

**МОДЕЛИРОВАНИЯ ТРАНСФОРМАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ
С ПОМОЩЬЮ 2-МЕРНЫХ САМООРГАНИЗУЮЩИХСЯ НЕЙРОННЫХ КАРТ*****Алексей Александрович ЗАБОЛОТСКИЙ**

кандидат экономических наук, научный сотрудник ИЭОПП СО РАН, Москва, Российская Федерация
 ieie@inbox.ru
<https://orcid.org/0000-0003-2683-6116>
 SPIN-код: отсутствует

История статьи:

Получена 16.08.2018
 Получена в доработанном
 виде 26.09.2018
 Одобрена 10.10.2018
 Доступна онлайн 30.01.2019

УДК 338**JEL: O30****Аннотация**

Предмет. Пределы технологического развития, оказывающие влияние на экономический и инновационный рост.

Цели. Исследование и доказательство существования пределов технологического развития.

Методология. Использовался инновационный метод прогнозирования на базе векторов весов самоорганизующихся нейронных карт.

Результаты. Исследована трансформация инвестиций и изменяющаяся структура инновационного прогресса, которая привела к этой трансформации. Приведены два основных фактора, влияющие на это, — предел радикальных открытий и технологический предел. Смоделирован процесс генерации значимых открытий с помощью 2-мерной самоорганизующейся нейронной сети Neural Self-organized 2-D Map (Matlab Neural Clustering Tool) и на базе этих результатов сделаны прогнозы до 2050 г. Представлено возможное решение проблемы ограничений инновационного роста. Показан текущий потенциал радикальных инноваций, близкий к нулевой отметке при интенсивном росте инженерных инноваций. Даны прогнозы интеграционного развития радикальных технологий. Выявлены характеристики современного инновационного развития и их влияние на рост экономики.

Область применения. Карта весов нейронной сети может быть применена для моделирования и прогнозирования эволюционных систем. Подобные системы при улучшении характеристик могут быть использованы для точного прогнозирования технологий, которые могут появиться в будущем либо могут показать исчерпание потенциала инновационного развития для данных наборов входных компонент и технологий.

Выводы. Отдельные технологии влияют на темп появления радикальных инноваций в будущем. Возможно применение самоорганизующихся нейронных карт для прогнозирования инновационного развития.

Ключевые слова:

пределы роста, предел
 радикальных инноваций,
 технологический предел,
 прогнозирование, волны
 Шумпетера

© Издательский дом ФИНАНСЫ и КРЕДИТ, 2018

Для цитирования: Заболотский А.А. Моделирования трансформации технологического развития с помощью 2-мерных самоорганизующихся нейронных карт // *Финансы и кредит*. — 2019. — Т. 25, № 1. — С. 228 — 246.
<https://doi.org/10.24891/fc.25.1.228>

Введение

В современной литературе за редким исключением практически не освещена проблема пределов инновационного и научного роста, который влияет на экономическое развитие и финансовую систему. Источники, имеющие прямое отношение к проблеме предела, можно

классифицировать как общие экономические пределы (D. Meadows [1] или G. Turner [2]), прогнозирующие пределы ресурсного развития и роста в рамках модели LtG (Limits of Growth), пределы аграрного потенциала роста (T. Malthus [3]) и роста производительности в сельском хозяйстве (C. Pittelkow, X. Liang [4]), а также неоклассические теории роста таких исследователей, как Н. Домар [5], Р.М. Солow [6], Р. Харрод [7], Ф. Рамсей [8] пределы не

* Данная работа выполнена в рамках гранта РФФИ-17-02-00060-ОГН.

закладывали в свои модели. Но некоторые показатели пределов уже себя проявили к тому моменту, например волны Шумпетера (J. Schumpeter [9]) или циклы Кондратьева (Н.Д. Кондратьев [10]) фактически указывают на предел роста, так как сумма этих волн роста или их интеграл показывают сигмоидную функцию предела. Современные исследователи роста, продолжая эти исследования, добавляя технологии, (P. Romer [11]), инновации (P. Aghion, P. Hewitt [12]), миграцию (V. Bove [13]), финансовые потоки (L. Carpi [14]), соотношения инвестиций (J. DeLong [15]), политические факторы и торговлю (R. Barro [16]), сбережения (T. Swan [17]), ничем не ограничивали исследуемые ими факторы роста. Технологические и радикальные пределы были замаскированы на фоне бурного роста начала и середины XX в., и тем более исследователи более ранних периодов не имели возможности наблюдать это явление и отделить его от роста технологий и отраслей в то время. К тому же период XIX в. и начало XX в. как раз стали периодами интенсивных этапов генерации фундаментальных открытий, которые породили ряд радикальных открытий и отраслей и уже тогда создали современную структуру укладов, производства, потребления и роста. Неоклассики более поздних периодов, такие как Ф. Рамсей, Р. Харрод, Е. Домар или С. Солоу, стали свидетелями бурного роста авиационной, космической и химической промышленности, атомной энергетики, что и заставило их, по всей видимости, построить модели, опирающиеся на факторы роста без учета ограничений. Почти все современные модели роста предполагают бесконечное количество волн зарождения новых технологий и бесконечный потенциал прогресса [13].

Тем не менее избыток финансового капитала, не находящий в наше время применение в новых сферах вложений, автоматически начинает конкурировать за уже существующие технологии и отрасли. Это привело к новому явлению — замещению одного капитала другим, с большим потенциалом воздействия. Одними из наиболее ярких примеров являются замещения в интернет-сфере,

сервисах, или товарных группах. Данные проекты не только получают постоянную финансовую поддержку на начальных стадиях¹, но и поддерживаются в течение последующих периодов, даже несмотря на отрицательные показатели прибыли². Эти компании кластеризованы с производителями³, сайтами, банками⁴ и прочими сервисами⁵, оказывающими постоянную поддержку⁶. Такой тип роста и вытеснения не подпадает под классическую Шумпетеровскую модель вытеснения благодаря технологическому новшеству. Основное преимущество данной модели — размер инвестиций на маркетинг, интеграцию и распространение, которые и определяют успех при прочих равных или худших параметрах.

Если анализировать количество патентов и новых внедренных изобретений по всем отраслям, то можно увидеть, что инновационная активность за последние 10 лет выросла в 2 раза⁷. Но это не дает необходимого роста. Дело в том, что данные инновации не относятся к радикальным, дающим прирост. Данный тип инноваций воздействует на уже существующие товары, и результатом его воздействия является оптимизация какой-либо функции конечной продукции, в данном случае — оптимизацией детали или компоненты либо полным замещением указанных технологий

¹ *Nielson S.* Why did Facebook's shares fall after its initial public offering? URL: <http://marketrealist.com/2014/01/facebook-ipo/>

² *Smith C.* How to stop Facebook from using your iPhone or Android to listen to everything you say. URL: <http://bgr.com/2016/06/01/facebook-listening-iphone-android/>

³ Там же.

⁴ *Revill J.* Swiss central bank steps up stock buying spree. URL: <http://www.reuters.com/article/swiss-snb-stocks-idUSL8N1B7383>

⁵ *Blackden R.* Facebook shares drop below \$38 IPO price. URL: <http://www.telegraph.co.uk/technology/facebook/9279872/Facebook-shares-drop-below-38-IPO-price.html>

⁶ *Scholer K.* Top 5 Internet Stocks Goldman Thinks Investors Should Buy (Hint: Twitter, LinkedIn Make the List). URL: <http://blogs.wsj.com/moneybeat/2016/02/22/top-5-internet-stocks-goldman-thinks-investors-should-buy-hint-twitter-linkedin-make-the-list/>

⁷ World Intellectual Property Indicators 2016. URL: http://www.wipo.int/edocs/pubdocs/en/wipo_pub_941_2016.pdf

(M. Grossman, E. Helpman [18]). При достижении указанных ранее технологических пределов инновации могут начать влиять на рост даже негативно, так как названная оптимизация в конечном счете воздействует на уменьшение экономических показателей.

Волны и пределы роста

Объяснить указанную ранее трансформацию инновационной активности можно достижением пределов радикальных открытий, дающих потенциал роста количества инноваций. Можно выделить два предела, которые представляют интерес в данном исследовании.

