РЕГИОНАЛЬНАЯ И ОТРАСЛЕВАЯ ЭКОНОМИКА/REGIONAL AND SECTORAL ECONOMICS

DOI: https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.157.22

ПРИМЕНЕНИЕ ИСКУССТВЕННЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ ПРОГНОЗА ИНВЕСТИЦИОННОЙ АКТИВНОСТИ В РЕГИОНЕ

Научная статья

Александров Е.Е.[1, *]
[1] ORCID : 0009-0000-1111-7579;
[1] Таганрогский институт управления и экономики, Таганрог, Российская Федерация

* Корреспондирующий автор (ee_alexandrov[at]mail.ru)

Аннотация

Цель настоящего исследования — изучение перспектив использования искусственных нейронных сетей в качестве инструмента оценки и прогноза инвестиционной активности в регионе. Автор статьи *а)* раскрывает значение информации, характеризующей инвестиционную активность, для стратегического планирования и экономического управления региональным развитием, *б)* используя корреляционный анализ, обосновывает совокупность минимально необходимых социально-экономических показателей, позволяющих искусственной нейронной сети с высокой степенью достоверности оценить и спрогнозировать инвестиционную активность в регионе в определенный период времени, *в)* предлагает собственную модель искусственной нейронной сети для оценки и прогноза инвестиционной активности в регионе, *г)* сопоставляя прогнозные данные, полученные с помощью искусственной нейронной сети, с данными Минэкономразвития Ростовской области и органов государственной статистики, делает выводы относительно эффективности использования искусственных нейронных сетей в задачах управления инвестиционной активностью на региональном уровне. Интеграция предлагаемой автором модели искусственной нейронной сети в практику регионального экономического управления может оказать существенное позитивное влияние на качество стратегического планирования региональной политики и программ социально-экономического развития субъектов Российской Федерации.

Ключевые слова: искусственные нейронные сети, социально-экономическое развитие региона, инвестиционная активность.

APPLICATION OF ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS FOR FORECASTING INVESTMENT ACTIVITY IN THE REGION

Research article

Aleksandrov E.E.[1, *]
[1] ORCID : 0009-0000-1111-7579;
[1] Taganrog Institute of Management and Economics, Taganrog, Russian Federation

* Corresponding author (ee_alexandrov[at]mail.ru)

Abstract

The aim of this research is to study the prospects of using artificial neural networks as a tool for assessing and forecasting investment activity in the region. The author of the article *a)* discloses the importance of information characterising investment activity for strategic planning and economic management of regional development, *b)* using correlation analysis, substantiates a set of minimum necessary socio-economic indicators that allow an artificial neural network to estimate and forecast investment activity in the region in a certain period of time with a high degree of reliability, *c)* offers their own model of an artificial neural network to estimate and forecast investment activity in the region in a certain period of time, *d)* offers a model of an artificial neural network to estimate and forecast investment activity in the region. Integration of the artificial neural network model suggested by the author into the practice of regional economic management can have a significant positive impact on the quality of strategic planning of regional policy and programmes of socio-economic development of the subjects of the Russian Federation.

Keywords: artificial neural networks, socio-economic development of the region, investment activity.

Введение

Экономический анализ и прогноз являются фундаментом государственной социально-экономической политики и разработки стратегических планов развития страны в целом и ее отдельных регионов. Вопросы оценки и управления инвестиционной активностью составляют важную часть этих планов. Поскольку в центре нашего внимания находится региональная экономика, то термин «инвестиционная активность» мы будем понимать как степень интенсивности внутренних и внешних инвестиционных процессов, показателями которой выступают объем и темпы привлечения инвестиций в конкретный регион [1]. При этом следует подчеркнуть, что именно различия в инвестиционной активности, с одной стороны, отражают, а с другой стороны, провоцируют неравномерности в социально-экономическом положении регионов страны.

