

ДИАЛОГИ СО СПЕЦИАЛИСТАМИ

Научная статья

УДК 681.3.06

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ КОМПЬЮТЕРНЫХ МОДЕЛЕЙ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ

Лабинский Александр Юрьевич.

Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, Санкт-Петербург, Россия

Labinsciy@yandex.ru

Аннотация. Рассмотрены компьютерные модели прогнозирования временных рядов. Модели прогнозирования реализованы в виде программ для ЭВМ. Приведены результаты вычислительных экспериментов по оценке ошибки краткосрочного прогнозирования временных рядов. Рассмотрены математические модели, используемые для решения задач прогнозирования, в том числе самоорганизующиеся модели, модели в виде систем нечеткого вывода, модели многослойных нейронных сетей прямого распространения, модели адаптивного прогнозирования и модели кусочно-полиномиальной аппроксимации. Основное внимание уделено краткосрочному прогнозированию временных рядов, при котором прогнозирование осуществляется на один интервал времени вперед. В качестве компьютерных моделей краткосрочного прогнозирования подробно рассмотрены модель искусственной многослойной нейронной сети без обратных связей с линейной активационной функцией, модель экспоненциального сглаживания с адаптацией на каждом шаге по времени к данным временного ряда и модель кусочно-полиномиальной аппроксимации, при которой аппроксимирующая функция составляется из отдельных многочленов одинаковой небольшой степени (третьей степени – кубические сплайны). Каждая компьютерная модель реализована в виде программы для ЭВМ, для которой приведены блок-схема и интерфейс программы.

Ключевые слова: вычислительный эксперимент, краткосрочное прогнозирование, временной ряд, математическая модель, компьютерное моделирование, компьютерная программа

Для цитирования: Лабинский А.Ю. Сравнительный анализ компьютерных моделей прогнозирования временных рядов // Надзорная деятельность и судебная экспертиза в системе безопасности. 2023. № 2. С. 55–60.

Введение

В процессе аналитической деятельности МЧС России большое внимание уделяется как вопросам прогнозирования возникновения всех чрезвычайных ситуаций, включая пожары, так и вопросам прогнозирования опасных факторов пожара.

Прогнозирование осуществляется на основе анализа большого объема различной информации, но чаще всего используются данные, характеризующие исследуемый объект (процесс, явление) за ряд последовательных моментов (периодов) времени. Такие данные называются временными рядами. Временной ряд – совокупность значений какого-либо показателя за несколько последовательных моментов или периодов времени.

Для решения задач прогнозирования могут использоваться следующие математические модели:

- модели, обладающие свойством самоорганизации (метод группового учета аргументов);
- модели, использующие нечеткую логику (системы нечеткого вывода);
- модели, использующие нейронные сети (многослойные нейронные сети прямого распространения);
- модели, использующие экспоненциальное сглаживание (адаптивный метод прогнозирования временных рядов);
- модели, использующие сплайн-экстраполяцию (метод кусочно-полиномиальной аппроксимации).

© Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, 2023

Компьютерная модель представляет собой программу для ЭВМ, реализующую математическую модель, представляющую собой систему алгебраических, дифференциальных или логических уравнений. Программа для ЭВМ выполняет решение данной системы уравнений с целью имитации процесса прогнозирования.

В данной статье выполняется краткосрочное прогнозирование временного ряда путем вычислительных экспериментов на разработанных компьютерных моделях и оценивается ошибка прогнозирования для каждой модели.

Тема статьи актуальна, так как разработанные компьютерные модели могут использоваться для прогнозирования возникновения чрезвычайных ситуаций.

Новизна исследования состоит в создании программ для ЭВМ, с помощью которых проведены компьютерные эксперименты.

Краткосрочное прогнозирование временных рядов

Если прогнозирование осуществляется на один интервал времени вперед, то такой прогноз называется краткосрочным. В случае прогнозирования на 5–10 интервалов времени вперед прогноз называется среднесрочным. Для долгосрочного прогнозирования оно осуществляется на более чем 10 интервалов времени вперед. В данной статье в качестве задачи прогнозирования решается задача краткосрочного прогнозирования на один интервал времени.

