

Александр Петрович СУХОДОЛОВ¹
Валерий Николаевич АНДРИЯНОВ²
Валентина Афанасьевна МАРЕНКО³
Вячеслав Евгеньевич ЛОЖНИКОВ⁴

УДК 519

ПРИМЕНЕНИЕ КОГНИТИВНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ АСПЕКТОВ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ*

¹ доктор экономических наук, профессор, ректор,
Байкальский государственный университет (г. Иркутск)
rector@bgu.ru

² кандидат юридических наук, доцент
кафедры национальной безопасности
Института государства и права,
Байкальский государственный университет (г. Иркутск)
andriyanov-vn@rambler.ru

³ кандидат технических наук, доцент,
старший научный сотрудник,
Институт математики им. С. Л. Соболева
СО РАН (г. Омск)
marenko@ofim.oscsbras.ru

⁴ аспирант кафедры теоретической физики,
Омский государственный университет им. Ф. М. Достоевского
vereskanthem@gmail.com

* Работа выполнена при финансовой поддержке программы фундаментальных научных исследований СО РАН (№ I.5.1., проект № 0314-2016-0020).

Цитирование: Суходолов А. П. Применение когнитивного моделирования для исследования аспектов чрезвычайных ситуаций / А. П. Суходолов, В. Н. Андриянов, В. А. Маренко, В. Е. Ложников // Вестник Тюменского государственного университета. Физико-математическое моделирование. Нефть, газ, энергетика. 2018. Том 4. № 4. С. 235-248.
DOI: 10.21684/2411-7978-2018-4-4-235-248

Аннотация

В связи с увеличением числа чрезвычайных ситуаций (ЧС) в настоящее время уделяется большое внимание вопросам безопасности жизнедеятельности. Для изучения различных аспектов ЧС специалисты применяют концептуальное моделирование или статистические методы. Авторы предлагают использовать когнитивное моделирование, которое представляет собой междисциплинарное научное направление для помощи исследователям в фиксации своих представлений об исследуемых объектах в виде субъективных моделей. Цель написания статьи — иллюстрация возможностей когнитивного моделирования для исследования аспектов ЧС и иллюстрация результатов апробации авторского программного средства для проведения имитационного эксперимента с созданной когнитивной моделью. Для достижения цели реализовано несколько задач. Выявлены базисные факторы для построения проблемного поля, к которым относится «безопасность людей при ЧС», «разрушение» объекта, «возгорание» на нем, «появление токсических веществ», возникновение «паники», «длительность ожидания» спасательных служб. Создана когнитивная карта в виде взвешенного ориентированного графа с целевым фактором «безопасность людей при ЧС». Проведено согласование рефлексивных экспертных оценок с применением математической статистики, сформулированы экспертные правила на основе причинно-следственных рассуждений. Далее проводился имитационный эксперимент, алгоритм которого построен с применением численных методов. Имитационный эксперимент реализован с помощью двух программных средств: Microsoft Excel и авторской программы, разработанной в рамках импортозамещения. Эксперимент показал совпадение результатов, получаемых с помощью зарубежного и авторского программных средств, в том числе подтвердил зависимость безопасности людей при ЧС от уровня паники и времени прибытия спасателей. Авторское программное средство будет применяться в дальнейших исследованиях для анализа других социально-экономических моделей.

Ключевые слова

Когнитивное моделирование, оргграф, нечеткое множество, алгоритм, рефлексивные экспертные оценки, имитационный эксперимент, чрезвычайная ситуация.

DOI: 10.21684/2411-7978-2018-4-4-235-248

Введение

В настоящее время большое внимание уделяется вопросам безопасности жизнедеятельности в связи с увеличением ЧС природного и техногенного характера, поэтому моделирование и прогнозирование ЧС является актуальной задачей. Изучение состояний природных и техногенных источников ЧС необходимо для предсказания их возможных параметров и последствий. Прогнозирование основывается на анализе причин возникновения ЧС, характеристик источника в прошлом и настоящем, закономерностях его функционирования с целью выбора адекватного математического средства для построения соответствующей модели и изучения поведения объекта ЧС. В основе применяемых методов лежит эвристический и математический подход. Эвристический подход опирается на мнения

экспертов, на их знания, интуицию и опыт. Математический подход позволяет построить модель и выявить различные зависимости между базовыми характеристиками объектов, на которых возможны ЧС.

Так, например, Т. А. Трифонова с применением современных математических методов и достижений информационных технологий проводит анализ различных ЧС, который включает моделирование ситуаций и прогнозирование их последствий с учетом системных концепций и многофакторности рассматриваемых случаев как в целом, так и на конкретных территориях [9]. В статье В. В. Лесных и Т. Б. Тимофеевой описывается модель, полученная с использованием метода Монте-Карло, которая оценивает эффективность системы возмещения ущерба с применением вероятностного и параметрического подходов [2]. В. В. Кульба проводит сценарный анализ ЧС, где под сценарием понимается выделение ключевых моментов развития исследуемого объекта и разработка на этой основе различных вариантов его динамики. В статье приводится математическая модель ЧС, вводятся формализованные понятия концепции «генерации сценариев» [1].

