов; 3 – экология; 4 – импорт; 5 – потребление; 6 – производство; 7 – интегральный уровень продовольственной безопасности. Граф взаимосвязи укрупненных концептов когнитивной модели такой системы представлен на рисунке 4.

Рисунок 4 – Граф взаимосвязи укрупненных концептов когнитивной модели ПБ

Figure 4 – Graph of the relationship between the enlarged concepts of the FS cognitive model

Согласно представленному графу, сформирована НКК-модель, весовые коэффициенты которой получены экспертно с использованием встроенного инструментария системы «Strategist», реализованного на вкладках «Взаимовлияние факторов» и «Матрица взаимовлияния» (рисунок 5). Значения нормализованных к единице весов характеризуют силу взаимовлияния концептов, оцениваемую экспертно, при этом отсутствие чисел в соответствующих клетках соответствует отсутствию статистически значимого взаимного влияния, что существенно упрощает нечеткую когнитивную модель и, особенно, ее интерпретацию.

Номер	Фактор	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	economy		0,4	0,4	0,21						0,67	0,8
2	reserves	-0,4					-0,4	0,6				
3	ecology	-0,4				0,2		0,2				0,4
4	import	-0,7...	0,6	-0,4				-0,4				
5	consumption			-0,2				0,4				
6	production and processing	-0,2	0,8	-0,4		0,4		0,8				
7	FS level											
8	Crop production						0,8			0,4		
9	Livestock product	-0,4		-0,2			0,6		0,14			
10	Irrigation reclamation	-0,2							0,4			
11	Standard of living					0,2		0,4				

Рисунок 5 – Матрица взаимного влияния укрупненных групп факторов системы обеспечения ПБ

Figure 5 – Matrix of mutual influence of enlarged groups of factors in the food security system

Таким образом, с использованием функционала инструментария системы «Strategist» построена когнитивная модель для ППР анализа и прогнозирования уровня ПБ, обеспечивающая проведение сценарного анализа влияния основных концептов, в частности, уровня импортозамещения.

Модель обеспечивает гибкое дополнение новыми концептами, корректировку коэффициентов их взаимовлияния, проведение анализа показателей системы и ее эволюцию в процессе само- и управляемого развития в рамках сценарного анализа прогнозирования уровня ПБ.

Выводы. Проведенный анализ программно-аппаратных средств поддержки когнитивного моделирования в сфере прогнозирования уровня ПБ выявил ключевые проблемы, требующие решения и исследования:

1. Известные технические решения для реализации математического аппарата когнитивного моделирования обеспечивают возможность компьютерной поддержки выявления тенденций и прогнозирования развития исследуемых систем, а также последствий управленческих решений, с моделированием некоторых результатов, которые сложно прогнозировать экспертными методами при росте количества учитываемых концептов.

2. Получаемые численные результаты прогнозирования тенденций развития моделируемых СЭС являются приближенными, что обусловлено нечеткостью используемого подхода и применяемых оценочных шкал. Прогнозы могут оказаться недостаточно надежными, в частности, при близости значений положительных и отрицательных взаимовлияний в случае малых значений вычисляемых консонансов.

3. Основными направлениями совершенствования программно-аппаратных средств ППР в сфере оценки и прогнозирования уровня ПБ являются повышение надежности и быстродействия таких систем, а также оптимизация их параметров.

Библиографический список

1. Башлыков А. А. Когнитивное управление как новая парадигма для построения интеллектуальных систем человеко-машинного управления сложными и экологически опасными объектами и технологиями // Автоматизация, телемеханизация и связь в нефтяной промышленности. 2013. №2. С. 15-21.

2. Васильев В. И., Вульфин А. М., Кудрявцева Р. Т. Анализ и управление рисками информационной безопасности с использованием технологии когнитивного моделирования // Доклады ТУСУРа. 2017. Т. 20. № 4. С. 61-66. Doi: 10.21293/1818-0442-2017-20-4-61-66.

3. Рогачев А. Ф., Мелихова Е. В., Руденко А. Ю. Оценка и прогнозирование сельскохозяйственного производства и продовольственной безопасности на основе нечетких когнитивных математических моделей // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2019. № 4 (56). С. 246-255. Doi: 10.32786/2071-9485-2019-04-29.

4. СППР "ИГЛА" [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://iipo.tu-bryansk.ru/quill/index.html> (19.11.2019).

5. Страницка проф. Е.В. Луценко. Сайт Научного журнала КубГАУ. URL: <http://ej.kubagro.ru/a/viewaut.asp?id=11>.

