

Мониторинг научно-технологической безопасности регионов России: многокритериальный анализ

Russian regions scientific and technological security monitoring: multi-criteria analysis

doi 10.26310/2071-3010.2022.281.3.003



С. Н. Митяков,

д. ф.-м. н., профессор, директор института экономики и управления Нижегородского государственного технического университета им. П. Е. Алексеева
✉ smit@mail.ru

S. N. Mityakov,

Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Economics and Management Institute Director, Nizhny Novgorod State Technical University n. a. R. E. Alekseev



Е. С. Митяков,

д. э.н., доцент, профессор кафедры информатики МИРЭА — Российского технологического университета
✉ mityakov@mirea.ru

E. S. Mityakov,

Doctor of Economic Sciences, Associate Professor, Cybersecurity and Digital Technologies Institute Informatics Department Professor, MIREA — Russian Technological University



Д. Н. Лапаев,

д. э.н., профессор, заведующий кафедрой управления инновационной деятельностью Нижегородского государственного технического университета им. П. Е. Алексеева
✉ dnlapaev@mail.ru

D. N. Lapaev,

Doctor of Economic Sciences, Professor, Head of the Department of Innovation Management Nizhny Novgorod State Technical University n. a. R. E. Alekseev



А. И. Ладынин,

к. э.н., доцент кафедры информатики МИРЭА — Российского технологического университета
✉ ladynin@mirea.ru

A. I. Ladynin,

Candidate of Economic Sciences, Cybersecurity and Digital Technologies Institute Informatics Department Associate Professor, MIREA — Russian Technological University

Статья продолжает цикл работ, посвященных мониторингу научно-технологической безопасности регионов России. В данной работе разработан и верифицирован подход к многокритериальной оценке научно-технологической безопасности субъектов Федерации, инструментарий которого базируется на использовании двух взаимодополняющих методик: ранжирование регионов согласно определению их эффективности по Парето и иерархический кластерный анализ субъектов Федерации. Предложенный подход направлен на совершенствование процессов анализа и обработки информации в задачах принятия решений по управлению научно-технологическими процессами в субъектах Федерации и может быть эффективно использован в задачах комплексного анализа и мониторинга уровня научно-технологической безопасности регионов страны. Результаты апробации методик позволили сделать вывод о существенном расслоении регионов России по уровню научно-технологической безопасности. В рамках многокритериальной оценки, было выявлено, что в рассматриваемом динамическом диапазоне регионы в целом сохраняют свои позиции, а переходы субъектов Федерации внутри рангов незначительны. При этом, следует отметить тенденцию к выравниванию рангов и снижению их общего числа. В свою очередь, иерархическая кластеризация позволила разделить совокупность регионов страны на два ранга. В первый кластер попали субъекты Федерации с относительно благополучным уровнем научно-технологической безопасности, второй кластер составили регионы со сравнительно низкими значениями индикаторов научно-технологической безопасности. Развитием представленного подхода является более детальный анализ индикаторов по регионам, построение прогностических моделей изменения индикаторов и выявление причинно-следственных связей.

The article continues works series devoted to Russian regions' scientific and technological security monitoring. We've developed and verified an approach to Federation's subjects scientific and technical security multi-criteria assessment. This approach is based Two methods are basic for this specific approach: regions' Pareto efficiency ranking and its hierarchical cluster analysis. The proposed tools are aimed at information analysis and processing processes improvement during decision-making. It is also instruments for country's regions scientific and technological security monitoring. Presented methods verification results made it possible to draw a conclusion about regions' significant stratification in terms of scientific and technological security level. As a multi-criteria assessment part, it was found that in the considered dynamic range, regions generally retain their positions, and Federation subjects transitions within the ranks are insignificant. Should be noted that there is a tendency to ranks equalization and their total number reduce. Meanwhile, hierarchical clustering made it possible to divide country's regions totality into two clusters. The first cluster includes subjects with scientific and technological security relatively favorable level. The second one consists of regions with relatively low scientific and technical security indicators values. Presented approach further development regards more detailed indicators analysis indicators changes predictive models construction and cause-and-effect relationships identification.

Ключевые слова: научно-технологическая безопасность, многокритериальный анализ, ранжирование по Парето, иерархическая кластеризация, мониторинг.

Keywords: scientific and technological security, multicriteria analysis, Pareto ranking, hierarchical clustering, monitoring.

Многокритериальный анализ в экономике

Современные технологии поддержки принятия решений предполагают применение инструментария экономико-математического моделирования, обеспе-

чивающего многосторонний анализ проблемы. При этом, взвешенные управленческие решения требуют исследований в динамике, многокритериальной оценки допустимых альтернатив и прогнозирования вероятных результатов.

Проблемы анализа научно-технологической безопасности определяют необходимость учета множества параметров рассматриваемой социально-экономической системы в комплексе. В дополнение к индексному методу исследования научно-технологической безопасности [1] в данной работе дано два альтернативных подхода к построению обобщенных оценок для регионов России. Первый подход базируется на использовании теории оптимизации по Парето [2]. Применение названного подхода дает возможность формирования оптимального, или эффективного по Парето, множества анализируемых объектов (альтернатив). Альтернатива называется эффективной по Парето, если любая другая альтернатива, более предпочтительная по какому-либо критерию, оказывается хотя бы по одному из других критериев менее предпочтительной, чем данная [3]. Для упрощения построения Парето-оптимального множества в работе [4] приведены разнообразные методики, базирующиеся на поэтапной идентификации эффективных вариантов, которые имеют оптимальные значения показателей, и исключении доминируемых ими альтернатив.

