УДК 332.14

JEL R11

DOI: 10.17213/2312-6469-2020-6-141-148

**МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ
ДИНАМИКИ ЧИСЛЕННОСТИ НАСЕЛЕНИЯ
В ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЕ
ТЕРРИТОРИАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ**

© *И.В. Яковенко, А.А. Богомяжков 2020*

ФГБОУ ВО «Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И.Платова», г. Новочеркасск, Россия

В статье затронута тема разработки информационных систем территориального управления, включающих в свой состав экономико-математические модели прогнозирования динамики численности населения. Предложенная авторами математическая модель прогнозирования будущего демографического состояния населения базируется на применении теории интеллектуального моделирования – искусственных нейронных сетей. В процессе исследований строились модели перцептрона, отличающиеся количеством нейронов в слое и видом активационных функций. При оценке качества моделирования применялся метод обучения с учителем. На основе анализа графика изменения ошибки обучаемости была выбрана структура нейронной сети с наименьшей ошибкой аппроксимации.

Ключевые слова: *прогнозирование, динамика численности населения, математическая модель, нейронная сеть, перцептрон.*

**MATHEMATICAL MODEL OF POPULATION DYNAMICS
FORECASTING IN THE TERRITORIAL ADMINISTRATION
INFORMATION SYSTEM**

© *I.V. Yakovenko, A.A. Bogomyagkov 2020*

*South-Russian State Polytechnic University (NPI) named after M.I. Platov,
Novocherkassk, Russia*

The article deals with the development of information systems for territorial administration that include economic and mathematical models for predicting population dynamics. The mathematical model of predicting the future demographic state of the population proposed by the authors is based on the application of the theory of intelligent modeling – artificial neural networks. In the course of research, perceptron models were built that differ in the number of neurons in the layer and the type of activation functions. When evaluating the quality of modeling, the method of teaching with a teacher was used. Based on the analysis of the

graph of changes in the learning error, the structure of the neural network with the lowest approximation error was selected.

Keywords: *forecasting, population dynamics, mathematical model, neural network, perceptron.*

Введение

Уровень социально-экономического развития России во многом определяется качеством управления субрегионами, как особого звена территориальной экосистемы, обеспечивающего социальную и экономическую стабильность граждан. Для обеспечения конкурентоспособности экономики муниципалитетов и высокого качества работы органов местного самоуправления огромное значение имеет использование информационных технологий. В связи с этим разработка и развитие информационных систем и технологий, функционирующих на всех уровнях управления, являются одной из приоритетных задач, стоящих перед руководством России. Информационная система территориального управления представляет собой комплекс математических методов, программных, технических и технологических средств, предназначенных для обработки информации и принятия решений. Существенная роль в составе информационной системы территориального управления отводится подсистеме прогнозирования динамики численности населения, так как определение соотношения ресурсов и населения является проблемой любой территории. На основе демографических прогнозов осуществляется планирование производства товаров, услуг, социальной структуры общества. Прогнозы численности рабочей силы являются базой для определения доходов и расходов территориальных бюджетов. Качество функционирования информационной системы прогнозирования определяется адекватностью используемых математических моделей.

В связи с тем, что демографический потенциал имеет первостепенную значимость для успеха и процветания любой страны, вопросы прогнозирования численности населения вызывают большой интерес в исследованиях отечественных и зарубежных авторов. Так, Эдиевым Д.М. [1] предложен метод агрегированного экономико-математического моделирования, базирующийся на концепции демографического потенциала. Метод показал высокую эффективность при прогнозировании численности населения. В [2] предложена прогностическая модель динамики численности народонаселения планеты. Модель построена на основе аналитической записи зависимости рождаемости и смертности от общей численности населения. В статье Хамадеевой З.А. применён метод экстраполяции к построению прогноза динамики численности населения. Предсказан отток населения и вскрыты связанные с этим проблемы. Исследование изменения показателя численности населения во времени проводилось Андиевой С.Э., Орловой Н.С. [5]. Для получения результатов прогнозирования использовались ме-

тод экспоненциального сглаживания и метод Холта. Применение эконометрических методов для прогнозирования динамики численности населения предложено в работе Волощук Л.А., Ткачева С.И., Жданкиной Н.Ю. [6]. Математическая модель прогнозирования численности населения на базе применения метода динамики средних предложена Моисеевым В.С., Сбоевой А.В. [7]. Методологические проблемы занятости населения в экономике и пути их решения вскрыты Кашеповым А.В. [8], Ковалёвым Р.Э. [9]. Среди зарубежных исследователей, занимающихся решением проблем прогнозирования, следует отметить работы Chiang C. [10], Pástor L., Stambaugh R. F. [11], Sanchis, R.; Duran-Heras, A.; Poler A. [12]. Но предложенные методы, модели, алгоритмы не раскрывают всего множества проблем, возникающих при прогнозировании. В данной статье предложено использование математического аппарата искусственных нейронных сетей для прогнозирования динамики численности населения.