1. Общий предел радикальных открытий. Радикальные инновации — это нововведения, приводящие к появлению новых технологий и отраслей. С точки зрения роста отраслей и технологий это предел, который можно описать логарифмической функцией от времени (рис. 1).
2. Технологический предел экономического уклада. Данный предел представляет собой агрегацию возможных ограничений на рост параметров инноваций, производительности⁸. Этот предел не имеет отношения к функции полезности, но тесно с ней связан⁹. Существуют системы искусственного появления зависимостей между полезностью, ростом отрасли и технологическим пределом. Поэтому графики таких функций полезности могут расти бесконечно. Однако технологический предел ставит барьер на их пути.

Почти во всех странах предельный уровень радикальных инноваций достигнут, и активность генерации радикальных инноваций близка к нулевому значению. Все указанные зависимости имеют логарифмический вид, нетрудно предположить, что и агрегирующая функция роста будет логарифмической или аналогичной по виду кривой (рис. 1). Данная функция является суммой логарифмов

потенциала роста функций роста для каждой технологии.

Приведена функция, построенная на технологическом и радикальном пределах, дающим прирост по различным осям (рис. 2).

Радикальный предел представляет собой высоту всех функций для отраслей. Технологический предел — высоту каждой ступени. Аппроксимационные феноменологические формулы для данных пределов основаны на применении сигмоид. Сигмоидная функция применяется для оборачивания функций для каждой отрасли, которые в свою очередь состоят из множества Шумпетеровских кривых. Нулевые значения обрезаны как не имеющие смысла. Приведена аппроксимация для обертывающей функции отрасли, где k — время зарождения отрасли из радикальной инновации:

$$L_h(i, t) = \sum_{t=0}^N L_{h0} \frac{1}{1 + e^{-t+k}}. \quad (1)$$

Также возможна аппроксимация с помощью производной от сигмоиды, которую можно сопоставить с Шумпетеровскими волнами. Волновые функции не подходят, так как Шумпетеровские волны накладываются, а не переходят друг в друга. Поэтому кривую для отрасли можно аппроксимировать как сумму Шумпетеровских накладываются «волн», производных от сигмоиды предела. Аппроксимация для отрасли как суммы волн внутри каждой отрасли:

$$L_h(j, i, t, k) = \sum_{t=0}^N \sum_{j=0}^K H_{limit} = \sum_{t=0}^N \sum_{j=0}^K H_0 \frac{e^{(-t+k)}}{(1 + e^{-t+k})^2} = \sum_{t=0}^N L_{ho} \frac{1}{1 + e^{-t+k}}, \quad (2)$$

где K — количество радикальных открытий на текущий момент;

N — максимальное количество потребляемых единиц товарных групп, а L и H описывают предельные значения объёма инновационной продукции для всех инновационных отраслей (L) и каждой отрасли по отдельности соответственно (H).

⁸ Pittelkow M., Liang X. Productivity limits and potentials of the principles of conservation agriculture. *Nature*, 2015, vol. 517, pp. 365–368.

⁹ Ramsey F.A. Mathematical Theory of Saving. *Economic Journal*, 1928, vol. 38, December, pp. 543–559.

Технологический и радикальный пределы дают картину общего предела развития, влияющего на кризисные явления и инвестиционные риски. Какие-либо попытки нахождения экстенсивного источника роста приводят к появлению экономических пузырей, так как описанные финансовые вливания расходуются на деятельность, не приносящую реальное приращение валовой продукции по причине достижения сферами инвестирования своих логарифмических пределов радикального приращения. С экономической точки зрения первый тип предела — радикальный — более важен для роста, но технологический имеет более пролонгированное воздействие.

Технологический предел проявляется через воздействия последовательных факторов, предопределяющих возможности дальнейшего развития технологии. Ярким примером могут служить неопределенности в создании квантовых компьютеров или попытки создания космического лифта, приводящие к отрицательной отдаче от вложений на микроуровне отдельных проектов.

Есть пределы, оказывающие более явное воздействие, такое как неудачи в системах распознавания объектов в автомобилях, производимых компанией Tesla, которые привели к падению акций этой компании. Аналогичные барьеры возникли в попытках внедрения графена, нанотрубок, литий-воздушных батарей. Фактически разработчики теоретических моделей, мало заинтересованные в финансовых рисках на стадиях внедрения, склонны завышать потенциал своих теоретических моделей в разы, а в отдельных случаях — и в сотни миллионов и миллиарды раз.

К неудачам приводило несоответствие результатов теоретических расчетов в научных публикациях, которыми руководствовались управленцы многих корпораций. Так, ярким примером такого несоответствия стали надежды на графен как перспективный материал для электроники. Многочисленные инициативы по исследованию и внедрению графена привели к тупиковым ситуациям, поскольку выяснилось, что конвенционные

материалы, как ИТО пленки, превосходят графен по всем ключевым параметрам, таким как проводимость, прочность, дефектообразование, легкость в обработке, туннельный ток и т.д. Технологии на базе нанотрубок привели к их внедрению в производственные цепи и относительно успешным лабораторным испытаниям, но реальные параметры оказались немногим лучше, чем у конвенционных материалов. Кроме того, возник риск негативных клинических проявлений нанотрубок. Также композиты на базе углерода превосходят композит на базе нанотрубок по прочности, который предполагалось применять в создании космического лифта. Усиление активности внедрения нанотехнологий начиная с 1990-х гг. не случайно, а вызвано вынужденной ревизией предыдущих исследований, начавшихся еще в 1960-е гг.

Множество источников указывает на снижение темпов роста производительности процессоров¹⁰ и их частоты¹¹, стабилизировавшейся вокруг отметки в 3—4 ГГц. Аналогичные тенденции замедления можно отметить в стабилизации роста скорости и вместимости в авиационной промышленности [19]. Это торможение может быть объяснено технологическим пределом компонент в инновациях. Когда все физические, химические и остальные параметры какой-либо компоненты изучены, значения ее лимита очень быстро выходят на сигмоидную или логарифмическую прямую. Данные технологические пределы не влияют на рост напрямую, но играют ключевую роль в его торможении. При этом каждая компонента оказывает незначительное влияние на конечную инновационную продукцию. Поэтому стандартные методы анализа этих зависимостей крайне затруднительны.

Можно попытаться описать их логически. Так, параметры процессора, среди которых производительность на один поток или

¹⁰ A Look Back at Single-Threaded CPU Performance. URL: <http://preshing.com/20120208/a-look-back-at-single-threaded-cpu-performance/>

¹¹ Eadline D. The Road to End-of-Scale. URL: <http://www.admin-magazine.com/HPC/Articles/The-Road-to-End-of-Scale>

частота, влияют на скорость моделирования и вычисления, тем самым воздействуют на темп и частоту вывода продукции на рынок и производительность.

На *рис. 2* показаны Шумпетеровские циклы для техпроцессов в полупроводниковой отрасли¹². На данном рисунке ось ординат показывает процентные изменения в долях на рынке, а ось абсцисс — годы. Графики технологических процессов — Шумпетеровские волны или, правильнее их назвать, солитоны, разрушающие предыдущие технологические Шумпетеровские волны или солитоны. Важно отметить наложение волн, характеризующее уничтожение одной волны и рост другой на ее месте. Радикальный предел (как на *рис. 1*), являющийся интегралом от этих сигмоид, воздействует на высоту данных волн, а Шумпетеровский цикл — на их форму, которая вырождается в опять же в сигмоиду, если новые технологии не появляются. Если, например, последняя технология будет — 5 нанометров, то на этом технологическом процессе волны исчезнут, и технология будет себя вести как сигмоида.

Также в целом ряде источников показано торможение ключевых показателей для авиационной промышленности¹³. Ключевые параметры в авиации — скорость и подъемная сила — росли на протяжении десятилетий, однако в начале 2000-х гг. они стали стабилизироваться вокруг одного значения — 850 км/ч для скорости и максимальной взлетной массы около 500 т. Подобное замедление имеет место и в реактивной авиации, достигшей пределов в 3 600 км/ч. Данные пределы связаны с такими техническими параметрами, как скорость горения топлива, его энергоёмкость, прочность материалов, температура плавления. Скорость в авиации и в остальных видах транспорта влияет на скорость торговли и перемещения людей. Соответственно, это воздействует на все отрасли — от сельского

хозяйства до торговли. Кроме того, это влияет на распространение сравнительных преимуществ и организацию производственных цепей в мире.

