

УДК 614.8

А. Б. Кусаинов¹, К. Ж. Раимбеков¹, С. Е. Ералина², Н. Қ. Қайыргелді¹

*¹Академия гражданской защиты имени Малика Габдуллина
МЧС Республики Казахстан, Кокшетау, Казахстан*

*²Карагандинская академия МВД Республики Казахстан имени Б. Бейсенова,
Караганда, Казахстан*

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ С ПОМОЩЬЮ ИСКУССТВЕННЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

Аннотация. В работе представлены предварительные результаты исследования возможности применения искусственных нейронных сетей для прогнозирования чрезвычайных ситуаций на примере Республики Казахстан. Разработаны модели прогнозирования и произведена оценка эффективности применения моделей для выработки управленческих решений по снижению числа чрезвычайных ситуаций.

Ключевые слова: прогнозирование, нейронные сети, чрезвычайные ситуации.

Территория Республики Казахстан подвержена различным чрезвычайным ситуациям природного и техногенного характера [1]. Проведенный анализ показал, что в период с 2010 по 2024 годы в Республике Казахстан произошло более 246,9 тыс. чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера (рисунок 1) [2].

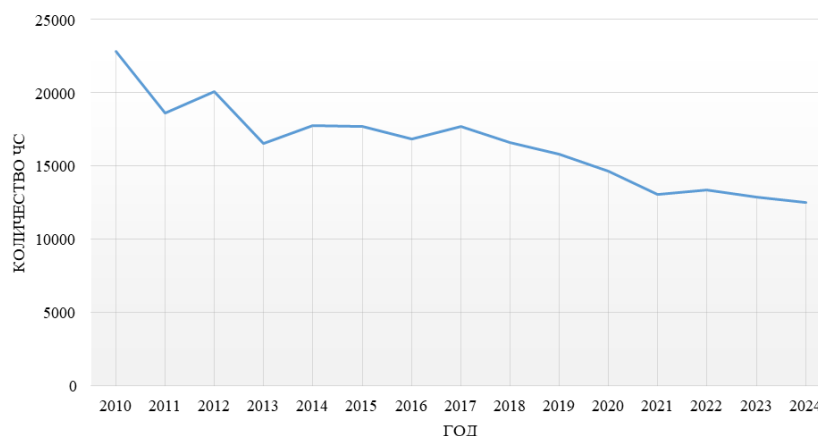


Рисунок 1 – Динамика чрезвычайных ситуаций в Республике Казахстан в период с 2010 по 2024 гг.

Согласно законодательству Республики Казахстан одним из основных мероприятий гражданской защиты по предупреждению чрезвычайных ситуаций является прогнозирование количества чрезвычайных ситуаций [3].

До недавнего времени прогнозирование количества чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера в основном основывалось на теории временных рядов [4, 5]. В настоящее время приобретает популярность применение для прогнозирования искусственных нейронных сетей [6-9].

Искусственные нейронные сети в общем понимании представляют собой математическую модель, а также её программное или аппаратное воплощение [10].

Архитектура искусственной нейронной сети состоит из искусственных нейронов, каждый из которых представляет собой вычислительный блок, который, в свою очередь, получает информацию, выполняет над ней простые вычисления и передает её следующему нейрону. Они делятся на три основных типа: входные, те, которые включают в себя один или несколько скрытых слоев; и выходные [7].

Нейроны работают с числами в диапазоне от нуля до единицы или от минус единицы до единицы, в зависимости от представления обучающей выборки.

Использование нейронной сети при прогнозировании чрезвычайных ситуаций состоит из трех этапов: обучения, проверки и функционирования.

Обучение нейронной сети рассматривается как решение оптимизационной задачи: минимизация функции ошибки или не связки на данном множестве примеров путем выбора значений весовых коэффициентов на входе нейрона [11].

В рамках данного исследования рассмотрим два способа прогнозирования чрезвычайных ситуаций.

Для прогнозирования количества чрезвычайных ситуаций первым способом воспользуемся упрощенным нейроном, имеющим два входа и один выход (рисунок 2).