Теория оптимизации по Парето широко развита в экономических исследованиях. Так, в работе [5] разобрано содержание, теоретико-практическое значение дефиниции оптимального по Парето решения, анализируются разнообразные условия оптимальности, исследуются свойства множества Парето, обоснована базовая роль Парето оптимумов в многокритериальных задачах принятия управленческих решений. В статье [6] рассмотрены вопросы поиска управленческих многокритериальных оптимальных по Парето решений в рамках развития умного города на базе его цифрового двойника, разработан методический инструментарий поиска Парето-оптимальных решений по нескольким критериям с использованием нелинейного анализа чувствительности показателей эффективности. В исследовании [7] представлены результаты использования метода Парето-оптимальных проекций в анализе региональной структуры отечественной экономики. В работе [8] дана оценка параметров формирования социоэкономического кластера на базе Парето-оптимизации, проанализированы предпосылки и значение создания такого кластера.

Второй подход основан на применении иерархической кластеризации, которая предполагает упорядочивание данных о состоянии научно-технологической безопасности регионов и формирование иерархии вложенных кластеров [9]. Инструментарий кластерного анализа используется во многих отраслях науки и практики, в том числе в задачах исследования социально-экономических процессов. Например, в работе [10] показана возможность использования кластерного анализа при поиске эффективного метода управления персоналом. В исследовании [11] кластерный анализ задействован в задаче исследования социоэкономического развития территорий Центрального федерального округа и, в частности, Ярославской области. В работе [12] приведены результаты кластерного анализа районов Оренбургской области на основе показателей, характеризующих социальное развитие сельских территорий.

Ряд работ посвящен исследованию научных и инновационных процессов в регионах с использованием математического аппарата кластерного анализа. Так, в работе [13] кластерный подход задействован для ранжирования регионов РФ по уровню инновационной и научной активности. В исследовании [14] даны результаты оценки инновационного потенциала региональных экономик с использованием методов кластеризации. В статье [15] представлен кластерный анализ инновационной деятельности регионов с использованием комплекса критериев инновационной эффективности и результативности инновационной деятельности.

На наш взгляд, совместное использование двух названных подходов, сочетание и комбинирование методов исследования в многокритериальной количественной оценке научно-технологической безопасности субъектов Федерации позволит в значительной мере повысить достоверность итоговых выводов, направленных на помощь в принятии эффективных управленческих решений в научно-технологической деятельности регионов.

Многокритериальный анализ научно-технологической безопасности с использованием метода Парето

Анализ социально-экономических процессов в комплексе показателей всегда выступал альтернативой их исследования по отдельным критериям. Использование множества оцениваемых параметров в своей совокупности демонстрирует свою релевантность при значительной неопределенности конъюнктуры. В профильной литературе практически отсутствуют методики решения задачи оценки научно-технологической безопасности территорий сразу в комплексе показателей. Однако существуют научные работы по многокритериальной оценке экономической безопасности [16, 17]. В данном исследовании предлагается экстраполировать и адаптировать методический инструментарий, описанный в работе [17], к исследованию уровня научно-технологической безопасности регионов. Одним из возможных решений такой задачи может выступать методика, основанная на поиске Парето-оптимального множества регионов с возможностью последующего их ранжирования.

Рассмотрим этапы ранжирования регионов. Графически совокупность действий можно представить в виде структурной схемы, представленной на рис. 1. Приведенный алгоритм предполагает совокупность следующих последовательных этапов: подготовку начальных данных; выбор критериев, значимых в контексте тематики проводимого исследования; выбор регионов (альтернатив) для поиска рангов; оценку соответствия регионов выбранным критериям; формирование множества субъектов Федерации с наилучшими значениями критериев научно-технологической безопасности, т. е. множество эффективных решений. Результатами ранжирования выступают обоснованные рекомендации по совершенствованию механизмов мониторинга и управления научно-технологическим развитием регионов Российской Федерации.

