

УДК 332.133

## Нейромоделирование финансово-экономической безопасности региона

**Хромов Иван Евгеньевич**

Кандидат экономических наук,  
старший научный сотрудник,  
Центральный экономико-математический институт РАН,  
117418, Российская Федерация, Москва, Нахимовский проспект, 47;  
e-mail: khromov\_gaughn@mail.ru

### Аннотация

В последние годы турбулентность на финансовых рынках, геополитическая неопределенность, торговый протекционизм, нестабильность цен на энергоресурсы внесли большую неопределенность в экономическое и социальное развитие регионов, что вывело на повестку дня задачи прогнозирования их будущего вектора развития. В связи с этим тема проводимого исследования посвящена вопросам моделирования динамики состояния региональной безопасности с использованием прогрессивного математического инструментария. Цель статьи – рассмотреть особенности и подходы к нейромоделированию финансово-экономической безопасности региона. Методы: системный анализ, индукция и дедукция, математическая статистика, обобщение, систематизация. Полученные в ходе исследования результаты могут использоваться органами власти различного уровня, предпринимательскими структурами и руководством субъектов хозяйствования для прогнозирования будущего состояния экономических систем, обоснования программ развития и выработки защитных мер с целью противодействия внутренним и внешним шокам. Также предложенная нейросетевая модель может послужить основанием для стратегического планирования развития секторов экономики в новых условиях хозяйствования. Выводы: нейросетевое моделирование является действенным и практичным инструментом для получения точных результатов прогноза состояния экономической системы региона и уровня ее безопасности.

### Для цитирования в научных исследованиях

Хромов И.Е. Нейромоделирование финансово-экономической безопасности региона // Экономика: вчера, сегодня, завтра. 2024. Том 14. № 9А. С. 559-565.

### Ключевые слова

Безопасность, регион, экономика, нейронная модель, человеческий капитал, развитие, инвестиции.

## Введение

В контексте меняющейся геополитической динамики и вызовов все возрастающей международной конкуренции, стоящих сегодня перед странами мира, акцент на экономической безопасности в повестке дня становится все более актуальным. Целый ряд кризисов, начиная от затянувшихся последствий пандемии Covid-19 до потрясений на энергетическом рынке, торговых войн подчеркивает необходимость того, чтобы экономическая безопасность стала основополагающим элементом стратегического курса развития [Носкин, Надежина, 2022, 143]. Такой подход имеет решающее значение не только для защиты экономических интересов стран от внешних потрясений, но и для обеспечения устойчивости и стабильности внутреннего рынка на региональном уровне.

Особый акцент на сегодняшний день уделяется именно регионам, поскольку они находятся в авангарде развития инновационных систем и глобальной взаимосвязанности, способны сгладить растущее географическое, экономическое и социальное неравенство, обеспечить устойчивость логистических систем и включение промышленности страны в цепочки создания добавленной стоимости.

В контексте вышеизложенного, очевидным является тот факт, что для целей эффективного управления, разработки обоснованных программ и стратегий регионального развития, выбора мер защиты и обеспечения финансово-экономической безопасности необходимым элементом является составление прогнозных моделей, конструирование гипотез и использование предиктивной аналитики, что предопределяет потребность в использовании мощного математического аппарата. Принимая во внимание тот факт, что объем информации в экономической области растет экспоненциальными темпами, а определяющие факторы скрыты в многочисленных иерархиях взаимосвязей, наиболее прогрессивным методом математического моделирования является нейросетевой подход, который может работать с большим объемом данных высокой размерности и извлекать потенциальную информацию и правила из сложно структурированных и зашумленных сведений [Çınar, 2023, 116].

Таким образом, учитывая, что субъективный фактор традиционных подходов к моделированию экономических явлений очень велик, изучение возможностей нейронных сетей, которые преодолевают этот недостаток, при этом опираются на опыт экспертов и открывают новый путь для оценки безопасности финансовых и экономических рисков на региональном уровне, является важной научно-практической задачей, которая и предопределила выбор темы данной статьи.

## Анализ публикаций по теме исследования

Проблемные аспекты понимания экономической безопасности на макро, мезо и микроуровнях хозяйственных систем раскрывают в своих трудах Султанов Г. С., Дохолян С. В., Новыш Б. В., Юрча И. А., Логинов К. К., Rafael A. G. Tinoco, João A. Passos Filho.