Методы прогнозирования ЧС

Метод экстраполяции имеет большое распространение как прогнозное средство, которое состоит в изучении ретроспективных данных и перенесении выявленных закономерностей в прошлом на будущее (рис. 1).

На рис. 1 приведен ретроспективный анализ количества техногенных (1), природных (2) и биолого-социальных (3) катастроф по данным Министерства РФ по чрезвычайным ситуациям. Линия 4 — аппроксимация данных по техногенным показателям в виде полиномиальной линии тренда. Пунктирная линия 5 — экстраполяция данных по биолого-социальным показателям в виде линей-

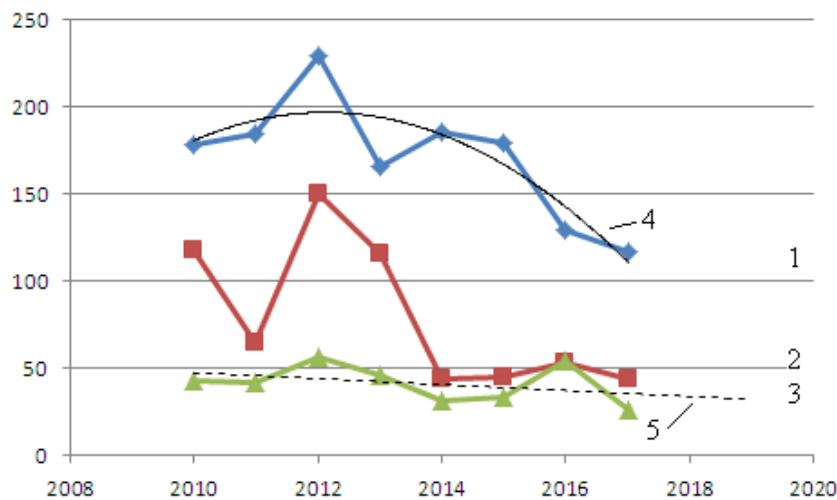


Рис. 1. Ретроспективные данные по ЧС

Fig. 1. Retrospective data on emergencies

ной линии тренда. Известно, что экстраполяция основана на выравнивании динамического ряда путем соответствующих математических расчетов, позволяющих графически построить линию тренда, отстоящую от точек реальных значений изучаемого явления за периоды наблюдений на минимальную сумму квадратов расстояния. К точкам динамического ряда линия тренда должна быть максимально приближенной. Экстраполяция позволяет с учетом среднеквадратических отклонений ретроспективных данных от расчетных значений тренда определять вероятностные характеристики исследуемого объекта [9]. В нашем примере прогнозируется снижение биолого-социальных ЧС в 2019 г.

Когнитивное моделирование — один из эффективных методов прогнозирования, опирающийся на субъективное восприятие исследователя. Процедура когнитивного моделирования разработана зарубежными учеными в прошлом веке и адаптирована к российским условиям в Институте проблем управления РАН им. В. А. Трапезникова. Суть когнитивного моделирования состоит в том, что для исследования проблемы выявляются существенные факторы и устанавливаются причинно-следственные взаимосвязи между ними. Выявление факторов традиционно проводится с привлечением PEST и SWOT-анализа. Следующий шаг — построение когнитивной модели с применением экспертных методов и теории графов. Далее проводится сценарное исследование тенденций развития ситуации на основе имитационного моделирования, алгоритм которого строится с использованием численных методов [3].

Описание исследования проблемы ЧС

Построение когнитивной модели ЧС

В результате обзора научных публикаций нами установлено, что аспекты когнитивного моделирования применялись другими исследователями для изучения проблемы ЧС, но с иными базисными факторами и масштабами проблемы.

Выявленные нами факторы, влияющие на проблему ЧС, необходимые для построения упрощенной когнитивной модели, делятся на целевой и управляющие. Целевой фактор — это «безопасность людей при ЧС». К управляющим факторам отнесены «разрушение» объекта, «возгорание» на нем, «появление токсических веществ», возникновение «паники», «длительность ожидания» спасательных служб.

Когнитивная модель представляется когнитивной картой или орграфом (V, E) , где V — множество базисных факторов ситуации, E — множество ребер или дуг орграфа, отражающих причинно-следственные отношения между факторами. Дуги, соединяющие факторы, характеризуются величиной и направлением взаимовлияния [3]. На рис. 2 представлен упрощенный вариант когнитивной карты «Безопасность людей при ЧС» с экспертными оценками влияния целевого и управляющих факторов друг на друга.