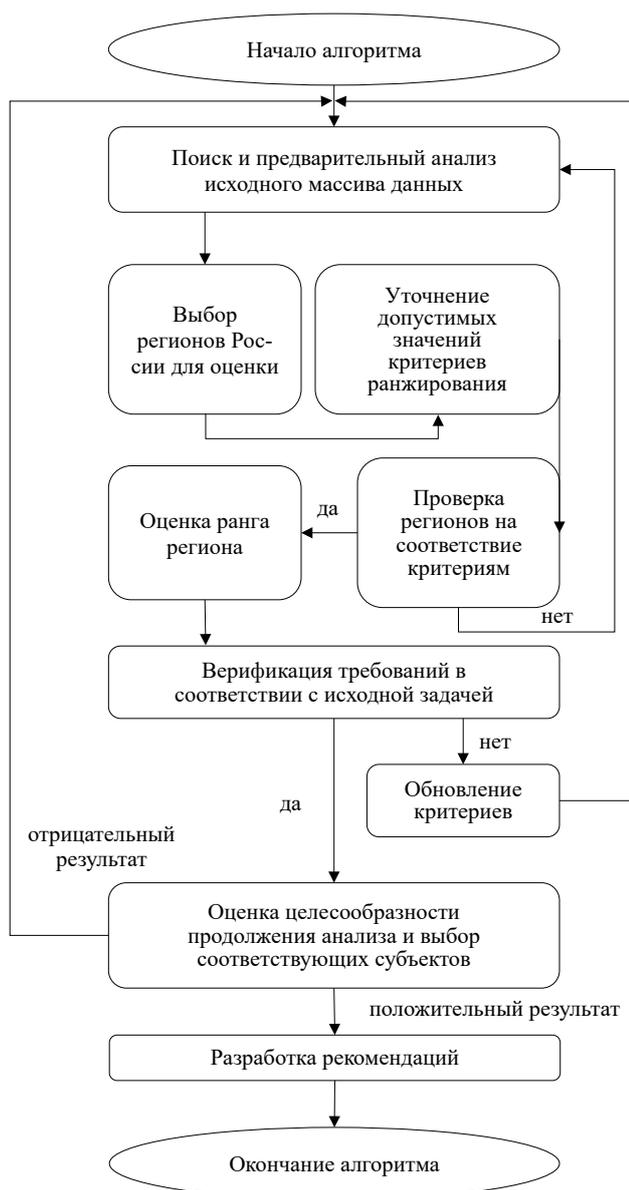


Рис. 1. Блок-схема этапов многокритериального анализа
 Источник: разработано авторами

Рассмотрим практическую реализацию принципа Парето на примере системы индикаторов научно-технологической безопасности (НТБ) регионов России, которая приведена в первой статье данного цикла [18]. Система включает 5 проекций («Научный потенциал», «Инновационный потенциал», «Технологическое развитие», «Результативность научно-технологического развития», «Инновационный потенциал малого бизнеса»), каждая из которых включает по три индикатора.

Важным этапом многокритериального анализа выступает выбор критериев для исследования научно-технологической безопасности субъектов Федерации. В качестве критериев исследования выступали индикаторы научно-технологической безопасности, разработанные в [18]. Далее, исходя из целей анализа, происходит отбор альтернатив (регионов) из числа регионов страны. Для различных задач могут быть востребованы разнообразные подходы к определению исследуемых объектов. Определим некоторые из них:

- выбор регионов в составе одного федерального округа с целью их позиционирования в составе макрорегиона;
- выбор регионов схожих по задачам в своем научно-технологическом развитии в составе различных федеральных округов;
- определение регионов для их сравнения с другими территориями за рубежом.

Для иллюстрации работы методики многокритериального анализа приведем некоторые результаты расчетов по нахождению рангов регионов. Ранжированию подлежали регионы Центрального (ЦФО) и Приволжского (ПФО) федеральных округов внутри каждой проекции. При этом рассматривались динамические ряды индикаторов за период с 2016 по 2021 год. Результат анализа проекции «Научный потенциал» представлены в табл. 1 и табл. 2.

Динамический анализ табл. 1 позволяет констатировать, что по совокупности показателей проекции «Научный потенциал» неизменными лидерами выступают г. Москва, Белгородская, Липецкая, Ивановская, Орловская и Московская области. Каутсайдерам среди субъектов Федерации можно отнести Рязанскую область, Смоленскую область и т. д. Курская область демонстрирует отрицательный тренд в динамике по совокупности показателей. В свою очередь многокритериальная оценка аналогичных показателей для Приволжского федерального округа (табл. 2) позво-

Таблица 1.

Многокритериальная оценка научно-технологической безопасности регионов ЦФО: динамический анализ проекции «Научный потенциал»

| № | Название региона | Год | | | | |
|--------------------------|----------------------|----------|----------|----------|----------|----------|
| | | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 |
| 1 | Белгородская область | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 2 | Брянская область | 3 | 4 | 3 | 3 | 3 |
| 3 | Владимирская область | 3 | 3 | 3 | 3 | 4 |
| 4 | Воронежская область | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| 5 | Ивановская область | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 6 | Калужская область | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| 7 | Костромская область | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| 8 | Курская область | 3 | 2 | 4 | 4 | 5 |
| 9 | Липецкая область | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 10 | Московская область | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 11 | Орловская область | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 |
| 12 | Рязанская область | 4 | 4 | 4 | 4 | 5 |
| 13 | Смоленская область | 5 | 4 | 4 | 4 | 4 |
| 14 | Тамбовская область | 2 | 3 | 2 | 2 | 2 |
| 15 | Тверская область | 3 | 3 | 2 | 3 | 3 |
| 16 | Тульская область | 4 | 4 | 4 | 3 | 3 |
| 17 | Ярославская область | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| 18 | г. Москва | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Количество рангов | | 5 | 4 | 4 | 4 | 5 |

Источник: разработано авторами

Таблица 2.

Многокритериальная оценка научно-технологической безопасности регионов ПФО: динамический анализ проекции «Научный потенциал»

| № | Название региона | Год | | | | |
|--------------------------|-------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|
| | | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 |
| 1 | Республика Башкортостан | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 |
| 2 | Республика Марий Эл | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 3 | Республика Мордовия | 4 | 3 | 4 | 3 | 2 |
| 4 | Республика Татарстан | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 5 | Удмуртская Республика | 2 | 3 | 3 | 3 | 2 |
| 6 | Чувашская Республика | 3 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| 7 | Пермский край | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 8 | Кировская область | 3 | 2 | 3 | 1 | 1 |
| 9 | Нижегородская область | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 10 | Оренбургская область | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 11 | Пензенская область | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 |
| 12 | Самарская область | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| 13 | Саратовская область | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 14 | Ульяновская область | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 |
| Количество рангов | | 4 | 3 | 4 | 3 | 2 |

Источник: разработано авторами

ляет сделать вывод о наличии явных лидеров в рассматриваемом временном периоде. Высокую научную активность продемонстрировали Нижегородская, Ульяновская, Саратовская области, республика Татарстан, Пермский край и, что весьма неожиданно, республика Марий Эл. Следует отметить снижение числа рангов в 2020 г. вдвое по отношению к 2016 г.

