

*Научная статья*

УДК 330.4

DOI 10.18101/2304-4446-2023-3-108-115

## ПРОГНОЗИРОВАНИЕ УРОВНЯ ЦИФРОВОГО РАЗВИТИЯ НА ОСНОВЕ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

© **Тусков Андрей Анатольевич**

кандидат экономических наук,

Пензенский государственный университет

Россия, 440026, г. Пенза, ул. Красная, 40;

Московский государственный университет технологий и управления

имени К. Г. Разумовского (Первый казачий университет)

Россия, 109004, г. Москва, ул. Земляной Вал, 73

tuskov@mail.ru

© **Спиридонова Анна Андреевна**

обучающийся,

Пензенский государственный университет

Россия, 440026, г. Пенза, ул. Красная, 40

anya.samoshina@mail.ru

© **Голдуева Дарья Алексеевна**

кандидат технических наук,

Пензенский государственный университет

Россия, 440026, г. Пенза, ул. Красная, 40

daria-a-m@yandex.ru

**Аннотация.** Проблемы прогнозирования возникают в самых разных дисциплинах, а литература по прогнозированию с использованием нейронных сетей разбросана по столь разным областям, что исследователю трудно быть в курсе всех работ, выполненных сегодня. В статье описывается возможность в области прогнозирования экономических показателей с использованием искусственных нейронных сетей. Авторами в настоящей статье построен автокорреляционный нейронный прогноз для глобального индекса инноваций. Он основан на данных уровня инновационного развития 132 стран и включает в себя 81 показатель. По результатам исследования сделан вывод о том, что для РФ наблюдается незначительное падение уровня инновационного развития. Россия характеризуется наиболее слабыми позициями в показателях оценки «институты» и «инфраструктура».

**Ключевые слова:** цифровое развитие, прогнозирование, нейронная сеть, инновационное развитие, индекс инноваций, международные сравнения.

### Для цитирования

Тусков А. А., Спиридонова А. А., Голдуева Д. А. Прогнозирование уровня цифрового развития на основе нейронных сетей // Вестник Бурятского государственного университета. Экономика и менеджмент. 2023. № 3. С. 108–115.

### Введение

С целью отслеживания тенденций развития цифровой экономики страны и ее цифровой трансформации в целом, выявления и устранения возникающих про-

блем, принятия своевременных поддерживающих мер необходимо понимать вектор цифрового развития России. Оценить дальнейшие перспективы какого-либо процесса можно с помощью инструментов прогнозирования. В качестве такого инструмента будут использованы нейронные сети. Данный подход свободен от модельных ограничений и одинаково применим для линейных и нелинейных зависимостей.

Нейронные сети, первоначально вдохновленные нейронаукой, предоставляют мощные модели для статистического анализа данных. Их наиболее заметной особенностью является способность «изучать» зависимости на основе конечного числа наблюдений. В контексте нейронных сетей термин «обучение» означает, что знания, полученные из «образцов», могут быть обобщены до пока еще «невидимых» наблюдений [7].

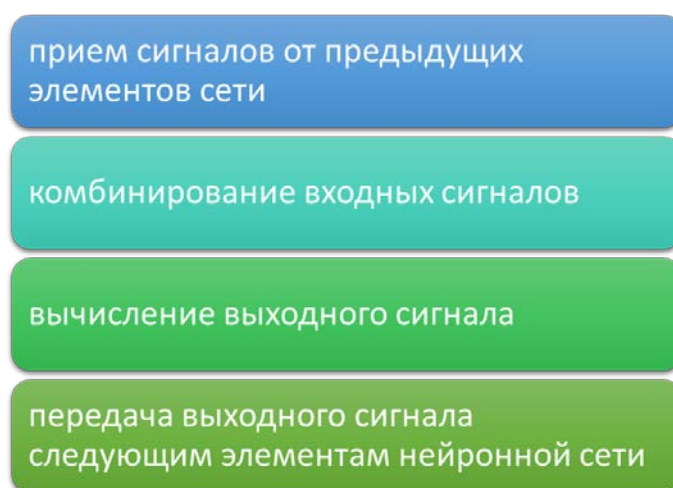
Использование нейросетей для прогнозирования социально-экономических показателей также было подробно описано в работах [4; 5].

