

УДК 004.81

## АЛГОРИТМ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ УПРАВЛЕНЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ НА ОСНОВЕ НЕЧЕТКОЙ КОГНИТИВНОЙ МОДЕЛИ ОЦЕНКИ УРОВНЯ БЕЗОПАСНОСТИ

**Закиева Е.Ш.**

*ФГБОУ ВО «Уфимский государственный авиационный технический университет»,  
Уфа, e-mail: zakievae@mail.ru*

В статье рассматриваются вопросы разработки алгоритма поддержки принятия решений при управлении безопасностью социально-экономических систем на примере регионов Российской Федерации. Предлагаемый алгоритм основан на применении методов интеллектуального анализа данных и нечеткого когнитивного моделирования и включает выполнение семи основных этапов. На первом этапе формируется выборка статистических показателей, характеризующих различные аспекты безопасности: безопасность личности, безопасность для здоровья, экологическая безопасность, культурная безопасность, политическая безопасность, безопасность сообщества. На втором этапе выполняется корреляционный и регрессионный анализ данных с целью определения значений весовых коэффициентов связей между показателями и их направлений. На третьем этапе проводится компонентный и кластерный анализ данных, строятся кластеры регионов, определяются их характерные особенности. На четвертом этапе формируется иерархическая структура интегрального показателя безопасности. На пятом этапе строится нечеткая когнитивная модель, определяются входные, промежуточные и выходные концепты. На шестом этапе разрабатывается динамическая модель в виде дифференциальных уравнений, учитывающих динамические особенности формирования интегрального показателя безопасности и позволяющих провести его оценку, а также исследовать влияние на него различных факторов. На седьмом этапе выполняется поиск оптимальных управленческих решений по корректировке распределения финансовых ресурсов, обеспечивающих достижение максимального значения уровня безопасности при заданных ограничениях.

**Ключевые слова:** алгоритм, поддержка принятия решений, безопасность, корреляционный анализ, регрессионный анализ, интеллектуальный анализ данных, нечеткая когнитивная модель, генетические алгоритмы

## ALGORITHM OF INTELLIGENT SUPPORT MANAGEMENT DECISIONS BASED ON FUZZY COGNITIVE MODEL OF ASSESSING SECURITY LEVEL

**Zakieva E.Sh.**

*Ufa State Aviation Technical University, Ufa, e-mail: zakievae@mail.ru*

The article deals with the development of a decision support algorithm for managing the security of socio-economic systems on the example of the Russian Federation regions. The proposed algorithm is based on the application of data mining methods and fuzzy cognitive modeling and includes the performance of seven main stages. At the first stage a sample of statistical indicators characterizing different aspects of security is formed: personal security, health security, environmental security, cultural security, political security, community security. At the second stage correlation and regression analysis of the data is performed in order to determine the values of the weighting coefficients of the relationships between the indicators and their directions. At the third stage the component and cluster analysis of data is carried out, clusters of regions are built, their characteristic features are determined. At the fourth stage the structure of the integral indicator of security is formed. At the fifth stage fuzzy cognitive model is built, input, intermediate and output concepts are determined. The sixth stage is developing a dynamic model in the form of differential equations, which take into account the dynamic features of the formation of the integral index of the level of safety and allow to estimate it, as well as to study the impact of various factors on it. At the seventh stage the search of optimal managerial decisions on the adjustment of the distribution of financial resources, ensuring the achievement of the maximum value of the safety level under the given constraints is performed.

**Keywords:** algorithm, decision support, security, correlation analysis, regression analysis, data mining, fuzzy cognitive model, genetic algorithms

На современном этапе общественного развития содержание понятия безопасности расширилось вследствие того, что человечество осознало необходимость обеспечения коллективной безопасности в планетарном масштабе. Это стало реальным лишь в результате появления угроз и больших вызовов экономического, социального, экологического характера, возникновения и распространения новых опасных инфекций, представляю-

щих угрозу жизни и здоровью населения. Ключевым фактором стало изменение источников угроз, их глобальный многоуровневый характер, возможность этих угроз перетекать через границы одного государства в другое, с одного региона или даже континента на другой. Противодействие таким угрозам и вызовам невозможно осуществить силами отдельных государств, а требует совместных усилий всего мирового сообщества.