Характерную динамику показателей можно объяснить снижением научной деятельности в следствии пандемии коронавируса и последующим «выравниванием» оценок. Также, следует отметить общую склонность оценок регионов к полярным значениям рангов, явно присутствуют лидеры и аутсайдеры распределения. Представленные таблицы иллюстрируют характер научной активности, однако не позволяют сделать общий однозначный вывод, для этого необходимо прибегнуть к анализу обобщенных значений.

В рамках данного исследования подобные многокритериальные оценки были построены и для остальных проекций системы показателей: «Инновационный потенциал», «Технологическое развитие», «Результативность научно-технологического развития», «Потенциал малого бизнеса». Анализ показал, что практически для всех проекций в ПФО и ЦФО характерно присутствие в роле лидеров и аутсайдеров практически тех же регионов, что и для проекции «Научный потенциал».

Далее в рамках исследования было проведена обобщенная оценка для регионов ПФО и ЦФО. В качестве критериев для многокритериальной оценки были выбраны рассчитанные согласно индексному методу обобщенные индексы научно-технологиче-

ской безопасности для каждой проекции [1]. Таким образом количество критериев оказалось равно пяти. В дальнейших исследованиях предполагается разработка соответствующих методик определения весовых коэффициентов для вычисления весов нормированных показателей в средних индексах. Данная задача предполагает системный подход: необходимо выделить наиболее значимые индикаторы, рассчитать их веса в контексте анализируемой проблемы, сформировать поправочные коэффициенты с учетом территориального и исторического контекста. Подобное исследование выходит за рамки настоящей статьи, однако представляет существенный интерес с точки зрения ретроспективного анализа и систематизации ключевых факторов, оказывающих существенное влияние на прогнозирование общего уровня научно-технологической безопасности региона и страны. В рамках данного исследования при вычислении средних индексов проекций, нормированные показатели суммировались с одинаковыми весами. Также отметим, что для построения средних показателей использовались данные по четырем проекциям научно-технологической безопасности за период 2016–2019 гг., поскольку в официальной статистике отсутствуют более актуальные данные по требуемым показателям, а данные по проекции «Потенциал малого бизнеса» имеют период дискретизации два года и представлены только за 2015, 2017, 2019 гг.

Таблица 3.

Многокритериальная оценка научно-технологической безопасности регионов ЦФО: динамический анализ по средним индексам проекции

| № | Название региона | Год | | | |
|--------------------------|----------------------|----------|----------|----------|----------|
| | | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 |
| 1 | Белгородская область | 2 | 1 | 2 | 1 |
| 2 | Брянская область | 3 | 4 | 4 | 3 |
| 3 | Владимирская область | 2 | 2 | 2 | 2 |
| 4 | Воронежская область | 3 | 3 | 3 | 3 |
| 5 | Ивановская область | 3 | 2 | 3 | 3 |
| 6 | Калужская область | 3 | 2 | 2 | 3 |
| 7 | Костромская область | 3 | 3 | 3 | 3 |
| 8 | Курская область | 3 | 3 | 3 | 4 |
| 9 | Липецкая область | 2 | 2 | 2 | 2 |
| 10 | Московская область | 1 | 1 | 2 | 2 |
| 11 | Орловская область | 3 | 4 | 3 | 3 |
| 12 | Рязанская область | 2 | 3 | 3 | 2 |
| 13 | Смоленская область | 4 | 3 | 3 | 3 |
| 14 | Тамбовская область | 2 | 3 | 2 | 2 |
| 15 | Тверская область | 2 | 2 | 3 | 2 |
| 16 | Тульская область | 3 | 2 | 2 | 2 |
| 17 | Ярославская область | 2 | 2 | 2 | 2 |
| 18 | г. Москва | 1 | 2 | 2 | 2 |
| Количество рангов | | 4 | 4 | 3 | 4 |

Источник: разработано авторами

Итак, в результате обобщения, получим следующие ранги, характеризующие распределение позиций регионов Центрального (табл. 3) и Приволжского (табл. 4) федеральных округов.

Анализ таблицы 3 позволяет сделать вывод о присутствии выраженных лидеров по перечню анализируемых индикаторов. Так, г. Москва, Белгородская и Московская области являются лидерами ранжирования, в то время как Смоленская, Орловская и Курская области явно отстают. Следует отметить, что представленные ранги не включают проекцию результативности НТР, т. к. индикатор несравним, в следствие отсутствия необходимых значений в 2016 и 2018 гг.

Аналогичный анализ таблицы 4, в которой представлен обобщенный по четырем проекциям индекс уровня научно-технологической безопасности для ПФО, позволяет сделать вывод о более сглаженном распределении. Действительно, число рангов для Приволжского федерального округа отличается в меньшую сторону, что свидетельствует о более компактном распределении индикаторов. Предположительно, это вызвано сравнительно более схожими значениями анализируемых индикаторов. Отметим, что лидерами обоих распределений стали крупные центры федерального масштаба и их спутники: Москва и Московская область, Белгородская, Нижегородская область и Республика Татарстан соответственно.

