

УДК: 338.27: 004.8

АЛИБАЛАЕВА ЛЕЙЛА ИБРАГИМОВНА
к.э.н., доцент кафедры «Информатика» ФГБОУ ВО «РЭУ им. Г.В. Плеханова»,
e-mail: Leyla.alibalaeva@gmail.com

САВИНОВА ВИКТОРИЯ МИХАЙЛОВНА
старший преподаватель, аспирант кафедры «Информатика»
ФГБОУ ВО «РЭУ им. Г.В. Плеханова»,
e-mail: Leyla.alibalaeva@gmail.com

ЖАМОЛАТОВА ЗУЛЬФАРИ НИГМАТУЛАЕВНА
аспирантка кафедры «Экономика и управление в АПК»
ФГБОУ ВПО «Дагестанский государственный аграрный
университет им. М.М. Джамбулатова», Махачкала, Российская Федерация
e-mail: jani1957@yandex.ru

ПРИМЕНЕНИЕ ГИБРИДНЫХ МОДЕЛЕЙ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ РЕГИОНА НА ПРИМЕРЕ РЕСПУБЛИКИ ДАГЕСТАН

Аннотация. *Цель работы* — обоснование возможности и перспективы использования методов машинного обучения для прогнозирования и оценки эффективности социально-экономической деятельности региона на примере Республики Дагестан. В рамках проведенных исследований использовался гибридный подход к прогнозированию на основе регрессионных и нейросетевых моделей прогнозирования. В качестве метода обучения нейронной сети был выбран метод обратного распространения ошибки. Верификация модели искусственной нейронной сети производилась посредством расчета средней относительной ошибки. Были построены регрессионные модели для исследуемых показателей, в качестве которых выступали реальные денежные доходы населения, расходы населения, доходы от собственности, доходы от предпринимательской деятельности, номинальная заработная плата, сбережения населения во вкладах и ценных бумагах, расходы на продукты и услуги, оплата обязательных платежей и взносов, покупка валюты, остатки наличных денег на руках. Однако для трех показателей результаты прогноза были недостаточно удовлетворительны. Для них была построена нейронная сеть на основе многослойного персептрона, что позволило улучшить значения точности и качества прогнозов. **Результаты** проведенного исследования могут быть использованы в дальнейшем для создания полноценной модели оценки эффективности региона, которая позволит обоснованно принимать решения и управлять деятельностью региона. Делается **вывод**, что построение гибридной модели является наиболее оптимальным методом в условиях неопределенности, недостаточности данных и их нечеткости.

Ключевые слова: социально-экономическое моделирование, методы машинного обучения, стратегическое планирование, искусственные нейронные сети, уравнения регрессии.

ALIBALAEVA LEYLA IBRAHIMOVNA
Ph. D., associate Professor of "Informatics" of the "REU them. G. V. Plekhanov",
e-mail: Leyla.alibalaeva@gmail.com

SAVINOVA VICTORIA MIKHAILOVNA
senior lecturer, post-graduate student of the Department "Informatics"
FGBOU VO "REU them. G. V. Plekhanov",
e-mail: Leyla.alibalaeva@gmail.com

ZHAMOLATOVA ZULFARI NIGMATULAEVNA
post-graduate student of the Department "Economics and management in agriculture"
FSBEI HPE "Dagestan state agrarian University" them. M. M. Dzhambulatova",
e-mail: jani1957@yandex.ru