6. Antamoshkina E. N., Rogachev A. F. Methodical approach to food security assessment and forecasting // Advances in economics, business and management research: proceedings of the Volgograd State University International Scientific Conference "Competitive, Sustainable and Safe Development of the Regional Economy" (CSSDRE 2019), 2019. P. 184-187.

7. Chrysafiadi K., Virvou M. A Knowledge Representation Approach Using Fuzzy Cognitive Maps for Better Navigation Support in an Adaptive Learning System // SpringerPlus. 2013. Issue 2:81. P. 1-13.

8. Gavriluk E. A., Mantserov S. A. Fuzzy reliability model of systems for decision support in technical diagnostics // Fuzzy Technologies in the Industry - FTI 2018: proceedings of the II International Scientific and Practical Conference, 2018. P. 222-234.

9. Ginis L. A., Gorelova G. V., Kolodenkova A. E. Cognitive and simulation modeling of regional economic system development // International Journal of Economics and Financial Issues. 2016. V. 6. № S5. P. 97-103.

10. 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), 2017. Vol. 1904. P. 57-63.

11. Knight CR. J. K., Lloyd D. J. B., Penn A. S. Linear and Sigmoidal Fuzzy Cognitive Maps: An Analysis of Fixed Points. <https://pdfs.semanticscholar.org/> (01.09.2017).

12. Korshunov G. A., Lipatnikov V. A., Shevchenko A. A. Decision support systems for information protection in the management of the information network // Fuzzy Technologies in the Industry - FTI 2018: proceedings of the II International Scientific and Practical Conference, 2018. P. 418-426.

13. Osoba O. A., Kosko B. Fuzzy Cognitive Maps of Public Support for Insurgency and Terrorism // Journal of Defense Modeling and Simulation: Applications, Methodology, Technology. 2017. Vol. 14 (1). P. 17-32.

14. Outlier detection and classification in sensor data streams for proactive decision support systems / M. V. Shcherbakov [et al.] // Journal of Physics: Conference Series. 2017. V. 803. № 1. P. 012143.

15. Papageorgiou E. Fuzzy Cognitive Maps for Applied Sciences and Engineering: From Foundations to Extensions and Learning Algorithms // Springer Science & Business Media. 2014. V. 54. <http://www.springer.com/us/book/9783642397387>, свободный (01.09.2017).

16. Rogachev A. F., Antamoshkina E. N. Mathematical modeling of the food-security level using a fuzzy cognitive approach // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science – 403, 2019. Doi: 10.1088/1755-1315/403/1/012181.

17. Weikard H. P. Phosphorus recycling and food security in the long run: a conceptual modelling approach // Food Security. 2016. V. 8. Iss. 2. P. 405-414.

Conclusions. The analysis of software and hardware for supporting cognitive modeling in the field of predicting the level of PB revealed key problems that need to be solved and investigated.

1. Well-known technical solutions for implementing the mathematical apparatus of cognitive modeling provide the possibility of computer support for identifying trends and predicting the development of the systems under study, as well as the consequences of management decisions, with modeling of some results that are difficult to predict by expert methods with an increase in the number of concepts taken into account.

2. The numerical results obtained for predicting the development trends of the simulated SES are approximate, which is due to the vagueness of the approach used and the evaluation scales used. Forecasts may not be reliable enough, in particular, if the values of positive and negative interactions are close, in the case of small values of the calculated consonances.

3. The main directions of improving the software and hardware of the PPR in the field of assessing and predicting the level of PB are to increase the reliability and performance of such systems, as well as to optimize their parameters.

Reference

1. Bashlykov A. A. Cognitive management as a new paradigm for building intelligent systems of human-machine control of complex and environmentally dangerous objects and technologies // Automatization, telemechanization and communication in the oil industry. 2013, No. 2. P. 15-21.

2. Vasiliev V. I., Vulfin A. M., Kudryavtseva R. T. Analysis and management of information security risks using the technology of cognitive modeling // Reports of TUSUR. 217. V. 20. No. 4. Pp. 61-66. Doi: 10.21293/1818-0442-2017-20-4-61-66.