Иерархическая кластеризация регионов России по уровню научно-технологической безопасности

Построение оптимальных в смысле Парето оценок не является единственным подходом к решению

Таблица 4.

Многокритериальная оценка научно-технологической безопасности регионов ПФО: динамический анализ по средним индексам проекции

| № | Название региона | Год | | | |
|--------------------------|-------------------------|----------|----------|----------|----------|
| | | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 |
| 1 | Республика Башкортостан | 2 | 2 | 3 | 3 |
| 2 | Республика Марий Эл | 3 | 2 | 2 | 2 |
| 3 | Республика Мордовия | 2 | 2 | 2 | 2 |
| 4 | Республика Татарстан | 2 | 1 | 1 | 1 |
| 5 | Удмуртская Республика | 2 | 2 | 3 | 3 |
| 6 | Чувашская Республика | 2 | 2 | 2 | 2 |
| 7 | Пермский край | 2 | 2 | 2 | 2 |
| 8 | Кировская область | 3 | 3 | 3 | 2 |
| 9 | Нижегородская область | 1 | 2 | 1 | 1 |
| 10 | Оренбургская область | 3 | 3 | 3 | 3 |
| 11 | Пензенская область | 2 | 2 | 2 | 3 |
| 12 | Самарская область | 2 | 2 | 2 | 2 |
| 13 | Саратовская область | 3 | 3 | 3 | 3 |
| 14 | Ульяновская область | 2 | 2 | 2 | 2 |
| Количество рангов | | 3 | 3 | 3 | 3 |

Источник: разработано авторами

комплексной задачи оценки научно-технологической безопасности. Целесообразным расширением названного инструментария выступает математический аппарат машинного обучения. В рамках настоящего исследования произведем иерархическую кластеризацию [19] регионов в соответствии с рассматриваемыми признаками.

Кластерный анализ регионов по уровню научно-технологической безопасности — процедура многомерной статистической обработки информации, нацеленная на упорядочивание субъектов Федерации в сравнительно однородные группы. Кластерный анализ позволяет оценить близость регионов по научному развитию и технологическому уровню, ранжировать и актуализировать ключевые проблемы в рамках обеспечения должного уровня научно-технологической безопасности.

В научной литературе выделяют значительное многообразие методов кластеризации данных, однако в самом общем случае их систематизируют на плоские и иерархические. В задачах, когда первоначальное число однородных групп определить довольно проблематично, обычно целесообразно задействовать методы иерархической кластеризации. Такие методы также называют кластеризацией на базе подключения [20], в ходе которой создается иерархия рассматриваемых объектов. Результатом иерархической кластеризации выступает древовидная структура (дендрограмма), которая демонстрирует вложенную группировку и уровни сходства кластеризируемых альтернатив. Таким образом строится система вложенных разбиений. Количество кластеров по дендрограмме обычно определяет сам исследователь. В нашем исследовании иерархическая кластеризация может позволить представить распределение субъектов Федерации по уровню научно-технологической безопасности.

Для построения дендрограммы необходимо наличие матрицы различия (или сходства) между парами кластеров. Поиск такой матрицы основывается на определении критерия связи между кластерами. В ходе иерархической кластеризации происходит объединение пары кластеров, для которых критерий связи минимален. Наиболее часто используются следующие методы определения критерия связи [21]: метод Варда, метод полной связи (дальнего соседа), метод одиночной связи (ближайшего соседа), метод средней связи. Отметим, что при использовании различных алгоритмов кластеризации и критериев связи между кластерами для одного множества анализируемых объектов могут получиться различные результаты.

Кластерный анализ индикаторов научно-технологической безопасности регионов России производился на основе нормированных индексов, представленных в статье [1]. В данном случае была использована вся совокупность системы индикаторов, а именно — 15 показателей, разделенных по пяти проекциям. В качестве начальных данных были выбраны 83 региона Российской Федерации. Использовались данные за 2019 год (рис. 2). В настоящем исследовании для определения критерия использовался метод Варда, кластерные расстояния рассчитывались согласно евклидовой метрике.

Результаты анализа всей совокупности регионов страны показывают явную тенденцию к выделению двух кластеров. В первый кластер определим субъекты Федерации с относительно благополучным уровнем научно-технологической безопасности. Вторым кластер представляют регионы со сравнительно низким уровнем научно-технологической безопасности, что характерно для регионов, не обладающих индустриальной и кадровой базой, а также историческим контекстом их развития. Распределение субъектов Федерации по кластерам представлено в таблице 5.

Среди субъектов Федерации, расположенных в первом кластере, выделяется г. Санкт-Петербург. Попадание региона в данную группу может быть обусловлено относительно низкими значениями показателей проекции «Инновационное развитие малого бизнеса». Также, северная столица отстает от средних по России значений в части остепененных исследователей. Еще раз отметим, что при использовании другого критерия связи и выборе иной метрики расстояний между кластерами может быть получен другой результат.

На рис. 2 и рис. 3 приведены дендрограммы иерархической кластеризации для регионов Центрального и Приволжского федеральных округов соответственно. В приведенных на рисунках иерархических дендро-

граммах, на наш взгляд, для обоих макрорегионов характерно наличие двух кластеров. В ЦФО первый кластер относительно благополучных регионов по уровню научно-технологической безопасности представлен г. Москва, Калужской, Рязанской, Владимирской, Ярославской, Курской, Тверской, Тульской, Воронежской и Московской областями. Остальные регионы округа составили второй кластер (рис. 2).