#### **Материалы и методы**

Для прогноза будем использовать индекс: GI, обладающий более полными данными. Эти индексы являются актуальными и по сей день рассчитываются и используются для оценки инновационного и цифрового развития России.

Нейросетевые модели хороши тем, что при прогнозировании не предполагают каких-либо ограничений на характер входной информации. Способны находить оптимальные индикаторы для инструмента и строить по ним оптимальную стратегию прогнозирования, которая может адаптироваться под изменяющиеся рыночные условия. Главное преимущество нейросетей — это способность к обучению. Обученная сеть может быть устойчивой к некоторым отклонениям входных данных.

Нейрон является простейшим элементом сети и представляет собой единицу обработки информации в нейронной сети [6, с. 42]. На основании трудов Ф. М. Гафарова [1, с. 6] на рисунке 1 представлена последовательность действий одного нейрона.



**Рис. 1.** Последовательность деятельности одного нейрона

Математическую формулу нейрона представим с помощью формулы 1:

$$y = f(\sum_{i=0}^n x_i w_i) \quad (1),$$

где  $n$  — количество входов нейрона,  $x_i$  — значения входов нейрона,  $w_i$  — весовые коэффициенты,  $f()$  — нелинейная функция активации,  $y$  — выходное значение нейрона [3, с. 3].

На основании исследований Высшей школы экономики представим модель нейронной сети на рисунке 2.

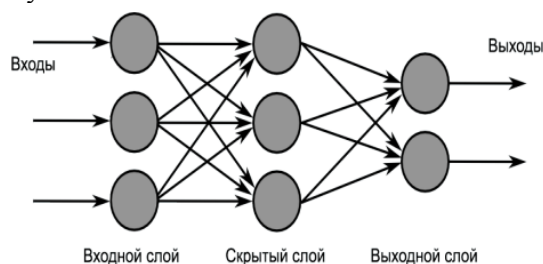


Рис. 2. Модель нейронной сети [2, с. 829]

Инновационное развитие и формирование технологической базы, опирающейся на информационно-коммуникационные и цифровые технологии, являются основой для перехода страны к цифровой экономике и составляют ее инфраструктурный инструментарий, поэтому важно рассчитывать и анализировать динамику глобального индекса инноваций.

По ГИ (глобальный индекс инноваций) имеются данные за 13 лет с 2010 по 2022 г. Однако при построении модели исключим значение 2010 г., так как методология расчета индекса отличалась от действующей и не будет сопоставима с временным рядом (табл. 1).

Таблица 1

Исходные данные для прогноза глобального индекса инноваций

	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Global Innovation Index	35,85	37,9	37,2	39,14	39,32	38,5	38,8	37,9	37,62	35,63	36,6	34,3

Произведем оценку автокорреляции (рис. 3).

$f_x$	=КОРРЕЛ(С3:С13;D3:D13)	
С	D	E
Данные	Предыдущее	Корреляция
35,85		0,500130829
37,9	35,85	
37,2	37,90	
39,14	37,20	
39,32	39,14	
38,5	39,32	

Рис. 3. Значение корреляции

Значение коэффициента корреляции составляет 0,5, что свидетельствует о не-явной зависимости между временными рядами с умеренной корреляцией.

Рассчитаем границы коэффициентов нейрона как  $\left[\frac{-3}{x_{max}}; \frac{3}{x_{max}}\right]$  и  $[[x_{min}], [6x_{max}]]$  (рис. 4).

fx		=6*МАКС(C2:C13)		
C	D	E	F	G
Данные	Предыдущее	Корреляция	Коэффициенты	
35,85		0,500130829	Вход 1	-0,001589
37,9	35,85		Вход 2	0,000250
37,2	37,90		Вход 3	0,001059
39,14	37,20		Вход 4	0,004885
39,32	39,14		Вход 5	-0,000466
38,5	39,32		Выход	235,92
38,8	38,50			
37,9	38,80		Границы	
37,62	37,90		Входы	
35,63	37,62		Верх	-0,076297
36,6	35,63		Низ	-0,076297
34,3	36,60		Выход	
35,0640116			Верх	235,92
32,6111711			Низ	34,30

Рис. 4. Расчет коэффициентов нейрона

На рисунке 5 представлена формула нейронной сети.

