

## Драйверы развития национальных инновационных систем



**Н. С. Цыганков,**  
аспирант, Институт  
космических  
и информационных  
технологий  
cyganikita@yandex.ru



**А. Э. Касимова,**  
аспирант, Институт  
космических  
и информационных  
технологий  
kafedra\_efit@bk.ru



**А. К. Москалев,**  
к. ф.-м. н., Институт  
инженерной физики  
и радиоэлектроники,  
зав. кафедрой  
экспериментальной физики  
и инновационных технологий  
ak\_moskalev@mail.ru

### Сибирский федеральный университет

*Формированию и определению основных показателей эффективности функционирования национальных инновационных систем посвящено значительное число публикаций. Применение современных методов нейросетевого программирования позволяет выделить те основные показатели, которые в данной статье называются — драйверы развития. В качестве эмпирической базы анализа были использованы результаты мониторинга Global Innovation Index. Применение методик нейросетевого программирования и факторного анализа выявило, что основным показателем является количество научных сотрудников, задействованных в формировании национальной инновационной системы. Драйверами инновационного развития, установленными в результате исследования, также являются показатели валовых расходов государства на науку, финансирование и выполнение научных исследований бизнесом. Результаты исследования могут быть применены при формировании стратегии инновационного развития на разных уровнях.*

**Ключевые слова:** национальная инновационная система, инновационная инфраструктура, нейросетевое программирование, драйверы развития.

Успешный переход к новому типу экономики, основанной на знаниях и интеллектуальных ресурсах, требует развитой инновационной составляющей [1]. Национальная инновационная система (НИС) на макроуровне является тем элементом, который призван поддерживать и развивать среду для осуществления инновационной деятельности, включая три горизонтально связанных макроблока [2]:

- бизнес-среда и рынок;
- среда, производящая знания;
- механизмы передачи знаний.

Анализ уровня развития НИС разных стран показывает существенную дифференциацию как по эффективности взаимодействия участников инновационной деятельности, так и по уровню развития инновационных экономик, что обусловлено разнообразием подходов к построению подобных систем. Различия подходов проявляется в специфике политики государства в области науки и техники [3], выбранной

модели инновационного развития [4], а также схемы финансирования инноваций [5].

Выбор оптимального подхода к построению НИС должен базироваться на комплексных и объективных показателях оценки [6]. Однако на сегодняшний день не существует единой методики формирования национальной инновационной системы, и, следовательно, не существует эффективной стратегии государства в области инноваций [7]. Вместе с тем, несмотря на различия и особенности национальных инновационных систем, представляется возможным использовать опыт технологически развитых и конкурентоспособных стран.

При рассмотрении различных подходов к оценке инноваций, мы приходим к выводу, что наиболее полным и охватывающим все аспекты инновационной деятельности является такой показатель как глобальный инновационный индекс (ГИИ) (Global innovation index, GI) [8, 9]. В рейтинг ГИИ 2017 г. вошли 128

стран из всех регионов мира, которые в совокупности производят 98% мирового ВВП и в них проживает 92% населения планеты.

В связи с изложенным, была поставлена цель: на основе современных методов анализа данных выявить ключевые драйверы инновационного развития, позволяющие сформировать эффективную стратегию государства в области инноваций.

Для анализа были выбраны база данных Global Innovation Index за 2014-2017 гг. и отобраны те страны, инновационные показатели которых отображены за все четыре указанных года. Итоговое количество стран составило 122, а количество входных и выходных параметров, присутствующих во всех отчетах составило 54 и 26, соответственно.

При формировании базы было выявлено отсутствие части данных в ГИИ. Количество пропусков составило свыше 4 тысяч, что составляет более 10% от всего массива данных. На этапе подготовки базы данных встала задача формирования адекватной методики заполнения пустот.

Процедура заполнения отсутствующих значений проводилась в три этапа. На первом этапе производилась сортировка стран, в которых по одному показателю присутствовал один пропуск за все четыре года. В результате сортировки количество таких пропусков составило 353. Заполнение пропусков в данной группе производилось по анализу графика тренда.

