

Поддержка принятия управленческих решений при рисках чрезвычайных ситуаций на основе применения методов анализа многомерных статистических данных

А.Ю. Лабинский, И.В. Бородушко, А.А. Таранцев

Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, Санкт-Петербург

Аннотация: Статья посвящена прикладным вопросам совершенствования процессов управления региональной безопасностью за счет развития методов анализа данных о чрезвычайных ситуациях. С целью выявления закономерностей возникновения чрезвычайных ситуаций использованы многомерные методы обработки статистических данных. Предложена многомерная классификация данных в области чрезвычайных ситуаций на основе нечеткой логики. Классификация выполнялась с использованием системы нечеткого вывода с четкими функциями принадлежности. В качестве статистических данных рассмотрены данные о чрезвычайных ситуациях техногенного, природного и биолого-социального характера, произошедших в федеральных округах России в 2020 году, включая данные о погибших и спасенных людях. Проведен анализ выборок данных о чрезвычайных ситуациях регионов по 5 признакам, проведена кластеризация регионов.

Ключевые слова: чрезвычайные ситуации, нечеткая многомерная кластеризация, нечеткая логика, система нечеткого вывода, компьютерная программа, математическая модель, прогнозирование, принятие решений.

Введение

Прогнозирование является одной из базовых функций управления в организационных системах различного уровня, в том числе в интересах обеспечения региональной безопасности. Оно направлено на предсказание будущих событий, основных тенденций и возможных результатов с целью принятия эффективных управленческих решений. При решении задачи обеспечения региональной безопасности исходной информационной базой являются, в том числе, данные прогнозирования в сфере чрезвычайных ситуаций (ЧС) в регионе.

Прогнозирование позволяет определить будущие цели и задачи, разработать стратегии и тактику для достижения этих целей, является основой для разработки планов действий и распределения ресурсов с целью обеспечения региональной безопасности при существующих рисках ЧС.

Разработка прогнозных моделей динамики ЧС позволяет выявить закономерности их возникновения, обосновывать управленческие решения, направленные на снижение возможных рисков ЧС, смягчение их последствий [1, 2].

В условиях почти полного отсутствия информации о законах распределения исходных статистических данных среди большого количества методов обработки многомерных статистических данных, целесообразно выбрать методы многомерной классификации (кластеризации) [3, 4]. Алгоритмы кластеризации объектов можно использовать в условиях отсутствия информации о законах распределения.

Методы кластеризации могут применяться в прогнозировании для разделения исследуемых объектов на группы по схожим характеристикам и последующего прогнозирования возможных рисков ЧС в целом, на ретроспективных данных для этих групп. Поскольку показатели в области ЧС демонстрируют схожие закономерности для регионов в рамках одного кластера, то предварительное применение метода кластеризации может дать больше данных для обучения в дальнейшем модели прогнозирования, что позволит повысить точность прогнозов. Это может быть полезным инструментом для принятия эффективных и обоснованных решений по обеспечению региональной безопасности.

Существуют различные методы кластеризации, которые можно разделить на группы в зависимости от различных признаков. По одному из классификационных признаков можно выделить четкие и нечеткие методы. Для четких методов характерно деление исходного множества на непересекающиеся подмножества. В случае отсутствия априорной информации о распределении генеральной совокупности используются нечеткие методы, в которых один объект может принадлежать с различной степенью принадлежности к нескольким подмножествам (кластерам).

В случае классификации при наличии обобщающих показателей используются методы факторного анализа [5]. При наличии нескольких показателей задача классификации решается методами кластерного анализа.

В случае наличия обучающих выборок статистических данных могут быть использованы методы классификации, основанные на использовании нейронных сетей, которые предполагают возможность обучения [6-8].

В условиях неопределенности целесообразно использование методов классификации, основанных на использовании нечеткой логики [9-11].

Сформулируем постановку задачи, результаты решения которой представлены в данной статье. Необходимо произвести анализ многомерных статистических данных о ЧС природного и техногенного характера, произошедших в различных федеральных округах России в 2020 году. Тема статьи актуальна, так как анализ данных о ЧС помогает прогнозировать и предотвращать такие ситуации, иногда носящие катастрофический характер [12].

Новизна исследования, отражающая личный вклад автора, заключается в использовании для проведения обработки статистических данных разработанной автором компьютерной модели, реализующей многомерную классификацию данных путем объединения данных в кластеры (группы). Компьютерная модель, реализованная в виде программы для ЭВМ, способна осуществлять кластеризацию с помощью системы нечеткого вывода.