Для построения когнитивной модели использован кортеж известного вида $\Phi = (G, X, F)$, где $G = \langle V, E \rangle$ — ориентированный граф; X — множество параметров вершин V ; $X: V \rightarrow R$, R — множество вещественных чисел; $F = F(X, E) =$

$= F(x_i, x_j, e_{ij})$ — функционал преобразования дуг, ставящий в соответствие каждой дуге рефлексивные оценки специалистов или весовые коэффициенты w_{ij} . Рефлексивные оценки прошли процедуру согласования с применением коэффициента конкордации: $W = 12 \cdot S / (m^2(n^3 - n) - m \sum_{j=1}^m T_j)$, где m — количество специалистов; n — число пар концептов; S — сумма квадратов разностей рангов; T_j — количество равных рангов. Далее специалистами сформулированы экспертные правила как причинно-следственные отношения вида «если А, то Б», где А — совокупность причин, Б — следствие. Например: «если возгорание (А) сильное, то безопасность людей при ЧС (Б) низкая»; «если паника (А) высокая, то безопасность людей при ЧС (Б) низкая».

В ходе вычислительного эксперимента учитываются не только веса и направления дуг, но и значения переменных в вершинах орграфа. Переменные могут быть различными, в том числе лингвистическими. Например, «разрушение» — лингвистическая переменная, которая характеризует степень уничтожения комплекса объектов, включая промышленные предприятия, объекты социальной инфраструктуры, коммуникации и др. Значения лингвистической переменной «разрушение» — это нечеткие множества («сильное разрушение», «среднее разрушение», «слабое разрушение» и т. д.). В результате опроса специалистов установлено, что «сильное разрушение» может характеризоваться с помощью рефлексивных экспертных оценок, элементов нечеткого множества, со значениями от 9 до 15 баллов.

Вычисление степеней принадлежности элементов соответствующему нечеткому множеству осуществлялось с помощью следующих процедур. Эксперту предлагалось сравнить элементы в каждом из нечетких множеств с помощью схемы «сравнение с образцом» [4]. В роли образца выступал первый элемент рассматриваемого нечеткого множества. Далее с помощью качественных оценок шкалы Саати устанавливалось его сходство с другими элементами [8].

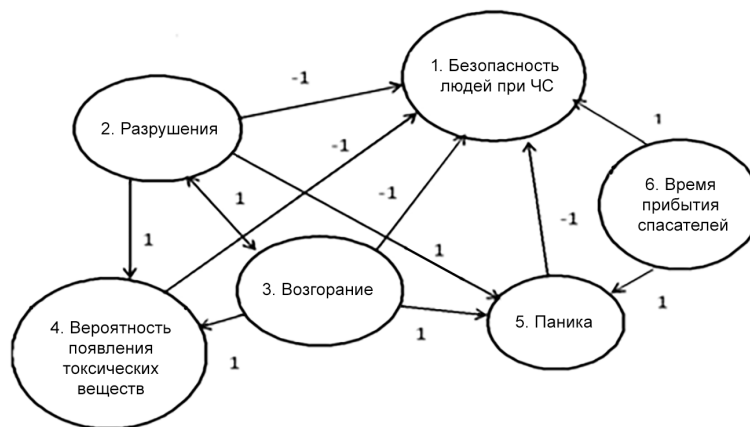


Рис. 2. Упрощенная когнитивная карта «Безопасность людей при ЧС»

Fig. 2. Simplified cognitive map «People safety in emergency»

Пример. Рассмотрим нечеткое множество «сильное разрушение», в котором за образец принимался первый элемент (значение 9 баллов). Эксперты установили слабое преимущество между первым и вторым (значение 13 баллов) элементами и существенное преимущество между первым и третьим (значение 15 баллов) элементами. Затем с использованием количественных оценок шкалы Саати формировалась первая строка матрицы парных сравнений нечеткого множества «сильное разрушение». Остальные элементы определены с учетом свойств матрицы по формуле:

$$a_{ij} = \frac{a_{1j}}{a_{1i}}, i = 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, n.$$

Элементы матрицы следующие:

$$M = [a_{ij}]_{n \times n} = \begin{bmatrix} 1 & \frac{1}{3} & \frac{1}{5} \\ 3 & 1 & \frac{3}{5} \\ 5 & 1\frac{2}{3} & 1 \end{bmatrix}.$$

Т. к. матрица парных сравнений M диагональная, обратно симметричная, транзитивная, то вычисление степеней принадлежности элементов соответствующему нечеткому множеству осуществлялось по формуле [7]:

$$\mu(s_i) = \frac{1}{a_{1i}^l + a_{2i}^l + \dots + a_{ni}^l}, i = 1, 2, \dots, n; l = 1, 2, \dots, m.$$

Визуализация расчетов представлена на рис. 3. «Разрушению» приблизительно 12 баллов соответствует степень принадлежности этого значения нечеткому множеству «сильное разрушение» (0,8), которое использовано в вычислительном процессе.

