

УДК 004.023

Горбунов А.И., кандидат технических наук, доцент, ФГБОУ ВО «Луганский государственный университет имени Владимира Даля»

Горбунов В.А., ассистент. ФГБОУ ВО «Луганский государственный университет имени Владимира Даля»

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ЧИСЛА ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ ПРОИСШЕСТВИЙ ПО ДАНЫМ ВРЕМЕННОГО РЯДА И ВЕРИФИКАЦИЯ ПРОГНОЗА

Аннотация: Рассмотрен процесс прогнозирования числа чрезвычайных происшествий с бытовыми газовыми приборами в РФ за последние девять лет с использованием статистических данных временного ряда, получены среднесрочные прогнозы об увеличении числа происшествий. С использованием адаптивной нейронечеткой сети и теории нечетких множеств также получен подтверждающий увеличение числа чрезвычайных происшествий прогноз. По результатам абсолютной верификации подтверждена достоверность разработанного прогноза об увеличении числа ЧП в 2023 году.

Ключевые слова. Временной ряд, методы прогнозирования, статистические данные, число происшествий, нейронечеткая сеть, прогноз, верификация.

Известно, что прогнозирование на основе анализа временных рядов относится к количественным методам. Методика основывается на допущении, в соответствии с которым ретроспективные данные содержат определенный тренд, который может продолжиться и в будущем. При этом существует вероятность достаточно хорошего приближения этого тренда к оценке данных в будущем [1]. Приведенная выше методика многократно апробирована и подтверждена большим количеством достоверных результатов прогнозов, полученных на основе анализа временных рядов в различных областях человеческой деятельности.

Ранее, в работе [2] на основе анализа статистических данных временного ряда (таблица 1) получен точечный прогноз динамики возникновения ЧП в 2023 году при использовании природного газа в быту населением РФ.

Таблица 1.

Статистические данные временного ряда

Годы временного ряда	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Количество ЧП	19	13	15	17	17	13	17	32	34

Так как целью работы было исследование возможностей применения методов искусственного интеллекта для прогнозирования временных рядов, для получения сравнительных результатов также использованы классические методы прогнозирования.

Для получения значения среднесрочного прогноза числа ЧП на 2023-2025 годы использована программа для работы с электронными таблицами Excel [3]. Задействованная функция «ПРЕДСКАЗ» использует метод линейной регрессии, а ее уравнение имеет вид: $y = ax + b$. Результаты вычисленных прогнозов на 2023-2025 годы на основании данных из таблицы 1 приведены в таблице 2.

Для уточнения полученного точечного прогноза временной ряд из таблицы 1 также обработан в более поздней версии Excel 2016 с использованием двух функций [4]. Первая функция «ПРЕДСКАЗ.ETS», которая вычисляет будущие спрогнозированные значения на основе исторических данных. Вторая функция ПРЕДСКАЗ.ETS.ДОВИНТЕРВАЛ вычисляет размах доверительного интервала коридора погрешности, в пределах которого с заданной вероятностью прогноз должен сбыться.

С целью устранения все той же возможной неоднозначности вычисляемых прогнозов, для обработки данных из таблицы 1 использован часто применяемый метод Хольта-Винтерса, учитывающий несколько составляющих прогноза [5]. Метод является дальнейшим развитием и улучшением метода экспоненциального сглаживания временного ряда. Более совершенный метод Хольта-Винтерса в [2] вычисляет как среднесрочные, так и долгосрочные прогнозы числа ЧП на 5 лет – с 2023 по 2027 годы, которые также сведены в таблицу 2.

Для сравнительного анализа адекватности результатов прогнозирования с использованием описанных выше классических методов, осуществлено прогнозирование числа ЧП с использованием таких элементов искусственного интеллекта как теория нечетких множеств и алгоритмы нечеткого вывода с использованием пакета расширения FLT (Fuzzy Logic Designer), системы компьютерной математики MATLAB [6].