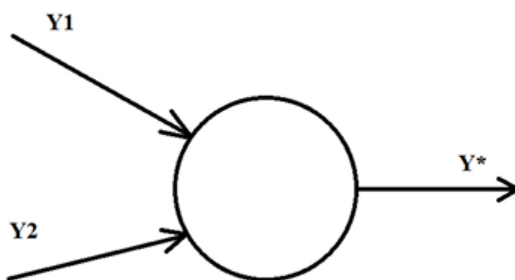


Рисунок 2 – Упрощенный математический нейрон

На входы нейрона поступают сигналы Y_1 и Y_2 , которые суммируют, умножая каждый входной сигнал на некоторый весовой коэффициент N_j [8]:

$$R = N_1 \cdot Y_1 + N_2 \cdot Y_2 \quad (1)$$

Далее нейрон формирует свой выходной сигнал по следующему принципу [10]:

$$Y^* = \begin{cases} 1, & \text{если } S \geq \theta \\ 0, & \text{если } S < \theta \end{cases} \quad (2)$$

где θ - порог чувствительности нейрона.

Из соотношения 2 видно, что нейрон существует в двух состояниях.

Если взвешенная сумма входных сигналов $S < \theta$, то его выходной сигнал $Y^* = 0$. В данном случае нейрон не возбужден.

Если входные сигналы достаточно интенсивны, и их взвешенная сумма достигает порога чувствительности θ , то нейрон переходит в возбужденное состояние и на его выходе образуется сигнал $Y^* = 1$ [11].

В целях прогнозирования количества чрезвычайных ситуаций применим представленный нейрон. На два входа нейрона будем подавать количество чрезвычайных ситуаций за прошедший и позапрошлый год, на выходе – получать прогнозное значение на текущий год. При этом выходной сигнал должен быть некоторым числом, а не логическим значением. Принимая во внимание, что за рассматриваемый период (2010 – 2024 гг.) не было ситуации, когда чрезвычайные ситуаций не происходили, то воспользуемся линейной функцией [11]:

$$Y^* = S \quad (3)$$

После создания нейронной сети начинается этап обучения. В процессе обучения необходимо определить значения весовых коэффициентов N_1 и N_2 в формуле (1). Состояние обучения нейрона возникает при подаче на входы Y_1 и Y_2 данных за два предыдущих года, а на выход Y^* – данных за текущий год. При этом данные за текущий год являются тестовыми. Весовые коэффициенты N_1 и N_2 в формуле (1) подбираем так, чтобы получить результат, совпадающий с тестовым. Обучение нейрона проводилось на данных за 2012-2024 годах (13 лет).

Для обучения нейронной сети была использована программа Microsoft Excel.

Ошибку прогнозирования и модуль относительной ошибки определяли по формулам [6]:

$$e = Y^* - Y \quad (4)$$

$$\varepsilon = \frac{|e|}{Y} \quad (5)$$

Результаты прогнозирования чрезвычайных ситуаций с помощью нейронной сети до 2025 года представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты прогнозирования чрезвычайных ситуаций (способ 1)

Год	N_1	N_2	Y	Y^*	e	$\varepsilon, \%$
2010	-	-	22824	-	-	-
2011	-	-	18594	-	-	-
2012	0,519098	0,446666	20070	20153	83	0,41
2013	0,465549	0,413822	16541	16961	420	2,5
2014	0,51897	0,437027	17779	17645	-134	0,75
2015	0,509907	0,495338	17678	17241	-437	2,47
2016	0,465352	0,451251	16823	16250	-573	3,41
2017	0,521724	0,507232	17723	17756	33	0,19
2018	0,492097	0,477624	16619	16742	123	0,74
2019	0,465902	0,436783	15821	15516	-305	1,93
2020	0,462392	0,431566	14669	14512	-157	1,07
2021	0,442768	0,426369	13038	13259	221	1,69
2022	0,505287	0,469196	13354	13529	175	1,31
2023	0,492574	0,473628	12883	12747	-136	1,05
2024	0,495483	0,478426	12516	12780	264	2,11
2025	0,492145	0,472460	-	12253	-	-

Из таблицы 1 видно, что прогнозное значение чрезвычайных ситуаций на 2025 год составило 12253 ед. Поскольку фактических данных пока нет, установить ошибку пока не можем.