Иллюстрирует такие экономические пределы и сопоставляет их с технологическими *рис. 3*.

Сходные данные можно получить и для судостроения, железнодорожного сообщения и остального транспорта. Подобные стабилизации происходят после того, как в научном направлении изучены на лабораторном уровне все основные параметры. Теоретически возможно определенное преодоление этого лимита, как это делают в различных странах путем создания экстенсивного потребления. Разрабатываются определенные модели такого наращивания, например через роботизацию, в которую снова стали вкладываться инвестиции в последнее время.

Результаты

Эмпирические данные радикальных инноваций

Собранные данные по радикальным открытиям и инновациям (*рис. 4*) показывают распределение радикальных инноваций по годам в ключевых отраслях и технологиях. Данные по наиболее важным открытиям, инженерным и фундаментальным, собраны из разных источников. Каждое из 844 открытий сравнивалось отдельно. Унификация и сопоставление результатов — достаточно трудоемкая задача, так как сложно оценить важность той или иной инновации либо открытия в разные периоды времени в разных отраслях. Но поскольку оценки проводились одним источником для каждой технологии или отрасли, то этого достаточно для сведения к общим оценочным признакам в каждом направлении и технологии — физика, химия, биотехнологии, информационные технологии, авиация, автомобильная промышленность, электроэнергия, космос, электроника, робототехника.

Выбранные категории относятся к фундаментальным и инженерным направлениям. Каждая декада стала периодом

¹² Meurice E. UBS 2010 Global Technology and Service Conference. URL: <https://www.sec.gov/Archives/edgar/data/937966/000095012310057756/u09166exv99w2.htm>

¹³ Dourado E., Kotrous M. Airplane Speeds Have Stagnated for 40 Years. URL: <https://www.mercatus.org/publication/airplane-speeds-have-stagnated-40-years>

роста или спада генерации радикальных инженерных или фундаментальных открытий. Для каждого направления характерно появление определенной волны активизации, которая имела место в разные периоды.

Самый интенсивный период формирования основных открытий пришелся на XIX в. и первую половину XX в. Наиболее серьезные волны открытий в самых новых направлениях (электронике, робототехнике, информатике, биотехнологии, зародившихся в 1960-е гг.) пришлось на 1990-е гг. Например, химия показала волну основных открытий в середине XX в., также отмечается небольшой всплеск в 1990-е гг.

Современный рост радикальных открытий связан с нанотехнологиями. Однако данную волну можно объяснить ревизией открытий фуллеренов еще в 1960-х гг. Несмотря на определенные надежды, как уже отмечалось, указанные материалы имеют определенные недостатки и ограничения в использовании. Информационные технологии появились в конце XX в. и еще не достигли своего возможного пика, что дает определенные надежды на рост благодаря этому направлению. Такие же проблемы возникли в фармацевтической отрасли в начале 2000-х гг. Системная биология дала приток инноваций в фармацевтическую отрасль. Однако возникшие проблемы моделирования биологических и генетических систем в системной биологии с середины 2010-х гг. породили новый круг проблем надежности моделирования. В целом разработанные методы и подходы, основанные на геномных и протеомных исследованиях, пока что не получили серьезного продвижения.

Авиационная, автомобильная промышленность, энергетика, строительство и судостроение имеют схожие модели инновационной активности. Возможно, это связано с общими для данных инженерных направлений фундаментальными открытиями — электроэнергия, камеры сгорания, проводники, атомная энергия. Как видно из *рис. 5*, почти все отрасли и технологии прошли стадии максимальной научно-инновационной активности, но общая

тенденция к снижению или росту не очевидна. Можно отметить рост в отрасли биотехнологий, однако данный процесс, как уже говорилось, сильно тормозится из-за стагнации в области информационных технологий, которые являются основным методом моделирования в системной биологии. Показывает трансформацию дерева инноваций во времени, происходящую во всех технологиях, *рис. 5*.

Процесс трансформации инноваций со временем демонстрирует *рис. 6*. Все современные инновации, коих миллионы, представляют собой комбинации и изменения радикальных открытий, число которых менее 1 000, но являющихся ключевыми в зарождении экономических технологий и отраслей и влияющими на экономический рост. Инженерных или инкрементальных инноваций было от 60 000 до 90 000 единиц на настоящий момент. Современный прогресс сместился от первой стадии (*рис. 5*) к последней — четвертой.

Роботизация экономики и самоорганизующиеся нейронные сети

Использование стандартных эконометрических моделей в прогнозировании инноваций в принципе ограничено [20]. Это можно объяснить сложной природой самих инноваций и знаний.

С точки зрения теории автоматов эконометрические модели оперируют одномерными итерационными соотношениями между рядами данных. Однако в природе явления образуют все возможные комбинации из итераций, которые могут принимать различные направления и формы. Так, знания могут инкапсулироваться в другие знания, принимать полиморфные структуры, распределяться по разным законам: дискретным, логическим, вероятностным, асимптотическим. Поэтому нейронная сеть создает «поле векторов» всевозможных комбинаций, которые огибают описываемые явления. Такие перетоки на базе цитирований в системе Web of Science иллюстрирует *рис. 6*.

В сравнении с классическими эконометрическими подходами самоорганизующиеся нейронные

сети имеют целый ряд преимуществ. Следует выделить среди них логические зависимости, итерационную сложность, нормальность распределения, влияющие факторы.

Можно назвать целый ряд критериев, позволяющих использовать самоорганизующуюся нейронную сеть в данном прогнозировании.

1. Нет необходимости тестирования на нормальность, мультиколлинеарность, гетероскедастичность и другие критерии. Эти тесты показали, что данные по радикальным инновациям имеют линейную зависимость на многих лагах и неоднородны.
2. Автокорреляции не выступают проблемой, наоборот, зависимость от предыдущих значений, как и эндогенность данных, являются стандартными условиями для нейронной карты, поскольку знания и открытия всегда взаимно зависимы.
3. Нормальное распределение не является индикатором независимости. Обучение и корректировка производятся относительно множества незначимых событий в прошлом или наоборот. На *рис. 6* показано соотношение между нейронами карты и связями в системе цитирований исследования графена, которые породили множество менее значимых, нормально распределенных (по разным критериям) исследований, влияющих друг на друга. В случае удачи все эти направления могли бы создать новую отрасль или направление, каждое из которых влияло бы незначительно. Нейронная сеть хорошо адаптирует это свойство, используя процесс обучения нейронов относительно множества нейронов в другой части сети. Кроме того, самоорганизующаяся сеть использует Гауссову аппроксимацию для своих весов, которая хорошо соотносится с сигмоидными функциями роста на *рис. 1*.
4. Отсутствие проблемы эндогенности в матрицах евклидовых расстояний. Такая проблема является естественным следствием, поскольку евклидовый элемент матрицы однозначно определен относительно любых трех других элементов

и в матрице $N \times N$ независимыми являются только $2 \times N$ элементов. Применение Евклидовой метрики в нейронных картах не создает такой проблемы.

5. Возможность анализа на малом количестве наблюдений.
6. Распознавание логических структур и зависимостей.

Поэтому в данной работе для анализа временного перетока знаний среди ключевых открытий за период с 1800 г. до нашего времени предложена модель нейронной 2-мерной самоорганизующейся сети (*рис. 7*), которая соответствует модели перетока знаний и оценки потенциала генерации радикальных открытий. Адекватность модели определяется и соответствием знаний и модели нейрона и соответствующей нейронной сети, как переносчика знаний. Входные данные — количество радикальных открытий по 11 направлениям за 25 временных лагов (декад), или 225 наблюдений.

В работе предлагаются две карты со 100 нейронами, соотнесенными с 225 наблюдениями или количеством радикальных открытий и 400 нейронами — большими, чем данное соответствующее число наблюдений или открытий. Во втором случае будем называть карту векторов «перенасыщенной». В первом случае со 100 нейронами показывается текущий потенциал радикальных инноваций. В модели перенасыщения с 400 нейронами нейроны расталкиваются дальше текущего потенциала в соответствии с трендом, построенном на последних значениях и алгоритме обучения, отображая прогноз.

При анализе путем изъятия различных рядов входных данных было выявлено наиболее существенное влияние на тренд роста ряда — робототехника. Показаны прогнозы потенциала радикальных инноваций на 100, 400 нейронах с внедрением роботизации и без нее (*рис. 7—10*).