=G\$7\*TANH(C2\*G\$2+C3\*G\$3+C4\*G\$4+C5\*G\$5+C6\*G\$6)

Рис. 5. Формула нейронной сети

Далее с помощью надстройки в Excel «Поиск решения» проведем подбор коэффициентов нейронной сети (рис. 6), предварительно задав для них ограничения и указав в качестве оптимизирующего критерия минимальное значение ошибки сети. Подбор можно производить с помощью эволюционного или ОПГ методов.

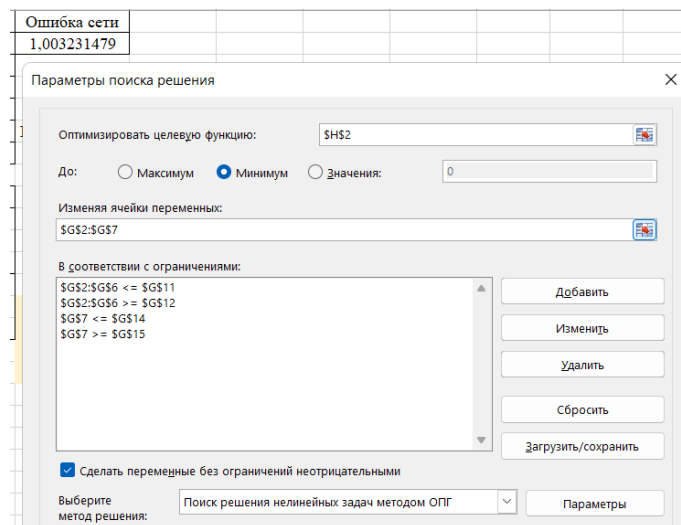


Рис. 6. Поиск решения

Таким образом, получили прогноз глобального индекса инноваций на несколько лет вперед (рис. 7), ошибка сети при этом составила 1,00, что говорит о достоверности построенной модели. При прогнозировании оптимально учитывать данные, полученные на ближайшие 1–2 года.

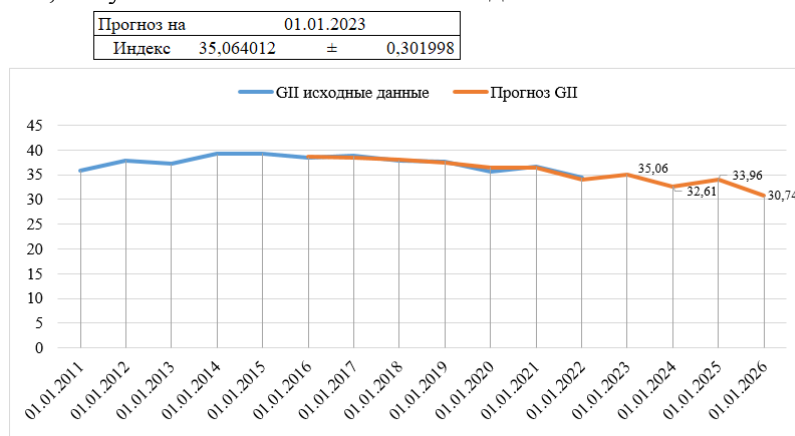


Рис. 7. Прогноз Global Innovation Index на 2023–2026 гг.

Для более глубокого и качественного прогноза построим однослойную нейронную сеть с тремя входными и одним выходным нейроном, для этого необходимо подобрать уже 13 коэффициентов. Формула выхода сети:

$$\text{TANH}(\text{СУММ}(\text{TANH}(\text{СУММ}(C4*SC\$2;C5*SD\$2;C6*SE\$2))*\$L\$2;\text{TANH}(\text{СУММ}(C7*F\$2;C8*G\$2;C9*H\$2))*\$M\$2;\text{TANH}(\text{СУММ}(C10*I\$2;C11*J\$2;C12*K\$2))*\$N\$2))*\$O\$2$$

13 коэффициентов обозначены строкой C2:O2, входы сети — C4:C12.

Зададим значения 13 коэффициентов сети, равными нулю и произведем поиск решения методом ОПГ или эволюционным, предварительно задав ограничения от –1 до 1 (рис. 8). В качестве критерия оптимизации укажем минимум для ячейки G5 (сумма квадратов отклонений).