Результаты прогнозирования с использованием четырех различных видов прогнозных моделей сведены в таблицу 2. Из таблицы 2 следует, что точечные прогнозы числа ЧП на 2023 год совпадают у алгоритма T-S и у функции Excel «Предсказ.ETS.ДОВИНТЕРВАЛ» в режиме «норма» и равны 36 случаям.

Таблица 2.

Результаты прогнозирования числа ЧП по данным временного ряда с использованием различных методик прогнозирования

Год прогноза	Использованная функция и прогноз					Алгоритм Т-S,
	Excel, функция «Предсказ»	Excel, функция «Предсказ.ETS.ДОВИНТЕРВАЛ»			модель Хольта-Винтерса	
		min	норма	max		
2023	29	25	36	47	33	36
2024	31	23	38	53	31	-
2025	33	22	40	58	32	-
2026	-	-	-	-	40	-
2027	-	-	-	-	43	-

Таким образом, в результате проведенного исследования в качестве точечного прогноза числа ЧП на 2023 год предварительно было принято значение, равное 36 случаям.

В качестве расширения к проведенному в [2] исследованию представляет интерес разработка точечного прогноза числа ЧП с газом в быту с использованием искусственных нейронных сетей, описанная ниже.

Нейронные сети как средство обработки трудно формализуемой информации возникли в процессе исследований в области искусственного интеллекта. Изначальная методология функционирования нейронной сети

(НС) в настоящее время дополняется другими методологиями искусственного интеллекта, что привело к появлению гибридных нейронных сетей, в которых использована теория нечетких множеств.

Обработка информации в нейронечеткой сети осуществляется в соответствии с логикой работы алгоритма нечеткого вывода, а настройка параметров – по правилам обучения нейронных сетей. Такой подход позволяет реализовать в нейронечеткой сети основную идею гибридизации – получение синергетического эффекта. Преимущество НС заключается в наглядности представления и простоте содержательной интерпретации структуры базы правил. Достоинство нейронных сетей – возможности построения и обучения правил нечетких продукций. Наибольшее распространение на практике получили гибридные сети, реализованные в форме так называемых адаптивных систем нейронечеткого вывода ANFIS (Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System) [7]. ANFIS представляет собой нейронечеткую сеть с несколькими входами, на которые подаются числовые значения входных переменных НС, и одним выходом, с которого снимаются числовые значения выходной переменной. В рассматриваемом случае нейронечеткая система имеет один вход и один выход.

В прикладном пакете системы компьютерной математики *MATLAB* гибридные нейронные сети реализованы в форме пакета расширения Neuro-Fuzzy Designer для адаптивных ANFIS-систем нейронечеткого вывода. Благодаря наличию этого пакета разработка и исследование гибридных сетей оказывается возможной в интерактивном режиме с помощью специального графического редактора адаптивных сетей, получившего название ANFIS-редактора. Для создания структуры гибридной сети необходимо загрузить данные путем нажатия кнопки Load Data в левой нижней части графического интерфейса. На рисунке 1 приведен редактор ANFIS с загруженными статистическими данными из временного ряда из таблицы 1 после трех эпох обучения, после которых ошибка обучения равна нулю.