На *рис. 7* нейронная карта показывает веса радикальных открытий с числом нейронов, меньшим числа наблюдений. Такая карта показывает текущий потенциал.

Как следует из *рис. 8*, нейронная карта показывает «перенасыщение» карты нейронами, при котором нейроны в соответствии с алгоритмом competitive transfer расталкивают друг друга дальше по спроецированной поверхности, являющейся проекцией карты весов, построенной в соответствии с алгоритмом самообучения карты.

Карту на 100 нейронов, но с роботизацией показывает *рис. 9*. Видно, что структура текущего потенциала не сильно изменилась, и это очевидно из того, что роботизация пока что не влияет существенно на остальные технологии.

Потенциал развития с роботизацией на перенасыщенном нейронами графике с трендом роста, соответствующим примерно 14 радикальным инновациям в области роботизации, показывает *рис. 10*.

Предложенная в работе модель применяет алгоритм BMU (Best Matching Unit), который основан на сравнении нейронов и нахождении наиболее подходящих. Переток между радикальными и инкрементными открытиями функционирует по схожему принципу. Так, область радикальных открытий «победитель» формирует переток в смежные области, по аналогии с реальным перетоком между областями знаний.

Двумерная нейронная самоорганизующаяся карта на *рис. 7* подтвердила гипотезу о торможении прогресса в области радикальных открытий на 100 нейронах без роботизации. На 400 нейронах перенасыщенная модель, отображенная на период до 2050 г., показывает большую степень самоорганизации относительно предыдущих нейронов (открытий) и генерирует рост с трендом на будущее. Применение же роботизации в модели самоорганизующейся карты показало двукратный рост потенциала радикальных открытий на 400 нейронах. Векторы самоорганизующейся нейронной сети перестают образовывать весовые векторы примерно с 2020 г. Несмотря на всплески открытий в 1960–1970 гг. в электронике и космической отрасли и биотехнологии в

1990-е гг., нейронная сеть, в отличие от классических методов прогнозирования, показала более высокие веса в более ранний период. Также сеть продемонстрировала резкое сужение потенциала генерации открытий в современное время и на ближайшее будущее. Можно сказать, что модели на 100 нейронах отображали потенциал текущего развития, а на 400 — тренд с потенциалом роста на будущее. Пик, который пришелся на 1960-е гг. на космическую отрасль, нейронная карта сгладила и сместила к 1940 гг. Это можно объяснить схожестью синергетических процессов, имевших место в начале XX в. с волной в космической отрасли. И если бы не Вторая мировая война, то пик освоения космоса был бы раньше, что и показала нейронная сеть.

Алгоритм победителя, размещая нейроны по расстоянию, отображен на *рис. 11*. Темные области — большее расстояние, светлые — меньшее. В нашем случае светлые области соответствуют областям перетоков знаний. Данный алгоритм организации элементов сети друг относительно друга выявил еще одно преимущество нейронной сети — способность подавлять выбросы и случайные всплески. Связано это с многостадийной самоорганизацией каждого элемента относительно остальных.

Нейронную сеть можно было бы сделать абсолютно точной, поместив в узлах сети не веса данных и алгоритм BMU, а матрицы совместимости технологических параметров и алгоритм их сравнения. Пространство можно было бы сформировать n -мерным и создать измерения из ключевых показателей технологических параметров. Дело в том, что компоненты и технологии интегрируются по двум ключевым параметрам — размерности и диапазону совместимости. Пересечения областей с соответствующими параметрами образовывали бы технологии, которые могут появиться в будущем.

Выводы

Нейронную карту векторов весов можно использовать для прогнозирования

эволюционных систем. Самоорганизующиеся системы обладают целым рядом преимуществ в сравнении со стандартными эконометрическими методами. В данной работе перенасыщенная нейронная карта с числом нейронов, больших числа наблюдений, предсказала рост в двух ключевых направлениях биотехнологии и роботизации.

Инновации являются комбинацией открытых явлений и прочих инноваций на базе этих же явлений. Эта зависимость предопределяет особенности развития инноваций и в наше время. Открытые явления аккумулируются с годами в инновационной продукции, которая замещается с годами конкурирующими инновациями. Но современные технологические инновации имеют ряд особенностей, отличающих их от инноваций, сделанных в XIX и начале XX в.

1. Это преимущественно инженерные инновации с разной степенью интеграции уже разработанных ранее технологий и компонент, которые были улучшены.
2. Их особенностью инновационного роста является постоянное добавление новых компонент.
3. Они не дают существенного экономического роста.
4. Нет более радикальных инноваций, которые могли бы создать новые ниши потребления и открыть потенциал для инвестиций.

Пределы роста важны для понимания пределов инвестиций и отдачи от них. Попытки экстенсивного роста приводят к нестабильности на финансовых рынках, так как происходит замещение одного капитала другим через разрушение уже существующих экономических систем. Одним из примеров можно назвать продвижение систем интернет-сервисов, которые, с одной стороны, улучшают сервис, с другой — вытесняют таких же операторов локального уровня путем инвестиций в демпинг.

Стратегия для развития инноваций в России тоже может учитывать перечисленные особенности развития.

1. Не следует делать упор на замещающие инновации, так как они не дадут роста и могут нанести ущерб уже существующим направлениям развития.

2. Необходимо развитие сегментов радикальных инноваций, которые дадут рост новым потребительским нишам без ущерба для существующих. Роботизация как источник экономического роста должна стать приоритетным направлением.

Пределы инновационного развития и пределы потребления нельзя назвать абсолютно негативными факторами. Это индикаторы, показывающие, что предел достигнут и дальнейшая накачка инвестициями всех видов не будет иметь должного эффекта.

Наиболее значимые открытия последних лет, такие как бозоны Хиггса или гравитационные волны, не создадут предпосылок для экономического роста. Поэтому делать на них упор в моделях и в развитии не следует, хотя они были включены в модель нейронной сети.

Текущий прогресс базируется на оптимизационных открытиях, полученных на базе инженерных инноваций, которые позволяют снижать издержки и экономить расход ресурсов. Но такие технологии могут вести и к негативному влиянию на рост, что сказывается на описанной трансформации инвестиций. Нейронная сеть показала критическое уменьшение потенциала именно радикальных и фундаментальных открытий, дающих основное приращение. В то же время динамика инженерных инноваций продолжает набирать темпы.

Современный спад в частоте радикальных инноваций, начавшийся в 1990-е гг., не скажется мгновенно на количестве всех инноваций. В 2014 г. число патентов, созданных в мире, достигло 2 680 900, а в 1990-е гг. это число равнялось 997 501¹⁴. В то же время число значимых инноваций сократилось во всех технологических направлениях и отраслях. Большая часть современных технологий, создающих

¹⁴ World Intellectual Property Indicators 2016.

URL: http://www.wipo.int/edocs/pubdocs/en/wipo_pub_941_2016.pdf

технологическую базу для современной продукции, возникла еще в XIX и начале XX в.

С XXI в. картина прогресса поменялась. Современные разработки являются по большей

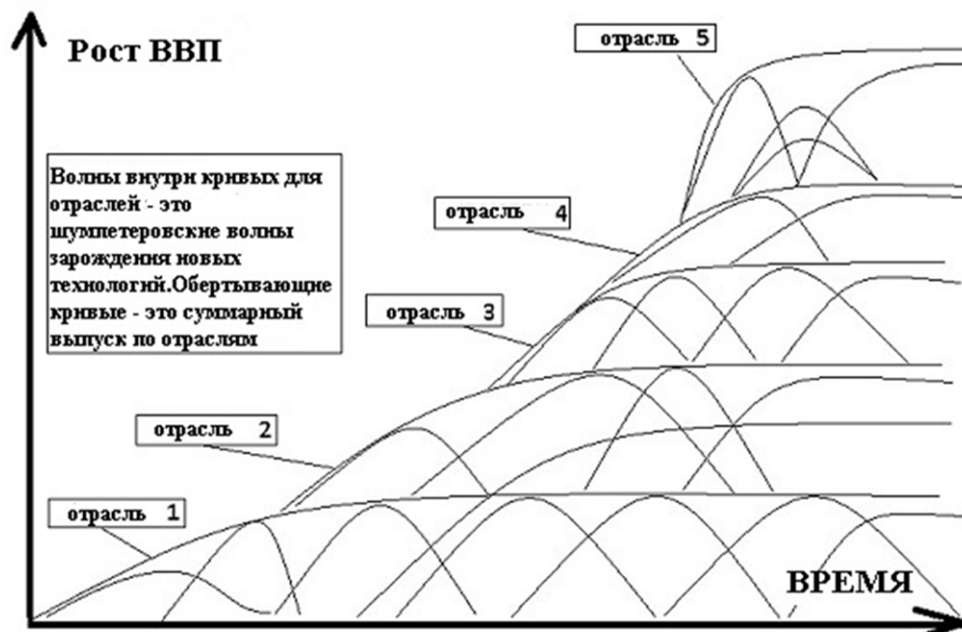
части комбинацией уже существующих открытий и инноваций. Но даже такие комбинационные инновации имеют свои пределы, поскольку существует ограниченное количество целесообразных комбинаций, которое можно создать на практике.