APPLICATION OF HYBRID MODELS TO PREDICT THE EFFECTIVENESS OF THE REGION ON THE EXAMPLE OF THE REPUBLIC OF DAGESTAN

Abstract. *The purpose* of the work is substantiation of the possibility and prospects of using machine learning methods for forecasting and evaluating the effectiveness of socio-economic activity of the region on the example of the Republic of Dagestan. The research used a hybrid approach to forecasting based on regression and neural network forecasting models. The method of error back propagation was chosen as a method of neural network training. Verification of the artificial neural network model was performed by calculating the average relative error. Regression models were constructed for the studied indicators, which were real cash incomes of the population, household expenses, property income, income from business activities, nominal wages, savings of the population in deposits and securities, costs of products and services, payment of mandatory payments and contributions, purchase of currency, cash balances on hand. However, for the three indicators, the results of the forecast were not satisfactory enough. For them, a neural network based on a multilayer perceptron was built, which improved the accuracy and quality of forecasts. **The results** of the study can be used in the future to create a full-fledged model for assessing the effectiveness of the region, which will allow to make informed decisions and manage the activities of the region. It is concluded that the construction of a hybrid model is the most optimal method in the conditions of uncertainty, data insufficiency and fuzziness.

Keywords: *socio-economic modeling, machine learning methods, strategic planning, artificial neural networks, regression equations*

Введение. Проблема стратегического планирования регионального развития привлекает все большее внимание органов государственного управления и экспертного сообщества. Перед Россией остро стоит вопрос поиска новых моделей экономического развития в условиях экономических ограничений. Нестабильность современной экономики России, связанная с зависимостью от энергоресурсов и усугублённая введением санкций западными странами, вызвала рост внимания к проблеме стратегического планирования экономической деятельности как на муниципальном, так и региональном уровне [1]. Особенно остро в таких условиях встает проблема краткосрочного и долгосрочного планирования результатов экономической деятельности.

Принятие Федерального закона от 28 июня 2014 г. № 172-ФЗ о стратегическом планировании в Российской Федерации вызвало повышение активности в работе по корректировке и актуализации документов стратегического планирования в регионах с учетом новых требований. В соответствии со статьями 1 и 2 данного закона стратегическое планирование в нашей стране реализуется, в т. ч., и на уровне субъектов РФ, а его правовое регулирование осуществляется в соответствии с нормативными правовыми актами не только федерального, но также регионального и местного уровней [2].

Достижение целевых значений показателей является основой для проведения мониторинга выполнения поручений, указанных в Указах Президента Российской Федерации от 07 мая 2012 года № 596-606, и оценки эффективности деятельности региона.

В целях грамотного использования финансовых средств, направленных на региональное развитие, необходимо своевременно выявлять проблемные области и угрозы. В связи с этим особенно актуальной становится разработка методов краткосрочного прогнозирования, которые способствовали бы принятию грамотных и эффективных решений. Для решения поставленной задачи существует множество методов. Цель данной работы является обоснование возможностей и перспектив использования методов машинного обучения и применимости гибридного подхода к прогнозированию и оценке эффективности социально-экономической деятельности региона на примере Республики Дагестан. Построенная модель должна обеспечивать достаточную точность и качество расчетных значений для поддержки принятия управленческих решений.

Обзор литературы. В современных источниках описывается множество подходов к прогнозированию, основанных на различных методах математического и имитационного модели-

рования. В работе Лычкиной Н.Н. [3] продемонстрирована имитационная модель региона, позволяющая управлять экономическими процессами и осуществлять прогнозирование на основе диаграмм потоков. Однако способы верификации прогнозов не приведены.

Показатели экономической эффективности представляют собой, как правило, временные ряды. Для прогнозирования временных рядов экономической природы применимы различные методы статистического и интеллектуального анализа.

Построение прогнозных моделей на основе регрессионных уравнений и метода аналитического выравнивания представлен в статье «Статистический анализ и прогнозирование развития региональной экономики» Н.Н. Подольной [4].

В работах Гурдиной Е.А., Васенковой Я.В., Грековой И.И. представлены модели трендов для прогнозирования социально-экономических показателей региона [5].

Помимо стандартных статистических существует множество интеллектуальных моделей прогнозирования временных рядов.