Изучение проблемы обеспечения безопасности и устойчивого развития является одним из главных вопросов современной науки, которая занимается поиском наиболее оптимального пути к достижению мира и безопасности и формированию основных механизмов адаптации к происходящим изменениям внутренней и внешней среды [1]. Анализ вызовов, угроз, рисков и опасностей для общества, основных ценностей и интересов людей обеспечивает движение от безопасности среды обитания к формированию культуры безопасности.

Базовые положения концепции человеческой безопасности сформулированы в Докладе ПРООН в 1994 г. и остаются актуальными на сегодняшний день. Концепция провозглашает четыре главных принципа: превентивный характер, универсальность, взаимозависимость компонентов и ориентация на людей [2].

Принцип превентивности заключается в возможности предотвращать угрозы до их появления. При этом речь идет об угрозах мирового масштаба. Например, прогнозирование опасных природных явлений, таких как землетрясения, цунами и т.д. Прогноз позволяет осуществить необходимые меры и снизить последствия катастрофы.

Принцип универсальности заключается в том, что новые угрозы, возникающие на пути человечества, затрагивают в определенной степени все государства, что объясняется процессами глобализации. Например, коронавирусная инфекция COVID-19. Угроза возникла на территории Китая в конце 2019 г. и за короткий срок распространилась по всему миру за счет миграционного движения населения.

Принцип взаимозависимости компонентов предполагает цепную реакцию кризисных ситуаций, последствия которых оказывают влияние на всё мировое сообщество. Например, загрязнение мирового океана, терроризм, наркоторговля. Перечисленные явления могут возникать на территории одной страны и вовлечь соседствующие государства.

Принцип ориентации на людей определяет защиту интересов человека как основу всей концепции безопасности.

Современные представления о понятии безопасности многообразны и многогранны. Наиболее известны три концептуальных подхода: официальный, системно-философский и аксиологический [3]. В контексте официального подхода безопасность определяется как состояние защищенности интересов (в том числе и национальных) от угроз. Сторонники системно-философ-

ского подхода в определении безопасности акцентируют внимание на сохранении целостности, устойчивости, стабильности и способности социальной системы (страны, государства, общества) эффективно функционировать при деструктивных воздействиях на нее. В соответствии с аксиологическим подходом безопасность связана с сохранением национальных ценностей, в том числе и духовных.

События последних лет обострили проблему обеспечения безопасности. Исследуются ее различные аспекты, разрабатываются новые концепции. Особенности современных подходов к изучению проблемы безопасности являются, во-первых, придание приоритетности интересам человека при рассмотрении темы безопасности; во-вторых, качественно новый уровень разработки количественных методов оценки. Проблемы обеспечения безопасности исследуются в центре глобальных исследований на факультете глобальных процессов Московского государственного университета, в Институте государства и права Российской академии наук, в Институте экономики Уральского отделения РАН, вопросам обеспечения национальной безопасности посвящены работы С.Н. Бабурина, М.И. Дзлиева, А.Д. Урсула, вопросам взаимосвязи безопасности и качества жизни – работы З.З. Биктимировой, вопросам философии безопасности – работы Н.Н. Рыбалкина, А.В. Герасимова и др.

Следует отметить, что несмотря на большое количество работ в области исследования проблемы безопасности, вопросы анализа, моделирования и оценки уровня безопасности социальных систем, а также разработки алгоритмов поддержки принятия решений при управлении безопасностью социальных систем, остаются малоизученными. В силу того, что проблема безопасности социальной системы относится к классу сложных слабоструктурированных проблем, для ее исследования целесообразно применение методов когнитивного анализа и моделирования, основанных на построении и анализе различных типов нечетких когнитивных моделей (карт). В отличие от простых когнитивных карт, эти модели предоставляют расширенные возможности для качественного и количественного анализа и моделирования проблемных ситуаций в условиях неопределенности, позволяя решить широкий спектр как аналитических задач, так и задач моделирования [4, 5].