Очевидно, что программы повышения инвестиционной активности в регионе должны опираться на объективную информацию по минимально достаточному количеству ключевых экономических показателей, характеризующих реальное социально-экономическое положение субъекта РФ. В некоторых работах в качестве интегрального показателя инвестиционной активности выступает объем инвестиций в основной капитал региона [8]. Однако

необходимо обратить внимание на отсутствие доступного системам экономического управления регионами инструментария оперативной оценки и прогноза объема инвестиций в основной капитал региона. Обращение региональных органов власти к экспертным агентствам далеко не всегда является оптимальным выходом, так как оценки и прогнозы частных компаний, во-первых, часто несвободны от политической и экономической ангажированности, а во-вторых, опираются на собственные, недоступные внешним экспертам, методики [4], [6], [11].

Как показывает наш опыт и результаты ряда исследований в смежных областях экономики [2], [3], одним из наиболее перспективных способов решения обозначенной проблемы в современных условиях является разработка и внедрение в практику экономической экспертизы искусственных нейронных сетей. Нами разработана авторская модель искусственной нейронной сети (ИНС), при помощи которой состояние инвестиционной активности и перспективы ее развития исследовались на примере Ростовской области.

Материалы и методы исследования

В начальной фазе исследования в опоре на официальные справочные издания Федеральной службы государственной статистики [10], а также отчеты, размещенные на инвестиционном портале Ростовской области [7], мы отобрали 17 показателей, оказывающих, по нашему мнению, наиболее существенное влияние на инвестиционную активность в регионе:

– валовой региональный продукт в расчете на душу населения (в руб.);
– рост валового регионального продукта (в % к предыдущему году);
– объем экспорта (в млн. долл. США);
– объем импорта (в млн. долл. США);
– индекс промышленного производства по добыче полезных ископаемых;
– наличие рабочей силы (тыс. чел.);
– уровень безработицы (в %);
– число зарегистрированных преступлений на 100 тыс. населения;
– коэффициент обновления основных фондов (в %);
– степень износа основных фондов (в %);
– уровень жизни населения (соотношение между средним доходом и прожиточным минимумом);
– объем платных услуг в расчете на душу населения (в руб.);
– оборот розничной торговли в расчете на душу населения (в руб.);
– обеспеченность населения жильем (в $м^2$ на чел.);
– удельный вес убыточных организаций и предприятий в экономике региона (в % от общего числа предприятий и организаций);
– объем инновационной продукции в расчете на душу населения (в руб.);
– объем инвестиций в основной капитал Ростовской области (в млн. руб.).

Разумеется, вопрос, является ли это количество показателей оптимальным, оставался открытым. В ответе на него мы исходили из предположения, что актуальность конкретного показателя для изучения инвестиционной активности региона может быть определена посредством корреляционного анализа тесноты связи социально-экономических показателей с принятым интегральным показателем инвестиционной активности — объемом инвестиций в основной капитал региона. Были использованы: коэффициент корреляции Пирсона (*r*-Пирсона), коэффициенты оценки влияния показателей на объем инвестиций в основной капитал региона по алгоритмам машинного обучения *Elastic Net* и *Support Vector Regression*.

Благодаря корреляционному анализу, первичная база показателей была редуцирована с 17 до 13 (с учетом интегрального показателя — объем инвестиций в основной капитал региона), которые обнаружили более тесную связь с инвестиционной активностью в Ростовской области. Из начального списка, таким образом, были исключены показатели, по которым была установлена слабая или отсутствующая связь с интегральным показателем:

– индекс промышленного производства по добыче полезных ископаемых;
– число зарегистрированных преступлений на 100 тыс. населения;
– коэффициент обновления основных фондов (в %);
– степень износа основных фондов (в %).

На основе оставшихся 13 социально-экономических показателей Ростовской области в период с 2008 по 2021 годы была сформирована база данных для обучения искусственной нейронной сети. В монографии А.Д. Евменова, А.Ю. Смирнова и П.А. Булочникова [5] обосновывается необходимость учета инерционности инвестиционных процессов, то есть временного лага между изменениями инвестиционной активности в регионе и побуждающими ее причинами. Поэтому мы создали три версии баз данных: с учетом временного лага в один год, два года и в отсутствие лага.