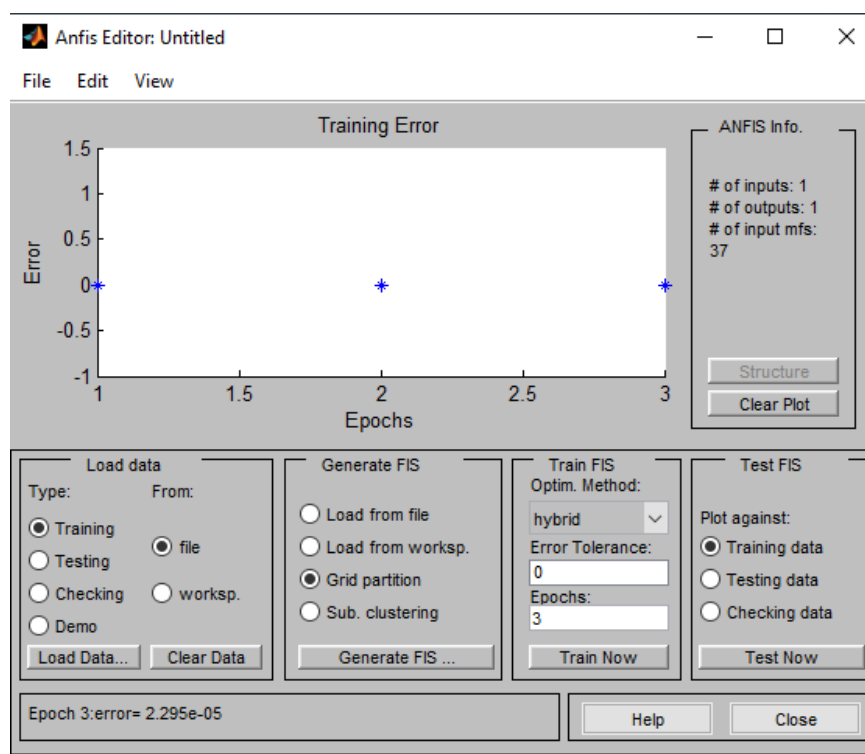
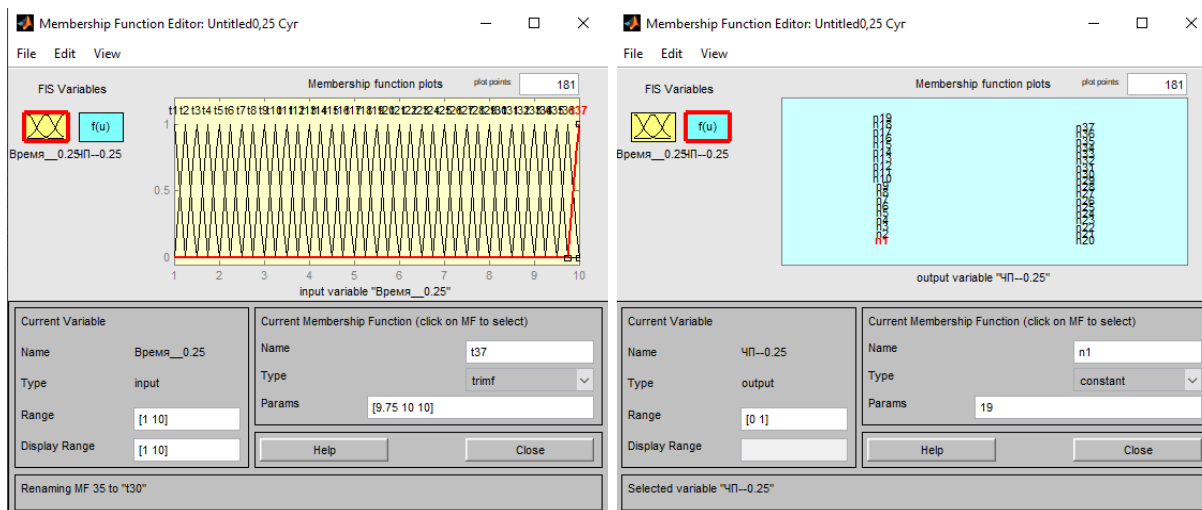


Рис. 1. Графический интерфейс ANFIS-редактора после обучения сети

Генерация структуры гибридной сети осуществляется с использованием команды ***Generate FIS*** в зоне рабочего окна *ANFIS*-редактора. В качестве системы нечеткого вывода использован алгоритм нечеткого вывода Такаги-Сугено (TS) из пакета расширения Fuzzy Logic Designer. Для обеспечения качественной аппроксимации в нечеткой модели TS во входной переменной «время t » выбрано 37 треугольных функций принадлежности с шагом $0,25t$. Выходная переменная «число ЧП» содержит 37 констант, состоящих из данных временного ряда в соответствующие моменты времени. Разбиение пространства входной переменной и форма ее функций принадлежности, а также константы выходной переменной приведены на рисунке 2.