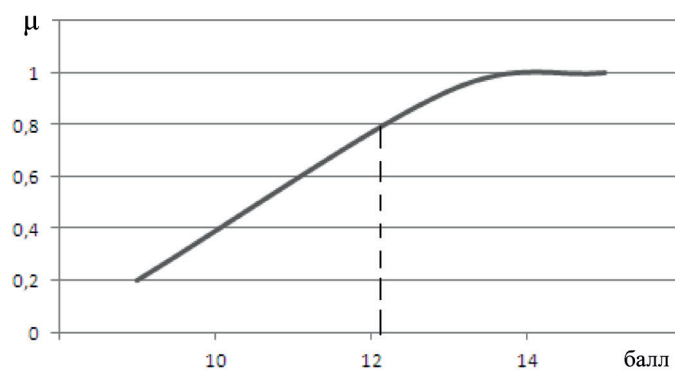


Рис. 3. Нечеткое множество «сильное разрушение»

Fig. 3. The fuzzy set of “severe destruction”

Результаты имитационного эксперимента иллюстрируют возможные варианты ситуаций ЧС в виртуальной среде, реализованные с помощью программных средств. Вычислительная процедура осуществляется следующим образом: в одну или несколько вершин орграфа поступают импульсы, актуализирующие в разной степени все показатели на орграфе. Если между двумя базисными факторами связь, например, 0,9 условных единиц, а значение одного из факторов увеличиваем на 10%, то величина другого фактора возрастет на 9%.

Формализация вычислительной процедуры такова: если в момент времени t в вершину орграфа поступает импульс $p_j(t) \in P(t)$, то переход в состояние $t + 1$ осуществляется по правилу $x_i(t + 1) = x_i(t) + \sum_{j=1}^n f(x_i, x_j, e_{ij})p_j(t)$ при известных начальных значениях, где $x_i(t)$ — параметр когнитивной модели. Графики на рис. 4 и 5 получены с использованием программного средства Microsoft Excel. Они показывают изменения значений базисных факторов при внесении импульсов в различные вершины орграфа.

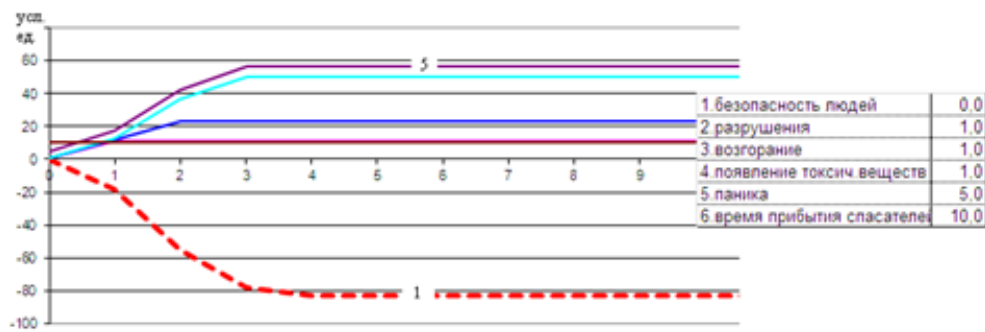


Рис. 4. Результат имитационного эксперимента в Microsoft Excel («паника» — 5 усл. ед., «время прибытия спасателей» — 10 усл. ед.)

Fig. 4. The result of a simulation experiment in Microsoft Excel (“panic” — 5 conventional units, “time of arrival of rescuers” — 10 units)

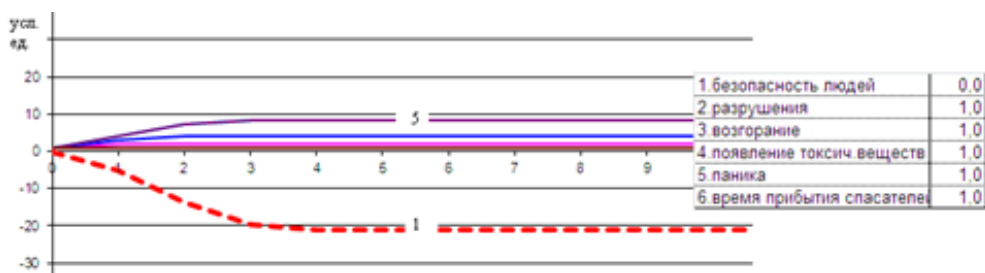


Рис. 5. Результат имитационного эксперимента в Microsoft Excel («паника» и «время прибытия спасателей» — 1 усл. ед.)