Для экспериментальной части исследования была разработана четырехслойная модель — полносвязная нейронная сеть с входным, выходным и двумя скрытыми слоями, в которой:

– входной слой служит для фиксации данных по имеющимся социально-экономическим показателям региона;

– для первого скрытого слоя используется функция активации *ReLU*, применение которой позволяет отсечь комбинации социально-экономических показателей региона, имеющие незначительную зависимость с объемом инвестиций. Кроме того, для данного слоя применена *L2*-регуляризация, которая заставляет модель корректировать весовые коэффициенты, если их значения для каких-либо показателей становятся аномально большими. Такой прием обеспечивает восприятие показателей нейронами соразмерно их реальной значимости, не переоценивая отдельные случайные корреляции;

– перед переходом обработанных в первом слое данных на второй слой случайные 20% нейронов первого слоя игнорируются. Такое решение позволяет эффективно противостоять процессу переобучения ИНС, возникающему при малом объеме базы данных (составленная нами база данных содержит сведения о значениях социально-экономических

показателей региона лишь за 14 лет). Кроме этого, такой прием не позволяет отдельным нейронам стать слишком влиятельными, а заставляет их функционировать в условиях неполной информации, повышая тем самым надежность и стабильность модели;

– второй скрытый слой состоит из 4-х нейронов. Функция активации — *ReLU*;

– выходной слой представлен одним нейроном, решающим задачу регрессии — прогноз объема инвестиций в основной капитал региона.

Проверка работоспособности и эффективности искусственной нейронной сети проводилась в режиме имитации прогнозирования объема инвестиций в основной капитал Ростовской области в 2018–2021 годах при следующих условиях:

– базы данных (с учетом временного лага в один год, два года и в отсутствие лага) были разделены на обучающую (первые 10 лет) и тестовую (последние 4 года) выборку. Случайное разбиение не применялось по причине необходимости сохранения зависимости данных от фактора времени;

– обучение ИНС охватывало 500 итераций (эпох);

– 20% обучающей выборки было выделено нами для оценки качества обучения модели;

– условием для досрочного окончания обучения (не дожидаясь прохождения 500 итераций) было принято отсутствие увеличения точности прогноза моделью объема инвестиций за последние 30 эпох;

– эффективность модели оценивалась по степени совпадения получаемых посредством нее прогнозных оценок с данными государственных органов статистики, а также с прогнозом Минэкономразвития Ростовской области [9].

Результаты исследования и обсуждение

По итогам эксперимента сформирована сводная таблица (табл. 1).

Таблица 1 - Результаты прогноза объема инвестиций в основной капитал Ростовской области (2018-2021 гг.)

DOI: https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.157.22.1

№ п/п	$T_{вр}$ лет	*PV*, млн. руб.	*FV*, млн. руб.	*EPVFV*, %	*PP*, млн. руб	*EPPFV*, %	*DPVPP*, %
1	2	3	4	5	6	7	8
Прогноз объема инвестиций в основной капитал Ростовской области в 2018 г.							
1	–	285675	264871	7,85	Нет данных	Нет данных	
2	1 год	328304,625		23,95			
3	2 года	323090,719		21,98			
Прогноз объема инвестиций в основной капитал Ростовской области в 2019 г.							
1	–	281055,656	284152	1,09	280534,9	1,27	0,2
2	1 год	303975,969		6,98			8,36
3	2 года	323616,562		13,89			15,36
Прогноз объема инвестиций в основной капитал Ростовской области в 2020 г.							
1	–	305645,406	323808	5,61	296828,2	8,33	2,97
2	1 год	344544,469		6,4			16,08
3	2 года	343352,188		6,0			15,67
Прогноз объема инвестиций в основной капитал Ростовской области в 2021 г.							
1	–	315670,75	393753	19,83	314447,4	20,14	0,4
2	1 год	422886,156		7,4			34,49
3	2 года	454484,719		15,4			44,53