Компьютерная модель с использованием нечеткой логики

Компьютерная модель была реализована в виде программы для ЭВМ [11], интерфейс которой представлен на рисунке 1.

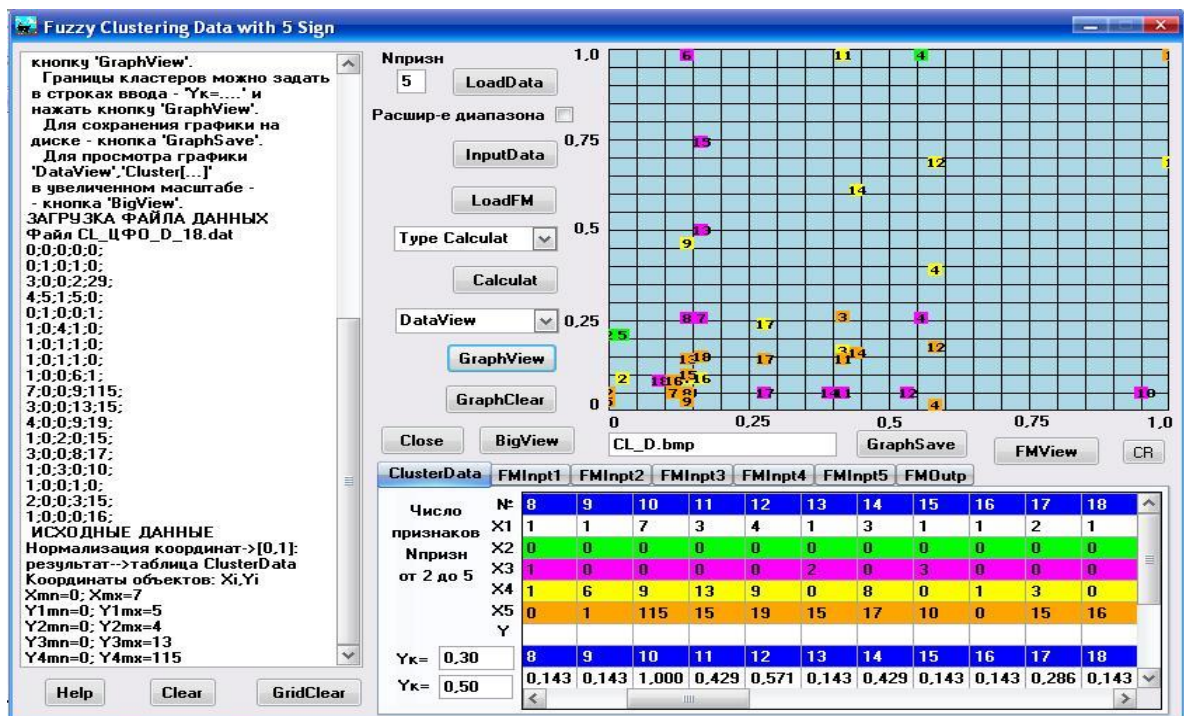


Рис. 1. – Интерфейс программы, реализующей систему нечеткого вывода

В программе используется система нечеткого вывода Мамдани с функциями принадлежности типа кривых Гаусса, имеющих следующий вид:

$$Y(X) = \exp[-(X-A)^2/(2*B^2)],$$
 где А и В – константы функции принадлежности. Графическое представление функций принадлежности изображено на рисунке 2:

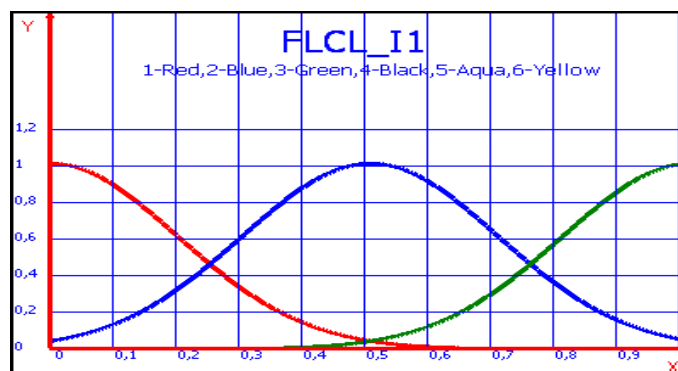


Рис. 2. – Графическое представление функций принадлежности

Многомерная классификация статистических данных

Данные о ЧС по федеральным округам в 2020 году [12] представлены в табличном виде. В таблице 1 представлены данные о ЧС по Южному федеральному округу, включающие в себя набор признаков: X1 – количество ЧС техногенного характера, X2 – количество ЧС природного характера, X3 – количество ЧС биолого-социального характера, X4 – число погибших людей в данных ЧС, X5 – число спасенных людей в данных ЧС.