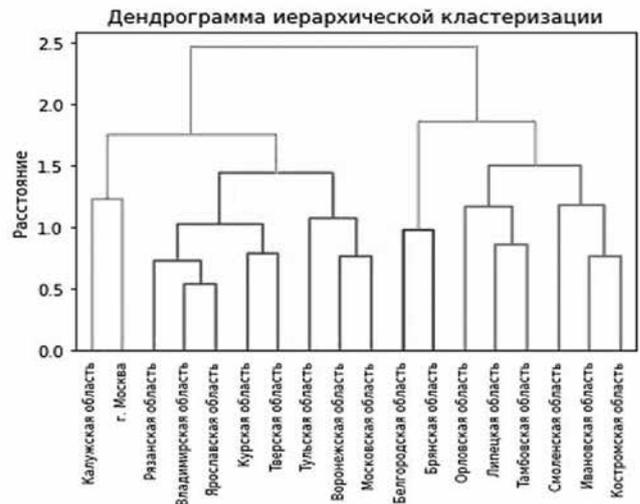


Рис. 2. Кластерный анализ регионов Центрального федерального округа
Источник: составлено авторами

Таблица 5.

Распределение регионов по кластерам

| | |
|---------------------------------|--|
| Регионы первого кластера | Амурская область, Республика Алтай, Челябинская область, Ярославская область, Забайкальский край, Республика Ингушетия, Омская область, Кабардино-Балкарская Республика, г. Севастополь, Карачаево-Черкесская Республика, Сахалинская область, Республика Бурятия, Тюменская область, Красноярский край, Приморский край, Архангельская область, Республика Хакасия, Республика Адыгея, Республика Дагестан, г. Санкт-Петербург, Республика Крым, Калужская область, Республика Карелия, Краснодарский край, Владимирская область, Ивановская область, Мурманская область |
| Регионы второго кластера | Белгородская область, Брянская область, Воронежская область, Костромская область, Курская область, Рязанская область, Липецкая область, Московская область, Орловская область, Тамбовская область, Тверская область, Тульская область, г. Москва, Республика Коми, Вологодская область, Калининградская область, Ленинградская область, Новгородская область, Псковская область, Республика Калмыкия, Астраханская область, Волгоградская область, Ростовская область, Республика Северная Осетия — Алания, Чеченская республика, Ставропольский край, Республика Башкортостан, Республика Марий Эл, Республика Мордовия, Республика Татарстан, Удмуртская Республика, Чувашская Республика, Пермский край, Кировская область, Нижегородская область, Оренбургская область, Пензенская область, Самарская область, Саратовская область, Ульяновская область, Курганская область, Свердловская область, Республика Тыва, Алтайский край, Иркутская область, Кемеровская область, Новосибирская область, Томская область, Республика Саха (Якутия), Камчатский край, Хабаровский край, Магаданская область, Еврейская автономная область, Чукотский автономный округ |

Источник: разработано авторами

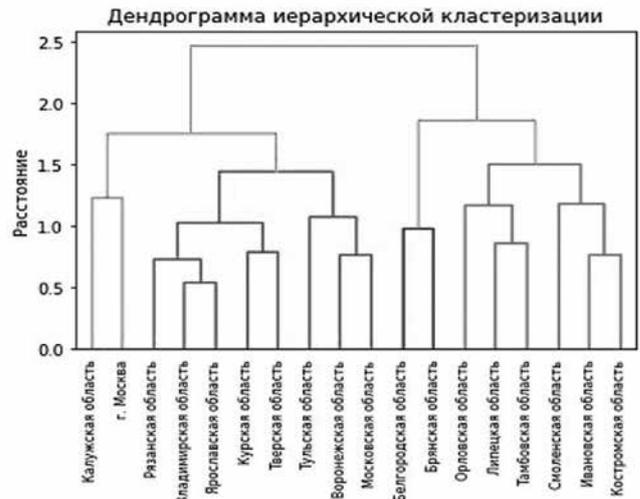


Рис. 3. Кластерный анализ регионов Приволжского федерального округа
Источник: составлено авторами

В ПФО в кластере с высокой научно-технологической безопасностью расположились исторически наукоемкие регионы. К субъектам, характеризующимся высокими показателями НТБ относятся Нижегородская, Ульяновская, Самарская, Пензенская области, а также Республики Татарстан, Башкортостан, Чувашия и Пермский край. Остальные регионы показывают сравнительно более низкие значения анализируемых показателей (рис. 3).

Заключение

Несмотря на высокую сложность оценки научно-технологической активности регионов, следует отметить перспективы применения экономико-математического инструментария для решения задач совершенствования политики управления наукоемким сектором в Российской Федерации.

Результаты анализа позволяют сделать вывод о существенной дифференциации уровней научно-технологической безопасности регионов России. В рамках многокритериальной оценки было выявлено, что в рассматриваемом динамическом диапазоне регионы в целом сохраняют свои позиции, переходы субъектов Федерации внутри рангов незначительны. При этом, следует отметить тенденцию к выравниванию рангов, снижению их общего числа. В свою очередь, иерархическая кластеризация позволила разделить совокупность регионов страны на два ранга. Развитием

представленного подхода является более детальный анализ индикаторов по регионам, построение прогностических моделей изменения индикаторов и выявление причинно-следственных связей наблюдаемой динамики.