В работе «Гибридные модели прогнозирования коротких временных рядов» Л.А. Демидовой, А.Н. Пылькина, С.В. Скворцова и Т.С. Скворцовой [6] описана разработка модуля прогнозирования с использованием инструментария теории нечетких множеств, генетических алгоритмов и искусственных иммунных систем. В работах А.Н. Аверкина и С.А. Ярушева описывается построение моделей прогнозирования с использованием нечетких нейронных сетей, глубинного обучения и когнитивных карт [7].

В работе Bisoi R., Dash P.K. рассматривается построение моделей прогнозирования экономических временных рядов на основе гибридных динамических нейронных сетях [8]. В работе Singh P. представлена модель прогнозирования больших данных [9]. В зарубежной литературе в работах Medeiros M.C., Pedreira C.E., Miao K., Chen F., Zhao Z.G., Nguyen N., Cripps A. встречается описание множества методов прогнозирования временных рядов на основе нейронных сетей [10, 11, 12].

Рассмотренные модели имели ряд недостатков:

- Нечеткие критерии верификации.
- Некоторые модели предназначены для работы только с большими данными.
- Некоторые модели не являются целостными системами и рассматриваются, как разрозненные расчеты отдельных показателей.
- При описании некоторых моделей использовались только теоретические аспекты при отсутствии практических экспериментов с эмпирическими данными.

Методы исследования. Для мониторинга эффективности регионов используются методики, утвержденные приказами Росстата. Однако в основе данных методик лежат показатели социально-экономической деятельности региона. В рамках данной работы осуществлялось прогнозирование показателей социальной сферы Республики Дагестан. В качестве входных данных выступали статистические данные Росстата в период с 2001 по 2017 гг.

В рамках проведенных исследований использовался гибридный подход к прогнозированию на основе регрессионных и нейросетевых моделей прогнозирования. Для прогнозирования использовался базовый вариант сценария развития РФ.

Первоначально была построена система взаимосвязанных регрессионных моделей множественной линейной регрессии на основе метода наименьших квадратов [13]. В качестве критериев верификации были выбраны коэффициенты детерминации (R^2), Дарбина-Уотсона (DW) и критерий Фишера (F). Значения критериев для оценки точности и качества моделей были установлены экспертно (табл. 1)

Таблица 1

Критерии качества и точности модели

Параметры оценки качества		Параметры оценки точности (Δ)		
Коэффициент детерминации (R^2),	> 0,4	Высокая	Средняя	Низкая
Значение критерия Фишера (F-stat)	> 5,0	<0,06	0,06 < Δ < 0,16	>0,16
Критерий Дарбина-Уотсона (DW)	0,8 < DW < 3,2			

Однако не все показатели удалось спрогнозировать с достаточной точностью и качеством. Всего было построено 10 уравнений, для 3 из них не удалось подобрать уравнение линейной регрессии, которое позволило бы получить удовлетворительное значение прогноза. Для этих показателей была построена нейросетевая модель на основе архитектуры многослойного персептрона с одним скрытым слоем. На скрытом слое расположено 10 нейронов. В качестве метода обучения был выбран метод обратного распространения ошибки [14]. Верификация модели искусственной нейронной сети производилась посредством расчета средней относительной ошибки.

Результаты. В качестве сценарных показателей для проведения расчета были использованы денежная масса, ВРП, цены на нефть и ставка по межбанковским кредитам. В качестве исследуемых показателей выступали реальные денежные доходы населения, расходы населения, доходы от собственности, доходы от предпринимательской деятельности, номинальная заработная плата, сбережения населения во вкладах и ценных бумагах, расходы на продукты и услуги, оплата обязательных платежей и взносов, покупка валюты, остатки наличных денег на руках. Пример результата расчета регрессионного уравнения для показателя «Реальные денежные доходы населения» представлен на рис. 1.

