

УДК 332.133 DOI: 10.14451/2.191.51

Оценка уровня инновационного потенциала регионов с использованием нейронных сетей

© 2024 Хромов Иван Евгеньевич

Кандидат экономических наук, старший научный сотрудник. Центральный экономико-математический институт РАН, Россия, Москва.

E-mail: khromov_gaugn@mail.ru

Ключевые слова: инновационный потенциал, регионы, оценка, нейронная сеть.

В статье рассмотрены особенности оценки уровня инновационного потенциала регионов с использованием технологии интеллектуального анализа данных, а именно нейронных сетей. В процессе исследования отдельное внимание уделено выбору показателей, специфике совместного использования качественных и количественных данных. Также предложен авторский подход к классификации препятствий развития и реализации инновационного потенциала региона. Представлена модель нейронной сети и результаты ее использования на примере эталонных данных.

На протяжении последних нескольких десятилетий инновации и знания пришли на замену физическому труду и природным ресурсам, которые играли роль основных инструментов стимулирования экономического роста и повышения благосостояния обществ [1]. В контексте инновационной экономики парадигма развития хозяйственных систем, основанная на знаниях (KBUD), представляет собой действенный метод, который позволяет стимулировать развитие депрессивных областей, бороться с безработицей, содействовать устойчивому экономическому развитию территорий, которые имеют нереализованный потенциал роста. Инновационные регионы, являющиеся связующим звеном KBUD, представляют собой новый тип территориального развития, вследствие чего занимают важное место в стратегиях и планах многих стран мира [6]. Наглядно доказывает этот факт политика ЕС, которая в течение многих лет посредством специальных программ и инициатив поддержи-

вает и стимулирует инновационную активность отдельных территориальных единиц.

В то же время очевидным является тот факт, что развитие инновационных регионов – это инвестиция с высоким риском, поскольку инновации не являются самоцелью. Скорее, это инструмент или процесс для стимулирования прогресса, а также способ реагирования на требования заинтересованных сторон и решения проблем роста социально-экономических систем [4].

Обозначенные факторы объясняют, почему политика, видение и управление развитием инновационных регионов должны находиться под постоянным вниманием общества, государственных структур и исследователей, особенно в области разработки и внедрения прорывных технологий и радикальных инноваций. Требование этого сквозного наблюдения обуславливает необходимость проведения целостной и всеобъемлющей оценки потенциала развития иннова-

ционных регионов, чтобы заинтересованные стороны могли принимать обоснованные решения по планированию, развитию и управлению.

Традиционная система оценки инновационного потенциала регионов предполагает нахождение усредненных показателей, которые в большинстве своем классифицированы на группы, такие как финансовые и человеческие ресурсы, влияние на рынок труда и торговлю [2]. Данный подход очень популярен и широко распространен, однако он может давать некорректные результаты, особенно в тех случаях, когда существует значительная дифференциация между регионами, их специализацией и отраслевой структурой. В данном контексте возникает необходимость использования более прогрессивных, адаптивных и действенных инструментов, в частности основанных на технологиях интеллектуального анализа, которые позволяют составлять не только рейтинги уровня инноваций, но и проводить анализ внутренней структуры инновационного потенциала.

Таким образом, обозначенные обстоятельства обуславливают актуальность, теоретическую и практическую значимость темы данной статьи.

Различные подходы и методы диагностики регионального развития представлены в работах Макаркина Н. П., Корнеевой Н. В., Родькиной И. И., Славкиной Я. С., Maximilian Stieler, Tassilo Henike, Vinko Muštra, Rebecca Yu Li.

Над разработкой иерархической структурной модели способности к инновациям высокотехнологических отраслей в рамках отдельной территории трудятся Гущина И. Э., Грибакин Р. А., José Manuel López-Fernández, Jianting Fan, Fusen Zhao, Yuhao Zhao.

Высоко оценивая накопленное на сегодняшний день научное наследие, отметим, что до сих пор отсутствует комплексный подход и четко обоснованный алгоритм решения практических задач на основе математической модели, позволяющей сделать оценку инновационных возможностей региона более научной, стандартизированной и количественной. Отдельного внимания

заслуживает интеллектуальный метод поддержки принятия решений для всесторонней оценки инновационного потенциала региона с использованием алгоритмов машинного обучения.

Таким образом, цель статьи заключается в рассмотрении особенностей оценки уровня инновационного потенциала регионов с использованием нейронных сетей.

Прежде всего, необходимо отметить, что инновационный потенциал региона – это органичная интеграция различных способностей, необходимых в процессе его развития, которыми обладают или могут обладать предприятия и учреждения, включая субъектов интеграции, цели интеграции и интеграционную мощь [7]. Субъектами интеграции являются предприятия, учреждения, университеты, правительства, а также трудовые ресурсы. В свою очередь объектами выступают элементы знаний, капитала, технологий, опыта и т.д. На инновационный потенциал влияют внутренние и внешние факторы. К внутренним факторам относятся прежде всего географические условия и эффективность распределения ресурсов промышленных технологий. Внешние факторы включают в себя уровень социально-экономического и культурного развития.