Сравнение реальных и прогнозных значений чрезвычайных ситуаций показывает, что нейронные сети дают достаточно хороший прогноз (рисунок 3).

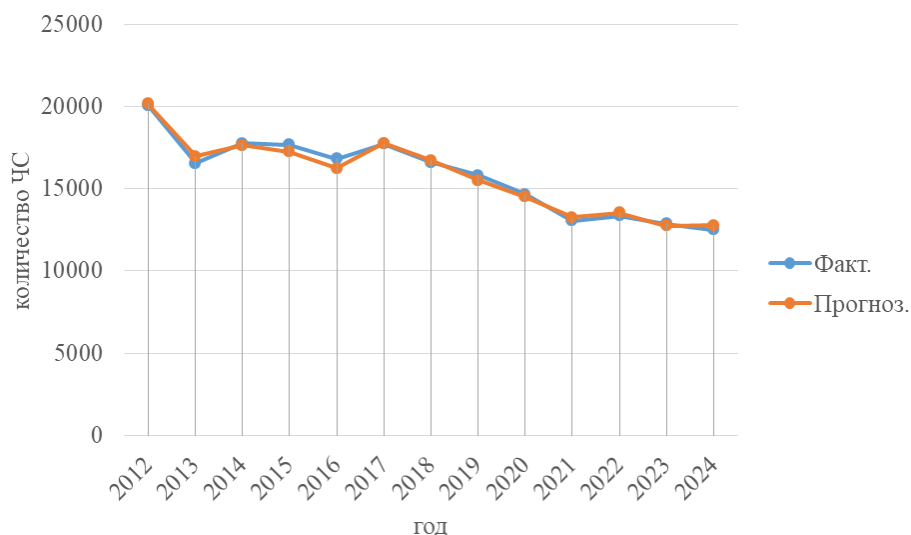


Рисунок 3 – Сравнение фактических и прогнозных значений (способ 1)

Величина модуля относительной ошибки находилась в интервале от 0,19 до 3,41 %.

Прогнозирование числа чрезвычайных ситуаций вторым способом проведем по следующей математической модели:

$$Y^* = w_1 \cdot x_1 + w_2 \cdot x_2 + w_3 \cdot x_3 + w_4 \cdot x_4 + w_5 \cdot x_5 + b \quad (6)$$

где w_n - весовые коэффициенты.

Предположим, что весовые коэффициенты w равны и $b = 0$, тогда

$$Y^* = w \cdot (w_1 + w_2 + \dots + w_5) \quad (7)$$

После создания нейронной сети проводится этап обучения. В процессе обучения необходимо определить значение весового коэффициента w в формуле (7).

Весовой коэффициент определяется по методу наименьших квадратов:

$$w = \frac{\sum Y_i \cdot S_i}{\sum S_i^2} \quad (8)$$

$$S_i = x_{t-1} + x_{t-2} + x_{t-3} + x_{t-4} + x_{t-5} \quad (9)$$

На входы нейрона подается количество чрезвычайных ситуаций за прошедшие 5 лет, на выходе – получаем прогнозное значение на следующий год.

Обучение проводилось на данных за 2015-2024 годах (10 примеров), с использованием значений за 2010-2024 года (15 лет).