На втором этапе заполнения отсутствующих значений страны были сгруппированы по географическим регионам — Европа, Северная Америка, Латинская Америка и Карибы, Центральная и Южная Азия, Юго-Восточная Азия, Восточная Азия и Океания, Северная Африка и Западная Азия, Южная Африка. Каждый регион условно обозначен цифрой от 1 до 8.

Заполнение пустот происходило по значениям параметров в рамках одного региона. На данном этапе по всем параметрам для каждого региона по годам были определены средние значения и медиана. После чего были определены критерии, позволяющие оценить

наилучшее значение между средним и медианой. Эти критерии следующие:

- количество отклонений от среднего/медианы на менее чем 30%;
- количество отклонений от среднего/медианы от 30 до 65%;
- количество отклонений от среднего/медианы более чем на 65%.

В результате обсуждения с экспертами были установлены следующие коэффициенты: для первого критерия — 0,5; для второго — 0,35; для третьего — 0,15. На основе этого были определены итоговые оценки и выявлены наилучшие значения по каждому параметру.

Затем все страны были сгруппированы по типу экономики, согласно классификации World Bank Income Group [10], которые также условно обозначены цифрами — от 1 до 4. После этого были пройдены все шаги аналогичные для группировки по регионам.

На завершающем этапе проводилось заполнение всех пустот в исходных данных по следующему алгоритму: сравнивался оценочный коэффициент выбранного значения по группировке на основе регионов и группировке на основе типов экономик, затем выбирался наибольший из них, которым заполнялось пропущенное значение.

Так как рассматриваемая система является социотехнической, то существует явная необходимость в анализе и учете требований к национальной инновационной системе с точки зрения потребностей заинтересованных сторон в результатах функционирования НИС. Соответственно, необходимо учитывать не только активные заинтересованные стороны, имеющие возможность непосредственного влияния на деятельность НИС, но и пассивные, которые пользуются результатами ее деятельности.

Для решения данной задачи был применен логико-структурный подход (ЛСП), который позволил выявить 19 групп заинтересованных сторон, включая частный и государственный сектора, население, обра-

Таблица 1

Отнесение результирующих показателей к выполняемым задачам

Задачи	Характеризующие параметры из ГИИ
Создание высокотехнологической продукции	Регистрация международных патентов. Регистрация отечественных патентов. Регистрация патентов на полезную модель. Производство высокотехнологичной продукции. Поступление роялти и лицензионных платежей. Экспорт высокотехнологичных товаров. Экспорт компьютерных и информационных услуг. ISO 9001 сертификаты качества
Создание высокопроизводительных рабочих мест	Затраты на программное обеспечение. Темпы роста паритета покупательской способности на одного работника, %
Создание производственных и инновационных компаний	Регистрация товарных знаков. Открытие новых бизнесов. ISO 9001 сертификаты качества. Производство высокотехнологичной продукции. Поступление роялти и лицензионных платежей
Создание новых производственных технологий	Регистрация отечественных патентов. Регистрация международных патентов. Производство высокотехнологичной продукции. Научно-технические статьи. Индекс цитирования Хирша
Мотивированность молодежи к творческой деятельности	Научно-технические статьи. Индекс цитирования Хирша. Экспорт культурных и креативных услуг. Национальные фильмы. Экспорт креативных товаров. Правки в Википедии. Видео, загруженные на YouTube
Налаженное взаимодействие «наука-бизнес»	Производство высокотехнологичной продукции. Отток прямых иностранных инвестиций. Создание информационно-коммуникационных бизнес-моделей. Создание информационно-коммуникационных организационных моделей
Снижение уровня безработицы	Темпы роста паритета покупательской способности на одного работника, %. Открытие новых бизнесов

зовательную, научную и социальную сферы, объекты инновационной инфраструктуры.

Исходя из результатов ЛСП были сформулированы задачи, которые должны выполняться в рамках функционирования НИС [11-13], а также установлены причинно-следственные связи между ними.

Соответственно, при оценке эффективности НИС необходимо учитывать степень выполнения стоящих перед ней задач:

- создание высокотехнологической продукции;
- создание высокопроизводительных рабочих мест;
- создание производственных и инновационных компаний;
- создание новых производственных технологий;
- мотивированность молодежи к творческой деятельности;
- налаженное взаимодействие «наука–бизнес»;
- снижение уровня безработицы.