Fig. 5. The result of a simulation experiment in Microsoft Excel (“panic” and “time of arrival of rescuers” — 1 conventional unit)

На графиках по оси абсцисс даны шаги итерационной вычислительной процедуры. По оси ординат — изменения значений факторов в условных единицах. В таблицах, расположенных справа, даны значения вносимых импульсов в управляющие вершины орграфа. Как видно из графиков, уменьшение значения импульса в управляющие факторы «паника» и «время прибытия спасателей» до единицы приводит к увеличению значений целевого фактора «безопасность людей при ЧС» (красный пунктир). Приведенный результат эксперимента соответствует логике рассуждений.

Имитационный эксперимент проведен с помощью программного средства Microsoft Excel (результаты на рис. 4 и 5) и авторской программы (результат на рис. 7), в рамках российской политики импортозамещения, разработанной сотрудниками Омского и Байкальского государственных университетов [5].

Краткое описание авторской программы

Авторское программное средство предназначено для лабораторного исследования когнитивной модели. Работа с программой включает несколько этапов. Заполняется таблица (матрица смежности) размером $n \times n$, где n — целое число, соответствующее количеству базисных факторов когнитивной модели. Элементами матрицы являются рефлексивные экспертные оценки взаимосвязей между базисными факторами. Затем заполняются поля, включающие название базисных факторов и величины импульсов, вносимые в них. Алгоритм построения имитационной модели основан на системе конечно-разностных уравнений. Условием автономного импульсного процесса в знаковом орграфе является значение импульса $p_j(t)$, вносимого в одну из вершин орграфа, которое задается разностью значений параметров в вершинах в моменты времени t и $t + 1$: $p_j(t + 1) = v_i(t + 1) - v_i(t)$ при $t > 0$.

$$v_i(t + 1) = v_i(t) + \sum_{j=1}^n \operatorname{sgn}(e_j, e_i) p_j(t),$$

где

$$\operatorname{sgn}(e_j, e_i) = \begin{cases} 1, & \text{если дуга } (e_j, e_i) \text{ положительна,} \\ -1, & \text{если дуга } (e_j, e_i) \text{ отрицательна,} \\ 0, & \text{если дуга } (e_j, e_i) \text{ отсутствует.} \end{cases}$$

Предположим, что $p_i^0(t)$ — внешний импульс или изменение параметра в вершине e_j в момент времени t . Добавив величину $p_j^0(t)$ к значению параметра вершины e_j в момент времени t , получаем более общую формулу для импульсного процесса: $v_i(t + 1) = v_i(t) + p_j^0(t + 1) + \sum_{j=1}^n \operatorname{sgn}(e_j, e_i) p_j(t)$. «Условие... для автономного импульсного процесса в знаковом орграфе... обобщается в правило изменения значений для автономного импульсного процесса во взвешенном орграфе» [6, с. 179]. Далее обозначаем: $p_j^0(t) = p_j(0)$, а значения дуг — $\operatorname{sgn}(e_j, e_i) = w(e_j, e_i)$, тогда уравнение имеет следующий вид: $v_i(t + 1) = v_i(t) + \sum_{j=1}^n w(e_j, e_i) p_j(t)$. Поскольку $v_i(t + 1) - v_i(t) = p_j(t + 1)$, то $p_j(t + 1) = \sum_{j=1}^n w(e_j, e_i) p_j(t)$.