Рассмотрим указанные выше модели прогнозирования более подробно.

Компьютерные модели, реализующие метод группового учета аргументов [1–3], используются в основном для среднесрочного и долгосрочного прогнозирования, поэтому данные модели в дальнейшем не рассматриваются.

Компьютерные модели, реализующие нечеткую логику (системы нечеткого вывода) [4–6], осуществляют процесс краткосрочного прогнозирования с относительной ошибкой не менее 10 %, поэтому данные модели в дальнейшем также не рассматриваются.

Компьютерная модель, использующая нейронные сети, – это модель искусственной многослойной нейронной сети без обратных связей с линейной активационной функцией [7–9]. На этапе обучения нейронной сети (интерполяция данных) используется экспоненциальное сглаживание данных. Блок-схема программы представлена на рис. 1.

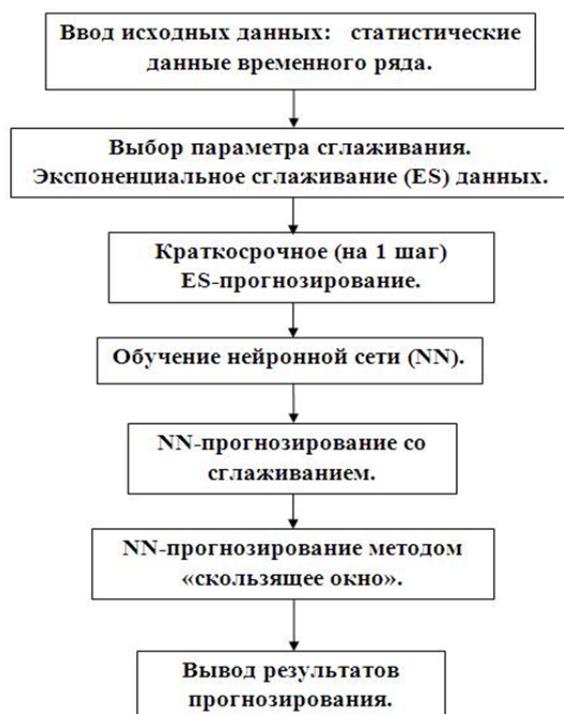


Рис. 1. Блок-схема программы

Интерфейс программы для ЭВМ, реализующей данную компьютерную модель, представлен на рис. 2.