Сумма отклонений	Коэффициент нормирования	Прогноз
0,000	43,252	35,15576

параметры поиска решения

Оптимизировать целевую функцию:

До: ☐ Максимум ☒ Минимум ☐ Значения:

Изменяя ячейки переменных:

В соответствии с ограничениями:

SC2:OS2 <= 1  
 SC2:OS2 >= -1

☒ Сделать переменные без ограничений неотрицательными

Выберите метод оптимизации:

Параметры

Рис. 8. Поиск решения

В результате был получен прогноз глобального индекса инноваций, при этом сумма отклонений составила 0,00, а коэффициент нормирования — 43,25. На рисунке 9 представлены прогнозные значения индекса ГИ, рассчитанные на основе однослойной нейронной сети.

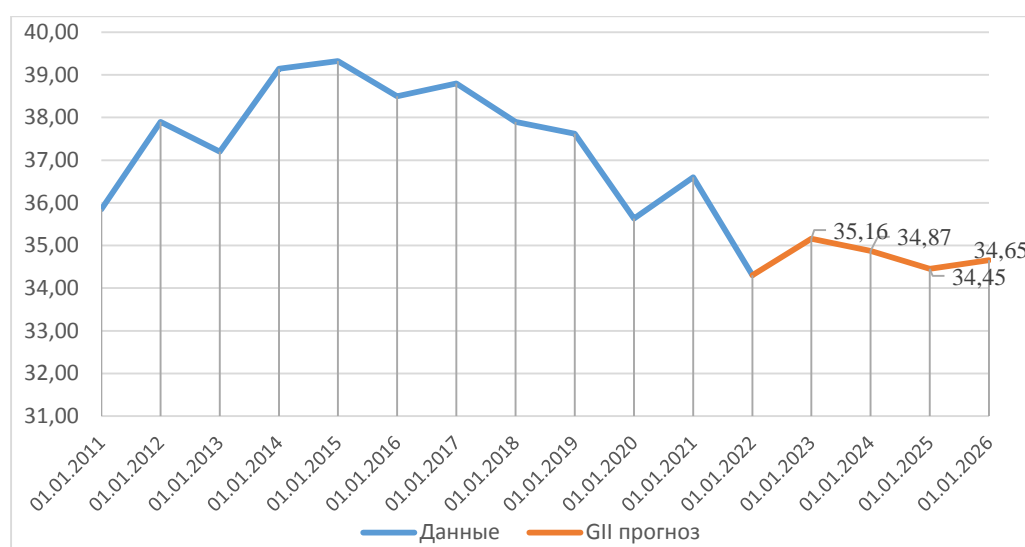


Рис. 9. Прогноз Global Innovation Index на 2023–2026 гг. на основе однослойной нейронной сети

### Результаты

Из рисунка 8 видно, что значения ГИ с 2015 г., несмотря на рост в отдельные периоды, имеют общий тренд на снижение. По данным прогноза, в 2023 г. ГИ увеличится предположительно с 34,3 до 35,16, однако в последующие годы также предсказывается отрицательная динамика. Это означает наличие пока незначительного, но все же падения уровня инновационного развития России. Если рассмотреть динамику элементов, составляющих индекс (табл. 2), то можно выявить, за счет чего происходит снижение уровня инновационного развития страны.

Таблица 2

Показатели глобального индекса инноваций за 2020–2022 гг.

Год	Общий рейтинг в ГИ	Институты	Человеческий капитал и исследования	Инфраструктура	Уровень развития рынка	Уровень развития бизнеса	Результаты в области знаний и технологий	Результаты творческой деятельности
2020	47	71	30	60	55	42	50	60
2021	45	67	29	63	61	44	48	56
2022	47	89	27	62	48	44	51	48

По данным таблицы 2 видно, что Россия имеет наиболее слабые позиции в показателях «институты» (политическая обстановка и стабильность, нормативно-

правовая база, качество регулирования) и «инфраструктура» (информационно-коммуникационные технологии). Таким образом, дальнейшему продвижению России в рейтинге могут препятствовать медленное наращивание ресурсной базы для инноваций. Следует обратить внимание на слабую институциональную инфраструктуру и качество регулирования, неразвитость законодательной базы в сфере инноваций и цифровой экономики, технологическое и программное оснащение, также отрицательно сказывается нестабильная политическая ситуация.

Институциональная среда инновационного развития и качественная технологическая база являются важнейшими факторами преимущества страны, в том числе ее регионов, в инновационной сфере.