Математическая модель прогнозирования численности населения

Блок прогнозирования численности населения, включённый в состав информационной системы территориального управления, является тем звеном, результаты функционирования которого используются всеми подсистемами: «производство», «маркетинг», «логистика», «бюджет», «здравоохранение», «образование» и др. Фрагмент архитектуры информационной системы территориального управления представлен на рис. 1.

Рис. 1. Фрагмент архитектуры информационной системы территориального управления

В соответствии с архитектурой, в информационной системе происходит постоянный сбор, обработка и хранение в базе данных информации о численности населения. Постоянно накапливаемая в базе данных информация о численности населения поступает в математическую модель прогнозирования, результатом функционирования которой является территориальный демографический прогноз.

В настоящей статье предлагается применение математического аппарата искусственных нейронных сетей для построения демографических территориальных прогнозов. В качестве входных параметров были применены сведения об изменении численности населения одного из субрегионов Ростовской области с 2005 по 2020 годы (табл. 1).

Таблица 1

Количество жителей одного из субрегионов Ростовской области

Годы	Количество жителей	Годы	Количество жителей
2005	181 000	2013	173 140
2006	179 500	2014	173 464
2007	178 000	2015	172 817
2008	177 000	2016	170 233
2009	176 542	2017	168 766
2010	168 746	2018	168 022
2011	169 277	2019	167 355
2012	169 032	2020	168 035

Исходные данные для математической модели подготовлены в виде временного ряда $\Omega = \{\omega_1(t), \omega_2(t), \dots, \omega_k(t)\}$. Для выполнения процедуры прогнозирования временной ряд декомпозировался на две составляющих:

$$\Omega = \{\Omega_1, \Omega_2\},$$

где $\Omega_1 = \{\omega_1(t), \omega_2(t), \dots, \omega_m(t)\}$, $\Omega_2 = \{\omega_{m+1}(t), \omega_{m+2}(t), \dots, \omega_k(t)\}$, $m < k$. В ходе построения математической модели прогнозирования была поставлена задача реализации машинного обучения с учителем, т.е. управляемого обучения. При этом данные представлены вместе с дополнительными признаками, по которым осуществляется предсказание. Временной ряд Ω_1 используется в качестве обучающей выборки, а Ω_2 – в качестве контрольной выборки. В результате создания математической модели прогнозирования были построены четыре искусственных нейронных сети: $Network_1$, $Network_2$, $Network_3$, $Network_4$ (табл. 2).

Таблица 2

Модели нейронных сетей

Название нейронной сети	Структура нейронной сети	Функция активации первого слоя	Функция активации второго слоя	График обучения нейронной сети Network 1	Прогноз
Network 1		$f(x) = \frac{1}{1 + e^{-x}}$	$f(x) = \frac{1}{1 + e^{-x}}$		
Network 2		$f(x) = \frac{1}{1 + e^{-x}}$	$f(x) = \frac{1}{1 + e^{-x}}$		
Network3		$f(x) = x$	$f(x) = x$		
Network 4		$f(x) = \frac{1}{1 + e^{-x}}$	$f(x) = x$		

Для создания моделей был использован графический интерфейс GUI пакета Neural Networks Toolbox. Построенные искусственные нейронные сети $Network_i$, $i = \overline{1,4}$ представляют собой двухслойные перцептроны. Структуры искусственных нейронных сетей $Network_i$, $i = \overline{1,4}$, приведены в таблице 2. При этом в сети $Network_1$ первый и второй слой состоит из одного нейрона, содержащего нелинейные функции активации с насыщениями вида $f(x) = \frac{1}{1 + e^{-x}}$, обозначенного в GUI как TANSING. Процедура обучения нейронной сети $Network_1$ продемонстрировала низкую степень аппроксимации. График изменения ошибки сети в процессе обучения приведен в Таблице 2. С целью уменьшения ошибки обучаемости модель $Network_1$ была трансформирована в $Network_2$, в которой увеличено количество нейронов в первом слое до 50. Функции активации модели не менялись. Эта модель также продемонстрировала низкую степень аппроксимации. В результате исследований в нейронной сети $Network_3$ были заменены функции активации TANSING в нейронах первого и второго слоя на линейную передаточную функцию PURLIN $f(x) = x$. В связи с тем, что ошибка обучения сети $Network_3$, график изменения которой приведен в таблице 2, продемонстрировала низкий уровень аппроксимации, авторами статьи построена модель $Network_4$, в которой в первом слое нейронной сети реализована функция активации $f(x) = \frac{1}{1 + e^{-x}}$ (TANSING), а во втором – функция $f(x) = x$ (PURLIN). Такая структура нейронной сети позволила значительно уменьшить ошибку аппроксимации. График изменения ошибки аппроксимации для искусственной нейронной сети $Network_4$ приведён в таблице 2. Прогноз динамики численности населения в течение последующих четырёх лет, полученный с помощью модели $Network_4$, приведен в таблице 3:

Таблица 3

Прогноз динамики численности населения на 2021-2024 годы в субъекте РФ «XX»

Годы	Количество жителей	Годы	Количество жителей
2021	167801	2023	140857
2022	167819	2024	108850

На рис. 2 приведена экранная форма результатов прогнозирования динамики численности населения на 2021-2024 гг., полученная в результате функционирования модели $Network_4$.