Ориентируясь на необходимые результаты деятельности НИС, были выделены основные показатели ГИИ, характеризующие уровень достижения поставленных задач. Результаты показаны в табл. 1.

Выявление значащих признаков при условии многомерного выходного пространства представляется возможным с использованием программного обеспечения на основе искусственной нейронной сети, в качестве которого был выбран пакет программы «Нейросимулятор», разработанный в Пермском государственном национальном исследовательском университете.

Была построена обучающая выборка, входными параметрами которой являются входные параметры глобального инновационного индекса, а выходными указанные в табл. 1.

При вычислении использована двухслойная нейронная сеть с числом нейронов скрытого слоя равным 109 [14], которая показывает хорошие результаты на практике [15].

После построения нейронной сети и внесения обучающей выборки выполнена процедура обучения

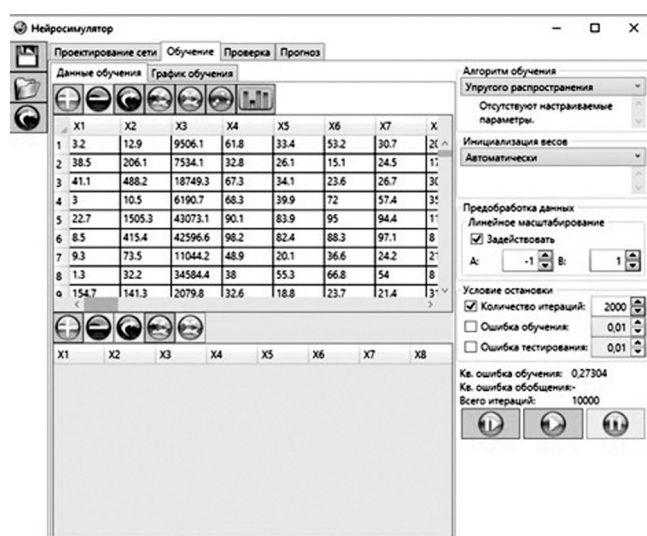


Рис. 1. Результаты обучения нейросети

сети. Алгоритм обучения – упругое распространение. На рис. 1 показано, что число итераций обучения составило 10000, среднеквадратичная ошибка обучения – 0,27, что можно считать приемлемым для такой размерности массива данных.

Данные о значимости входных параметров по отношению к выходным получены в процессе обучения сети и, как видно из рис. 2, наибольший вес имеет показатель – валовые расходы государства на НИОКР. На втором месте находится показатель – импорт высокотехнологичной продукции за вычетом реимпорта. На третьем показатель, отражающий ранг университетов страны в мировом рейтинге.

Таким образом, результаты нейросетевого анализа дали возможность выявить основные показатели, позволяющие оценить эффективность функционирования национальной инновационной системы.

Однако, массив входных и выходных признаков имеет большую размерность, что влечет вероятность существования ряда проблем:

- наличие слабоинформативных и неинформативных признаков;
- мультиколлинеарность.

Для выявления признаков, обладающих перечисленными недостатками, был применен метод главных компонент. Для проведения вычислений использована программно-аналитическая платформа Deductor. В результате было получено новое пространство факторов меньшей размерности, избавленных от указанных недостатков.

В результате факторного анализа входных признаков ГИИ было сформировано семь новых факторов, сокращающих размерность входных параметров до двадцати пяти показателей.

Аналогичным образом были проанализированы выходные параметры, что позволило сократить их