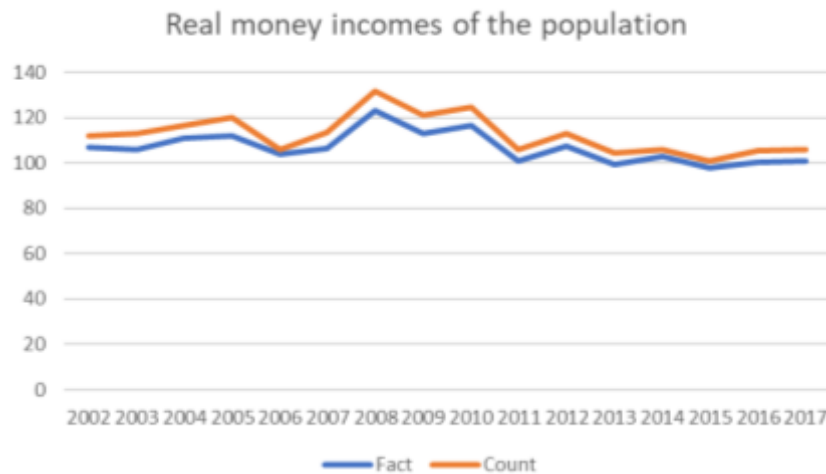


Рис. 1. Результат расчета показателя «Реальные денежные доходы населения»

Полученные результаты могут быть оценены положительно, регрессионные модели по большинству показателей показали хорошие результаты с довольно высокой точностью прогноза. Однако для трех показателей не удалось построить модель множественной линейной регрессии с удовлетворительной точностью и качеством. Для этих показателей была построена нейросетевая модель на основе многослойного персептрона. Результат расчета для показателя «Сбережения во вкладах и ценных бумагах» представлен на рис. 2.

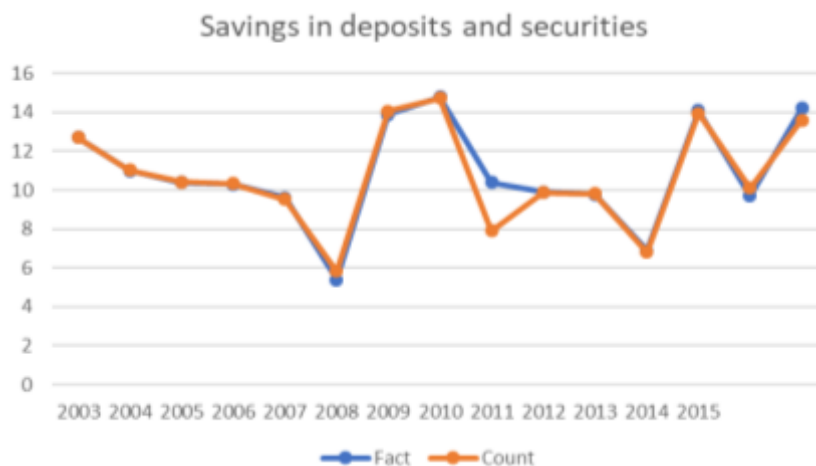


Рис. 2. Сбережения во вкладах и ценных бумагах Республики Дагестан

Анализ результатов показал, что для трех показателей удалось улучшить значения точности и качества прогнозов (табл. 2).

Таблица 2

Оценка точности модели

Показатель	Регрессионная модель		Искусственная нейронная сеть	
	R2	Ошибка, %	R2	Ошибка, %
Сбережения во вкладах и ценных бумагах	0,24	2,4	0,92	2,2
Покупка валюты	0,62	12,5	0,95	3,5
Доходы от предпринимательской деятельности	0,71	20,1	0,89	12

Обсуждение. Построенные модели могут быть использованы в дальнейшем для создания полноценной модели оценки эффективности региона, которая позволит обоснованно принимать решения и управлять деятельностью региона. Данные модели могут послужить основой для реализации модуля поддержки управленческих решений в рамках аналитической платформы для анализа и мониторинга ситуации в регионе в целях повышения его экономической эффективности.