Дальнейшие исследования разработанной системы проведены с использованием графических средств пакета Fuzzy Logic Designer. С помощью программы просмотра поверхности системы нечеткого вывода



а

б

Рис. 2. Разбиение пространства входной переменной (а) и константы выходной переменной (б)

Surface Viewer получено графическое изображение результата разработки прогноза (рис. 3).

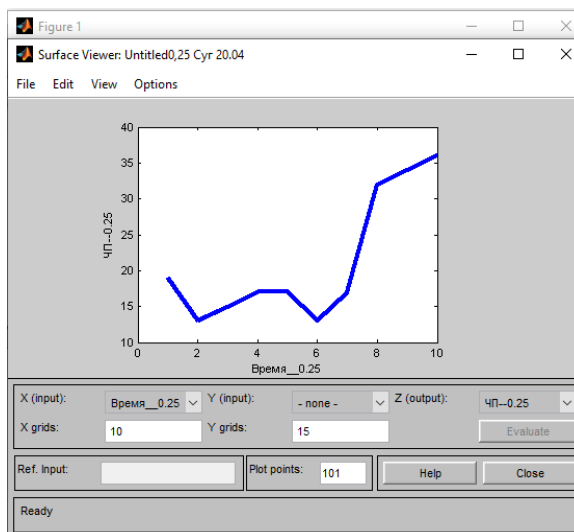


Рис.3. Результат прогнозирования на поверхности вывода ANFIS

В системе координат «Время 0,25»-«ЧП 0,25» на рисунке 3 приведен график числа ЧП в зависимости от года из исследуемого временного ряда. Если учесть то, что году, обозначенному числом «10» соответствует 2023 год, то указанное над ним число ЧП фактически соответствует вычисленному для 2023 года прогнозу.

Визуальный анализ двухмерной поверхности вывода позволяет сделать предварительный вывод о том, что прогноз нейронечеткой сети ANFIS по числу ЧП в 2023 году равен 36 случаям. Для подтверждения полученного результата с разработанной моделью проведен вычислительный эксперимент, в ходе которого в программу просмотра правил Rule Viewer пакета Fuzzy Logic Designer последовательно введены десять значений числа ЧП за 10 лет с 2014 по 2024 годы, полученных в результате обработки статистических данных. На выходе модели получены 10 соответствующих значений ЧП, которые вычислены моделью и сведены в таблицу 3. Из таблицы следует, что статистические данные временного ряда, являющиеся входными данными и использованные для обучения нейронечеткой сети, на 100 % совпадают с вычисленными нейронечеткой сетью значениями.

Таблица 3.

Исходные и вычисленные данные вычислительного эксперимента

Годы	1 2014	2 2015	3 2016	4 2017	5 2018	6 2019	7 2020	8 2021	9 2022	10 2023
Количество ЧП, данные	19	13	15	17	17	13	17	32	34	36
Количество ЧП, вычисленное	19	13	15	17	17	13	17	32	34	36

По данным таблицы 3 в одной системе координат построены графики числа ЧП по статистическим данным временного ряда и по числу ЧП, вычисленным в результате вычислительного эксперимента нейронечеткой сетью. Так как исходные данные для построения графиков имеют одинаковые значения, то они совпали и отображаются на рисунке 4 как один график.

