



Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Экономика. Управление. Право. 2022. Т. 22, вып. 1. С. 42–52

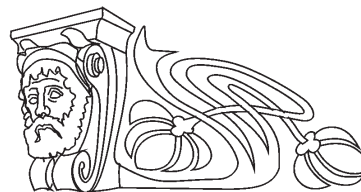
Izvestiya of Saratov University. Economics. Management. Law, 2022, vol. 22, iss. 1, pp. 42–52

<https://eup.sgu.ru>

<https://doi.org/10.18500/1994-2540-2022-22-1-42-52>

Научная статья
УДК 51.77+004.9

Моделирование динамики рисков региональной конкурентоспособности



Г. Ю. Чернышова , И. В. Вешнева, Г. Е. Роках

Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н. Г. Чернышевского, Россия, 410012, г. Саратов, ул. Астраханская, д. 83

Чернышова Галина Юрьевна, кандидат экономических наук, доцент кафедры дискретной математики и информационных технологий, galacherny@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6464-0408>

Вешнева Ирина Владимировна, доктор технических наук, профессор кафедры информационных систем и технологий в обучении, veshnevaiv@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-3908-370X>

Роках Глеб Евгеньевич, студент факультета компьютерных наук и информационных технологий, g.rokah@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8845-2084>

Аннотация. Введение. Для определения стратегических направлений регионального развития в целях повышения конкурентоспособности необходимо основываться на системном анализе факторов и рисков, использовать современный инструментарий математического моделирования. Для построения динамических моделей оценки рисков конкурентоспособности применен подход на основе систем дифференциальных уравнений Колмогорова – Чепмена для марковских процессов *Теоретический анализ*. В исследовании рассматривается методика применения логико-вероятностного подхода к оценке рисков региональной конкурентоспособности. *Эмпирический анализ*. Для сравнительной оценки рисков конкурентоспособности на этапе предварительной обработки данных применен кластерный анализ с помощью модифицированного метода *k-means*. На основе иерархической системы рисков региональной конкурентоспособности сформирована система уравнений Колмогорова – Чепмена. Динамическая оценка рисков конкурентоспособности осуществлена для трех базовых сценариев. **Результаты.** Для выделенного кластера из 33 регионов, соответствующих высокому уровню социально-экономического развития, получены предикативные оценки вероятностей критических событий, связанных с рисками конкурентоспособности, на примере отдельного сечения. Для оптимистического, пессимистического и реалистического сценариев получены численные оценки рисков конкурентоспособности для различных сочетаний критических событий, что позволило ранжировать регионы в соответствии с риском снижения конкурентоспособности в среднесрочном периоде.

Ключевые слова: конкурентоспособность, регионы РФ, риски, математическое моделирование, кластеризация, уравнения Колмогорова – Чепмена

Благодарности: Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 20-010-00465).

Для цитирования: Чернышова Г. Ю., Вешнева И. В., Роках Г. Е. Моделирование динамики рисков региональной конкурентоспособности // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Экономика. Управление. Право. 2022. Т. 22, вып. 1. С. 42–52. <https://doi.org/10.18500/1994-2540-2022-22-1-42-52>

Статья опубликована на условиях лицензии Creative Commons Attribution 4.0 International (CC-BY 4.0)

Article

Modeling the dynamics of regional competitiveness risks

G. Yu. Chernyshova , I. V. Veshneva, G. E. Rokakh

Saratov State University, 83 Astrakhanskaya St., Saratov 410012, Russia

Galina Yu. Chernyshova, galacherny@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6464-0408>

Irina V. Veshneva, veshnevaiv@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-3908-370X>

Gleb E. Rokakh, g.rokah@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8845-2084>

Abstract. Introduction. To determine the strategic directions of regional development to increase competitiveness, it is necessary to rely on a systematic analysis of factors and risks, to use modern mathematical modeling tools. To construct dynamic models for assessing the risks of competitiveness, an approach based on the systems of Kolmogorov – Chapman differential equations for Markov processes is applied. *Theoretical analysis.* The article examines the method of applying the logical-probabilistic approach to assessing the risks of regional competitiveness. *Empirical analysis.* For a comparative assessment of the risks of competitiveness at the stage of preliminary data processing, cluster



analysis was applied using a modified *k*-means method. Based on the hierarchical system of regional competitiveness risks, the system of Kolmogorov – Chapman equations is formed. Dynamic assessment of competitiveness risks was carried out for three basic scenarios. **Results.** For a selected cluster of 33 Russian regions corresponding to a high level of socio-economic development, predictive estimates of the probabilities of critical events associated with risks of competitiveness were obtained using the example of a separate section. For optimistic, pessimistic and realistic scenarios, numerical assessments of competitiveness risks are obtained for various combinations of critical events. This made it possible to rank the regions by the probability of a decrease in the competitiveness of the regions in the medium term.