Выводы. Проведенные исследования показали, что применение гибридного подхода к построению моделей экономической ситуации региона является наиболее результативным и обоснованным. В результате данной работы были выявлены основные показатели социальной сферы РФ, оказывающие воздействие на эффективность деятельности региона. Были построены модели множественной линейной регрессии. Для показателей, для которых было невозможно построить модель прогнозирования с удовлетворительной точностью и качеством, результаты были улучшены посредством искусственной нейронной сети.

Данное исследование позволяет сделать вывод, что построение гибридной модели является наиболее оптимальным методом в условиях неопределенности, недостаточности данных и их нечеткости. Развитие исследования предполагает дальнейшее дополнение модели показателями различных сфер функционирования региона.

Литература

1. Rogoff, K. Russia's future looks bleak without economic and political reform [Электронный ресурс] // *The Guardian. Business. Economics: (caim)*. 2017. — URL : <https://www.theguardian.com/business/2017/jul/05/there-is-little-reason-to-be-cheerful-about-russias-growth-prospects> (дата обращения: 01.03.2019).
2. Климанов, В. В., Будаева, К. В., Чернышова, Н. А. Направления регионального стратегирования и программирования в России // *Региональные исследования*. 2016. № 4. С. 17–30.
3. Лычкина, Н. Н. Компьютерное моделирование социально-экономического развития регионов в системах поддержки принятия решений // *Материалы III Международной конференции «Идентификация систем и задачи управления» SICPRO'04 ИПУ РАН*, 2004.
4. Подольная, Н. Н. Статистический анализ и прогнозирование развития региональной экономики // *IX Международная научно-практическая конференция «Инновационное развитие российской экономики»: в 6 т.* — М. : ФГБОУ ВО «РЭУ им. Г. В. Плеханова», 2016. С. 318–320.
5. Гурдина, Е. А. Васенкова, Я. В., Грекова, И. И. О выборе моделей прогнозирования развития региональных демографических процессов // *Компьютерные технологии в моделировании, управлении и экономике: сб. материалов VIII межвузовской научно-практической конференции 2016*. С. 9–13.
6. Демидова, Л. А., Пылькин, А. Н., Скворцов, С. В., Скворцова, Т. С. Гибридные модели прогнозирования коротких временных рядов. — М. : Горячая линия – Телеом, 2015.
7. Averkin, A. N., Yarushev, S. A. Hybrid approach for time series forecasting based on ANFIS and Fuzzy Cognitive Maps // *In Proc. of 20th IEEE International Conference on Soft Computing and Measurements (SCM)*. 2017 ∩ IEEE. 2017. P. 379–381.
8. Bisoï, R., Dash, P. K. Prediction of financial time series and its volatility using a hybrid dynamic neural network trained by sliding mode algorithm and differential evolution // *Int. Journ. of Information and Decision Sciences*. 2015. Vol. 7. No. 2. P. 166–191.
9. Singh, P. Big Data Time Series Forecasting Model : A Fuzzy-Neuro Hybridize Approach // *Acharjya D., Dehuri S., Sanyal S. (eds) // Computational Intelligence for Big Data Analysis. Adaptation, Learning, and Optimization*. — Springer., 2015. Vol. 19. P. 55–72.
10. Medeiros, M. C., Pedreira, C. E. What are the effects of forecasting linear time series with neural networks? // *Engineering Intelligent Systems*. 2001. Vol. 9. P. 237–424.
11. Miao, K., Chen, F., Zhao, Z. G. Stock price forecast based on bacterial colony RBF neural network // *Journ. of QingDao University*. 2007. Vol. 20. P. 50–54.

12. Nguyen, N., Cripps A. *Predicting housing value: a comparison of multiple regression analysis and artificial neural networks* // *JRER*. 2001. Vol. 3. P. 314–336.
13. Колмаков, И. Б., Кольцов, А. В., Доможаков, М. В. *Основы построения системы комплексного прогноза сферы исследований и инноваций во взаимосвязи с макроэконометрическими моделями экономики России* // *Инноватика и экспертиза*. 2016. № 5. С. 160–172.
14. Китова, О. В., Колмаков, И. Б., Дьяконова, Л. П. *Методология и система гибридных интеллектуально-экономических моделей вариантного краткосрочного прогнозирования показателей социально-экономического развития РФ* // *Менеджмент и бизнес-администрирование*. 2015. № 3. С. 116–120.