Рисунок 1

Аппроксимирующие кривые для пределов потребления и развития отраслей и технологий

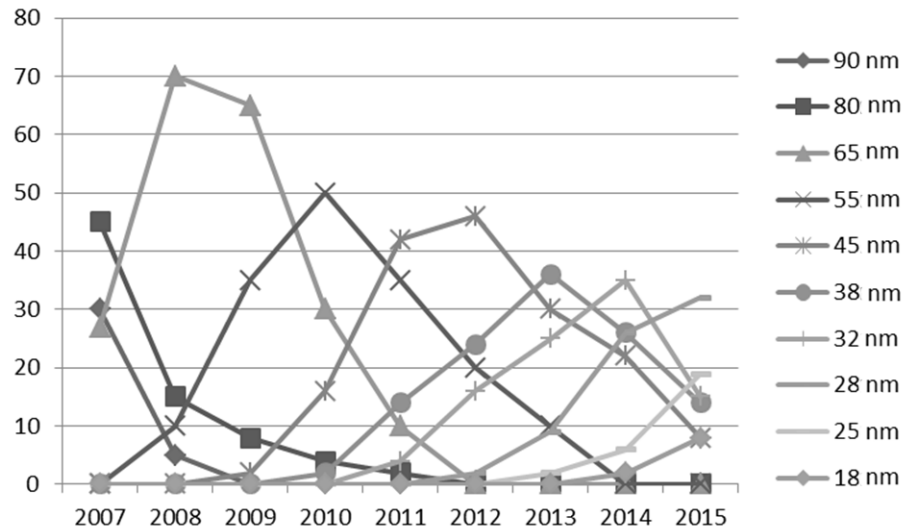
Figure 1

Approximating curves for the limits of consumption and development of industries and technologies



Источник: авторская разработка

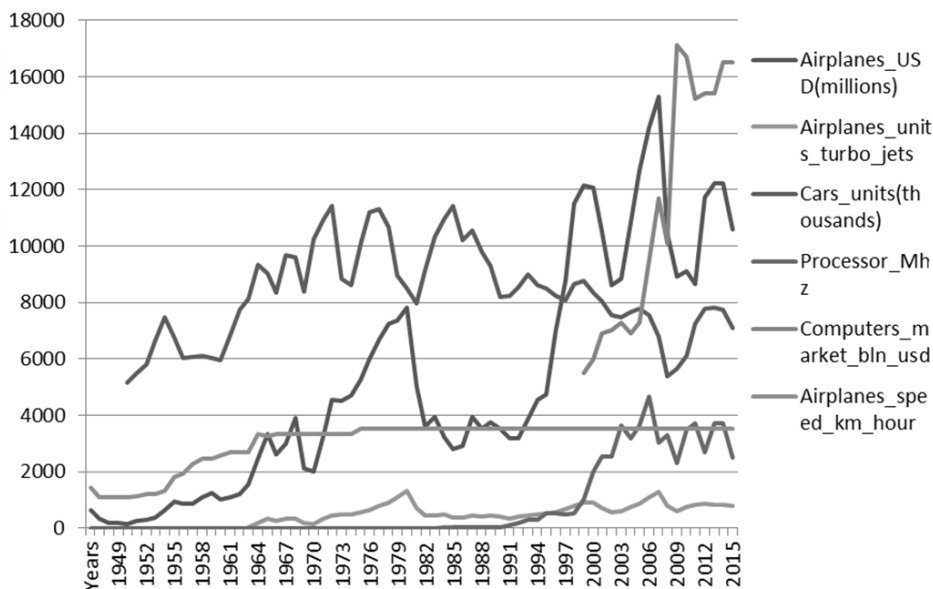
Source: Authoring

Рисунок 2**Шумпетеровские циклы для NAND техпроцессов в полупроводниковой отрасли (2007–2015 гг.)****Figure 2****Schumpeterian cycles for NAND technical processes in the semiconductor equipment industry (2007–2015)**

X — годы, Y — проценты от рынка.

Источник: авторская разработка

Source: Authoring

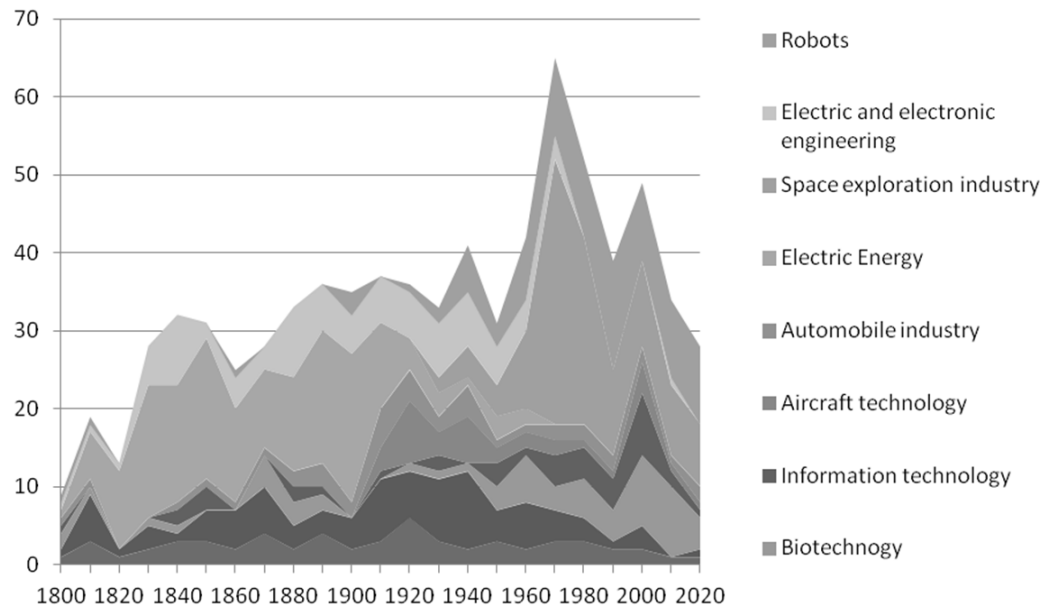
Рисунок 3**Сопоставление предельных экономических и технологических параметров в ряде технологий и отраслей с 1950-х гг.****Figure 3****Comparing the marginal economic and technological parameters in a number of technologies and industries since the 1950s**

Источник: авторская разработка

Source: Authoring

Рисунок 4
Наиболее важные открытия по направлениям (1800–2020 гг.)