Для оценки инновационного потенциала региона предлагаем использовать нейронную сеть, которая позволит классифицировать результаты инновационной деятельности субъектов интеграции с целью получения информации, позволяющей более точно диагностировать состояние развития инновационных возможностей на каждом уровне. Для построения нейронной сети на первом этапе необходимо выбрать показатели, которые будут подаваться на вход и являться основой оценки.

Такие факторы, как способность к технологическим инновациям, способность к передаче знаний, экономическая эффективность инноваций и инновационная среда, будем относить к показателям первого уровня. Их можно детализировать и разделить на показатели второго уровня. Среди них критерии, отражающие поток

знаний, – это иностранные инвестиции, передача технологий и сотрудничество. Способность субъектов интеграции к технологическим инновациям измеряется четырьмя вторичными показателями: технологии научных исследований, способность к инновациям, качество сотрудников и способность к НИОКР. Кроме того, ключевую роль в измерении инновационной среды играют правительства, университеты, институты и предприятия. Экономическая эффективность инноваций может быть измерена с помощью трех вторичных показателей: международной конкурентоспособности региональной промышленности, развития предприятий и социальной макроэкономики.

Также с целью повышения уровня достоверности и объективности необходимо формализовать препятствия для развития инновационного потенциала. Для этого в табл. 1 представлен авторский подход к классификации препятствий для региональных инноваций.

Поскольку измерения результативных и объясняющих показателей на всех уровнях, а также препятствий развития различны, напрямую не представляется возможным их сравнивать. Поэтому, начиная с проблемы сходимости при обучении нейронной сети, для определения итогового значения оценки необходимо ввести индекс оценки. Этот процесс состоит из двух шагов.

Первый шаг заключается в использовании квадратично-параболической математической модели для преобразования размерности в безразмерность, формула которой имеет вид:

$$f(x_i) = \begin{cases} 0 & X_i \leq X_{\min} \\ \left(\frac{X_i - X_{\min}}{X_{\max} - X_{\min}}\right)^2 & X_{\max} \leq X_i \leq X_{\min} \\ 1 & X_i \geq X_{\max} \end{cases}$$

X_{\max} в формуле означает максимальное значение показателя, X_{\min} , наоборот, минимальное, а X_i – фактическое значение показателя.

Второй шаг заключается в построении матрицы

оценки, которая создается после нормализации показателей. В соответствии с отмеченным ранее оценка производится на основе показателей различного уровня ($i = 1, 2, 3, \dots, m; j = 1, 2, 3, 4$). Результат оценки j -го показателя i -го субъекта интеграции представляется через r_{ij} , и получается матрица оценки R :

$$R = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1,4} \\ r_{21} & r_{22} & \dots & r_{2,4} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ r_{m1} & r_{m1} & \dots & r_{m,1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_1 \\ R_2 \\ \vdots \\ R_m \end{bmatrix}$$

Значение индекса используется в качестве входного слоя, а значение, полученное на выходном слое, является показателем уровня инновационного потенциала. Чем больше показатель, тем выше инновационный потенциал, и наоборот. В таблице 2 представлена градация показателей инновационного потенциала.

Для проведения моделирования предлагаем использовать многослойную сеть с прямой передачей, основанную на алгоритме обратного распространения ошибки, который позволяет аппроксимировать любую непрерывную функцию с произвольной точностью [3]. На рисунке 1 представлена архитектура нейронной сети.

Входные переменные поступают на блоки модели, которые распределяют информацию по связям. Таким образом, входные переменные умножаются на вес связей w_{ij} между входным и скрытым слоем. Скрытые нейроны суммируют взвешенные сигналы от входных нейронов и затем проецируют эту сумму на активационную функцию f_h . Полученные активации скрытых нейронов взвешиваются связями w_j между скрытыми и выходными нейронами и направляются на выходной нейрон. Выходной нейрон также выполняет суммирование и проекцию на свою активационную функцию f_o . Выходом этого нейрона является оцененный ответ. В случае одного выходного нейрона расчет оценочного отклика

Таблица 1. Классификация препятствий развития и реализации инновационного потенциала региона.

Препятствие	Тип препятствия
Отсутствие квалифицированного персонала	Знания
Отсутствие информации о рынке	Знания
Отсутствие технологической информации	Знание
Отсутствие информации об инструментах государственной/региональной поддержки	Знание
Ограниченные возможности для сотрудничества с компаниями или учреждениями с других регионов	Сотрудничество
Неопределенность спроса на инновационные товары и услуги	Спрос
Неуверенность в успехе технического исполнения проекта	Знания
Недостаток внутренних ресурсов	Финансы
Низкая рентабельность инноваций	Финансы
Трудности с получением внешнего финансирования региональных проектов/компаний/отраслей	Финансы
Дефицит предложений услуг по инспекции, тестированию, калибровке, сертификации и проверке инноваций	Регуляторная среда
Сложность соблюдения нормативных требований	Регуляторная среда
Легкость имитации инновационной продукции третьими сторонами	Регуляторная среда
Недостаточный потенциал системы интеллектуальной собственности для защиты инноваций	Регуляторная среда

Таблица 2. Уровни инновационного потенциала.