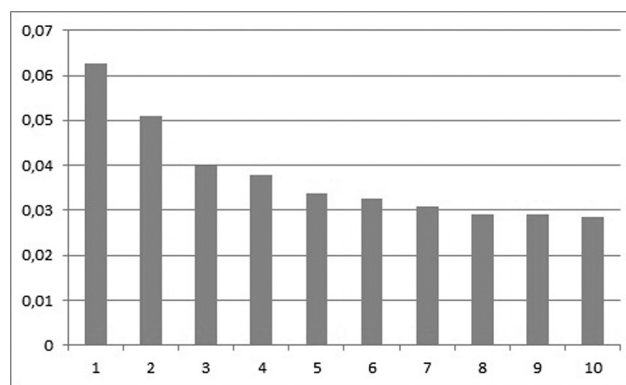


Рис. 2. Топ-10 значимых параметров по результатам нейроанализа: 1 – валовые расходы государства на НИОКР; 2 – импорт высокотехнологичной продукции за вычетом реимпорта; 3 – ранг университетов; 4 – общая численность населения; 5 – получение экологических сертификатов ИСО 14001; 6 – фирмы, практикующие повышение квалификации работников; 7 – число научных сотрудников на 1 млн человек населения; 8 – сделка с венчурным капиталом; 9 – взаимодействие между институтами и бизнесом; 10 – персонал, занятый исследованиями и разработками

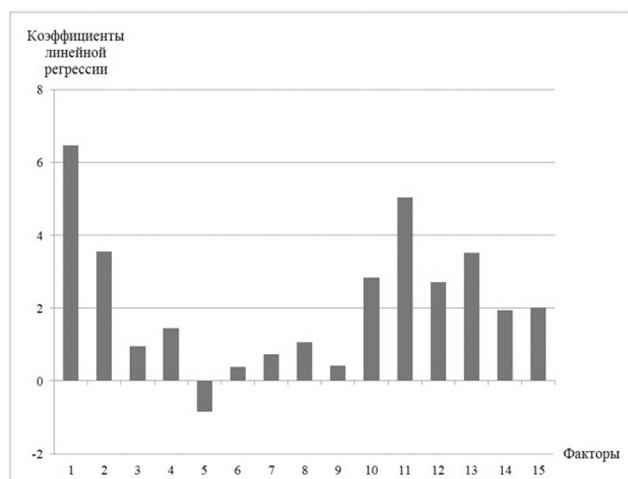


Рис. 3. Коэффициенты линейной регрессии

Выходное поле: Global Innovation Rating

1 — творческая активность населения; 2 — экспорт инноваций; 3 — отток прямых иностранных инвестиций; 4 — регистрация товарных знаков; 5 — печатное и издательское производство; 6 — регистрация патентов на полезную модель; 7 — темпы роста паритета покупательской способности; 8 — экспорт компьютерных и информационных услуг; 9 — экспорт культурных и креативных услуг; 10 — изобретательская активность; 11 — создание ИКТ-моделей; 12 — открытие новых бизнесов; 13 — затраты на программное обеспечение; 14 — интернет-активность; 15 — коммерциализация инноваций

количество до 15 за счет выявления шести новых факторов.

На следующем этапе с целью выявления основных драйверов инновационного роста и развития, был проведен регрессионный анализ выходных факторов и итогового инновационного рейтинга.

Результаты вычисления коэффициентов линейной регрессии, представленные на рис. 3, показывают, что наибольшее влияние на инновационный рейтинг оказывает фактор «Творческая активность населения».

Для выявления тех параметров, которые имеют ключевое влияние на степень творческой активности населения, был проведен регрессионный анализ входных факторов и фактора, характеризующего данную активность. Результаты представлены на рис. 4.

Как видно из рис. 4, наибольший коэффициент имеет фактор — уровень осуществления НИОКР.

Таким образом, из результатов факторного анализа видно, что на итоговое значение инновационного рейтинга ключевое влияние оказывает фактор — творческая активность населения, который, в свою очередь, определяется в большей степени уровнем осуществления НИОКР в стране.

В структуру фактора «Уровень осуществления НИОКР» вошли следующие параметры:

- валовые расходы на НИОКР;
- общие расходы на исследования и разработки, выполненные бизнесом;
- число занятых исследователей;
- ранг университетов страны;
- взаимодействие между институтами и бизнесом;