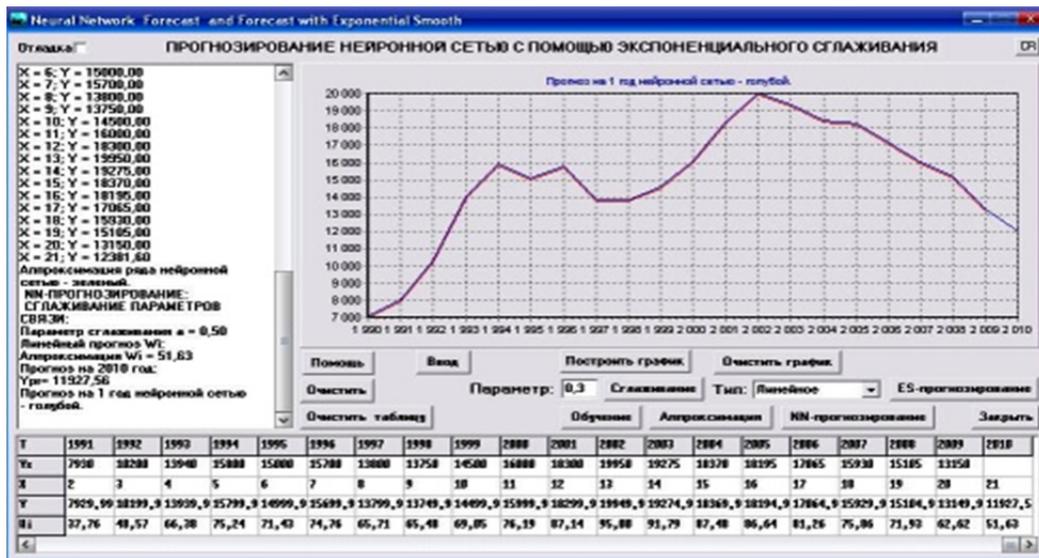


Рис. 2. Интерфейс программы для ЭВМ

Особенность компьютерной модели экспоненциального сглаживания заключается в том, что на каждом шаге по времени происходит процесс адаптации к данным временного ряда. Затем определяется ошибка прогнозирования, с помощью которой происходит выработка компенсирующих изменений. Далее, происходит прогноз на следующий момент времени. В итоге весь процесс повторяется. Блок-схема программы представлена на рис. 3.

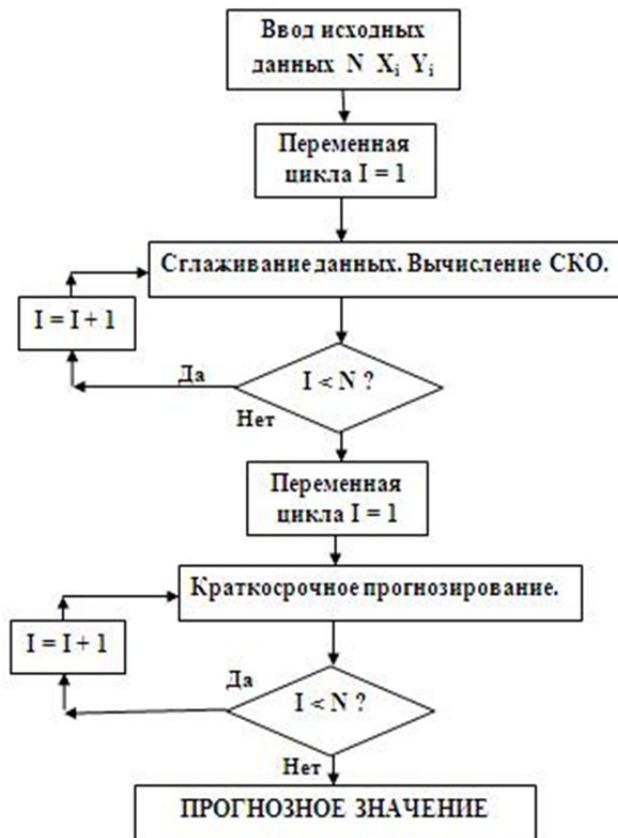


Рис. 3. Блок-схема программы

Компьютерная модель экспоненциального сглаживания, используемая для краткосрочного прогнозирования, была реализована в виде программы для ЭВМ. Интерфейс программы прогнозирования временных рядов с помощью экспоненциального сглаживания представлен на рис. 4.

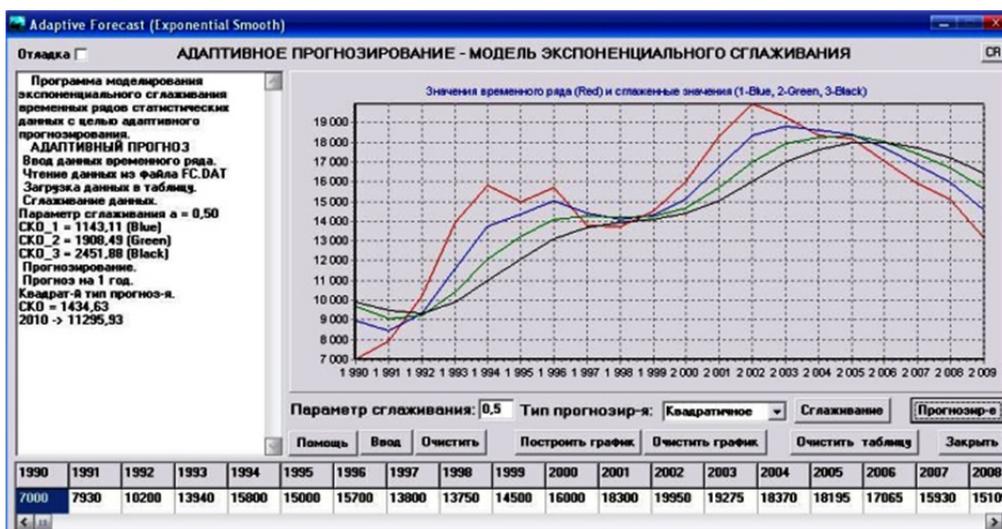


Рис. 4. Интерфейс программы прогнозирования временных рядов с помощью экспоненциального сглаживания