Keywords: competitiveness, regions of the Russian Federation, risks, mathematical modeling, clustering, Kolmogorov – Chapman equations

Acknowledgements: This work was supported by the Russian Foundation for Basic Research (project No. 20-010-00465).

For citation: Chernyshova G. Yu., Veshneva I. V., Rokakh G. E. Modeling the dynamics of regional competitiveness risks. *Izvestiya of Saratov University. Economics. Management. Law*, 2022, vol. 22, iss. 1, pp. 42–52 (in Russian). <https://doi.org/10.18500/1994-2540-2022-22-1-42-52>

This is an open access article distributed under the terms of Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC-BY 4.0)

Введение

Современные различия региональных экономик в значительной мере обостряют конкуренцию. Получение конкурентных преимуществ, в частности, таких как инновационные технологии и институциональный капитал, является актуальной задачей регионального развития [1]. Одним из аспектов повышения конкурентоспособности регионов становится оценка рисков, связанных с изменением уровня конкурентоспособности регионов, что обеспечивает более объективный процесс принятия решений по их предотвращению.

В настоящее время существует ряд подходов для количественной оценки уровня региональной конкурентоспособности [2, 3]. Широко применяются как в международной практике [4–7], так и для оценки конкурентоспособности российских регионов [8] методики, основанные на построении рейтингов, а также статистические и эконометрические модели в задачах анализа конкурентоспособности объектов различного уровня.

В данном исследовании предлагается осуществить анализ рисков конкурентоспособности на основе моделей системной динамики. Подобный подход использовался для изучения динамического поведения сложных социально-экономических систем [9, 10].

Целью работы является предикативная оценка динамики рисков конкурентоспособности российских регионов. В качестве объекта исследования рассматривается возможность применения марковских моделей для анализа функционирования социально-экономических систем на уровне регионов. Задачи, решаемые в процессе исследования, предполагают формирование множества факторов риска, для которых строится иерархическая графовая модель причинно-следственных связей, выбор минимальных сечений, построение графа состояний для конкретного минимального сечения, решение соответствующей системы дифференциальных уравнений, оценку рисков на основе полученных вероятностей критических событий и их сочетаний с применением сценарного подхода. Значительные различия в уровне

социально-экономического развития регионов приводят к необходимости в качестве начального этапа предварительной обработки данных выделить группы регионов, сравнимых по заданному набору показателей.

Теоретический анализ

Предлагаемый подход к анализу рисков основан на выявлении факторов риска конкурентоспособности региональной социально-экономической системы: ухудшение отдельных показателей ведет к снижению конкурентоспособности региона в целом. Система показателей представляется в виде иерархической логико-вероятностной модели.

Для факторов рисков строится причинно-следственный граф. Спецификой полученного графа является наличие логических функций в узлах следствий. Таким образом, каждое следствие наступает в случае реализации логической операции для соответствующих причин – отдельных факторов рисков конкурентоспособности. Ребрами графа являются возможные переходы между состояниями системы, которые образованы как следствия в результате логических операций над причинами. Анализ графа приводит к формированию возможных сочетаний событий, образующих фрагменты графа реализации корневого события – потери конкурентоспособности региона. Минимальное множество листовых вершин причинно-следственного графа, связанных с показателями, ухудшение которых приводит к снижению конкурентоспособности региона, представляют собой минимальные сечения.

Затем выделяются состояния региональной социально-экономической системы, соответствующие различным сочетаниям критических событий, определяющих риски конкурентоспособности региона. Для каждого минимального сечения строится сетевая структура возможных переходов между состояниями. Для полученной структуры возможных состояний может быть сформирована система дифференциальных уравнений Колмогорова – Чепмена [11]. Полученная



система дифференциальных уравнений описывает влияние причин через узлы следствия на корневую вершину причинно-следственного графа.

В результате решения системы дифференциальных уравнений численными методами можно получить вероятности реализации рисков в узлах графа состояний в заданные моменты времени.

Для минимального сечения размерности m множество состояний S исследуемой системы содержит $s = 2^m - 1$ элементов $S = \{0, 1, 2, \dots, s\}$. В матричной форме соответствующая система уравнений имеет следующий вид:

$$\frac{dP_i(t)}{dt} = G \cdot \begin{pmatrix} P_0(t) \\ P_1(t) \\ \dots \\ P_s(t) \end{pmatrix},$$

где $P_i(t)$ – вероятность пребывания элементов системы в состоянии i в момент времени t , $G = \{g_{ij}\}$ – инфинитезимальная матрица переходов размерности $s \times s$. Матрица G строится на основе графа состояний.