Особенности использования методов искусственного интеллекта для количественной и качественной оценки финансово-экономической безопасности стран и регионов изучают Тургаева А. А., Кочеткова Н. Н., Орлова Е. А., Зоидов К. Х., Беломестнов В. Г., Боргалевич С. И., Rulin Lyu, Hongyuan He, Xiaobin Wang.

**Нерешенные части общей проблемы.** Разработанные на сегодняшний день подходы к составлению прогнозов и разработке моделей демонстрируют положительные результаты в различных областях экономики, однако большинство проводимых исследования большей

частью сосредоточены на макроэкономическом уровне. Поскольку на развитие региональной экономики влияет множество факторов, вопросы использования нейронных сетей для определения уровня ее безопасности остаются открытыми.

**Цель статьи** – провести анализ методов и подходов к нейромоделированию финансово-экономической безопасности региона.

## Результаты

Известно, что прогноз финансово-экономической безопасности региона предполагает использование исторических данных регионального экономического развития, текущих индикаторов, а также учитывает ряд факторов эндогенного и экзогенного влияния. Однако из-за сложных взаимосвязей между этими данными, существующие методы анализа не могут точно проанализировать показатели с высокой региональной экономической линейностью и получить передовые результаты прогнозирования.

Для достижения поставленной цели предлагаем использовать нейронную сеть Элмана с вейвлет-функцией, а именно ENN-W. Использование вейвлет-функции позволяет стимулировать способность нейронной сети Элмана к прогнозированию, а также дает возможность улучшить скорость сходимости сети [Барсукова, 2021, 278]. Предлагаемая общая схема включает пять этапов, как показано на рис. 1.



**Рисунок 1 - Алгоритм нейромоделирования финансово-экономической безопасности региона (составлено автором)**

Итак, на первом этапе модель делит входящую информацию на две части.

(1) Сеть регионального валового продукта: информация о динамике ВРП анализируется отдельно от других индикаторов до полностью связанного слоя нейронной сети. После этого данные о признаках формируются с помощью функции активации ReLu, пакетной нормализации и конволюционных нейронных сетей. Это позволяет отразить в изменениях ВРП общий уровень финансово-экономической безопасности региона.

(2) Сеть региональных панельных данных. В данной группе индекс роста ВРП, а также информация о состоянии первичной, вторичной и третичной промышленности объединяются в панельные данные. Это в дальнейшем дает возможность установить наличие корреляций между отраслями и определить каким образом данные различных промышленных секторов влияют на последующие значения финансово-экономической безопасности в течение некоторой последовательных лет с использованием сверточных ядер нейронной сети. Три слоя нейронной сети (включая свертку, пакетную нормализацию, функцию активации ReLu и операции объединения) используются для извлечения особенностей временного ряда данных и потенциальных связей между отраслями [Shengxia, 2022, 79].

Входами полностью связанных слоев являются выходные значения из (1) и (2), эти слои объединяют выходы сетей ВРП и панельных данных для дальнейшей оптимизации обучения многоканальных выходов.

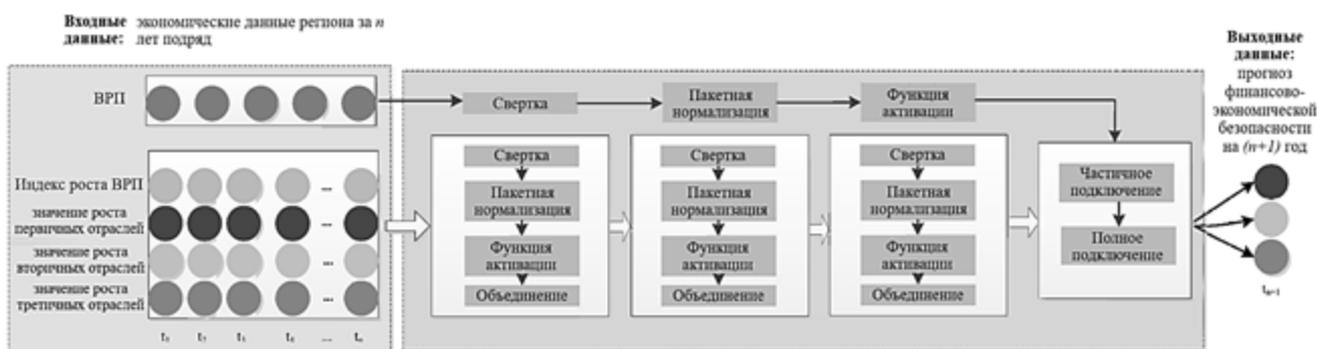
После обработки собранных данных, на втором этапе, данные разделяются на обучающий набор, используемый для тренировки модели, тестирующий набор, используемый для проверки параметров, и валидационный набор, используемый для проверки предсказательной способности модели.