Таким образом, в работе представлен и верифицирован один из возможных методических подходов ко многокритериальной оценке научно-технологической безопасности субъектов Федерации. Инструментарий данного подхода основан на использовании двух взаимодополняющих методик: ранжировании регионов по Парето и иерархический кластерный анализ субъектов РФ. Данный инструментарий нацелен на совершенствование процессов анализа и обработки информации в задачах принятия решений по управлению научно-технологическими процессами и может быть эффективно использован в задачах комплексного анализа и мониторинга уровня научно-технологической безопасности регионов страны.

Список использованных источников

1. Митяков, С. Н. Мониторинг научно-технологической безопасности регионов России: индексный подход/С. Н. Митяков, Е. С. Митяков, Н. А. Мурашова, А. И. Ладынин// *Инновации*. 2022. № 2 (280). С. 33–41.
2. Парето, В. *Компендиум по общей социологии*: [пер. с итал.]/В. Парето. — М.: Гос. ун-т Высш. шк. экономики, 2007. — 511 с.
3. *Экономико-математический энциклопедический словарь*/Гл. ред. В. И. Данилов-Данильян. М.: ИНФРА-М, 2003. — 688 с.
4. Лапаев, Д. Н. Многокритериальное принятие решений в экономике: монография/Д. Н. Лапаев. — 2-е изд. — Нижний Новгород: НГТУ, 2016. — 281 с.
5. Подиновский, В. В. Парето-оптимальные решения многокритериальных задач/В. В. Подиновский, В. Д. Ногин. — М.: Физматлит, 2007. — 256 с.
6. Абрамов, В. И. Методика поиска Парето-оптимальных решений по развитию умных городов на базе их цифровых двойников/В. И. Абрамов, О. Л. Головин, А. Д. Столяров// *Современная экономика: проблемы и решения*. — 2021. — № 9 (141). — С. 8–15.
7. Гребенников, В. Г. Применение метода Парето-оптимальных проекций к анализу региональной структуры российской экономики/В. Г. Гребенников// *Вестник МИРБИС*. — 2021. — № 4 (28). — С. 52–59.
8. Доничев, О. А. Оценка параметров формирования социально-экономического кластера на основе метода Парето-оптимизации/О. А. Доничев, З. В. Мищенко, О. Г. Молчанова// *Экономический анализ: теория и практика*. — 2014. — № 6 (357). — С. 17–24.
9. Tryon R. C. *Cluster analysis*. — London: Ann Arbor Edwards Bros, 1939. — 139 p.
10. Ломидзе, О. Н. Кластерный анализ в социологических исследованиях/О. Н. Ломидзе// *Ученые записки Российского государственного социального университета*. — 2011. — № 9 (97). Ч. 1. — С. 38–42.
11. Жолудева, В. В. Применение кластерного анализа для оценки социально-экономического развития регионов на примере ЦФО и Ярославской области/В. В. Жолудева, Н. Ф. Мельниченко, Г. Е. Козлов// *Экономика, Статистика и Информатика*. — 2014. — № 1. — С. 144–148.
12. Десярева, Т. Д. Исследование дифференциации социального развития сельских территорий/Т. Д. Десярева, Е. А. Чулкова, Е. С. Торбина// *Известия Оренбургского государственного аграрного университета*. — 2015. — № 5. — С. 212–216.
13. Моденова, А. А. Кластерный анализ регионов России по научной и инновационной активности/А. А. Моденова, И. М. Якимов// *Научные исследования: от теории к практике*. — 2015. — Т. 2. — № 2 (3). — С. 69–72.
14. Шматко, А. Д. Кластерный анализ инновационного потенциала субъектов РФ/А. Д. Шматко, С. В. Губин// *Управленческое консультирование*. — 2020. — № 3. — С. 61–72.
15. Дмитриев, Ю. Кластерный анализ инновационной деятельности в регионах Центрального федерального округа/Ю. Дмитриев, Д. Фраймович, З. Мищенко// *Вестник Института экономики Российской академии наук*. — 2013. — № 3. — С. 79–87.
16. Кузьмин, В. А. Оценка угроз экономической безопасности методом иерархического синтеза/В. А. Кузьмин, К. Е. Токарев// *Современные проблемы науки и образования*. — 2013. — № 2. — С. 357.
17. Лапаев, Д. Н. Методика многокритериальной оценки экономической безопасности регионов России (на примере Приволжского федерального округа)/Д. Н. Лапаев, Е. С. Митяков// *Экономика, статистика и информатика. Вестник УМО*. — 2013. — № 4. — С. 151–154.
18. Митяков, С. Н. Мониторинг научно-технологической безопасности регионов России: концептуальные аспекты/С. Н. Митяков, Е. С. Митяков, Н. А. Мурашова, А. И. Ладынин// *Инновации*. 2022. № 1 (279). С. 58–65.
19. Жамбю, М. Иерархический кластер-анализ и соответствия/М. Жамбю. — М.: Финансы и статистика, 1988. — 345 с.
20. Гичиев, Н. С. Кластерный анализ в экономике: теоретический аспект/Н. С. Гичиев// *Региональные проблемы преобразования экономики*. — 2020. — № 8 (118). — С. 176–186.
21. *Классификация и кластер*. Под ред. Дж. Вэн Райзина. М.: Мир, 1980. 390 с.