Таблица № 1

Данные о ЧС в Южном федеральном округе

№	Субъект	X1	X2	X3	Σ	X4	X5
1	Республика Адыгея	0	2	0	2	0	0
2	Республика Калмыкия	4	2	0	6	11	22
3	Республика Крым	2	2	0	4	10	9
4	Краснодарский край	8	8	1	17	24	35
5	Астраханская обл.	2	0	0	2	1	16
6	Волгоградская обл.	5	4	0	9	14	23
7	Ростовская обл.	6	4	2	12	15	14
8	Город Севастополь	1	0	0	1	0	14
	Всего	28	22	3	53	75	133

Для графического представления многомерных статистических данных каждое значение признака X1, X2, X3, X4, X5 было представлено в виде квадрата определенного цвета: X1 – белого цвета (базовый признак – ось X), X2 – зеленого цвета, X3 – красного цвета, X4 – желтого цвета и X5 – коричневого цвета. На каждом квадрате указан номер объекта (региона, в соответствии с табл.1).

Все значения исходных данных были нормированы применительно к интервалу [0,1]. Графическое представление многомерных данных

изображено на рисунке 3, а результаты кластеризации изображены на рисунке 4:

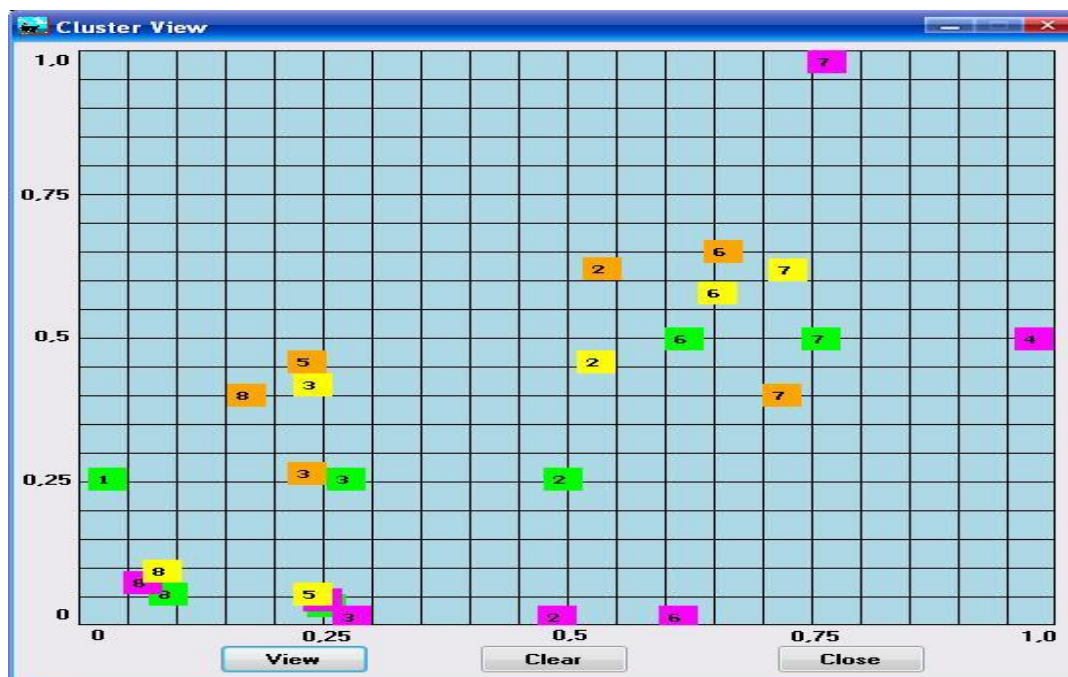


Рис. 3. – Графическое представление данных 8 регионов Южного федерального округа

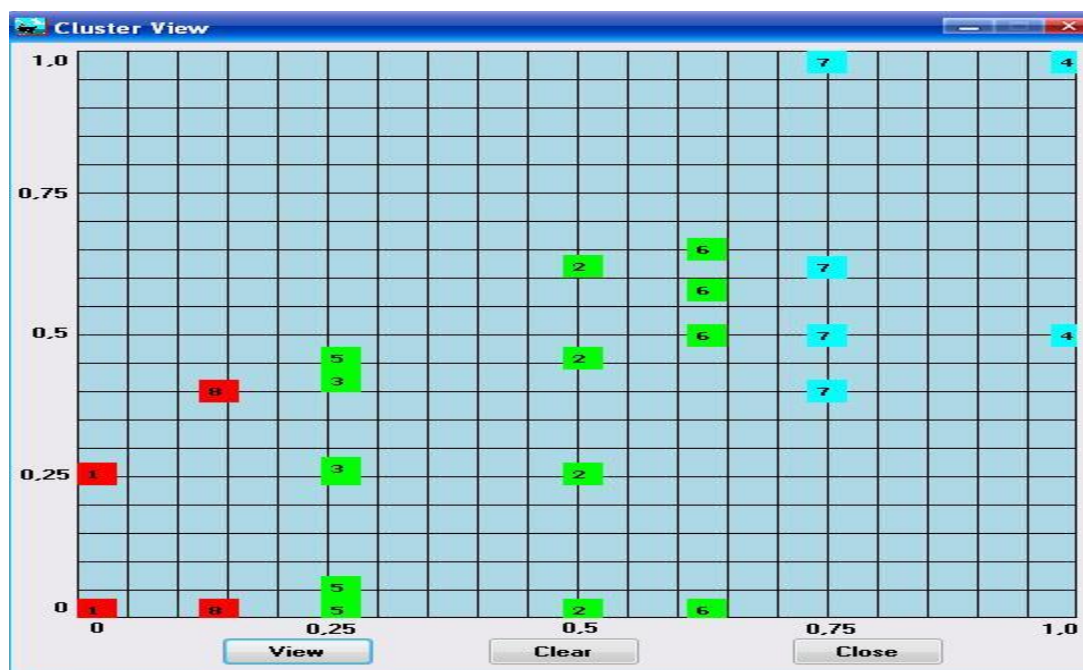


Рис. 4. – Результаты кластеризации регионов Южного федерального округа