Результаты прогнозирования чрезвычайных ситуаций с помощью предложенной модели до 2025 года представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Результаты прогнозирования чрезвычайных ситуаций (способ 2)

Год	w	Y	Y^*	e	$\varepsilon, \%$
2010	-	22824	-	-	-
2011	-	18594	-	-	-
2012	-	20070	-	-	-
2013	-	16541	-	-	-
2014	-	17779	-	-	-
2015	0,1845	17678	17677	-1	0,005
2016	0,1856	16823	16827	4	0,023
2017	0,1994	17723	17725	2	0,011
2018	0,1920	16619	16616	-3	0,018
2019	0,1827	15821	15826	5	0,031
2020	0,1733	14669	14672	3	0,020
2021	0,1596	13038	13032	-6	0,046
2022	0,1715	13354	13355	1	0,0007
2023	0,1752	12883	12877	-6	0,046
2024	0,1794	12516	12515	-1	0,008
2025	0,1812	-	12042	-	-

Из таблицы 2 видно, что прогнозное значение чрезвычайных ситуаций на 2025 год при моделировании вторым способом составило 12042 ед. Поскольку фактических данных пока нет, установить ошибку пока не можем.

Сравнение реальных и прогнозных значений чрезвычайных ситуаций показывает, что нейронные сети дают очень хороший прогноз (рисунок 4).

В отличие от первого способа, во втором величина модуля относительной ошибки существенно ниже и находится в интервале от 0,0007 до 0,046 %, что говорит о достаточно высокой достоверности прогнозных значений.

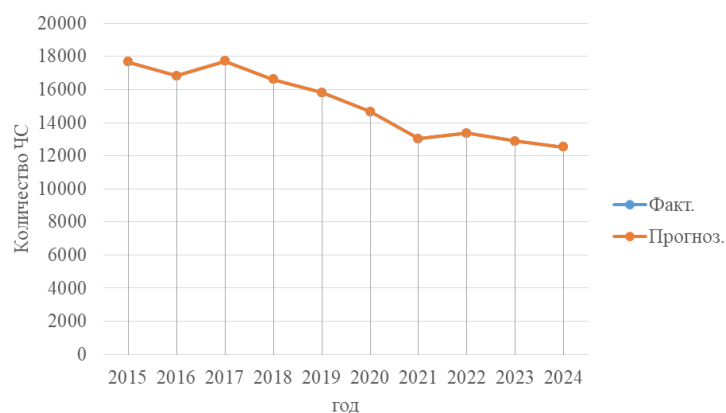


Рисунок 4 – Сравнение фактических и прогнозных значений (способ 2)

Рассмотренные способы прогнозирования чрезвычайных ситуаций с помощью искусственных нейронных сетей показали достаточно высокую достоверность.

Рассмотренные методы прогнозирования с помощью искусственных нейронных сетей достаточно просты, не требуют сложных математических расчетов и могут найти практическое применения для прогнозирования чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера с целью выработки решений по их минимизации.

Методы нейросетевого моделирования могут быть использованы для создания аналогичных программ, позволяющих получать результаты прогнозирования с разбивкой по различным чрезвычайным ситуациям природного и техногенного характера. Также проводить как краткосрочные, так и среднесрочные прогнозы.

Список литературы

1. Раимбеков К.Ж., Кусаинов А.Б. Комплексный подход к оценке риска чрезвычайных ситуаций в Республике Казахстан // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. – М.: Академия ГПС МЧС России. – 2017. – № 1. – С. 61–64.
2. Министерство по чрезвычайным ситуациям Республики Казахстан [Электронный ресурс] // Официальный сайт [сайт]. Режим доступа: <https://www.gov.kz/memleket/entities/emer?lang=ru> (дата обращения: 11.09.2025).
3. Республика Казахстан. Закон РК. О гражданской защите: принят 11 апреля 2014 года № 188-V ЗРК. [Электронный ресурс] // Информационный портал ПАРАГРАФ [сайт]. Режим доступа: <https://adilet.zan.kz/rus/docs/Z1400000188> (дата обращения: 09.09.2025).
4. Бокс Дж., Дженкинс Г. Анализ временных рядов. Прогноз и управление. Кн. 1. – М., 1974. – 403 с.
5. Бриллинджер, Д. Р. Временные ряды: обработка данных и теория: научное издание / Д.Р. Бриллинджер. – М.: Мир, 1980. – 536 с.
6. Комарцова Л. Г., Максимов А. В. Нейрокомпьютеры. – М., 2004. – 400 с.
7. Нейронные сети. STATISTICA Neural Networks: методология и технологии современного анализа данных / под ред. В. П. Боровикова. 2-е изд., перераб. и доп. – М., 2008. – 392 с.
8. Топольский Н.Г., Божич В.И., Арзуманян Р.В. О возможности использования нейрокомпьютеров в автоматизированных системах безопасности // Информатиз. систем безопас. – М., 1992. – С. 115–116.
9. Олейников В. Т., Мосягин А. А. Возможность прогнозирования опасных ситуаций в субъектах РФ на основе нейронных сетей. URL: <http://www.ipb.mos.ru/konf/2004/sb-2004/sec-2-04/2.68.pdf>
10. Хайкин С. Нейронные сети: полный курс / С. Хайкин. – 2-е изд.: пер. с англ. – М.: Изд. дом «Вильямс», 2016 – 1104 с.
11. Головкин В. А., Краснопрошин В. В. Нейросетевые технологии обработки данных: учебное пособие. – Минск: БГУ, 2017. – 263 с.