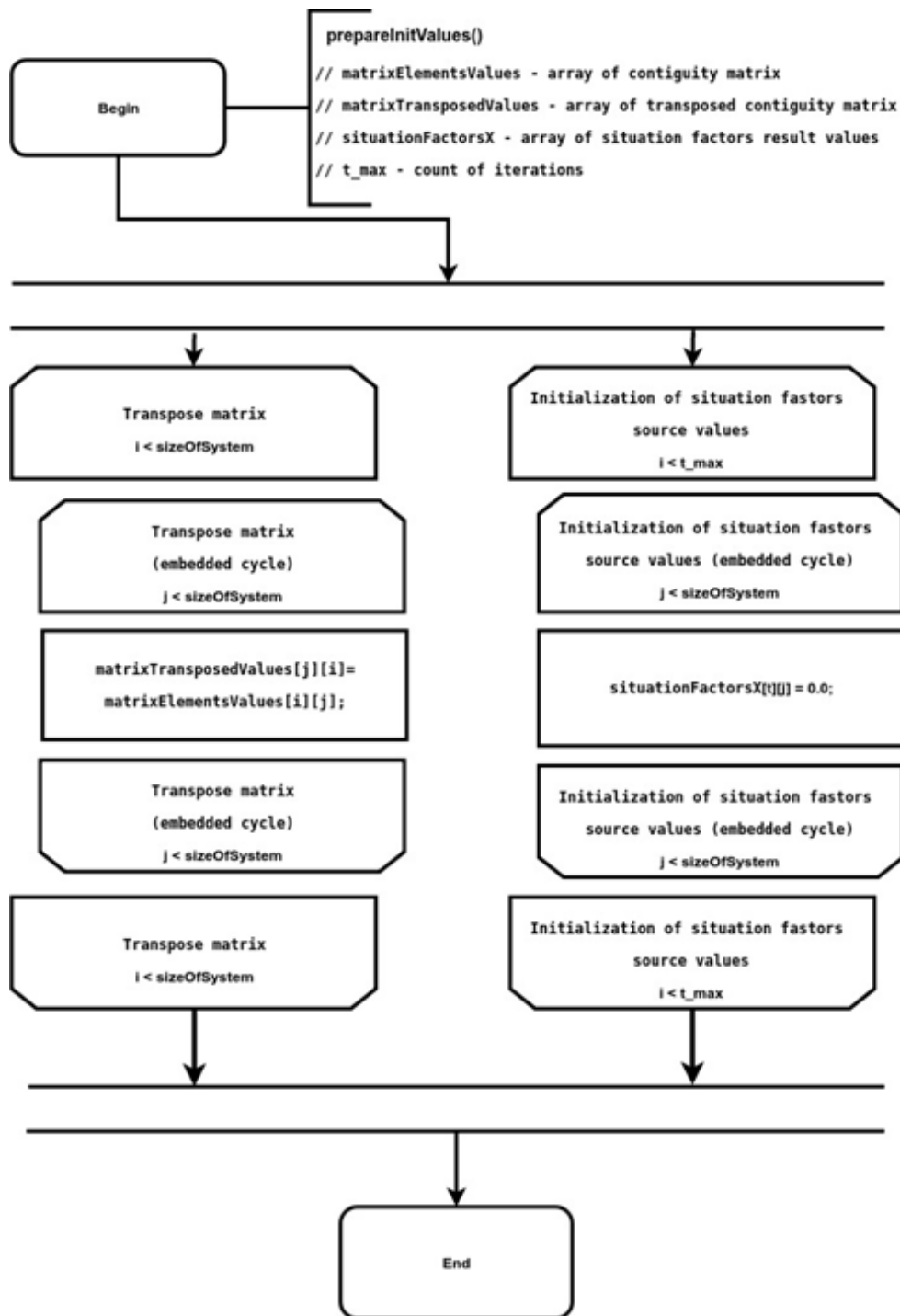


Рис. 6. Фрагмент алгоритма авторской программы

Fig. 6. Fragment of the original software algorithm

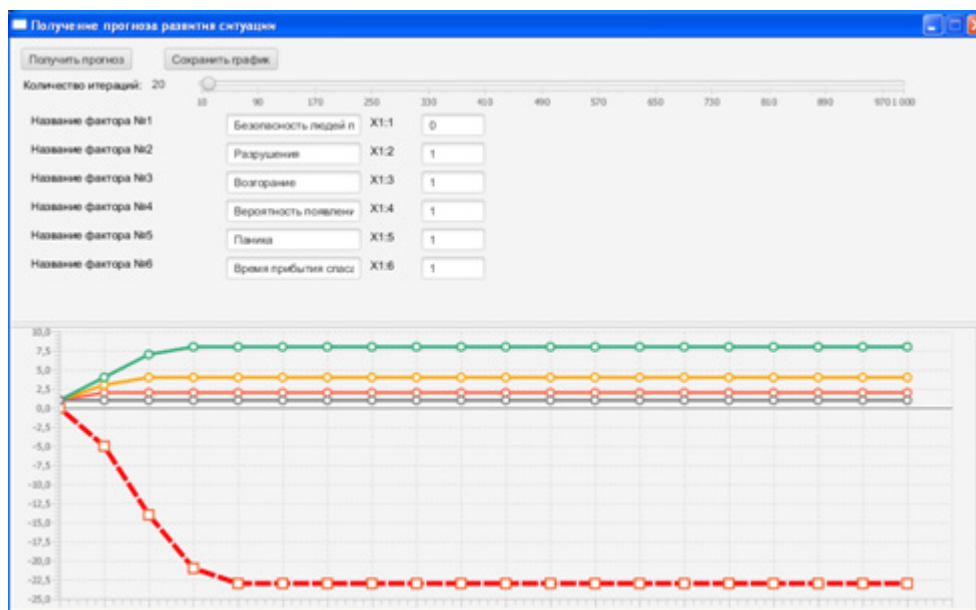


Рис. 7. Результат имитационного эксперимента, полученный с использованием авторской программы

Fig. 7. The result of the simulation experiment, developed with the original software

Полученное уравнение используется для расчета значений в вершинах ор-графа на нескольких шагах вычислений.

На рис. 6 и 7 показаны фрагмент алгоритма авторской программы и результат вычислительной процедуры с ее применением.

Авторская программа реализована с использованием кроссплатформенной технологии, которая позволяет запускать разработанное программное средство без участия зарубежных программ.

Результаты вычислительных процедур с применением двух программных средств совпадают. Значит, для проведения имитационного эксперимента вместо зарубежного программного средства Microsoft Excel можно применять авторскую программу.