Целью проводимого исследования является разработка алгоритма интеллектуальной поддержки принятия решений

при управлении безопасностью социально-экономических систем на примере регионов Российской Федерации, позволяющего определить оптимальные управленческие решения по корректировке распределения финансовых ресурсов для обеспечения максимального значения уровня безопасности регионов.

### Материалы и методы исследования

Обеспечение безопасности регионов РФ рассматривается как составляющая национальной безопасности страны, в понятие которой входят государственная, общественная, информационная, экологическая, экономическая, транспортная, энергетическая безопасность, безопасность личности [6].

Предлагаемый алгоритм интеллектуальной поддержки принятия управленческих решений включает выполнение семи основных этапов (рис. 1).

На первом этапе формируется статистическая выборка показателей, характеризующих различные аспекты безопасности регионов РФ.

На втором этапе выполняется корреляционный анализ показателей, позволяющий определить значения коэффициентов связей между показателями, а также регрессионный анализ, позволяющий определить направление связей.

На третьем этапе проводится интеллектуальный анализ данных о безопасности регионов РФ, выполняемый методами компонентного и кластерного анализа. Результатом данного этапа является определение кластеров регионов и их характерных особенностей.

На четвертом этапе формируется структура интегрального показателя безопасности в виде трехуровневой иерархии. Нижний уровень образуют исходные показатели, средний уровень – главные компоненты, верхний уровень – интегральный показатель.

На пятом этапе, на основе результатов предыдущих этапов, строится нечеткая когнитивная модель. Определяются входные, промежуточные и выходные концепты, коэффициенты и направления связей между ними.



Рис. 1. Схема алгоритма интеллектуальной поддержки принятия управленческих решений

На шестом этапе на основе разработанной нечеткой когнитивной модели строится динамическая модель в виде дифференциальных уравнений, учитывающих динамические особенности формирования интегрального показателя. Динамическая модель позволяет провести оценку интегрального показателя безопасности и исследовать влияние различных факторов на него.

На седьмом этапе с использованием разработанной модели на основе применения генетического алгоритма выполняется поиск оптимальных управленческих решений по корректировке распределения финансовых ресурсов, обеспечивающих достижение максимального значения уровня безопасности при заданных ограничениях.

Особенности предлагаемого алгоритма интеллектуальной поддержки принятия управленческих решений состоят в том, что, во-первых, при построении нечеткой когнитивной модели используются как статистические, так и интеллектуальные методы, позволяющие повысить объективность и адекватность разрабатываемой модели, во-вторых, при анализе построенной модели применяются генетические алгоритмы, которые позволяют рассчитать оптимальные значения расходов финансовых ресурсов, обеспечивающих достижение максимального значения интегрально-го показателя безопасности.

### Результаты исследования и их обсуждение

В соответствии с предложенным алгоритмом на первом этапе сформирована статистическая выборка, которая включает следующие показатели [7]: численность безработных ( $x_1$ , %); величина прожиточного минимума в субъектах РФ ( $x_2$ , руб.); численность населения с доходами ниже прожиточного минимума в субъектах РФ ( $x_3$ , %), потребление продуктов питания населением по субъектам РФ ( $x_4$ , кг на душу населения), заболеваемость по субъектам РФ ( $x_5$ , на 1000 чел.); рождаемость населения по субъектам РФ ( $x_6$ , на 1000 чел.); смертность населения по субъектам РФ ( $x_7$ , на 100000 чел.), выбросы загрязняющих веществ, отходящих от стационарных источников по субъектам РФ ( $x_8$ , тыс. т на 1000 чел. населения), численность зрителей театров в субъектах РФ ( $x_9$ , чел.); численность посетителей музеев в субъектах РФ ( $x_{10}$ , чел.); число стадионов в субъектах РФ ( $x_{11}$ ), численность беженцев в субъектах РФ ( $x_{12}$ , на 1000 чел.); численность вынуж-