Figure 4
The most significant breakthroughs in the key areas of science and technology (1800–2020)

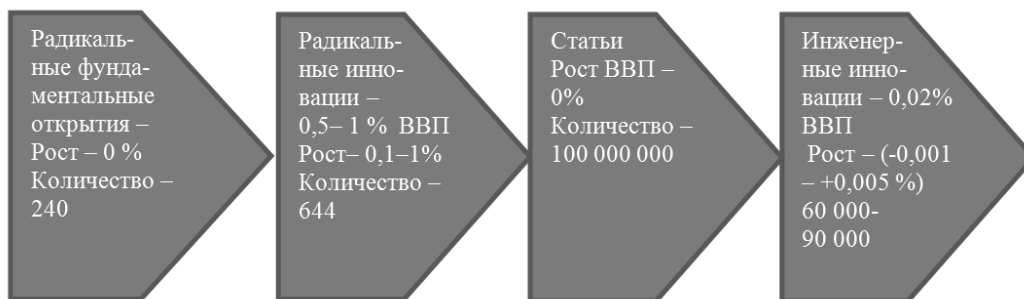


Источник: авторская разработка

Source: Authoring

Рисунок 5
Цепь создания инноваций в мире

Figure 5
Global innovation network



Источник: авторская разработка

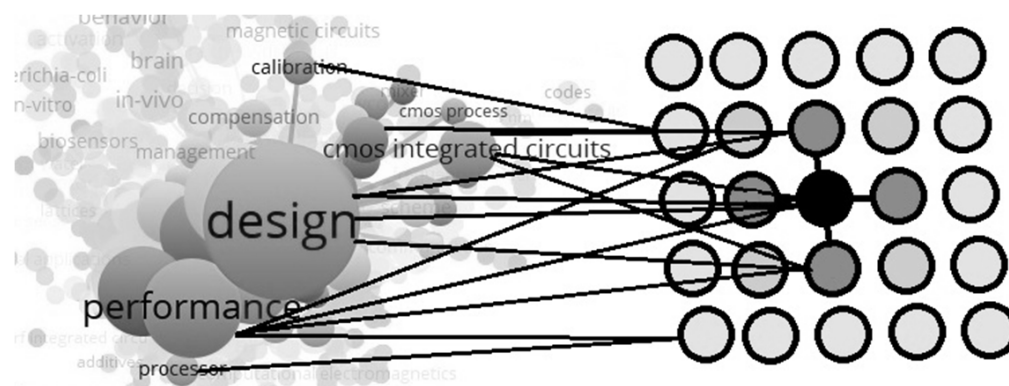
Source: Authoring

Рисунок 6

Сеть перетока знаний между исследованиями в области микроэлектроники и сопоставление с вычислительным пространством векторов 2-мерных нейронных самоорганизующихся карт

Figure 6

A network of knowledge flow between research in the field of microelectronics and the comparison with the computational space of vectors of two-dimensional neural self-organizing maps



Источник: авторская разработка

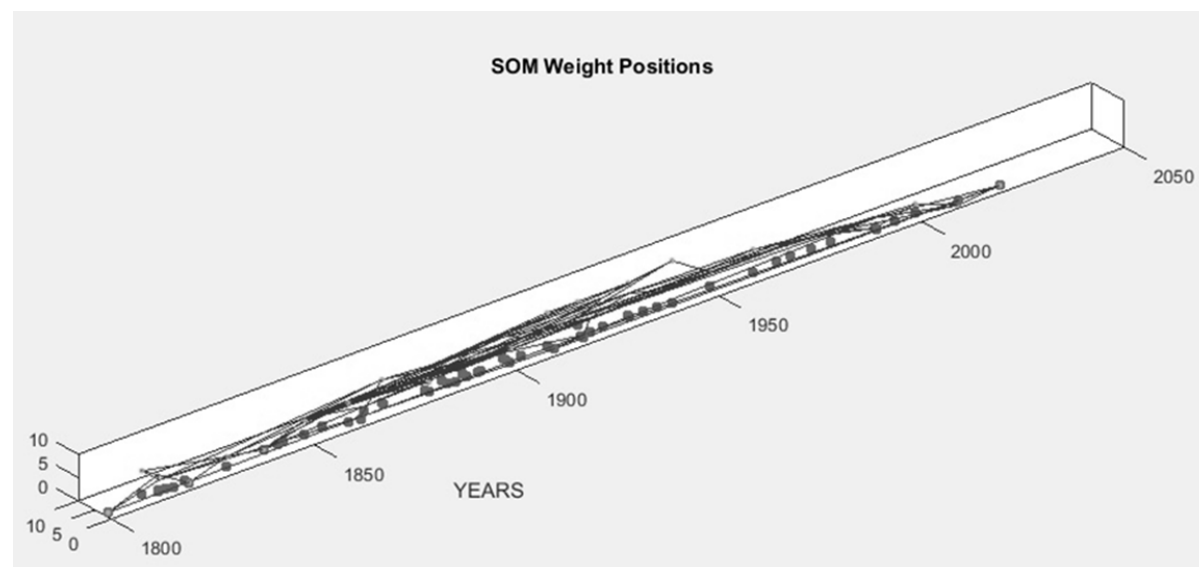
Source: Authoring

Рисунок 7

Полученные весовые коэффициенты для самоорганизующейся нейронной сети (100 нейронов) на базе приведенных данных и их интерполяция до 2050 г. без технологий роботизации

Figure 7

The obtained weights for self-organizing map neural network (100 neurons) on the basis of the above data and their interpolation to 2050 without the technology of robotization



Источник: авторская разработка

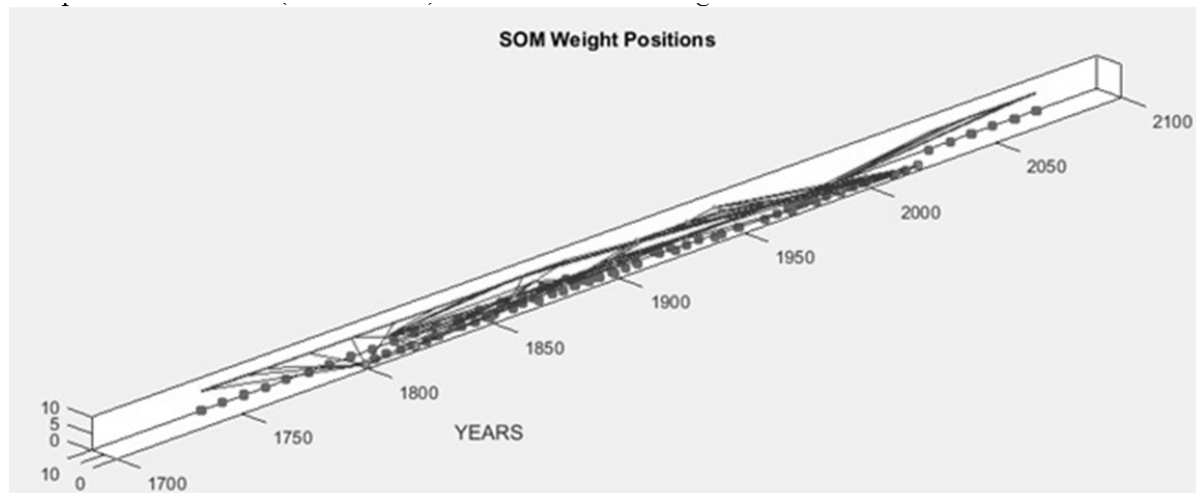
Source: Authoring

Рисунок 8

Полученные весовые коэффициенты для самоорганизующейся нейронной сети на базе приведенных данных и их интерполяция до 2050 г. без технологий роботизаций на 400 нейронах

Figure 8

The obtained weights for self-organizing map neural network (400 neurons) on the basis of the above data and their interpolation to 2050 without the technology of robotization



Источник: авторская разработка

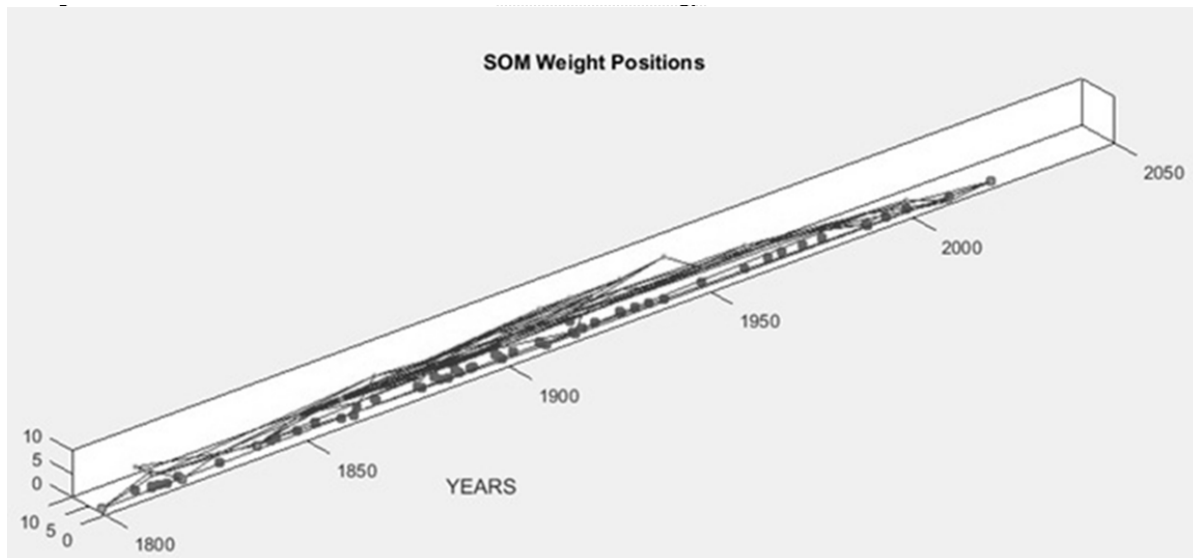
Source: Authoring

Рисунок 9

Полученные весовые коэффициенты для самоорганизующейся нейронной сети на базе приведенных данных и их интерполяция до 2050 г. с технологией роботизации на 100 нейронах