Примечание: $T_{вр}$ — временной лаг; PV — прогноз ИНС; FV — фактический объем инвестиций в основной капитал Ростовской области по данным Росстата; EPVFV — ошибка прогноза ИНС в сравнении с фактическими данными; PP — прогноз объема инвестиций в основной капитал региона по данным Минэкономразвития Ростовской области; EPPFV — ошибка прогноза Минэкономразвития Ростовской области в сравнении с фактическими данными; DPVPP — отклонение прогноза ИНС от прогноза Минэкономразвития Ростовской области

Сопоставление фактических данных статистических органов с прогнозами Минэкономразвития Ростовской области и искусственной нейронной сети позволяет сформулировать ряд выводов:

1) максимальное расхождение в прогнозах нейронной сети, обученной на базе данных без учета временного лага, и фактических данных служб государственной статистики, обнаруживается по отношению к четвертому году прогнозирования и составляет 19,83%, что, однако, меньше ошибки, допущенной в прогнозе Минэкономразвития Ростовской области за тот же год — 20,14% (максимальная за рассматриваемый период прогнозирования);

2) результат прогноза, полученного с помощью нейронной сети без учета временного лага, имеет высокий уровень совпадения с прогнозом Минэкономразвития Ростовской области по всему периоду прогнозирования: максимальное отклонение составляет 2,97%. Данный факт позволяет предположить, что прогноз объема инвестиций в основной капитал Ростовской области региональным министерством выполнен без учета временного лага. По нашему мнению, именно игнорирование фактора инерционности инвестиционных процессов в регионе стало основной причиной ошибки в 20,14% на четвертый год прогноза;

3) наибольшая точность достигнута нейронной сетью в прогнозе 2019 года без учета временного лага — здесь расхождение с официальными статистическими данными составило всего лишь 1,09%, в то время как ошибка прогноза Минэкономразвития Ростовской области — 1,27%;

3) отметим высокую степень совпадения прогноза нашей модели ИНС с фактической оценкой Росстата: расхождение данных, полученных от обученной без учета временного лага нейронной сети, с данными статистических органов составило 7,85% для 2018 года, 1,09% для 2019 года и 5,61% — 2020 года;

4) обучение нашей искусственной нейронной сети информацией Росстата, учитывающей временной лаг в один год, позволило получить на выходе прогнозы инвестиционной активности Ростовской области, весьма приближенные к фактическим данным. Лишь в прогнозе для 2018 года расхождение между прогнозом ИНС и фактическим объемом инвестиций в основной капитал области составило 23,95%. Но уже в прогнозах 2019, 2020 и 2021 гг. – соответственно 6,98%, 6,4% и 7,4%.

5) хотя точность краткосрочного прогноза (до трех лет) при обучении нейронной сети на базе данных, не учитывающей временной лаг, оказалась несколько выше, ИНС, учитывающая инерционность инвестиционной активности, более точно установила ее количественные показатели для завершающей фазы четырехлетнего периода, что дает основания для вывода о целесообразности использования нашей модели в средне- и долгосрочном прогнозировании.

Заключение

Полученные в исследовании результаты позволяют утверждать, что использование нашей модели искусственной нейронной сети обеспечивает получение качественной оценки и прогноза инвестиционной активности региона с точностью, превышающей оценки служб государственной статистики и прогнозы региональных министерств. Мы полагаем, что данная ИНС может быть эффективно использована органами региональной власти в целях оперативного управления и разработки планов социально-экономического развития в краткосрочной перспективе без привлечения экспертных агентств. Для этого достаточно сформировать базу статистических данных по определенным параметрам и обучить на ней искусственную нейронную сеть, которая в ходе дальнейшего использования будет самостоятельно адаптироваться к динамике инвестиционной среды региона, то есть самообучаться, раз от разу повышая точность своих экономических оценок и прогнозов.