References:

1. Rogoff, K. *Russia's future looks bleak without economic and political reform* // *The Gaurdian. Business. Economics*. 2017. — URL : <https://www.theguardian.com/business/2017/jul/05/there-is-little-reason-to-be-cheerful-about-russias-growth-prospects> (accessed February 28, 2019).
2. Klimanov, V. V., Budaeva, K. V., Chernyshova, N. A. *Directions of regional strategizing and programming in Russia* // *Regional studies*. 2016. No. 4. P. 17–30.
3. Lyichkina, N. N. *Computer modeling of socio-economic development of regions in the decision support systems. Proceedings of the III International Conference "System Identification and Control Problems" SICPRO '04. Moscow, January 28–30, 2004* // *Institute of Control Sciences / V.A. Trapeznikova RAS. — Moscow, 2004. P. 1377–1402.*
4. Podol'naya, N. N. *Statistical analysis and forecasting of the regional economy development* // *IX International Scientific and Practical Conference "Innovative Development of the Russian Economy"*: in 6 vol. — M. : *Plekhanov Russian University of Economics*, 2016. P. 318–320.
5. Gurdina, E. A., Vasenkova, I. V., Grekova, I. I. *On the choice of forecasting models for the development of regional demographic processes* // *Computer technologies in modeling, management and economics : The collection of materials VIII interuniversity scientific-practical conference ; Edited by A.V. Polyinin. — Oryol, 2016. P. 9–16.*
6. Demidova, L. A., Pylkin, A. N., Skvortsov, S.V., Skvortsova, T. S. *Hybrid prediction models for short time series. — M. : Hotline – Teleom, 2015.*
7. Averkin, A. N., Yarushev, S. *Hybrid approach for time series forecasting based on ANFIS and Fuzzy Cognitive Maps* // *Soft Computing and Measurements (SCM). XX IEEE International Conference on. IEEE. — M., 2017. P. 379–381.*
8. Bisoi, R., Dash, P. K. *Prediction of financial time series and its volatility using a hybrid dynamic neural network trained by sliding mode algorithm and differential evolution* // *Int. Journ. of Information and Decision Sciences*. 2015. Vol. 7. No. 2. P. 166–191.
9. Singh, P. *Big Data Time Series Forecasting Model : A Fuzzy-Neuro Hybridize Approach* / Acharjya D., Dehuri S., Sanyal S. (eds) // *Computational Intelligence for Big Data Analysis. Adaptation, Learning, and Optimization*. 2015. Vol. 19. Springer. P. 55–72.
10. Medeiros, M. C., Pedreira, C. E. *What are the effects of forecasting linear time series with neural networks?* // *Engineering Intelligent Systems*. 2001. Vol. 9. P. 237–424.
11. Miao, K., Chen, F., Zhao, Z. G. *Stock price forecast based on bacterial colony RBF neural network* // *Journ. of QingDao University*. 2007. Vol. 20. P. 50–54.
12. Nguyen, N., Cripps, A. *Predicting housing value: a comparison of multiple regression analysis and artificial neural networks* // *JRER*. 2001. Vol. 3. P. 314–336.
13. Kolmakov, I. B., Koltsov, A. V., Domozhakov, M. V. *the Foundations of the system of comprehensive forecast areas of research and innovation in conjunction with the macroeconomic models of the economy of Russia* // *Innovation and expertise : Scientific Works. — M., 2015. No. 1 (14)/ P. 255–275.*
14. Kitova, O. V., Kolmakov, I. B., Dyakonova, L. P. *Methodology and system of hybrid intellectual-economic models and tools for analysis and forecasting of socioeconomic development of Russia* // *Management and business administration*. 2015. No. 3. P. 116–120.