Значение	Уровень инновационного потенциала
0–0,2	Очень низкий
0,2–0,4	Низкий
0,4–0,6	Средний
0,6–0,8	Высокий
0,8–1	Наивысший

можно обобщить следующим образом [5]:

$$\hat{y} = f_0 \left[\Theta^{ff} + \sum_{j=1}^{n_v} w_j^{ff} f_h \left(\sum_{i=1}^{n_h} w_{ij}^f x_i + \Theta^f \right) \right]$$

Таким образом, n_v и n_h – это количество входных и скрытых нейронов, а Θ^{ff} и Θ^f – смещения скрытых и выходных нейронов, которые сдвигают передаточные функции по горизонтали. В свою очередь веса w_j^{ff} и w_{ij}^f относятся к числу контролируемых и регулируемых параметров. Они вычисляются алгоритмом обучения в процессе калибровки. В процессе обучения проходит обучающая выборка с известными переменными отклика y (концентрациями) [5]. Затем вычисляется отклонение между предсказанными

откликами и известными экспериментальными значениями, которое используется для настройки параметров сети на шаге обратного распространения, чтобы минимизировать ошибку. Эти два шага образуют эпоху (также называемую циклом обучения или шагом обучения) и повторяются до тех пор, пока не будет достигнута приемлемо низкая ошибка.

В таблице 3 представлены модельные данные по регионам, позволяющие оценить их инновационный потенциал.

На основе результатов таблицы 3 можно сделать вывод, какая конкретная составляющая инновационного потенциала региона является наиболее значимой и вносит свой вклад в его по-

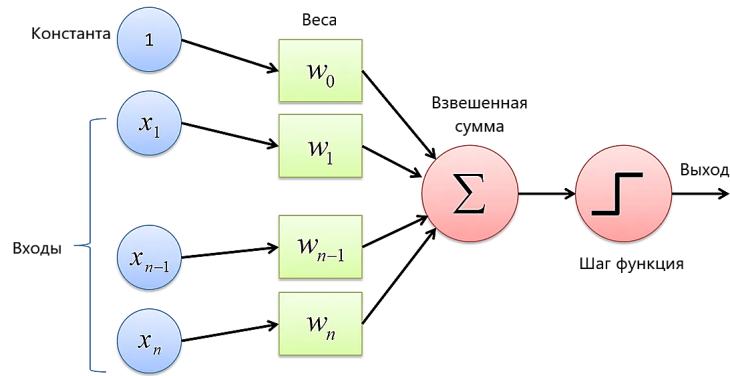


Рис. 1. Модель нейронной сети для оценки инновационного потенциала региона.

Таблица 3. Составляющие инновационного потенциала региона, формирующие его уровень.

Номер региона	Потоки знаний	Технологический инновационный потенциал	Инновационная среда	Инновационная экономическая эффективность
1	0,61	0,69	0,59	0,61
2	0,81	0,89	0,89	0,69
3	0,55	0,72	0,72	0,56
4	0,41	0,56	0,66	0,44
5	0,39	0,55	0,59	0,41
6	0,36	0,49	0,50	0,38
7	0,66	0,64	0,75	0,54

зиции в экосистеме, а на какую следует обратить особое внимание с целью ее стимулирования и дополнительной поддержки.

Таким образом, подводя итоги, отметим, что нейронная сеть является действенным и эффективным инструментом, который может использо-

ваться для анализа и оценки инновационного потенциала региона. Модель позволяет уменьшить или избежать нестабильности системы оценки, позволяя анализировать в совокупности как количественные, так и качественные неструктурированные данные.

Библиографический список

1. Альховский Д. Я. Исследование методических вопросов оценки инновационного потенциала регионов: интеграционный эффект и устойчивое развитие // Вестник научных конференций. – 2023. – 10–2 (98). – С. 8–10.
2. Беликова С. В., Иванова О. Е. Инновационная экосистема региона: формирование и оценка воспроизводственного потенциала // Финансовая экономика. – 2022. – № 8. – С. 83–85.
3. Терентьева Д. А. Нечетко-множественный подход к оценке уровня инновационного потенциала региона // Экономика и управление: проблемы, решения. – 2023. – Т. 4, 9 (139). – С. 167–192.
4. Filippetti A., Zinilli A. The innovation networks of city-regions in Europe: Exclusive clubs or inclusive hubs? // Papers in Regional Science. – 2023. – Vol. 102, issue 6. – P. 23–29.
5. Kumar T. A., Ajith A. Recurrent Neural Networks: Concepts and Applications. – 1st ed. – Boca Raton: CRC Press, 2022. – 298 p.
6. Radovanovic N. Qualitative Analysis of Economic, Innovation and Scientific Potential in North Macedonia. – Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2022. – 287 p.
7. Yanan Z. An Analytical Framework for Cross-border Regional Innovation Ecosystems: The Case of Shenzhen–Hong Kong Cross-border Region // Tijdschrift voor economische en sociale geografie. – 2024. – No. 87. – P. 112–118.