Рис. 2. Экранная форма результатов прогнозирования динамики численности населения на 2021-2024 гг., полученная в результате функционирования модели $Network_4$

Заключение

В управлении социально-экономическим развитием субрегионов особую значимость имеют демографические прогнозы. В связи с тем, что законы демографического развития биективно отображаются на законы социально-экономического развития, прогнозы, связанные с оценкой будущего состояния населения, являются определяющими в планировании хозяйственного развития любой административно-территориальной единицы. Теоретическая значимость реализованного авторами подхода к прогнозированию динамики численности населения заключается в применении математического аппарата интеллектуального моделирования – нейронных сетей, позволяющего строить обладающие свойством обучаемости модели. Практическая значимость предложенных в статье экономико-математических моделей прогнозирования динамики численности населения состоит в их включении в состав информационной системы территориального управления.

Литература

1. Эдиев Д.М. Агрегированное прогнозирование численности населения с использованием техники демографического потенциала / Исследовано в России. – 2001. – Т. 38. – С. 382-407.
2. Моничев А.Я. и др. Прогнозирование численности населения на основе модельного представления динамики рождаемости и смертности // Поволжский экологический журнал. – 2003. – № 3. – С. 232-238.
3. Хамадеева З.А. Территориальный прогноз численности населения Республики Башкортостан // Вестник Башкирского университета. – 2006. – Т. 11. – № 2. – С. 78-81.

4. Татьянкин В.М. Определение оптимальных коэффициентов в экспоненциальной модели численности популяции // Актуальные направления научных исследований: от теории к практике. – 2016. – № 3. – С. 118-120.
5. Андиева С.Э., Орлова Н.С. Прогнозирование численности населения Республики Северная Осетия-Алания с использованием различных методов // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. – 2015. – № 11-7. – С. 132-136.
6. Мхитарян В.С., Сарычева Т.В. Прогнозирование занятости населения в Российской Федерации по видам экономической деятельности // Вопросы статистики. – 2017. – № 3. – С. 18-29.
7. Моисеев В.С., Сбоева А.В. Математическая модель прогнозирования численности населения, обслуживаемого оперативно диспетчерскими службами // Исследования по информатике. – 2004. – Т. 8. – №. 8. – С. 63-74.
8. Кашепов А.В. Методология и проблемы прогнозирования занятости населения в экономике и сфере образования на долгосрочную перспективу // Вестник Российского нового университета. Серия: Человек и общество. – 2017. – №. 4. – С. 9-16.
9. Corpas-Burgos F., Martinez-Beneito M. A. An Autoregressive Disease Mapping Model for Spatio-Temporal Forecasting // Mathematics. 2021, 9(4), 384;
<https://doi.org/10.3390/math9040384>
10. Chiang C. et al. Robust measures of earnings surprises // The Journal of Finance. – 2019. – Vol. 74. – No. 2. – P. 943-983.
11. Pástor L., Stambaugh R.F. Predictive systems: Living with imperfect predictors // The Journal of Finance. – 2009. – Vol. 64. – No. 4. – P. 1583-1628.
12. Sanchis, R.; Duran-Heras, A.; Poler, R. Optimising the Preparedness Capacity of Enterprise Resilience Using Mathematical Programming // Mathematics. 2020. № 8 (9).
<https://doi.org/10.3390/math8091596>

Поступила в редакцию

13.11.2020

Яковенко Ирина Владимировна – кандидат экономических наук, доцент кафедры «Управление социальными и экономическими системами», Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова, г. Новочеркасск, Россия.

Yakovenko Irina V. – candidate of economic sciences, associate professor of the department «Management of social and economic systems», M.I. Platov SRSPU (NPI), Department, Novocherkassk, Russia.

Богомягков Артем Алексеевич – студент кафедры «Программное обеспечение вычислительной техники», факультет информационных технологий и управления, Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова, г. Новочеркасск, Россия.

Bogomyagkov Artem Al. – Student of the Department of Computer Engineering Software, Faculty of Information Technology and Management, M.I. Platov SRSPU (NPI), Department, Novocherkassk, Russia.

Россия, 346428, г. Новочеркасск, ул. Просвещения, 132
132, Prosveshcheniya str., Novocherkassk, 346428, Russia
e-mail: IranYak@mail.ru