Конфликт интересов

Не указан.

Рецензия

Проценко И.Г., Камчатский государственный технический университет, Петропавловск-Камчатский Российская Федерация
DOI: https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.157.22.2

Conflict of Interest

None declared.

Review

Procenko I.G., Kamchatka State Technical University, Petropavlovsk-Kamchatsky Russian Federation
DOI: https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.157.22.2

Список литературы / References

1. Александров Г.А. Формирование инвестиционно привлекательного климата региона: концепция, диагностика, инновации / Г.А. Александров, И.В. Вякина, Г.Г. Скворцова. — Москва: Экономика, 2014. — 302 с.
2. Банк Д.А. Практическое применение методов кластеризации, классификации и аппроксимации на основе нейронных сетей / Д.А. Банк, О.А. Банк, Д.В. Березин. — Москва: Прометей, 2020. — 448 с.
3. Горбатков С.А. Нейросетевые и нечеткие методы моделирования диагностики и прогнозирования банкротств корпораций / С.А. Горбатков, С.А. Фархиева, И.И. Белолипцев. — Москва: Прометей, 2018. — 371 с.
4. Дьячкова Н.Ф. Сопоставление рейтинговых шкал российских и зарубежных агентств: промышленные и финансовые компании. / Н.Ф. Дьячкова // Корпоративные финансы. — 2018. — №2. — URL: https://cyberleninka.ru/article/n/sopostavlenie-reytingovyh-shkal-rossiyskih-i-zarubezhnyh-agentstv-promyshlennye-i-finansovye-kompanii (дата обращения: 26.02.25).
5. Евменов А.Д. Управление инвестиционным климатом региона / А.Д. Евменов, А.Ю. Смирнов, П.А. Булочников. — Санкт-Петербург: СПбГУКиТ, 2011. — 142 с.

6. Иваницкая И.И. Инвестиционный климат региона : Проблемы оценки и пути улучшения; на примере Республики Коми dis.. ...Doctor of Sciences: 08.00.05 / И.И. Иваницкая. — Сыктывкар. — 150 с.

7. Инвестиционный портал Ростовской области: официальный сайт. — URL: https://invest-don.ru/ru/ (дата обращения: 22.03.2025).

8. Матраева Л.В. Методология статистического анализа инвестиционной привлекательности регионов РФ для иностранных инвесторов / Л.В. Матраева. — Москва: Дашков и К, 2013. — 312 с.

9. О долгосрочном прогнозе социально-экономического развития Ростовской области на период до 2036 года : распоряжение Правительства РФ от 26 сентября 2019 г. № 635 // Официальный интернет-портал правовой информации Ростовской области. — URL: https://pravo.donland.ru/doc/view/id/Распоряжение_635_27092019_13697/ (дата обращения: 28.03.2025).

10. Регионы России. Социально-экономические показатели // Росстат: официальный сайт. — URL: https://rosstat.gov.ru/folder/210/document/13204 (дата обращения: 22.03.2025).

11. Уличкина И.А. Деятельность рейтинговых агентств: Международный и Российский опыт. / И.А. Уличкина, Л.Ш. Уличкина // Экономика и бизнес: теория и практика. — 2019. — № 5-3. — URL: https://cyberleninka.ru/article/n/deyatelnost-reytingovyh-agentstv-mezhdunarodnyy-i-rossiyskiy-opyt (дата обращения: 15.04.25).