Figure 9

The obtained weights for self-organizing map neural network (100 neurons) on the basis of the above data and their interpolation to 2050 with the technology of robotization



Источник: авторская разработка

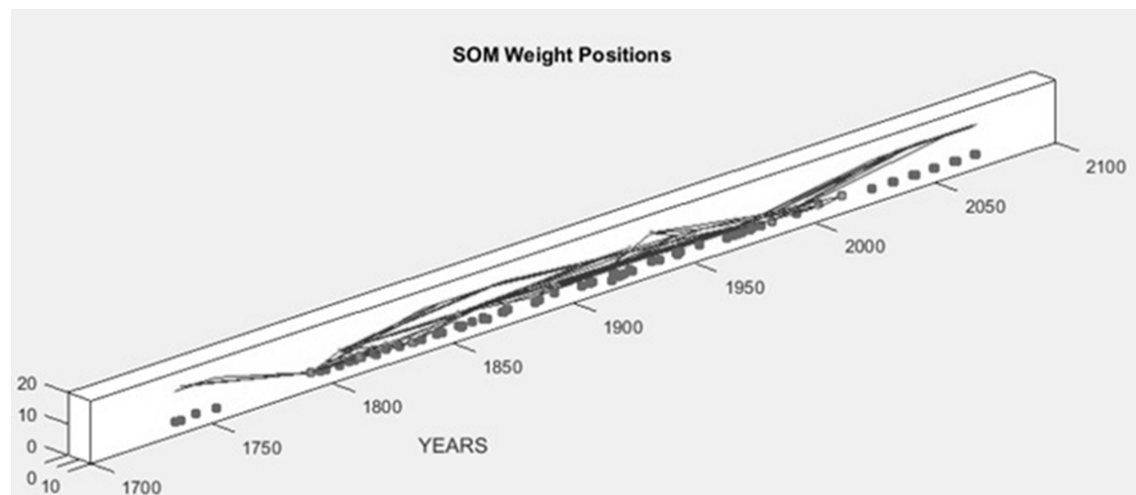
Source: Authoring

Рисунок 10

Полученные весовые коэффициенты для самоорганизующейся нейронной сети (400 нейронов) на базе приведенных данных и их интерполяция до 2050 г. с технологией роботизации

Figure 10

The obtained weights for self-organizing map neural network (400 neurons) on the basis of the above data and their interpolation to 2050 with the technology of robotization



Источник: авторская разработка

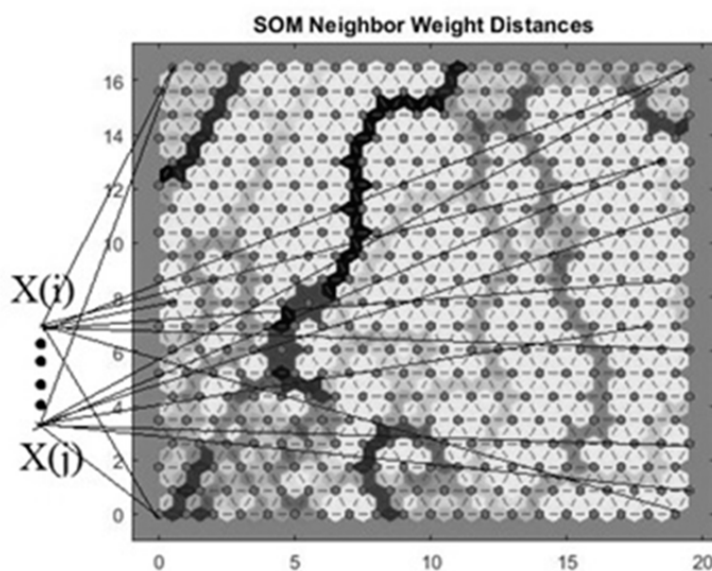
Source: Authoring

Рисунок 11

Схематическое изображение функционирования 2-мерной самоорганизующейся нейронной сети и принципа самоорганизации произвольных весовых переменных $x(i) - x(j)$

Figure 11

Two-dimensional self-organizing map neural network and the principle of self-organizing of arbitrary weight variables $x(i) - x(j)$: A schematic representation



Источник: авторская разработка

Source: Authoring

Список литературы

1. Meadows D.H., Meadows D.L., Randers J.J., Behrens III W.W. The Limits to Growth: A Report for the Club of Rome's Project on the Predicament of Mankind. New York, Universe Books, 1972, 205 p. URL: <http://www.donellameadows.org/wp-content/userfiles/Limits-to-Growth-digital-scan-version.pdf>
2. Turner G. A Comparison of *The Limits to Growth* with 30 Years of Reality. *Global Environmental Change*, 2008, vol. 18, iss. 3, pp. 397–411. URL: <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2008.05.001>
3. Malthus T.R. An Essay on the Principle of Population. London, W. Pickering, 1986, 139 p.
4. Pittelkow C., Liang X., Linquist B.A. et al. Productivity Limits and Potentials of the Principles of Conservation Agriculture. *Nature*, 2015, vol. 517, pp. 365–368. URL: <https://doi.org/10.1038/nature13809>
5. Domar E.D. Capital Expansion, Rate of Growth, and Employment. *Econometrica*, 1946, vol. 14, no. 2, pp. 137–147. URL: <https://doi.org/10.2307/1905364>
6. Solow R.M. A Contribution to the Theory of Economic Growth. *The Quarterly Journal of Economics*, 1956, vol. 70, iss. 1, pp. 65–94. URL: <https://doi.org/10.2307/1884513>
7. Harrod R.F. An Essay in Dynamic Theory. *The Economic Journal*, 1939, vol. 49, no. 193, pp. 14–33. URL: <https://doi.org/10.2307/2225181>
8. Ramsey F.P. A Mathematical Theory of Saving. *The Economic Journal*, 1928, vol. 38, no. 152, pp. 543–559. URL: <http://dx.doi.org/10.2307/2224098>
9. Schumpeter J.A. The Theory of Economic Development: An Inquiry into Profits, Capital, Credit, Interest, and the Business Cycle. Cambridge, Harvard University Press, 1934, 255 p.
10. Кондратьев Н.Д. Мировое хозяйство и его конъюнктура во время и после войны. Вологда: Областное отделение Государственного издательства, 1922. 258 с.
11. Romer P.M. Endogenous Technological Change. *Journal of Political Economy*, 1990, vol. 98, no. 5, part II, pp. 71–102. URL: <https://www.jstor.org/stable/2937632>
12. Aghion P., Howitt P. A Model of Growth Through Creative Destruction. *Econometrica*, 1992, vol. 60, no. 2, pp. 323–351. URL: <https://doi.org/10.2307/2951599>
13. Bove V., Elia L. Migration, Diversity, and Economic Growth. *World Development*, 2017, vol. 89, pp. 227–239. URL: <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2016.08.012>
14. Carp L. Financial Globalization and Capital Flows Volatility Effects on Economic Growth. *Procedia Economics and Finance*, 2014, vol. 15, pp. 350–356. URL: [https://doi.org/10.1016/S2212-5671\(14\)00521-8](https://doi.org/10.1016/S2212-5671(14)00521-8)
15. Bradford De Long J., Summers L.H. Equipment Investment and Economic Growth. *The Quarterly Journal of Economics*, 1991, vol. 106, iss. 2, pp. 445–502. URL: <https://doi.org/10.2307/2937944>
16. Barro R.J. Determinants of Economic Growth: A Cross-Country Empirical Study. Cambridge, MIT Press, 1997. URL: <https://doi.org/10.3386/w5698>
17. Swan T.W. Economic Growth and Capital Accumulation. *Economic Record*, 1956, vol. 32, iss. 2, pp. 334–361. URL: <https://doi.org/10.1111/j.1475-4932.1956.tb00434.x>
18. Grossman G.M., Helpman E. Endogenous Innovation in the Theory of Growth. *The Journal of Economic Perspectives*, 1994, vol. 8, no. 1, pp. 23–44. URL: <https://doi.org/10.1257/jep.8.1.23>