Заключение

Исследование показало эффективность применения когнитивного моделирования для работы со структурными элементами рассматриваемой проблемы. Имитационный эксперимент, реализуемый с применением авторской программы, применялся в качестве визуального средства для иллюстрации развития ситуации с проблемой при различных начальных значениях. Разработанное программное средство будет использоваться в дальнейшем для анализа когнитивных моделей в социально-экономической сфере.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кульба В. В. Сценарии поведения сложных систем в чрезвычайных ситуациях / В. В. Кульба, Д. А. Кононов, Г. Г. Малинецкий // Управление рисками чрезвычайных ситуаций: доклады и выступления 6-ой Всероссийской научно-практической конференции (20-21 марта 2001 г., Москва). М.: КРУК, 2001. С. 143-152.
2. Лесных В. В. Национальная система возмещения ущерба, вызванного природными и техногенными ЧС: подходы, моделирование, оптимизация / В. В. Лесных, Т. Б. Тимофеева // Проблемы анализа риска. 2004. Том 1. № 1. С. 50-55.
3. Максимов В. И. Когнитивные технологии для поддержки принятия управленческих решений / В. И. Максимов, Е. К. Корноушенко, С. В. Качаев / Информационное общество. 1999. № 2. С. 50-54.
4. Ногин В. Д. Упрощенный вариант метода анализа иерархий на основе нелинейной свертки критериев / В. Д. Ногин // Журнал вычислительной математики и математической физики. 2004. Том 44. № 7. С. 1261-1270.
5. Программа для анализа устойчивости когнитивных моделей: свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ 2018618633 Рос. Федерация / А. П. Суходолов, В. Е. Ложников; заявитель и правообладатель Байкальский государственный университет. № 2018613479; заявл. 09.04.2018; опубл. 16.07.2018.
6. Робертс Ф. С. Дискретные математические модели с приложениями к социальным, биологическим и экологическим задачам / Ф. С. Робертс. М.: Наука, 1986. 496 с.
7. Ротштейн А. П. Нечеткий многокритериальный анализ вариантов с применением парных сравнений / А. П. Ротштейн, С. Д. Штовба // Известия академии наук. Теория и системы управления. 2001. № 3. С. 150-154.
8. Саати Т. Л. Принятие решений. Метод анализа иерархий / Т. Л. Саати; пер. с англ. Р. Г. Вачнадзе. М.: Радио и связь, 1993. 278 с.
9. Трифонова Т. А. Основы моделирования и прогнозирования чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера. Комплексный анализ развития фундаментальных природных процессов в земной коре с использованием современных математических методов и информационных технологий / Т. А. Трифонова, В. А. Акимов, С. И. Абрахин, С. М. Аракелян, В. Г. Прокошев. М.: Всероссийский научно-исследовательский институт по проблемам гражданской обороны и чрезвычайных ситуаций, 2014. 436 с.

Alexander P. SUKHODOLOV¹
Valery N. ANDRIYANOV²
Valentina A. MARENKO³
Vyacheslav E. LOZHNIKOV⁴

UDC 519

**APPLICATION OF COGNITIVE MODELING
FOR THE RESEARCH ASPECTS OF EMERGENCY SITUATIONS***

¹ Dr. Sci. (Econ.), Professor, Rector,
Baikal State University (Irkutsk)
rector@bgu.ru

² Cand. Sci. (Jur.), Associate Professor,
Honored Lawyer of the Russian Federation,
Deputy Chairman of the Academic Council
of the Institute of State and Law,
Department of National Security
of the Baikal State University (Irkutsk)
andriyanov-vn@rambler.ru

³ Cand. Sci. (Tech.), Associate Professor,
Senior Researcher, Sobolev Institute of Mathematics
of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (Omsk)
marenko@ofim.oscsbras.ru

⁴ Postgraduate Student,
Department of Theoretical Physics,
Omsk State University
vereskanthem@gmail.com

* The work was supported by the program of fundamental scientific researches
of the SB RAS (№ I.5.1., project No 0314-2016-0020).

Citation: Sukhodolov A. P., Andriyanov V. N., Marenko V. A., Lozhnikov V. E. 2018. "Application of Cognitive Modeling for the Research Aspects of Emergency Situations". Tyumen State University Herald. Physical and Mathematical Modeling. Oil, Gas, Energy, vol. 4, no 4, pp. 235-248.

DOI: 10.21684/2411-7978-2018-4-4-235-248

Abstract

With the increasing number of emergencies nowadays, conceptual models and statistics are used to study various natural and man-made emergencies. The authors suggest using cognitive modeling, which has been developing as an interdisciplinary scientific direction.

This article aims to illustrate the possibilities of cognitive modeling to study the aspects of emergencies and to illustrate the results of testing the authors' software for conducting a simulation experiment with the cognitive model created.