Затем, на третьем этапе, а именно на этапе реализации модели, проектируется нейронная сеть Элмана и выбирается вейвлет-функция. Существует множество типов вейвлет-функций, с точки зрения характеристик нейронной сети Элмана, была выбрана вейвлет-функция Мейера.

Четвертый этап - тестирование модели, для этого можно использовать некоторые современные подходы и сравнить точность полученных результатов с использованием различных методов, например, среднеквадратической ошибки или R-критерия.

Пятый этап предполагает получение и анализ результатов прогнозирования.

На рисунке 2, представлена структура нейронной сети Элмана, которая использует данные ВРП и его динамику, показатели развития региональной промышленности за  $n$  последовательных лет в качестве панельных данных, что позволяет прогнозировать выходные значения финансово-экономической безопасности региона в году  $n + 1$ .



**Рисунок 2 - Структура нейронной модели прогнозирования финансово-экономической безопасности региона**

Рассмотрим более подробно как в рамках нейронной сети происходит прогнозирование.

*Свертка*: основная цель слоя свертки - извлечение признаков из входных данных панели и последовательности, используя следующее выражение:

$$z^{l+1}(i, j) = \sum_{c=1}^C \sum_{x=1}^{k_x} \sum_{y=1}^{k_y} (Z^l(s_x i + x, s_y j + y) w_c^{l+1}(x + y)) + b$$

где  $z^{l+1}(i, j)$  обозначает значение  $i$ -й строки и  $j$ -го столбца данных признака (панели или последовательности) в  $l$ -м слое,  $C$  - количество каналов,  $(k_x, k_y)$  - размер сверточного ядра,  $(s_x, s_y)$  - размер шага свертки,  $w_c^{l+1}$  представляет собой матрицу весов канала  $c$  из  $l + 1$ , а  $b$  - значение смещения.

*Пакетная нормализация* может стабилизировать процесс обучения сети, улучшить скорость обучения и минимизировать проблемы (такие как исчезновение градиента и чрезмерная подгонка, используя следующее выражение):

$$y_{(b)}^l(i, j) = BN \left( z_{(b)}^l(i, j) \right) = \gamma \cdot \frac{z_{(b)}^l(i, j) - u(i, l)}{\sigma(i, l)} + \beta$$

где  $z_{(b)}^l(i, j)$  обозначает входное значение  $b$ -го образца (строка  $i$ , столбец  $j$ ) в текущем пакете;  $u(i, l)$  и  $\sigma(i, l)$  - обозначают среднее и стандартное отклонение выборки пакета в данной позиции (строка  $i$ , столбец  $j$ ), соответственно; а параметры  $\gamma$  и  $\beta$  используются для управления средним и дисперсией соответственно.

На рис. 3 представлены графики прогнозируемых и истинных значений для Орловской области с 2002 по 2020 год.



**Рисунок 3 - Графики прогнозируемых и истинных значений финансово-экономической безопасности Орловской области**

Из рис. 3 видно, что модель прогнозирования на основе нейросети Элмана, предложенная в данной работе, может с достаточной степенью точности составить прогноз показателей экономического роста промышленности в области. Уровень  $R^2$  составляет более 0,9, ошибка прогноза менее 0,1. Эти показатели свидетельствуют о том, что предложенный метод моделирования является достаточно точным и может быть использован для прогнозирования финансово-экономической безопасности регионов с большой вариабельностью.

## Заключение

В статье описан поход к нейромоделированию финансово-экономической безопасности региона, основу которого составляет нейронная сеть Элмана, объединенная с функцией вейвлета. Отдельно формализован алгоритм моделирования и структура нейронной модели. Апробация предложенного метода проведена на примере первичного, вторичного и третичного секторов экономики Орловской области. Результаты работы модели показали высокие показатели точности.