Для каждого i -го состояния, $i = 1, \dots, s$, необходимо составить дифференциальное уравнение:

$$\frac{dP_i(t)}{dt} = \sum_{k=0}^s g_{ki} P_k(t) - \sum_{k=0}^s g_{ik} P_i(t),$$

причем элементы g_{ij} матрицы G соответствуют вероятностям перехода из состояния i в состояние j , диагональные элементы $g_{ii} = -\sum_{k, k \neq i} g_{ik}$.

В данном исследовании матрица переходов G формируется на основании пуассоновских параметров реализации событий, соответствующих элементам минимального сечения: d_r – уровень рисков, l_r – уровень управляющего воздействия для отдельных показателей, $r = 1, \dots, m$.

В процессе моделирования требуется решение сложной системы дифференциальных уравнений Колмогорова – Чепмена относительно высокой размерности. В результате полученного решения становится возможным определить вероятность снижения конкурентоспособности региона из-за критических сочетаний событий, связанных с отдельными факторами риска, как функцию времени.

Разработка методов количественной оценки рисков конкурентоспособности на уровне регионов требует системного подхода с учетом различных аспектов регионального развития [12]. В процессе формирования иерархической структуры факторов риска предложено использовать как трансформационные, так и транзакционные факторы с целью выделения семантически связанных наборов показателей [13]. На следующем

уровне иерархической структуры включаются различные технические, социальные, природно-ресурсные, инновационные, информационные и институциональные показатели, уровень которых влияет на конкурентоспособность региона [14].

Для комплексного описания факторов риска в причинно-следственном графе применены следующие индикаторы: конкурентоспособность региона (E_0); трансформационные (E_1); транзакционные (E_2); технические (E_3); социальные (E_4); природно-ресурсные (E_5); институциональные (E_6); информационные (E_7); инновационные (E_8); использование основных фондов (E_9); развитость транспортной инфраструктуры (E_{10}); уровень доходов населения (E_{11}); демографические (E_{12}); качество жизни (E_{13}); добыча полезных ископаемых (E_{14}); площадь сельскохозяйственных угодий (E_{15}); обеспеченность лесными ресурсами (E_{16}); производство электроэнергии (E_{17}); экологические (E_{18}); удельный вес убыточных организаций (E_{19}); задолженность по налогам и сборам (E_{20}); доходы от предпринимательской деятельности (E_{21}); количество персональных компьютеров (E_{22}); использование сети Интернет в организациях (E_{23}); использование систем электронного документооборота в организациях (E_{24}); численность персонала, занятого научными исследованиями и разработками (E_{25}); внутренние затраты на исследования и разработки (E_{26}); затраты на технологические инновации (E_{27}); объем инновационных товаров (E_{28}); стоимость основных фондов (E_{29}); степень износа основных фондов (E_{30}); плотность железнодорожных путей (E_{31}); плотность автомобильных дорог (E_{32}); среднедушевые денежные доходы (E_{33}); численность населения с доходами ниже прожиточного минимума (E_{34}); количество официальных безработных (E_{35}); ожидаемая продолжительность жизни (E_{36}); коэффициент естественного прироста населения (E_{37}); коэффициент миграционного прироста (E_{38}); ветхое и аварийное жилье (E_{39}); численность врачей на 10 000 чел. населения (E_{40}); число зарегистрированных преступлений (E_{41}); выбросы загрязняющих продуктов (E_{42}); сброс в водные объекты загрязненных сточных вод (E_{43}).

Критические события, связанные с уменьшением или увеличением данных разнонаправленных показателей, указаны на графе причинно-следственных связей как факторы риска конкурентоспособности региона в целом (рис. 1).