На рисунке 4 регионы (субъекты Южного федерального округа) объединены в 3 кластера по 5 признакам, выделенные красным, зеленым и

голубым цветами. В первый кластер (красный цвет) объединены объекты 1 и 8, на территории которых в 2020 году произошло не более 2-х ЧС. Во второй кластер (зеленый цвет) объединены объекты 2, 3, 5 и 6, на территории которых в 2020 году произошло от 2-х до 10 ЧС. В третий кластер (голубой цвет) объединены объекты 4 и 7, на территории которых в 2020 году произошло более 10 ЧС различного характера.

Аналогичным образом была проведена кластеризация регионов Сибирского федерального округа, исходные статистические данные по которому представлены в таблице 2.

Таблица № 2

Данные о ЧС в Сибирском федеральном округе

№	Субъект	X1	X2	X3	Σ	X4	X5
1	Республика Алтай	0	1	0	1	0	0
2	Республика Тыва	5	0	0	5	9	31
3	Республика Хакасия	0	2	1	3	0	0
4	Алтайский край	1	1	0	2	5	1
5	Красноярский край	5	2	9	16	0	28
6	Иркутская обл.	6	4	7	17	6	4
7	Кемеровская обл.	3	0	0	3	9	41
8	Новосибирская обл.	6	3	1	10	10	25
9	Омская обл.	1	2	0	3	0	15
10	Томская обл.	0	0	2	2	0	1
	Всего	27	15	20	62	28	54

Графическое представление многомерных данных изображено на рисунке 5, а результаты кластеризации изображены на рисунке 6.