денных переселенцев в субъектах РФ ( $x_{13}$ , на 100000 чел.); численность лиц, получивших временное убежище в субъектах РФ ( $x_{14}$ , на 100000 чел.), смертность трудоспособного населения ( $x_{15}$ , на 100000 чел.); численность рабочей силы в субъектах РФ ( $x_{16}$ , тыс. чел.); число организаций, на которых проходили забастовки в субъектах РФ ( $x_{17}$ ); численность работников, участвовавших в забастовках, в субъектах РФ ( $x_{18}$ , тыс. чел.), коэффициенты брачности ( $x_{19}$ , на 1000 чел.); коэффициенты разводимости ( $x_{20}$ , на 1000 чел.); соотношение браков и разводов в субъектах РФ ( $x_{21}$ , на 1000 браков); число убийств ( $x_{22}$ , на 1000 чел.); число преступлений, совершенных несовершеннолетними ( $x_{23}$ , на 1000 чел.), добыча угля по субъектам РФ ( $x_{24}$ , млн т); отгрузка нефтепродуктов в субъектах РФ ( $x_{25}$ , тыс. т); добыча природного газа ( $x_{26}$ , трл м<sup>3</sup>); производство электроэнергии в субъектах РФ ( $x_{27}$ , млрд кВт-час).

На втором этапе выполнен корреляционный анализ показателей, который позволил определить значения коэффициентов связей между ними. Выявлено, например, что показатель численности безработных имеет наибольшее количество связей с другими показателями и имеет сильную прямую связь с показателем численности вынужденных переселенцев. Отметим, что показатели, имеющие очень малые значения коэффициентов корреляции, исключены из дальнейшего рассмотрения. Проведен регрессионный анализ, построены уравнения парной и множественной регрессии, оценена их значимость по критерию Фишера.

На третьем этапе выполнен компонентный анализ, построены шесть главных компонент (ГК), обеспечивающих требуемый процент дисперсии, определен состав признаков главных компонент. Проведен кластерный анализ, позволивший определить количество и состав кластеров регионов и их характерные особенности (таблица).

На основе полученных характеристик кластеров выработаны рекомендации в виде дополнительного вложения финансовых ресурсов для повышения уровня безопасности регионов [8].

На четвертом этапе по результатам компонентного анализа сформирована структура интегрального показателя безопасности, включающая шесть аспектов: безопасность личности, безопасность для здоровья, экологическая безопасность, культурная безопасность, политическая безопасность, безопасность сообщества.



Характеристика кластеров в пространстве главных компонент

Номер кластера	Значение главной компоненты					
	ГК 1	ГК 2	ГК 3	ГК 4	ГК 5	ГК 6
1	высокое	среднее	среднее	низкое	среднее	низкое
2	среднее	высокое	высокое	среднее	высокое	низкое
3	среднее	высокое	высокое	низкое	среднее	низкое
4	низкое	среднее	высокое	низкое	среднее	низкое