3. Rogachev A. F., Melikhova E. V., Rudenko A. Yu. Assessment and forecasting of agricultural production and food safety based on fuzzy cognitive mathematical models // Proceedings of the lower Volga agrodiversity complex: Science and higher professional education. 2019. No. 4 (56). Pp. 246-255. Doi: 10.32786/2071-9485-2019-04-29.
4. SPPR "IGLA" [Electronic resource] access Mode: <http://iipo.tu-bryansk.ru/quill/index.html> (19.11.2019).
5. The page of Prof. E. V. Lutsenko. The website of the Scientific journal of the Kuban state agrarian University. URL: <http://ej.kubagro.ru/a/viewaut.asp?id=11>.
6. Antamoshkina E. N., Rogachev A. F. Methodical approach to food security assessment and forecasting // Advances in economics, business and management research: proceedings of the Volgograd State University International Scientific Conference "Competitive, Sustainable and Safe Development of the Regional Economy" (CSSDRE 2019), 2019. P. 184-187.
7. Chrysafiadi K., Virvou M. A Knowledge Representation Approach Using Fuzzy Cognitive Maps for Better Navigation Support in an Adaptive Learning System // SpringerPlus. 2013. Issue 2:81. P. 1-13.
8. Gavriluk E. A., Mantserov S. A. Fuzzy reliability model of systems for decision support in technical diagnostics // Fuzzy Technologies in the Industry - FTI 2018: proceedings of the II International Scientific and Practical Conference, 2018. P. 222-234.
9. Ginis L. A., Gorelova G. V., Kolodenkova A. E. Cognitive and simulation modeling of regional economic system development // International Journal of Economics and Financial Issues. 2016. V. 6. № S5. P. 97-103.
10. 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), 2017. Vol. 1904. P. 57-63.
11. Knight CR. J. K., Lloyd D. J. B., Penn A. S. Linear and Sigmoidal Fuzzy Cognitive Maps: An Analysis of Fixed Points. <https://pdfs.semanticscholar.org/> (01.09.2017).
12. Korshunov G. A., Lipatnikov V. A., Shevchenko A. A. Decision support systems for information protection in the management of the information network // Fuzzy Technologies in the Industry - FTI 2018: proceedings of the II International Scientific and Practical Conference, 2018. P. 418-426.
13. Osoba O. A., Kosko B. Fuzzy Cognitive Maps of Public Support for Insurgency and Terrorism // Journal of Defense Modeling and Simulation: Applications, Methodology, Technology. 2017. Vol. 14 (1). P. 17-32.
14. Outlier detection and classification in sensor data streams for proactive decision support systems / M. V. Shcherbakov [et al.] // Journal of Physics: Conference Series. 2017. V. 803. № 1. P. 012143.
15. Papageorgiou E. Fuzzy Cognitive Maps for Applied Sciences and Engineering: From Foundations to Extensions and Learning Algorithms // Springer Science & Business Media. 2014. V. 54. <http://www.springer.com/us/book/9783642397387>, свободный (01.09.2017).
16. Rogachev A. F., Antamoshkina E. N. Mathematical modeling of the food-security level using a fuzzy cognitive approach // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science – 403, 2019. Doi: 10.1088/1755-1315/403/1/012181.
17. Weikard H. P. Phosphorus recycling and food security in the long run: a conceptual modelling approach // Food Security. 2016. V. 8. Iss. 2. P. 405-414.

Authors Information

Rogachev Alexey Fruminovich, head of the Department of Mathematical modeling and Informatics of Volgograd state agrarian University (Russia, 400002, Volgograd, Universitetskiy Ave., 26), doctor of technical Sciences, Professor <https://orcid.org/0000-0001-6483-6091>, rafr@mail.ru

Melikhova Elena Valentinovna, candidate of technical Sciences, associate Professor of the Department of Mathematical modeling and Informatics of the Volgograd state agrarian University (26 Universitetskiy Ave., Volgograd, 400002, Russian Federation), <https://orcid.org/0000-0002-4041-4270>, melv07@mail.ru

Antamoshkina Elena Nikolaevna , associate Professor of the Department of Social and cultural services and tourism, Volgograd state agrarian University (Russia, 400002, Volgograd, Universitetskiy Ave., 26), candidate of economic Sciences, associate Professor

Информация об авторах

Рогачев Алексей Фруминович, зав. кафедрой "Математическое моделирование и информатика" Волгоградского государственного аграрного университета (РФ, 400002, г. Волгоград, пр. Университетский, д.26), доктор технических наук, профессор <https://orcid.org/0000-0001-6483-6091>, rafr@mail.ru

Мелихова Елена Валентиновна, кандидат технических наук, доцент кафедры «Математическое моделирование и информатика» Волгоградского государственного аграрного университета (РФ, 400002, г. Волгоград, пр. Университетский, д.26), <https://orcid.org/0000-0002-4041-4270>, melv07@mail.ru

Антамошкина Елена Николаевна, доцент кафедры «Агротуризма и сервисных технологий» Волгоградского государственного аграрного университета (РФ, 400002, г. Волгоград, пр. Университетский, д.26), кандидат экономических наук, доцент, <https://orcid.org/0000-0002-1306-616X>, antamoshkina@mail.ru