Особенность компьютерной модели сплайн-экстраполяции состоит в реализации кусочно-полиномиальной аппроксимации с помощью многочленов третьей степени (кубических сплайнов). Интерфейс программы для ЭВМ, использующей сплайн-экстраполяцию, представлен на рис. 5.

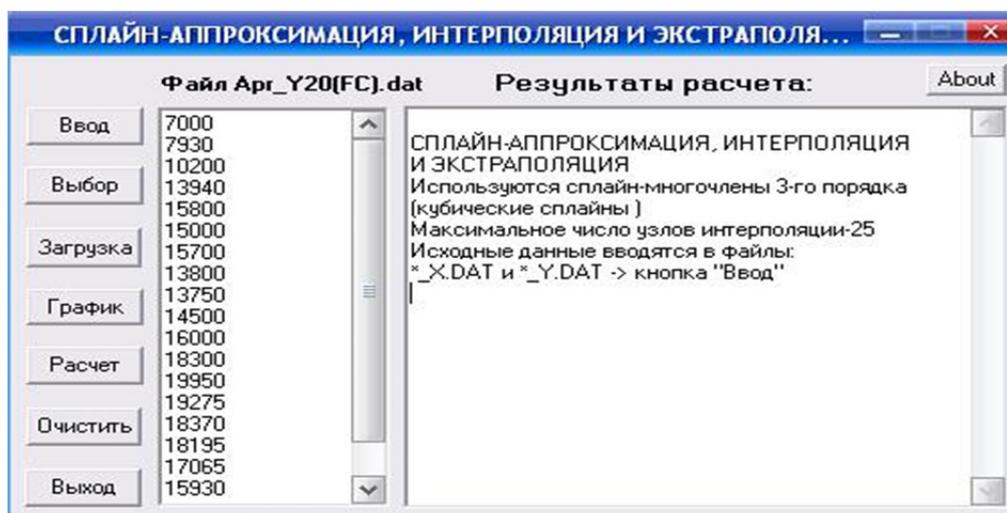


Рис. 5. Интерфейс программы прогнозирования временных рядов с помощью сплайн-экстраполяции

Блок-схема программы прогнозирования временных рядов с помощью сплайн-экстраполяции представлена на рис. 6.

Аппроксимация и экстраполяция кубическим сплайном.
Блок-схема программы.

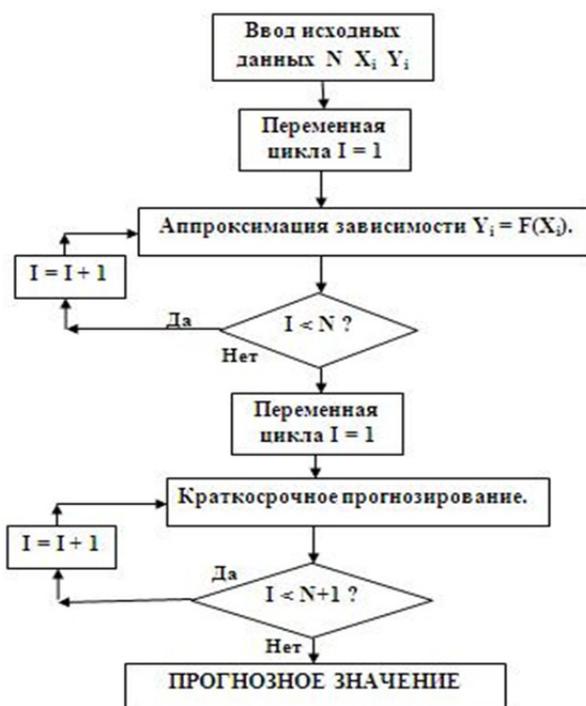


Рис. 6. Блок-схема программы

Результаты вычислительных экспериментов

Рассмотренные выше программы краткосрочного прогнозирования были использованы для проведения вычислительных экспериментов с использованием данных о числе погибших при пожарах в Российской Федерации за период с 2000 по 2020 г., взятых с сайта МЧС России. Данные представлены в табл. 1.