## Библиография

1. İbrahim Tuğrul Çınar. Regional development trap and economic complexity in Turkey: Evidence from provincial data // Regional Science Policy & Practice. 2023. Volume 15, Issue 9. P. 113-119.
2. Shengxia Xu. Economic coordination development from the perspective of cross-regional urban agglomerations in China // Regional Science Policy & Practice. 2022. Volume 14, Issue S2. P. 76-83.
3. Барсукова М. В. Подходы к моделированию системы управления экономической безопасностью региона // Инновационное развитие экономики. 2021. № 1. С. 277-284.
4. Носкин С. А., Надежина О. С. Модель мониторинга уровня экономической безопасности региона в условиях цифровой трансформации // Экономические науки. 2022. № 3. С. 142-150.
5. Bartels P., Breitner M. H. Real-Time Market Valuation of Options Based on Web Mining and Neurosimulation. – 2007.

6. Alekseev A. Y. et al. Kinetic–Statistical Neuromodeling and Problems of Trust in Artificial Intelligence Systems //Journal of Machinery Manufacture and Reliability. – 2023. – T. 52. – №. 7. – C. 779-790.
7. Charalambous C., Martzoukos S. H., Taoushianis Z. A neuro-structural framework for bankruptcy prediction //Quantitative Finance. – 2023. – T. 23. – №. 10. – C. 1445-1464.
8. Nasir N. I. M. et al. Neuro-modelling and fuzzy logic control of a two-wheeled wheelchair system //Journal of Low Frequency Noise, Vibration and Active Control. – 2024.

## Neuromodeling of financial and economic security of the region

**Ivan E. Khromov**

PhD in Economics,  
Senior researcher,  
Central Economics and Mathematics Institute of the RAS,  
117418, 47, Nakhimovsky ave., Moscow, Russian Federation;  
e-mail: khromov\_gaun@mail.ru

### Abstract

In recent years, turbulence in financial markets, geopolitical uncertainty, trade protectionism, instability of energy prices have brought great uncertainty to the economic and social development of regions, which has put on the agenda the tasks of forecasting their future development vector. In this regard, the topic of the ongoing research is related to modeling the dynamics of the regional security using advanced mathematical tools. The purpose of the paper is to explore the features and approaches to neuromodeling of financial and economic security of the region. Methods: system analysis, induction and deduction, mathematical statistics, generalization, systematization. The results obtained in the course of the study can be used by authorities of different levels, business structures and companies' management teams to forecast the future state of economic systems, justify development programs and develop protective measures to counteract internal and external shocks. Also, the proposed neural network model can serve as a basis for strategic planning of economic sectors under new business challenges. Conclusions: neural network modeling is an effective and practical tool for obtaining accurate results of forecasting the economic system of the region and the level of its security.

### For citation

Khromov I.E. (2024) Neiromodelirovanie finansovo-ekonomicheskoi bezopasnosti regiona [Neuromodeling of financial and economic security of the region]. *Ekonomika: vchera, segodnya, zavtra* [Economics: Yesterday, Today and Tomorrow], 14 (9A), pp. 559-565.

### Keywords

Security, region, economy, neural model, human capital, development, investment.

## References

1. İbrahim Tuğrul Çınar. Regional development trap and economic complexity in Turkey: Evidence from provincial data // Regional Science Policy & Practice. 2023. Volume 15, Issue 9. P. 113-119.
2. Shengxia Xu. Economic coordination development from the perspective of cross-regional urban agglomerations in China // Regional Science Policy & Practice. 2022. Volume 14, Issue S2. P. 76-83.

- 
3. Barsukova M. V. Approaches to modeling the regional economic security management system // Innovative development of the economy. 2021. No. 1. P. 277-284.
  4. Noskin S. A., Nadezhina O. S. Model for monitoring the level of regional economic security in the context of digital transformation // Economic sciences. 2022. No. 3. P. 142-150.
  5. Bartels P., Breitner M. H. Real-Time Market Valuation of Options Based on Web Mining and Neurosimulation. 2007.
  6. Alekseev A. Y. et al. Kinetic-Statistical Neuromodeling and Problems of Trust in Artificial Intelligence Systems // Journal of Machinery Manufacture and Reliability. – 2023. – T. 52. – №. 7. – C. 779-790.
  7. Charalambous C., Martzoukos S. H., Taoushianis Z. A neuro-structural framework for bankruptcy prediction // Quantitative Finance. – 2023. – T. 23. – №. 10. – C. 1445-1464.
  8. Nasir N. I. M. et al. Neuro-modelling and fuzzy logic control of a two-wheeled wheelchair system // Journal of Low Frequency Noise, Vibration and Active Control. – 2024.