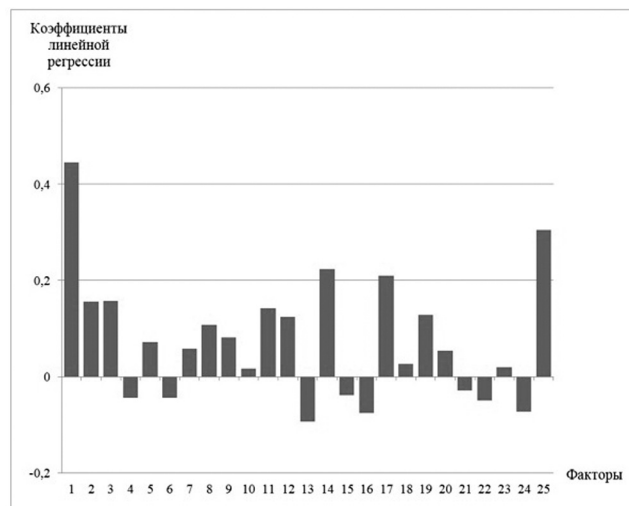


Рис. 4. Коэффициенты линейной регрессии

Выходное поле: Творческая активность населения

1 — уровень осуществления НИОКР; 2 — ВВП на душу населения; 3 — затраты на образование населения; 4 — импорт инноваций; 5 — доля иностранных студентов, обучающихся в данной стране; 6 — фирмы, практикующие повышение квалификации работников; 7 — система управления государством; 8 — выплаты при увольнении; 9 — валовое накопление капитала; 10 — оплата роялти и лицензионных платежей; 11 — получение экологических сертификатов ИСО 14001; 12 — сложность открытия нового бизнеса; 13 — уровень образования в стране; 14 — ВВП/единица потребления энергии; 15 — электронное государство; 16 — импорт компьютерных и информационных услуг; 17 — сделки с венчурным капиталом; 18 — стоимость 1 венчурной сделки (сделки между компаниями-альянсами) на \$ 1 трлн ВВП; 19 — простота защиты интересов инвесторов; 20 — микрокредитование; 21 — система налогообложения в стране; 22 — простота получения кредита; 23 — общие вложения в исследования и разработки, финансируемые из заграничных источников; 24 — производимая электрическая мощность; 25 — интенсивность местной конкуренции

- общие расходы на исследования и разработки, финансируемые бизнесом;
- логистическая инфраструктура.

Как видно, все параметры действительно взаимозависимы. Общие вложения в НИОКР, выделяемые из средств бюджета, а также финансируемые бизнесом, влияют на число исследователей, непосредственно занятых исследованиями и разработками. При этом финансирование и выполнение НИОКР частным сектором стимулирует тесное взаимодействие между разработчиками инноваций (институтами) и их потребителями (бизнес-сектором). Активное сотрудничество в сфере осуществления НИОКР с представителями бизнеса, безусловно, влияет на итоговый рейтинг институтов. Можно предположить, что логистическая инфраструктура была включена в данный фактор как обязательное условие функционирования всех этапов проведения НИОКР.

Благоприятные условия для проведения научных исследований, а также широкий спектр возможностей внедрения результатов научной деятельности, стимулируют высокий уровень творческой активности населения, что выражается в следующих показателях:

- научно-технические статьи;
- регистрация международных патентов;
- правки в Википедии;
- количество доменов с двумя знаками/на тысячу человек населения в возрасте 15-69 лет;
- количество основных доменов (biz, info, org, net, com) на тысячу человек населения в возрасте 15-69 лет;
- глобальные развлечения и медиа.

Таким образом, благоприятные условия для осуществления НИОКР стимулируют людей к творчеству, в том числе и научному, что выражается в таких показателях, как число научно-технических статей и зарегистрированные международные патенты. Можно предположить, что правки в Википедии и регистрация новых доменов выступают следствием данных показателей, поэтому они также были включены в фактор как взаимозависимые.

Анализируя результаты факторного анализа, можно сделать вывод, что инновационный рейтинг страны напрямую зависит от того, насколько в стране реализованы условия для творческой активности населения, которые измеряются с помощью показателей глобального инновационного индекса, составляющих общий фактор «Уровень осуществления НИОКР».

## Заключение

В результате анализа полученных данных было установлено, что эффективность функционирования НИС и степень достижения поставленных задач можно оценить с помощью части показателей ГИИ. Для выявления из этого набора ключевых факторов был применен метод нейросетевого анализа и определены следующие базовые показатели инновационного развития:

- валовые расходы государства на НИОКР;
- импорт высокотехнологичной продукции за вычетом реимпорта;
- ранг университетов в мировом рейтинге.

Указанные параметры можно отнести к драйверам развития национальных инновационных систем.