Таблица 1

Год	Кол-во погибших						
2000	7 000	2006	15 700	2011	18 300	2017	15 927
2001	7 930	2007	13 800	2012	19 906	2018	15 105
2002	10 200	2008	13 750	2013	19 275	2019	13 148
2003	13 940	2009	14 500	2014	18 371	2020	12 053
2004	15 800	2009	16 000	2015	18 194	–	–
2005	15 000	2010	18 300	2016	17 065	–	–

Данные временного ряда за 20 лет, с 2000 по 2019 г., были использованы в качестве обучающей выборки. В результате прогнозирования были получены значения числа погибших за 2020 г., представленные в табл. 2.

Таблица 2

Модель, реализующая	Число погибших за 2020 г.	Абсолютная ошибка	Относительная ошибка
нейронную сеть, традиционный метод	11 920	133	1,1 %
нейронную сеть, метод «скользящие окна»	11 974	79	0,66 %
экспоненциальное сглаживание	11 295	758	6,3 %
сплайн-экстраполяцию	11 750	303	2,5 %
Статистические данные	12 053	–	–

Вывод

С помощью программ для ЭВМ, реализующих нейронную сеть, экспоненциальное сглаживание и сплайн-экстраполяцию, были выполнены вычислительные эксперименты, которые показали, что относительная ошибка краткосрочного прогнозирования у рассмотренных компьютерных моделей находится в диапазоне от 0,66 % до 6,3 %. Данный результат позволяет сделать вывод, что все рассмотренные компьютерные модели обеспечивают приемлемую точность краткосрочного прогнозирования временного ряда.

Минимальная ошибка краткосрочного прогнозирования (0,66 %) у компьютерной модели прогнозирования с помощью нейронной сети, использующей метод прогнозирования «скользящие окна» (windowing).

Максимальная ошибка краткосрочного прогнозирования (6,3 %) у компьютерной модели прогнозирования с помощью экспоненциального сглаживания.

Список источников

1. Математическое моделирование сложных технических систем: сб. статей. М.: МГТУ им. Баумана, 1997.
2. Лабинский А.Ю., Подружжина Т.А. Снижение техногенных рисков путем использования прогнозирующих математических моделей // Природные и техногенные риски. 2013. № 3.
3. Kahneman D. Mathematical Modeling. New York and London, 2016.
4. Пегат А. Нечеткое моделирование и управление. М.: БИНОМ, 2013.
5. Лабинский А.Ю. Модель нечеткого прогнозирования // Проблемы управления рисками в техносфере. 2016. № 4.
6. Mamdani E.H., Assilian S. An experiment with a fuzzy logic controller // Cybernetics and Systems. 2014. № 15.
7. Тархов Д.А. Нейронные сети как средство математического моделирования. М.: Радиотехника, 2006.
8. Лабинский А.Ю. Особенности использования нейронной сети для прогнозирования временных рядов // Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петерб. ун-та ГПС МЧС России». 2018. № 1.
9. Barron A.R. Neural net approximation // IEEE Transaction on Information Theory. 2016. Vol. 49.
10. Baldi P. A recurrent neural network // Neural Computation. 2018. Vol. 2.

Информация о статье: статья поступила в редакцию: 02.05.2023; принята к публикации: 15.05.2023

Информация об авторах:

Лабинский Александр Юрьевич, доцент кафедры прикладной математики и информационных технологий Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), кандидат технических наук, доцент, e-mail: Labinsciy@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-2735-4189>