19. *Bejan A., Charles J.D., Lorente S.* The Evolution of Airplanes. *Journal of Applied Physics*, 2014, vol. 116, iss. 4. URL: <https://doi.org/10.1063/1.4886855>
20. *Weron R.* Electricity Price Forecasting: A Review of the State-of-the-Art with a Look into the Future. *International Journal of Forecasting*, 2014, vol. 30, iss. 4, pp. 1030–1081. URL: <https://doi.org/10.1016/j.ijforecast.2014.08.008>

Информация о конфликте интересов

Я, автор данной статьи, со всей ответственностью заявляю о частичном и полном отсутствии фактического или потенциального конфликта интересов с какой бы то ни было третьей стороной, который может возникнуть вследствие публикации данной статьи. Настоящее заявление относится к проведению научной работы, сбору и обработке данных, написанию и подготовке статьи, принятию решения о публикации рукописи.

**MODELING OF TRANSFORMATION OF TECHNOLOGICAL DEVELOPMENT
USING TWO-DIMENSIONAL NEURAL SELF-ORGANIZING MAPS****Aleksei A. ZABOLOTSKII**

Institute of Economics and Industrial Engineering, Siberian Branch of RAS (IEIE SB RAS),
Akademgorodok, Novosibirsk, Russian Federation
ieie@inbox.ru
<https://orcid.org/0000-0003-2683-6116>

Article history:

Received 16 August 2018
Received in revised form
26 September 2018
Accepted 10 October 2018
Available online
30 January 2019

JEL classification: O30

Keywords: limit to growth,
drastic innovation,
technological limit,
forecasting, Schumpeterian
waves

Abstract

Subject This article discusses the issues of technological development, namely its limits, influencing the economic and innovation growth.

Objectives The article aims to study and prove the existence of the limits of technological development.

Methods The research uses an innovative method of forecasting on the basis of weight vectors of neural self-organizing maps (SOM).

Results The article explores the transformation of investment and the changing structure of innovative progress that has led to this transformation. It shows two main factors, namely the limit of scientific breakthrough and the technological limit that influence the transformation. The article also models the process of generating scientific breakthroughs using a two-dimensional self-organizing map neural network (MATLAB neural clustering tool), and on the basis of these results, it makes predictions up to 2050.

Conclusions and Relevance The neural network weight map can be used to model and forecast evolutionary systems, as well as for accurate forecasting of technologies that may appear in the future, or can show the exhaustion of the potential of innovative development for these input component sets and technologies.

© Publishing house FINANCE and CREDIT, 2018

Please cite this article as: Zabolotskii A.A. Modeling of Transformation of Technological Development Using Two-Dimensional Neural Self-Organizing Maps. *Finance and Credit*, 2019, vol. 25, iss. 1, pp. 228–246.
<https://doi.org/10.24891/fc.25.1.228>

Acknowledgment

This work was supported by the Russian Federation for Basic Research, grant № РФФИ-17-02-00060-ОГН.

References

1. Meadows D.H., Meadows D.L., Randers J.J., Behrens III W.W. The Limits to Growth: A Report for the Club of Rome's Project on the Predicament of Mankind. New York, Universe Books, 1972, 205 p. URL: <http://www.donellameadows.org/wp-content/userfiles/Limits-to-Growth-digital-scan-version.pdf>
2. Turner G. A Comparison of *The Limits to Growth* with 30 Years of Reality. *Global Environmental Change*, 2008, vol. 18, iss. 3, pp. 397–411. URL: <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2008.05.001>
3. Malthus T.R. An Essay on the Principle of Population. London, W. Pickering, 1986, 139 p.
4. Pittelkow C., Liang X., Linquist B.A. et al. Productivity Limits and Potentials of the Principles of Conservation Agriculture. *Nature*, 2015, vol. 517, pp. 365–368. URL: <https://doi.org/10.1038/nature13809>

5. Domar E.D. Capital Expansion, Rate of Growth, and Employment. *Econometrica*, 1946, vol. 14, no. 2, pp. 137–147. URL: <https://doi.org/10.2307/1905364>
6. Solow R.M. A Contribution to the Theory of Economic Growth. *The Quarterly Journal of Economics*, 1956, vol. 70, iss. 1, pp. 65–94. URL: <https://doi.org/10.2307/1884513>
7. Harrod R.F. An Essay in Dynamic Theory. *The Economic Journal*, 1939, vol. 49, no. 193, pp. 14–33. URL: <https://doi.org/10.2307/2225181>
8. Ramsey F.P. A Mathematical Theory of Saving. *The Economic Journal*, 1928, vol. 38, no. 152, pp. 543–559. URL: <http://dx.doi.org/10.2307/2224098>
9. Schumpeter J.A. The Theory of Economic Development: An Inquiry into Profits, Capital, Credit, Interest, and the Business Cycle. Cambridge, Harvard University Press, 1934, 255 p.
10. Kondratiev N.D. *Mirovoe khozyaistvo i ego kon'yunktura vo vremya i posle voyny* [The World Economy and its Conjunctures During and After the War]. Vologda, Oblastnoe otделение Gosudarstvennogo izdatel'stva Publ., 1922, 258 p.
11. Romer P.M. Endogenous Technological Change. *Journal of Political Economy*, 1990, vol. 98, no. 5, part II, pp. 71–102. URL: <https://www.jstor.org/stable/2937632>
12. Aghion P., Howitt P. A Model of Growth Through Creative Destruction. *Econometrica*, 1992, vol. 60, no. 2, pp. 323–351. URL: <https://doi.org/10.2307/2951599>
13. Bove V., Elia L. Migration, Diversity, and Economic Growth. *World Development*, 2017, vol. 89, pp. 227–239. URL: <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2016.08.012>
14. Carp L. Financial Globalization and Capital Flows Volatility Effects on Economic Growth. *Procedia Economics and Finance*, 2014, vol. 15, pp. 350–356. URL: [https://doi.org/10.1016/S2212-5671\(14\)00521-8](https://doi.org/10.1016/S2212-5671(14)00521-8)
15. Bradford De Long J., Summers L.H. Equipment Investment and Economic Growth. *The Quarterly Journal of Economics*, 1991, vol. 106, iss. 2, pp. 445–502. URL: <https://doi.org/10.2307/2937944>
16. Barro R.J. Determinants of Economic Growth: A Cross-Country Empirical Study. Cambridge, MIT Press, 1997. URL: <https://doi.org/10.3386/w5698>
17. Swan T.W. Economic Growth and Capital Accumulation. *Economic Record*, 1956, vol. 32, iss. 2, pp. 334–361. URL: <https://doi.org/10.1111/j.1475-4932.1956.tb00434.x>
18. Grossman G.M., Helpman E. Endogenous Innovation in the Theory of Growth. *The Journal of Economic Perspectives*, 1994, vol. 8, no. 1, pp. 23–44. URL: <https://doi.org/10.1257/jep.8.1.23>
19. Bejan A., Charles J.D., Lorente S. The Evolution of Airplanes. *Journal of Applied Physics*, 2014, vol. 116, iss. 4. URL: <https://doi.org/10.1063/1.4886855>
20. Weron R. Electricity Price Forecasting: A Review of the State-of-the-Art with a Look into the Future. *International Journal of Forecasting*, 2014, vol. 30, iss. 4, pp. 1030–1081. URL: <https://doi.org/10.1016/j.ijforecast.2014.08.008>

Conflict-of-interest notification

I, the author of this article, bindingly and explicitly declare of the partial and total lack of actual or potential conflict of interest with any other third party whatsoever, which may arise as a result of the publication of this article. This statement relates to the study, data collection and interpretation, writing and preparation of the article, and the decision to submit the manuscript for publication.