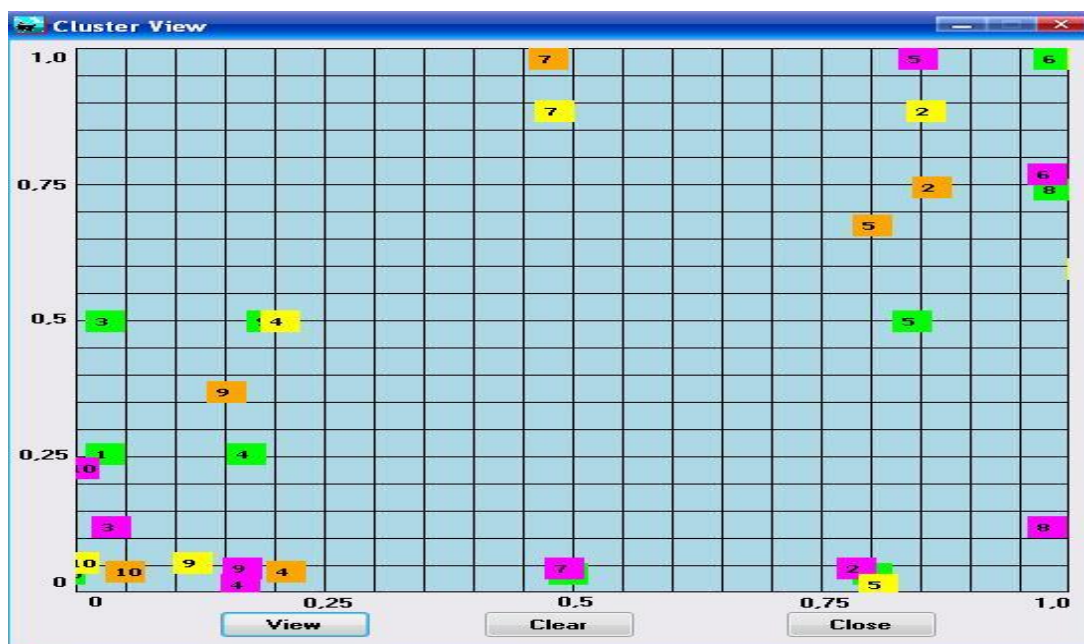


Рис. 5. Графическое представление данных 10 регионов Сибирского федерального округа

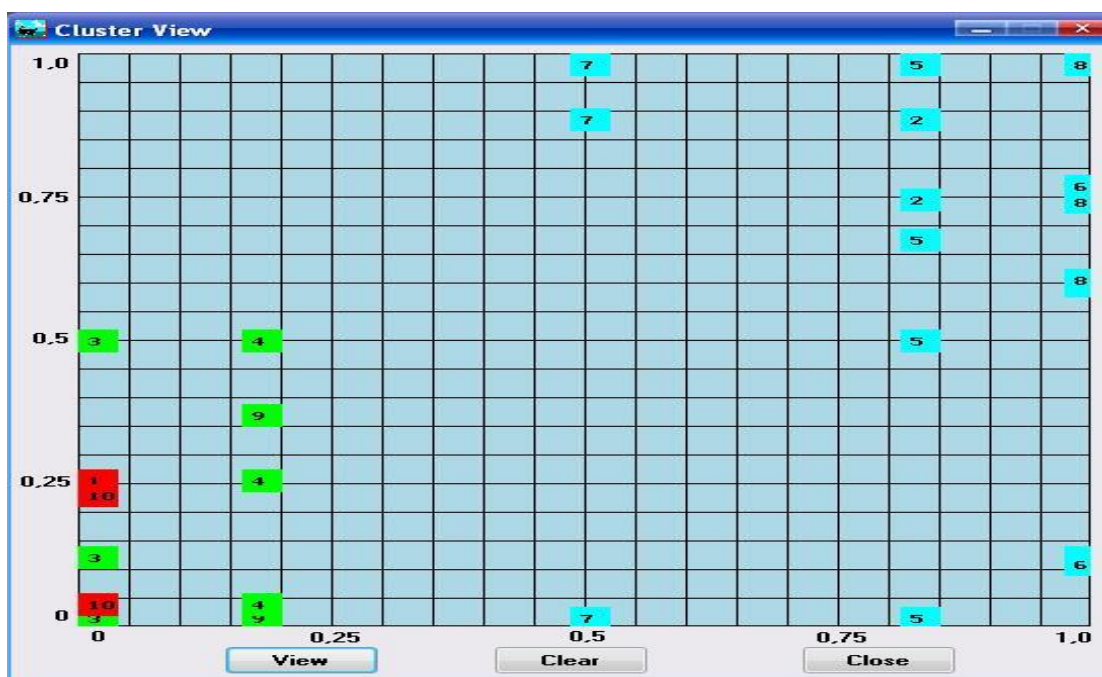


Рис. 6. Результаты кластеризации регионов Сибирского федерального округа

По результатам, регионы Сибирского федерального округа были объединены в 3 кластера, выделенные красным, зеленым и голубым цветами. В первый кластер (красный цвет) объединены объекты 1 и 10, на территории