References

1. Raimbekov K.Zh., Kusainov A.B. Kompleksnyj podhod k ocenke riska chrezvychajnyh situacij v Respublike Kazahstan // Pozhary i chrezvychajnye situacii: predotvrashchenie, likvidaciya. – M.: Akademiya GPS MChS Rossii. – 2017. – № 1. – S. 61–64.

2. Ministerstvo po chrezvychajnym situacijam Respubliki Kazahstan [Elektronnyj resurs] // Oficial'nyj sayt [sajt]. Rezhim dostupa: <https://www.gov.kz/memleket/entities/emergencies?lang=ru> (data obrashcheniya: 11.09.2025).
3. Respublika Kazahstan. Zakon RK. O grazhdanskoj zashchite: prinyat 11 aprelya 2014 goda № 188-V ЗРК. [Elektronnyj resurs] // Informacionnyj portal PARAGRAF [sajt]. Rezhim dostupa: <https://adilet.zan.kz/rus/docs/Z1400000188> (data obrashcheniya: 09.09.2025).
4. Boks Dzh., Dzhenkins G. Analiz vremennyh ryadov. Prognoz i upravlenie. Kn. 1. – M., 1974. – 403 s.
5. Brillindzher, D. R. Vremennye ryady: obrabotka dannyh i teoriya: nauchnoe izdanie / D.R. Brillindzher. – M.: Mir, 1980. – 536 s.
6. Komarcova L. G., Maksimov A. V. Nejrokompyutery. – M., 2004. – 400 s.
7. Nejronnye seti. STATISTICA Neural Networks: metodologiya i tekhnologii sovremennogo analiza dannyh / pod red. V. P. Borovikova. 2-e izd., pererab. i dop. – M., 2008. – 392 s.
8. Topol'skij N.G., Bozhich V.I., Arzumanyan R.V. O vozmozhnosti ispol'zovaniya nejrokompyuternykh sistem v avtomatizirovannykh sistemah bezopasnosti // Informatiz. sistem bezopas. – M., 1992. – S. 115–116.
9. Olejnikov V.T., Mosyagin A.A. Vozmozhnost' prognozirovaniya opasnykh situacij v sub"ektah RF na osnove nejronnykh setej. URL: <http://www.ipb.mos.ru/konf/2004/sb-2004/sec-2-04/2.68.pdf>
10. Hajkin S. Nejronnye seti: polnyj kurs / S. Hajkin. – 2-e izd.: per. s angl. – M.: Izd. dom «Vil'yams», 2016 – 1104 s.
11. Golovko V.A., Krasnoproshein V.V. Nejrosetevye tekhnologii obrabotki dannyh: ucheb. posobie. – Minsk: BGU, 2017. – 263 s.