The authors provide a brief overview of the legislation and scientific publications on the problem, which reveals the conceptual apparatus of emergencies as threats to the safety of people and the environment. That has allowed forming the problem field, which includes "the safety of people in emergencies", "destruction" of an object, e. g. "fire", "the emergence of toxic substances", the ensuing "panic", and "waiting time" for the rescue services to arrive.

The authors created a cognitive map in the form of a weighted oriented graph with the target factor "the safety of people in emergency situations". They performed reconciliation of reflective expert assessments with the use of mathematical statistics, formulating expert rules based on cause-effect reasoning.

Then, the authors conducted a simulation experiment, the algorithm of which was constructed using numerical methods. The simulation experiment used the authors' program developed in the framework of import substitution, in addition to Microsoft Excel.

The experiment showed the coincidence of the results obtained with the help of foreign and copyright software, including that with an increase in "panic" and "rescuers arrival time", the safety of people in emergency situations decreases. Copyright software will be used in further research to analyze other socio-economic models.

Keywords

Cognitive modeling, digraph, fuzzy set, algorithm, reflexive expert estimations, imitation experiment, emergency.

DOI: 10.21684/2411-7978-2018-4-4-235-248

REFERENCES

1. Kulba V. V., Kononov D. A., Malinetskiy G. G. 2001. "Stsenarii povedeniya slozhnykh sistem v chrezvychaynykh situatsiyakh" [Behavior Scenarios for Complex Systems in Emergencies]. Proceedings of the 6th Russian Research Conference "Upravlenie riskami chrezvychaynykh situatsiy" (20-21 March, Moscow), pp. 143-152. Moscow: KRUK.
2. Lesnykh V. V., Timofeeva T. B. 2004. "Natsional'naya sistema vozmeshheniya ushherba, vyzvannogo prirodnyimi i tehnogennymi ChS: podkhody, modelirovanie, optimizatsiya" [National System of Compensation for Damage Caused by Natural and Man-Made Emergencies: Approaches, Modeling, Optimization]. Problemy analiza riska, vol. 1, no 1, pp. 50-55.

3. Maksimov V. I., Kornoushenko E. K., Kachaev S. V. 1999. "Kognitivnyye tekhnologii dlya podderzhki prinyatiya upravlencheskikh resheniy" [Cognitive Technologies to Support Management Decisions]. *Informatsionnoye obshchestvo*, no 2, pp. 50-54.
4. Nugin V. D. 2004. "Uproshchenny variant metoda analiza ierarkhiy na osnove nelineynoy svyortki kriteriev" [The Simplified Version of the Method of Analyzing the Hierarchies Based on Non-Linear Criteria Parcel]. *Zhurnal Vychislitel'noi Matematiki i Matematicheskoi Fiziki*, vol. 44, no 7, pp. 1261-1270.
5. Sukhodolov A. P., Lozhnikov V. E. 2018. "Programma dlya analiza ustoychivosti kognitivnykh modeley" [Program to Analyze the Stability of Cognitive Models]. Software state registration certificate No 2018618633, Russian Federation. Copyright belongs to Baikal State University. No 2018613479. Applied 9 April. Published 16 July.
6. Roberts F. C. 1986. *Diskretnyye matematicheskiye modeli s prilozheniyami k sotsial'nym, biologicheskim i ekologicheskim zadacham* [Discrete Mathematical Models with Applications to Social, Biological, and Environmental Problems]. Moscow: Nauka.
7. Rotshteyn A. P., Shtovba S. D. 2001. "Nechetkiy mnogokriterial'nyy analiz variantov s primeneniym parnykh sravneniy" [Fuzzy Multi-Criteria Analysis of Options with the Use of Pairwise Comparisons]. *Journal of Computer and Systems Sciences International*, no 3, pp. 150-154.
8. Saati T. L. 1993. *Prinyatiye resheniy. Metod analiza iyerarkhiy* [The Analytic Hierarchy Process]. Translated from English by R. G. Vachnadze. Moscow: Radio i svyaz.
9. Trifonova T. A., Akimov V. A., Abrakhin S. I., Arakelyan S. M., Prokoshev V. G. 2014. *Osnovy modelirovaniya i prognozirovaniya chrezvychaynykh situatsiy prirodno i tekhnogennogo kharaktera. Kompleksnyy analiz razvitiya fundamental'nykh prirodnykh protsessov v zemnoy kore s ispol'zovaniem sovremennykh matematicheskikh metodov i informatsionnykh tekhnologiy. Monografiya* [Basics of Modeling and Forecasting Natural and Manufactured Emergencies. Comprehensive Analysis of the Development of Fundamental Natural Processes in the Earth's Crust Using Modern Mathematical Methods and Information Technologies]. Moscow: Vserossiyskiy nauchno-issledovatel'skiy institut po problemam grazhdanskoy oborony i chrezvychaynykh situatsiy, Ministry of Emergency Situations (Russia).