References

1. Mityakov, S. N., Mityakov E. S., Murashova N. A., Ladynin A. I. Russian regions scientific and technological security monitoring: index approach *Innovacii* [Innovations]. 2022. No. 2 (280). Pp. 33–41. (In Russian)
2. Pareto, V. *Compendium of General Sociology*: [tr. from Italian] M.: Gos. un-t Vyssh. shk. jekonomiki [State. Univ. Higher School of Economics], 2007. — 511 p. (In Russian)
3. *Economics and Mathematics Encyclopedic Dictionary*/Ch. ed. V. I. Danilov-Danilyan. M.: INFRA-M [INFRA-M], 2003. — 688 p. (In Russian)
4. Lapayev, D. N. *Multi-criteria decision making in economics: monograph*. — 2nd ed. — Nizhny Novgorod: NGTU [Nizhny Novgorod: NGTU], 2016. — 281 p.
5. V. V. Podinovskiy, V. D. Nogin, Pareto-optimal solutions for multiobjective problems. — M.: Fizmatlit [Fizmatlit], 2007. — 256 p. (In Russian)
6. Abramov, V. I., Golovin, O. L., Stolyarov, A. D. Methods of searching for Pareto-optimal solutions for the development of smart cities based on their digital counterparts. *Sovremennaja jekonomika: problemy i reshenija* [Modern Economics: Problems and Solutions]. — 2021. — No. 9 (141). — pp. 8–15. (In Russian)
7. Grebennikov, V. G. Application of the method of Pareto-optimal projections to the analysis of the regional structure of the Russian economy. *Vestnik MIRBIS* [MIRBIS Bulletin]. — 2021. — No. 4 (28). — pp. 52–59. (In Russian)
8. Donichev, O. A., Mishchenko Z. V., Molchanova O. G. Evaluation of the parameters of the formation of a socio-economic cluster based on the Pareto-optimization method. *Jekonomicheskij analiz: teorija i praktika* [Economic analysis: theory and practice]. — 2014. — No. 6 (357). — pp. 17–24. (In Russian)
9. Tryon, R. C. *Cluster analysis*. — London: Ann Arbor Edwards Bros, 1939. — 139 p.
10. Lomidze, O. N. Cluster analysis in sociological research. *Uchenye zapiski Rossijskogo gosudarstvennogo social'nogo universiteta* [Scientific Notes of the Russian State Social University]. — 2011. — No. 9 (97). Part 1. — pp. 38–42. (In Russian)
11. Zholudeva, V. V., Melnichenko N. F., Kozlov G. E. Application of cluster analysis to assess the socio-economic development of regions on the example of the Central Federal District and the Yaroslavl region. *Jekonomika, Statistika i Informatika* [Economics, Statistics and Informatics]. — 2014. — No. 1. — p. 144–148.

12. Degtyareva, T. D., Chulkova E. A., Torbina E. S. Study of the differentiation of social development of rural areas. *Izvestija Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Proceedings of the Orenburg State Agrarian University]. — 2015. — No. 5. — pp. 212–216. (In Russian)
13. Modenova, A. A., Yakimov I. M. Cluster analysis of Russian regions in terms of scientific and innovative activity. *Nauchnye issledovaniya: ot teorii k praktike* [Scientific research: from theory to practice]. — 2015. — T. 2. — No. 2 (3). — pp. 69–72. (In Russian)
14. Shmatko, A. D., Gubin S. V. Cluster analysis of the innovative potential of subjects of the Russian Federation. *Upravlencheskoe konsultirovanie* [Management consulting]. — 2020. — No. 3. — pp. 61–72. (In Russian)
15. Dmitriev, Y., Fraimovich D., Mishchenko Z. Cluster analysis of innovation activities in the regions of the Central Federal District. *Vestnik Instituta jekonomiki Rossijskoj akademii nauk* [Institute of Economics of the Russian Academy of Sciences Bulletin]. — 2013. — No. 3. — pp. 79–87. (In Russian)
16. Kuzmin, V. A., Tokarev K. E. Evaluation of threats to economic security by the method of hierarchical synthesis. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya* [Modern problems of science and education]. — 2013. — No. 2. — P. 357.
17. Lapaev, D. N., Mityakov E. S. Methods of multi-criteria assessment of the economic security of Russian regions (on the example of the Volga Federal District). *Jekonomika, statistika i informatika. Vestnik UMO* [Economics, Statistics and Informatics. UMO Bulletin]. — 2013. — No. 4. — pp. 151–154 (In Russian)
18. Mityakov, S. N., Mityakov E. S., Murashova N. A., Ladynin A. I. Russian regions scientific and technological security monitoring: conceptual aspects *Innovacii* [Innovations]. 2022. No. 1 (279). Pp. 58–65. (In Russian)
19. Zhambyu, M. Hierarchical cluster analysis and correspondences. — M.: *Finansy i statistika* [Finance and statistics], 1988. — 345 p. (In Russian)
20. Gichiev, N. S. Cluster analysis in the economy: theoretical aspect *Regionalnye problemy preobrazovaniya jekonomiki* [Regional problems of transformation of the economy]. — 2020. — No. 8 (118). — pp. 176–186. (In Russian)
21. Classification and cluster. Ed. J. Wen Raizina. M.: Mir [Mir], 1980. 390 p. (In Russian)