А. Б. Құсайынов¹, К. Ж. Раимбеков¹, С. Е. Ералина², Н. Қ. Қайыргелді¹

¹Қазақстан Республикасы ТЖМ Мәлік Ғабдуллин атындағы Азаматтық қорғау академиясы,
Көкшетау, Қазақстан

²Қазақстан Республикасы ІІМ Б. Бейсенов атындағы Қарағанды академиясы,
Қарағанды, Қазақстан

ЖАСАНДЫ НЕЙРОНДЫҚ ЖЕЛІЛЕР АРҚЫЛЫ ТӨТЕНШЕ ЖАҒДАЙЛАРДЫ БОЛЖАУ

Аңдатпа. Жұмыста Қазақстан Республикасының мысалында төтенше жағдайларды болжау үшін жасанды нейрондық желілерді қолдану мүмкіндігін зерттеудің алдын ала нәтижелері ұсынылған. Болжау модельдері әзірленді және төтенше жағдайлар санын азайту бойынша басқарушылық шешімдерді әзірлеу үшін модельдерді қолдану тиімділігіне бағалау жүргізілді.

Түйінді сөздер: болжау, нейрондық желілер, төтенше жағдайлар.

A. B. Kussainov¹, K. J. Raimbekov¹, S. Y. Eralina², N. K. Kaiyrgeldy¹

¹*Civil Defence Academy named after Malik Gabdullin MES of the Republik of Kazakhstan,
Kokshetau, Kazakhstan*

²*Karaganda Academy of the Ministry of Internal Affairs of the Republic of Kazakhstan named
after B. Beisenov, Karaganda, Kazakhstan*

PREDICTING EMERGENCIES USING ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS

Abstract. The paper presents the preliminary results of a study of the possibility of using artificial neural networks for predicting emergency situations using the example of the Republic of Kazakhstan. Forecasting models have been developed and the effectiveness of using models to develop management solutions to reduce the number of emergencies has been assessed.

Keywords: forecasting, neural networks, emergencies.

Сведения об авторах / Information about the authors

Кусаинов Арман Булатович – кандидат технических наук, ассоциированный профессор (доцент), начальник факультета дистанционного обучения Академии гражданской защиты имени Малика Габдуллина МЧС Республики Казахстан, Кокшетау, Казахстан. E-mail: arman_1703@mail.ru

Раимбеков Кендебай Жанабилевич – кандидат физико-математических наук, ассоциированный профессор (доцент), доцент кафедры общетехнических дисциплин, информационных систем и технологий Академии гражданской защиты имени Малика Габдуллина МЧС Республики Казахстан, Кокшетау, Казахстан. E-mail: kendeбай_63@mail.ru

Ералина Саида Ермагамбетовна – кандидат юридических наук, доцент, заместитель начальника Карагандинской академии МВД РК имени Б. Бейсенова, Караганда, Казахстан. E-mail: Saida22011974@mail.ru

Каиргельды Нурислам Куанышевич – старший преподаватель-методист факультета дистанционного обучения Академии гражданской защиты имени Малика Габдуллина МЧС Республики Казахстан, Кокшетау, Казахстан. E-mail: nurislam.kayyrgeldin@bk.ru

Arman B. Kussainov – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Faculty of Distance Learning of the Malik Gabdullin Academy of Civil Protection of the MES of the Republic of Kazakhstan, Kokshetau, Kazakhstan. E-mail: arman_1703@mail.ru

Kendebay J. Raimbekov – candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of General Technical Disciplines, Information Systems and Technologies of the Malik Gabdullin Academy of Civil Protection of the MES of the Republic of Kazakhstan, Kokshetau, Kazakhstan. E-mail: kendeбай_63@mail.ru

Saida Y. Eralina – Candidate of Legal Sciences, Associate Professor, Deputy Head of the Karaganda Academy of the Ministry of Internal Affairs of the Republic of Kazakhstan named after B. Beisenov, Karaganda, Kazakhstan. E-mail: Saida22011974@mail.ru

Nurislam K. Kaiyrgeldy – Senior lecturer and methodologist at the Faculty of Distance Learning at the Malik Gabdullin Academy of Civil Protection of the MES of the Republic of Kazakhstan, Kokshetau, Kazakhstan. E-mail: nurislam.kayyrgeldin@bk.ru