Результаты, полученные с помощью факторного анализа, отводят первоочередную роль объему государственного финансирования науки, а также показателю объема финансирования бизнес-сектором собственных научных разработок. Высокие значения данных параметров свидетельствуют о необходимости активного взаимодействия университетов, осуществляющих научные исследования, и бизнеса.

### Список использованных источников

1. А. И. Рудской, И. Л. Туккель. Инноватика: вопросы теории и кадрового обеспечения инновационной деятельности // *Инновации*. 2015. № 11. С. 2-10.
2. О. Г. Голиченко. Национальная инновационная система: от концепции к методологии исследования // *Вопросы экономики*. 2014. № 7. С. 35-50.
3. С. Н. Ларин, Е. В. Герасимова. Новая модель формирования инновационной инфраструктуры региона // *Материалы международной заочной научно-практической конференции «Экономика и управление: актуальные проблемы и тенденции развития»*. 2011. <https://sibac.info/conf/econom/ii/54016>.

4. О. А. Андришкевич, И. М. Денисова. Особенности формирования национальных инновационных систем // *Анализ и моделирование экономических процессов*. 2014. № 10. С. 25-51.
5. И. Н. Куликов. Модели финансирования инновационных технологий // *Управление экономическими системами*. 2015. № 8. <https://cyberleninka.ru/article/n/modeli-finansirovaniya-innovatsionnyh-tehnologiy-1>.
6. И. Л. Туккель. «Большие вызовы»: глобализация или глокализация? Вариативное проектирование стратегий научно-технологического развития // *Инновации*. № 6. 2016. С. 74-79.
7. А. А. Трифилова, Е. М. Коростышевская. Инновационная политика России: обзор публикаций журнала «Инновации» за 1996-2015 гг. // *Инновации*. № 5. 2016. С. 10-20.
8. И. Л. Литвиненко. Анализ зарубежного опыта оценки национальных инновационных систем // *Новые технологии*. 2015. № 2. С. 155-161.
9. Winning with global innovation: официальный сайт Global innovation index. <https://www.globalinnovationindex.org>.
10. World Bank Open Data: официальный сайт World Bank Group. <https://data.worldbank.org>.
11. Н. С. Цыганков. Problems of commercialization chain functioning // *Сборник материалов международной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Перспектив Свободный-2016»*. 2016. <http://nocmu.sfu-kras.ru/digest2016>.
12. Н. С. Цыганков. Problems of communication and motivation innovative infrastructure // *Сборник материалов международной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Перспектив Свободный-2016»*. 2016. <http://nocmu.sfu-kras.ru/digest2016>.
13. Н. С. Цыганков. Причины и пути решения проблем инновационной инфраструктуры // *Сборник материалов международной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Перспектив Свободный-2016»*. 2016. <http://nocmu.sfu-kras.ru/digest2016>.
14. В. В. Круглов, В. В. Борисов. Искусственные нейронные сети: теория и практика. М.: Горячая линия – Телеком, 2002. – 382 с.
15. А. Э. Касимова. Выявление наиболее значимых экономических параметров предприятия с использованием нейросетевого подхода // *Сборник материалов международной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Перспектив Свободный-2016»*. 2016. <http://nocmu.sfu-kras.ru/digest2016>.

## Sources of national innovation systems development

**N. S. Tsyganov**, postgraduate student, Institute of space and information technologies.

**A. E. Kasimova**, postgraduate student, Institute of space and information technologies.

**A. K. Moskalev**, candidate of physico-mathematical sciences, Institute of engineering physics and radioelectronics head of the department of experimental physics and Innovative technologies.

(Siberian federal university)

This article is attempt to identify the drivers for innovative development and determine the main indicators of the national innovation system functioning effectiveness. For the preparation of this article were used methods of logical-structural approach, factor analysis and neural network programming. As an empirical basis for the study were used GII monitoring data. Results of research show that the primary role in innovative development is defined to research workers engaged in R&D. In additional, the authors of the article defined 3 more potential drivers for innovation development: state's spending on R&D, financing and performance of research by private sector of economy. The results of the research can be applied for formation of the strategy of innovative development at different levels.

**Keywords:** national innovation system, innovative infrastructure, neural network programming, sources of development.