Список литературы на английском языке / References in English

1. Aleksandrov G.A. Formirovanie investicionno privlekatel'nogo klimata regiona: koncepciya, diagnostika, innovacii [Formation of an Investment-Attractive Regional Climate: Concept, Diagnostics, Innovations] / G.A. Aleksandrov, I.V. Vyakina, G.G. Skvorczova. — Moscow: E'konomika, 2014. — 302 p. [in Russian]

2. Bank D.A. Prakticheskoe primenenie metodov klasterizacii, klassifikacii i approksimacii na osnove nejronny'x setej [Practical Application of Clustering, Classification, and Approximation Methods Based on Neural Networks] / D.A. Bank, O.A. Bank, D.V. Berezin. — Moscow: Prometej, 2020. — 448 p. [in Russian]

3. Gorbatkov S.A. Nejrosetevy'e i nechetkie metody' modelirovaniya diagnostiki i prognozirovaniya bankrotstv korporacij [Neural Network and Fuzzy Methods for Modeling, Diagnostics, and Forecasting Corporate Bankruptcies] / S.A. Gorbatkov, S.A. Farxieva, I.I. Belolipcev. — Moscow: Prometej, 2018. — 371 p. [in Russian]

4. D'yachkova N.F. Sopostavlenie rejtingovy'x shkal rossijskix i zarubezhny'x agentstv: promy'shlenny'e i finansovy'e kompanii [Comparison of Rating Scales of Russian and International Agencies: Industrial and Financial Companies]. / N.F. D'yachkova // Corporate Finance. — 2018. — №2. — URL: https://cyberleninka.ru/article/n/sopostavlenie-reytingovyh-shkal-rossiyskih-i-zarubezhnyh-agentstv-promyshlennye-i-finansovye-kompanii (accessed: 26.02.25). [in Russian]

5. Evmenov A.D. Upravlenie investicionny'm klimatom regiona [Managing the Investment Climate of a Region] / A.D. Evmenov, A.Yu. Smirnov, P.A. Bulochnikov. — Saint Petersburg: SPbGUKiT, 2011. — 142 p. [in Russian]

6. Ivaniczkaya I.I. Investicionny'j klimat regiona : Problemy' ocenki i puti uluchsheniya; na primere Respubliki Komi [Regional Investment Climate: Assessment Challenges and Improvement Strategies (Case Study of the Komi Republic)] dis.....of PhD in Social and Human Sciences: 08.00.05 / И.И. Иваницкая. — Sy'kty'vkar. — 150 p. [in Russian]

7. Investitsionnyj portal Rostovskoj oblasti [Investment portal of Rostov region] : official website. — URL: https://invest-don.ru/ru/ (accessed: 22.03.2025). [in Russian]

8. Matraeva L.V. Metodologiya statisticheskogo analiza investicionnoj privlekatel'nosti regionov RF dlya inostranny'x investorov [Methodology for Statistical Analysis of Investment Attractiveness of Russian Regions for Foreign Investors] / L.V. Matraeva. — Moscow: Dashkov i K, 2013. — 312 p. [in Russian]

9. O dolgosrochnom prognoze sotsial’no-ekonomicheskogo razvitiya Rostovskoj oblasti na period do 2036 goda [On the Long-Term Forecast of Socio-Economic Development of Rostov Oblast Until 2036] : rasporyazhenie Pravitel’stva RF ot 26 sentyabrya 2019 g. № 635 [Decree of the Government of the Russian Federation No. 635 of September 26, 2019] // The official Internet portal of legal information of Rostov Oblast. — URL: https://pravo.donland.ru/doc/view/id/Распоряжение_635_27092019_13697/ (accessed: 28.03.2025). [in Russian]

10. Regiony Rossii. Sotsial’no-ekonomicheskie pokazateli [Regions of Russia. Socio-Economic Indicators] // Rosstat: official wevsite. — URL: https://rosstat.gov.ru/folder/210/document/13204 (accessed: 22.03.2025). [in Russian]

11. Ulichkina I.A. Deyatel'nost' rejtingovy'x agentstv: Mezhdunarodny'j i Rossijskij opy't [Activities of Rating Agencies: International and Russian Experience]. / I.A. Ulichkina, L.Sh. Ulichkina // Economics and Business: Theory and Practice. — 2019. — № 5-3. — URL: https://cyberleninka.ru/article/n/deyatelnost-reytingovyh-agentstv-mezhdunarodnyy-i-rossiyskiy-opyt (accessed: 15.04.25). [in Russian]