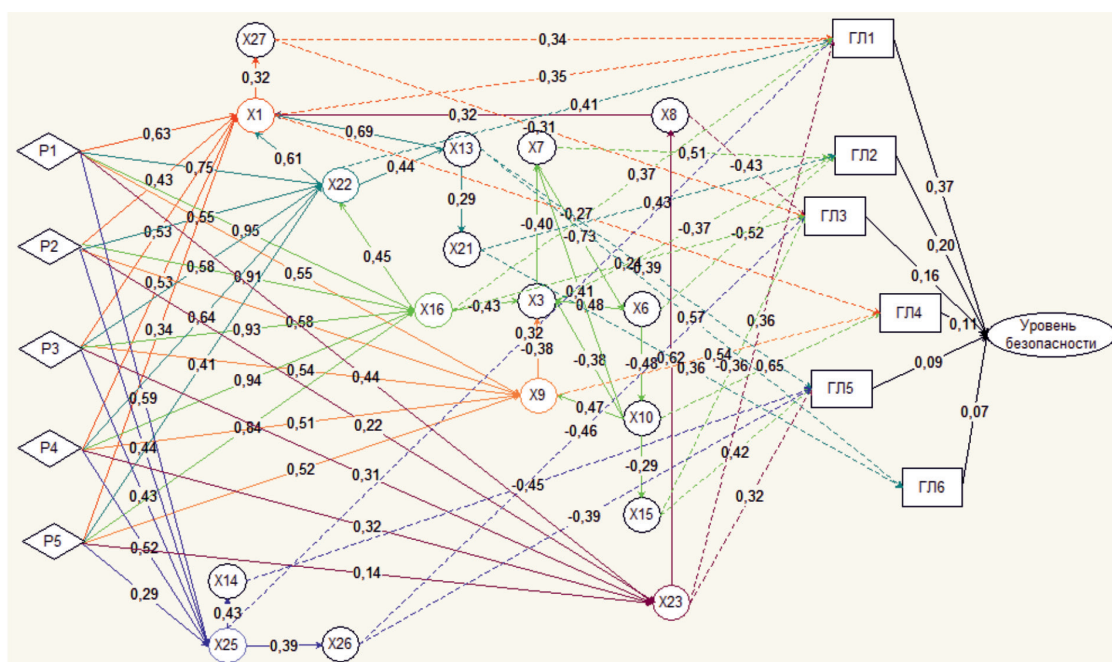


Рис. 2. Нечеткая когнитивная модель оценки уровня безопасности

На пятом этапе построена нечеткая когнитивная модель для оценки уровня безопасности регионов РФ. Входными концептами модели являются объемы финансовых расходов: на образование (P1), на здравоохранение (P2), на социальную политику (P3), на общегосударственные вопросы (P4), на национальную экономику (P5); промежуточными концептами – показатели, характеризующие различные аспекты безопасности, а также главные компоненты; выходным концептом – интегральный показатель безопасности (рис. 2). Коэффициенты связей между концептами и их направления определены по результатам корреляционного и регрессионного анализа.

На шестом этапе на основе разработанной нечеткой когнитивной модели составлена динамическая модель в форме дифференциальных уравнений, построенных с учетом инерционности процессов освоения финансовых ресурсов и имеющих вид

$$\frac{dx_i}{dt} = -x_i + \sum_{j=1}^n \beta_{ij} x_j,$$

где  $\beta_{ij} = \frac{w_{ij}}{\sum_{j=1}^m w_{ij}}$  – коэффициенты влияния  $j$ -го признака на  $i$ -ю компоненту,  $w_{ij}$  – весовые коэффициенты признаков  $i$ -й компоненты,  $m$  – количество признаков  $i$ -й компоненты.

Интегральный показатель безопасности  $I_s$  рассчитывается как взвешенная сумма составляющих его компонент:

$$I_s = \sum_{i=1}^6 \alpha_i K_i,$$

где  $\alpha_i = \frac{\Delta_i}{\Delta_\Sigma}$  – весовой коэффициент, определяющий значимость  $i$ -й компоненты  $K_i$ ,

$\Delta_i$  – процент дисперсии  $i$ -й компоненты,  $\Delta_{\Sigma}$  – суммарный процент дисперсии построенных главных компонент.

Проведена оценка интегрального показателя безопасности с учетом характеристик построенных кластеров.

На седьмом этапе с использованием разработанной нечеткой когнитивной модели выполнен поиск оптимальных управленческих решений по корректировке распределения финансовых ресурсов в соответствии со статьями расходов, обеспечивающих достижение максимального значения уровня безопасности с учетом заданных ограничений, на основе применения генетического алгоритма [9]. В качестве ограничений рассмотрен суммарный объем расходов по всем статьям, который не должен превышать единицу (100%), а также ограничения по каждой статье расходов, рассчитанные в относительных единицах (долях) на основе анализа тенденций изменения расходов по соответствующей статье за период с 2016 по 2019 г. Получены оптимальные управленческие решения по корректировке распределения финансовых ресурсов, необходимых для достижения максимального значения уровня безопасности, которое показало, что в большей степени требуется увеличение расходов, направляемых в сферу образования, в меньшей степени – на общегосударственные вопросы.