### Литература

1. Гафаров Ф. М., Галимянов А. Ф. Искусственные нейронные сети и приложения: учебное пособие. Казань: Изд-во Казан. ун-та, 2019. 121 с. Текст: непосредственный.
2. Иванюк В. А. Нейросетевое моделирование в экономике и финансах // Управление развитием крупномасштабных систем MLSD'2020. 2020. № 13 (1981). С. 828–831. Текст: непосредственный.
3. Приезжев И. И. Нейронные сети, 2019. 27 с. URL: [https://ivanplab.ru/ckeditor\\_assets/attachments/79/%D0%9D%D0%B5%D0%B9%D1%80%D0%BE%D0%BD%D0%BD%D1%8B%D0%B5\\_%D1%81%D0%B5%D1%82%D0%B8\\_%282019%29.pdf](https://ivanplab.ru/ckeditor_assets/attachments/79/%D0%9D%D0%B5%D0%B9%D1%80%D0%BE%D0%BD%D0%BD%D1%8B%D0%B5_%D1%81%D0%B5%D1%82%D0%B8_%282019%29.pdf) (дата обращения: 10.07.2023). Текст: электронный.
4. Эконометрическое моделирование производства продукции крестьянских (фермерских) хозяйств / А. А. Тусков, И. П. Ефимов, П. П. Ефимов, Е. С. Грошева // Вестник Бурятского государственного университета. Экономика и менеджмент. 2023. № 2. С. 152–166. Текст: непосредственный.
5. Тусков А. Прогнозирование региональных показателей с использованием нейросетей // Современные инструменты, методы и технологии управления знаниями. 2022. № 5. URL: <https://fortus-science.ru/index.php/KM/article/view/399> (дата обращения: 14.06.2023). Текст: электронный.
6. Хайкин С. Нейронные сети: полный курс. 2-е изд. / перевод с английского. Москва: Вильямс, 2006. 1104 с.: ил. Парал. тит. англ. Текст: непосредственный.
7. Цифровые навыки населения в регионах России. Цифровая экономика / Институт статистических исследований и экономики знаний НИУ ВШЭ. URL: <https://issek.hse.ru/mirror/pubs/share/767680649.pdf> (дата обращения: 10.07.2023). Текст: электронный.
8. Herbrich R., Keilbach M., Graepel T., Bollmann-Sdorra P., Obermayer K. Neural Networks in Economics / Brenner T. (eds) // Computational Techniques for Modelling Learning in Economics. Advances in Computational Economics. 1999. Vol 11. Springer, Boston, MA. URL: [https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-1-4615-5029-7\\_7](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-1-4615-5029-7_7) (accessed: 10.07.2023).

Статья поступила в редакцию 14.08.2023; одобрена после рецензирования 01.09.2023; принята к публикации 21.08.2023.

PREDICTING THE LEVEL  
OF DIGITAL DEVELOPMENT BASED ON NEURAL NETWORKS

*Andrey A. Tuskov*

Cand. Sci. (Econ.)

Razumovskiy Moscow State University of Technologies and Management

73 Zemlyanoy Val St., 109004 Moscow, Russia

tuskov@mail.ru

*Anna A. Spiridonova*

Student

anya.samoshina@mail.ru

*Darya A. Goldueva*

Cand. Sci. (Engineering)

daria-a-m@yandex.ru

Penza State University

40 Krasnaya St., 440026 Penza, Russia

*Abstract.* Problems of predicting arise in various disciplines, and the literature on predicting using neural networks is scattered across different areas, making it difficult for researchers to be aware of all the work done to date. The following article describes the possibility of predicting economic indicators using artificial neural networks. The authors have constructed an autoregressive neural prediction for the global innovation index. It is based on the level of innovation development in 132 countries and includes 81 indicators. The research has concluded that there is a slight decrease in the level of innovation development in Russia. Russia is characterized by the weakest positions in the indicators of «institutions» and «infrastructure» evaluation.

*Keywords:* digital development, predicting, neural network, innovation development, innovation index, international comparisons.

*For citation*

Tuskov A. A., Spiridonova A. A., Goldueva D. A. Predicting the Level of Digital Development Based on Neural Networks. *Bulletin of Buryat State University. Economy and Management*. 2023; 3: 108–115 (In Russ.).

*The article was submitted 31.05.2023; approved after review 01.09.2023; accepted for publication 21.08.2023.*