которых в 2020 году произошло не более 2-х ЧС. Во второй кластер (зеленый цвет) объединены объекты 3, 4 и 9, на территории которых в 2020 году произошло не более 3-х ЧС. В третий кластер (голубой цвет) объединены объекты 2, 5, 6, 7 и 8, на территории которых в 2020 году произошло от 3 до 17 ЧС различного характера.

Заключение

Прогнозирование является неотъемлемой частью процесса управления и позволяет снизить неопределенность будущего, улучшить качество принимаемых решений и обеспечить успешное функционирование организации. Прогнозы предоставляют информацию, которая помогает принимать решения на основе данных о возможных будущих событиях и результатов. Они позволяют предсказать возможные последствия принимаемых решений и выбрать оптимальные варианты действий.

В исследовании проведен кластерный анализ многомерных статистических данных о ЧС природного, техногенного и биолого-социального характера, произошедших в различных федеральных округах России в 2020 году.

В условиях неопределенности, вызванной отсутствием информации о законах распределения исходных статистических данных, выбраны методы многомерной классификации (кластеризации), основанные на использовании нечеткой логики.

Использование алгоритмов кластеризации при разделении исследуемых регионов на несколько кластеров позволяет объединить исходные данные, имеющие согласованные характеристики, на основе которых далее строить модели прогнозирования ЧС для всего кластера [13]. Увеличение объема исходных данных позволит увеличить в дальнейшем точность прогнозирования.

Обработка статистических данных осуществлялась с помощью авторской компьютерной модели кластерного анализа, реализованной в виде программы для ЭВМ, способной осуществлять кластеризацию с помощью системы нечеткого вывода. На идентифицированных классах имеется возможность построение моделей другого вида, например, регрессионного, для дальнейшего прогнозирования ЧС.

В целях совершенствования организационно-управленческой деятельности исследования, произведенные методом кластерного анализа, позволяют классифицировать регионы федеральных округов по соответствующим признакам в целях выработки однородных управленческих решений для регионов, направленных на дальнейшее снижение рисков чрезвычайных ситуаций.

Литература

1. Артамонов В.С., Баскин Ю.Г., Гадышев В.А., Ложкин В.Н., Чуприян А.П. Надежность технических систем и техногенный риск. Учебник. СПб.: Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС РФ, 2007. 216 с.

2. Богданова Е.М., Максимов А.В., Матвеев А.В. Информационная система прогнозирования чрезвычайных ситуаций при использовании адаптивных моделей // Научно-аналитический журнал "Вестник Санкт-Петербургского университета Государственной противопожарной службы МЧС России". 2019. № 2. С. 65-70. EDN PHLEMI.

3. Дубров А.М., Мхитарян В.С., Трошин Л.И. Многомерные статистические методы. М.: Финансы и статистика, 2000. 350 с.

4. Матвеев А.В. Методы моделирования и прогнозирования. СПб: Санкт-Петербургский университет Государственной противопожарной службы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных

бедствий имени Героя Российской Федерации генерала армии Е.Н. Зиничева, 2022. 230 с. EDN IMLKWS.

5. Ямашкин С.А., Ямашкин А.А., Зарубин О.А., Кирюшин А.В. Многофакторный анализ межкомпонентных связей в геосистемах на основе имитационного моделирования и численных методов // Инженерный вестник Дона. 2022. № 11. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n11y2022/8028.

6. De Campos Souza P.V. Fuzzy neural networks and neuro-fuzzy networks: A review the main techniques and applications used in the literature // Applied soft computing. 2020. Vol. 92. P. 106275. DOI: 10.1016/j.asoc.2020.106275

7. Tang J. et al. Lane-changes prediction based on adaptive fuzzy neural network // Expert systems with applications. 2018. Vol. 91. pp. 452-463. DOI: 10.1016/j.eswa.2017.09.025

8. Лабинский А.Ю. Использование нейронных сетей для решения задач классификации // Природные и техногенные риски (физико-математические и прикладные аспекты). 2017. № 4(24). С. 48-54. EDN YSCEDY.