### Заключение

Таким образом, разработан алгоритм интеллектуальной поддержки принятия решений при управлении безопасностью социально-экономических систем на примере регионов РФ. Рассмотрены основные этапы алгоритма. Сформирована выборка статистических показателей, характеризующих различные аспекты безопасности. Выполнен корреляционный и регрессионный анализ данных и определены значения весовых коэффициентов связей между показателями и их направления. Проведен компонентный и кластерный анализ данных, построены кластеры регионов, определены их характерные особенности, сформирована структура интегрального показателя безопасности. Построена нечеткая когнитивная модель, определены входные, промежуточные и выходные концепты. Разработана динамическая модель в виде дифференциальных уравнений, учитывающих динамические особенности формирования интегрального показателя безопасности. Найдены оптимальные управленческие решения по корректировке распределения финансовых ресурсов, обе-

спечивающих достижение максимального значения уровня безопасности при заданных ограничениях по суммарному объему ресурсов и по каждой статье расходов.

Предложенный алгоритм позволил оценить уровень безопасности регионов РФ и определить объемы финансовых ресурсов, необходимых для достижения максимального значения интегрального показателя безопасности. Разработанный алгоритм может применяться в качестве инструмента поддержки принятия решений при управлении социально-экономическими системами.

*Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 20-08-00796 «Интеллектуальное управление промышленным комплексом как динамическим многоагентным объектом на основе методов когнитивного моделирования и машинного обучения».*

### Список литературы

1. Урсул А.Д., Урсул Т.А. Цели перехода к устойчивому развитию человеческой цивилизации // Гуманитарные науки: теория и методология. 2016. № 2. С. 65–72.
2. Половина Е.В. Проблема дефиниции концепции безопасности человека в документах ООН // Политика, государство и право. 2015. № 4. [Электронный ресурс]. URL: <http://politika.snauka.ru/2015/04/2823> (дата обращения: 02.11.2021).
3. Герасимов А.В. Феномен безопасности в социально-философском дискурсе // Философская школа. 2018. № 4. С. 23–31.
4. Борисов В.В., Федулов А.С., Федулов Я.А. «Совместимые» нечеткие когнитивные модели: прямые и обратные задачи // Нечеткие системы и мягкие вычисления. 2016. Т. 11. № 2. С. 103–114.
5. 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.
6. Указ Президента Российской Федерации от 02.07.2021 № 400 «О Стратегии национальной безопасности Российской Федерации». [Электронный ресурс]. URL: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202107030001> (дата обращения: 21.09.2021).
7. Регионы России. Социально-экономические показатели, 2019. [Электронный ресурс]. URL: <https://rosstat.gov.ru/folder/210/document/13204> (дата обращения: 21.09.2021).
8. Закиева Е.Ш., Габдуллина Э.Р., Яляева Ю.И. Алгоритм оценки уровня безопасности регионов РФ на основе применения методов интеллектуального анализа данных и динамического моделирования // Исследование социально-экономического развития территорий в условиях санкций и угроз глобальных вызовов: материалы I Всероссийской научно-практической конференции (с международным участием) Вып. 1. В 2 т. / под общ. ред. Т.А. Бондарской; отв. ред. Г.Л. Попова; ФГБОУ ВО «ТГТУ». Тамбов: Издательский центр ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2020. Т. 1. С. 175–178.
9. Васильев В.И., Черняховская Л.Р., Вульфен А.М. Моделирование процессов управления инновационной деятельностью в регионе с применением нечетких когнитивных карт // Вестник АГТУ. Сер.: Управление, вычислительная техника и информатика. 2020. № 3. С. 15–25. DOI: 10.24143/2072-9502-2020-3-15-25.