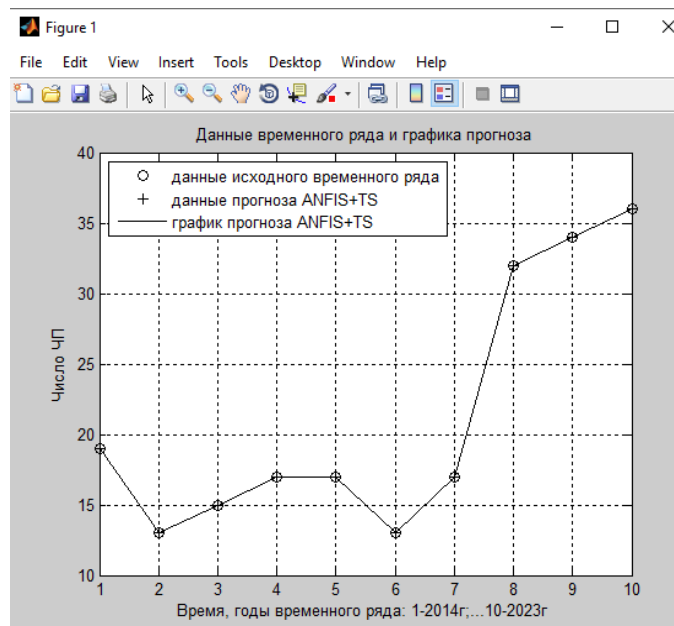


Рис. 4. Совместные графики входных данных и результаты моделирования

Наложение графиков на рисунке 4 подтверждает адекватность обученной адаптивной нейронечеткой сети изначение числа ЧП в 2023 году в количестве 36 случаев. Подтвердить достоверность разработанного прогноза числа ЧП в количестве 36 случаев возможно путем верификации полученного прогноза.

31 декабря 2023 года завершился переход периода упреждения из будущего в прошлое, предусмотренного для разработанного прогноза по числу ЧП с газом в быту. Это дает возможность определить фактическую числовую характеристику объекта прогнозирования, т.е., число реально произошедших за 2023 год ЧП [8].

Так как настоящая статья написана в апреле 2024 года, появилась практическая возможность осуществить абсолютную верификацию полученного точечного прогноза. Абсолютная верификация прогноза, т.е., установление степени его соответствия действительному значению числа ЧП за 2023 год, осуществляется сопоставлением результата прогноза с фактически имевшим место числом ЧП с бытовым газом в быту в течении 2023 года. [9].

Для этого, как и за предыдущие девять лет, была осуществлена выборка данных о количестве ЧП в течение 2023 года из доступных источников. На

основе информации РИА Новости и открытых источников [10,11,12] установлено, что в 2023 календарном году в РФ, в период с 1 января по 31 декабря, произошло 36 ЧП с газом в быту. Распределение ЧП по месяцам в течение года приведено в таблице 3.

Таблица 4

Статистические данные по распределению числа ЧП по месяцам в 2023 году

Месяцы	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Количество ЧП	3	3	3	3	4	1	1	5	5	4	-	4

Сопоставление спрогнозированного ранее числа ЧП в количестве 36 случаев, вычисленного в трех прогнозах, а именно: с использованием *функции Excel «Предсказ.ETS,ДОВИНТЕРВАЛ»* в варианте «норма», алгоритма Т-S (табл. 2), и с использованием адаптивной нейросети *ANFIS*, совпадает со значением числа ЧП с газом в быту, равным 36 случаям, реально произошедшим в 2023 году. Установленное 100 % -е совпадение числа прогнозов и числа реально произошедших ЧП с газом в быту *позволяет считать степень достоверности прогноза высокой.*

Установлено, что временные ряды на основе статистических данных являются важным источником информации и объектом анализа в различных областях, в том числе и в области разработки краткосрочных прогнозов.

Показано, что использование нейронечетких сетей и теории нечетких множеств для обработки временных рядов позволяет устанавливать новые, скрытые в данных закономерности и получать более точные прогнозы.