9. Sharma S., Obaid A.J. Mathematical modelling, analysis and design of fuzzy logic controller for the control of ventilation systems using MATLAB fuzzy logic toolbox // Journal of Interdisciplinary Mathematics. 2020. Vol. 23. No. 4. pp. 843-849. DOI: 10.1080/09720502.2020.1727611

10. Лабинский А.Ю. Моделирование системы нечеткого вывода // Природные и техногенные риски (физико-математические и прикладные аспекты). 2016. № 2(18). С. 5-10. EDN WKBI EJ.

11. Лабинский А.Ю. Многомерная классификация с использованием нечеткой логики // Научно-аналитический журнал "Вестник Санкт-Петербургского университета Государственной противопожарной службы МЧС России". 2018. № 2. С. 71-79. EDN YLTPWP.

12. Ткалич С.А. Прогнозирование аварийных ситуаций в контуре химводоочистки в рамках системы принятия решений на основе

композиционной модели // Инженерный вестник Дона. 2022. № 3. URL: <http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2022/7497>.

13. Матвеев А.В., Богданова Е.М. Классификация методов прогнозирования чрезвычайных ситуаций // Национальная безопасность и стратегическое планирование. 2018. № 4(24). С. 61-70. EDN YTPZYL.

References

1. Artamonov V.S., Baskin Yu.G., Gady`shev V.A., Lozhkin V.N., Chupriyan A.P. Nadezhnost` texnicheskix sistem i texnogenny`j risk [Reliability of technical systems and man-made risk]. Uchebnik. SPb. Sankt-Peterburgskij universitet GPS MChS RF, 2007. 216 p.

2. Bogdanova E.M., Maksimov A.V., Matveev A.V. Nauchno-analiticheskij zhurnal "Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta Gosudarstvennoj protivopozharnoj sluzhby` MChS Rossii". 2019. № 2. pp. 65-70. EDN PHLEMI.

3. Dubrov A.M., Mxitaryan V.S., Troshin L.I. Mnogomerny`e statisticheskie metody [Multivariate statistical methods]. M.: Finansy i statistika, 2000. 350 p.

4. Matveev A.V. Metody` modelirovaniya i prognozirovaniya [Modeling and forecasting methods]. SPb: Sankt-Peterburgskij universitet Gosudarstvennoj protivopozharnoj sluzhby` Ministerstva Rossijskoj Federacii po delam grazhdanskoj oborony`, chrezvy`chajny`m situacijam i likvidacii posledstvij stixijny`x bedstvij imeni Geroya Rossijskoj Federacii generala armii E.N. Zinicheva, 2022. 230 p. EDN IMLKWS.

5. Yamashkin S.A., Yamashkin A.A., Zarubin O.A., Kiryushin A.V. Inzhenerny`j vestnik Dona. 2022. № 11. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n11y2022/8028.

6. de Campos Souza P.V. Applied soft computing. 2020. Vol. 92. P. 106275. DOI: 10.1016/j.asoc.2020.106275

7. Tang J. et al. Expert systems with applications. 2018. Vol. 91. pp. 452-463. DOI: 10.1016/j.eswa.2017.09.025



8. Labinskij A.Yu. Prirodný`e i texnogenny`e riski (fiziko-matematicheskie i prikladny`e aspekty`). 2017. № 4(24). pp. 48-54. EDN YSCEDY.
9. Sharma S., Obaid A.J. Journal of Interdisciplinary Mathematics. 2020. Vol. 23. No. 4. pp. 843-849. DOI: 10.1080/09720502.2020.1727611
10. Labinskij A.Yu. Prirodný`e i texnogenny`e riski (fiziko-matematicheskie i prikladny`e aspekty`). 2016. № 2(18). pp. 5-10. EDN WKBIEJ.
11. Labinskij, A.Yu. Nauchno-analiticheskij zhurnal "Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta Gosudarstvennoj protivopozharnoj sluzhby` MChS Rossii". 2018. № 2. pp. 71-79. EDN YLTPWP.
12. Tkalich S.A. Inzhenerny`j vestnik Dona. 2022. № 3. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2022/7497.
13. Matveev A.V., Bogdanova E.M. Nacional'naya bezopasnost' i strategicheskoe planirovanie. 2018. № 4(24). pp. 61-70. EDN YTPZYL.