Подтверждено, что архитектуры нейронных сетей, такие как адаптивные системы нейронечеткого вывода, позволяют эффективно моделировать зависимости во временных рядах при разработке прогнозов, и подтверждают их эффективность и высокий потенциал для дальнейших исследований.

Список использованных источников

1. Нестеров А.К. Прогнозирование в управлении // Энциклопедия Нестеровых. Электронный вариант. Путь доступа: <https://odiplom.ru/lab/prognozirovanie-v-upravlenii.html>.
2. Горбунов А.И. Анализ динамики и прогнозирование возникновения чрезвычайных происшествий с бытовым газовым оборудованием в РФ. «Социально-экономические и технические системы: исследование, проектирование, оптимизация» , №2(94), 2023 год. Электронный вариант. Путь доступа: <https://kpfu.ru/chelny/science/sets>
3. Инструменты прогнозирования в Microsoft Excel. Электронный ресурс. Путь доступа: <https://lumpics.ru/forecasting-in-excel/>
4. Функция ПРЕДСКАЗ для прогнозирования будущих значений в Excel. Электронный ресурс. Путь доступа: <https://exceltable.com/funkcii-excel/funkciya-predskaz-dlya-prognozirovaniya>
5. А. С. Поздняков. Применение метода Хольта-Винтерса при анализе и программировании динамики временных рядов. Электронный ресурс. Путь доступа: <https://masters.donntu.ru/2017/fknt/vudvud/library/article6.pdf>
6. Леоненков А.В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB fuzzyTECH. – СПб.: БХВ-Петербург, 2005. – 736 с.
7. Кочеганов Д. М. Оценка технического состояния оборудования комбинированной электростанции: дис....канд. техн. наук. Нижний Новгород 2024 – С. 98-101. Электронный вариант. Путь доступа: https://www.nntu.ru/frontend/web/ngtu/files/org_structura/instit_fakul_kaf_shkoly/fsvk/dissertacii/2024/kocheganov_d_m.pdf
8. Особенности верификации прогнозов технико-экономических показателей. Электронный вариант. Путь доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/osobennosti-verifikatsii-prognozov-tehniko-ekonomicheskikh-pokazateley/viewer>

9. § 6. Верификация прогноза. Выработка рекомендаций для управления.
Электронный вариант. Путь доступа:
<https://studfile.net/preview/9380748/page:27/>

10. Взрывы бытового газа в жилых домах в России в 2023-2024 годах.
Электронный вариант. Путь доступа: © РИА Новости / Кирилл Каллиников.
<https://ria.ru/20240118/gaz-1922019897.html>

11. 28 ЧП за год: что делает потребление бытового газа в России
небезопасным. Электронный вариант. Путь доступа:
<https://dzen.ru/a/ZQ19XxUKLUy2S-US>

12. Взрывы бытового газа в жилых домах в России в 2023 году.
Электронный вариант. Путь доступа: <https://ria.ru/20230920/gaz-1897480901.html>

*Gorbunov A.I., candidate of technical sciences, associate professor, Federal State
Budgetary Educational Institution of Higher Education "Lugansk State University
named after Vladimir Dahl"*

*Gorbunov V.A., assistant, Federal State Budgetary Educational Institution of
Higher Education "Lugansk State University named after Vladimir Dahl"*

FORECASTING THE NUMBER OF EMERGENCIES ACCORDING TO TIME SERIES DATA AND FORECAST VERIFICATION

*Annotation. The process of forecasting the number of emergency incidents with
household gas appliances in the Russian Federation over the past nine years using
time series statistical data is considered, and medium-term forecasts of an
increase in the number of incidents are obtained. Using an adaptive neuro-fuzzy
network and fuzzy set theory, a forecast confirming the increase in the number of
emergency incidents was also obtained. Based on the results of absolute
verification, the reliability of the developed forecast about an increase in the
number of emergency situations in 2023 was confirmed.*

*Keywords. Time series, forecasting methods, statistical data, number of incidents,
neuro-fuzzy network, forecast, verification.*