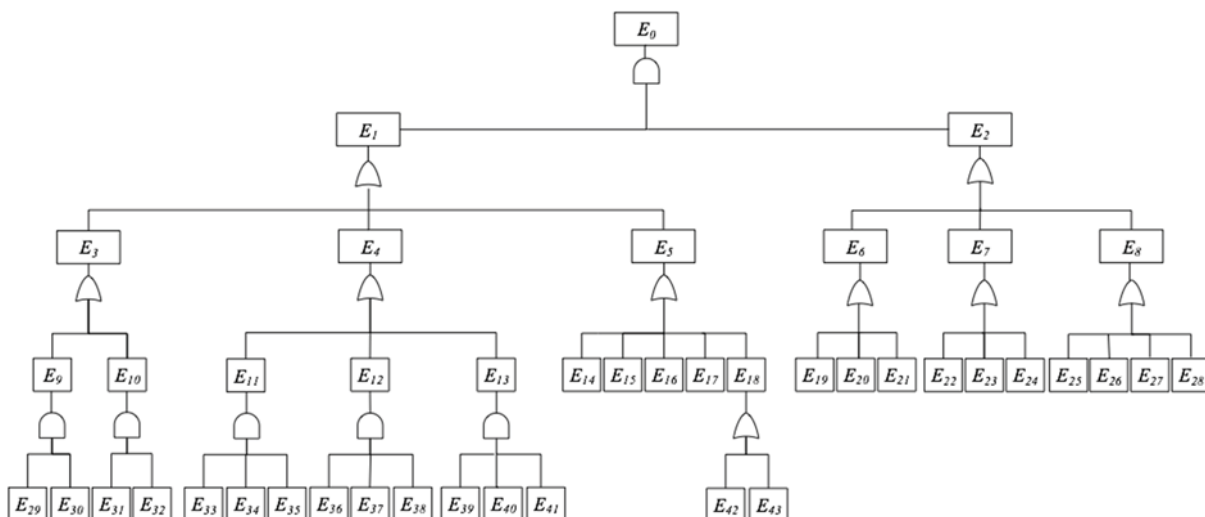


Рис. 1. Иерархическая структура показателей рисков региональной конкурентоспособности
 Fig. 1. The hierarchical structure of regional competitiveness risks indicators

Данные для оценки рисков с помощью причинно-следственного графа получены из открытых источников, содержащих сведения по региональной статистике [15], и с применением информационно-аналитической системы FIRA [16]. Значения показателей в соответствии с факторами риска за 2014–2020 гг. были нормированы с применением минимаксного подхода с учетом разнонаправленных показателей.

Эмпирический анализ

Особенности регионального развития обуславливают существенные различия значений показателей региональной статистики для разных субъектов Российской Федерации. Неравномерность развития регионов, наличие регионов-доноров и регионов-реципиентов отражают бифуркационные значения по ряду рассматриваемых показателей для отдельных регионов. С целью формирования групп регионов, относительно однородных по рассматриваемому набору показателей, что позволит получить более объективную оценку для сравнимых между собой по уровню конкурентоспособности субъектов, предлагается осуществить кластерный анализ.

Кластерный анализ используется для выявления групп объектов, которые похожи друг на друга и не похожи на объекты, принадлежащие другим кластерам. Для реализации кластерного анализа применен модифицированный метод *k-means*, который позволяет избежать большого количества вычислений расстояния между элементами выборки и центрами кластеров. При этом используются эффективно обновляемые границы расстояний между центрами. В отличие

от стандартной реализации *k*-средних, этот подход во многих случаях выполняется значительно быстрее, особенно для наборов данных с большим количеством атрибутов и при большом количестве кластеров *k* [17]. В алгоритме применена косинусная мера близости.

В процессе отбора показателей для кластерного анализа были использованы факторы, влияющие на риски конкурентоспособности регионов. Отбор показателей включал корреляционный анализ, в результате использованы показатели, для которых абсолютное значение коэффициента корреляции Пирсона не превышает 0,7. Нормализация данных выполнена с использованием межквартильного размаха между 25 и 75 перцентилями. Этот метод нормализации меньше подвержен влиянию выбросов. Подбор количества кластеров выполнен с учетом среднего внутрикластерного расстояния и индекса Девиса – Болдина. Данный индекс позволяет определить наличие кластеров, имеющих высокое внутрикластерное сходство и низкий уровень межкластерного сходства. Такие модели будут иметь меньшие значения индекса Девиса – Болдина.

В данном случае использовано количество кластеров *k* = 3 (табл. 1). К кластеру 1 относятся 33 региона, 19 регионов отнесены в соответствии с построенной моделью к кластеру 2, в третий кластер вошли 29 регионов.

Анализ центроидов для полученных кластеров позволяет отнести регионы, соответствующие кластеру 1, к наиболее конкурентоспособным. Кластер 2 соответствует среднему уровню региональной конкурентоспособности, кластер 3 содержит регионы с низким уровнем конкурентоспособности.



Таблица 1 / Table 1

Результаты применения кластерной модели
Cluster model application results

Кластер 1	Кластер 2	Кластер 3
г. Москва	Алтайский край	Амурская область
г. Санкт-Петербург	Вологодская область	Архангельская область
Белгородская область	Карачаево-Черкесская Республика	Астраханская область
Владимирская область	Кировская область	Брянская область
Воронежская область	Новосибирская область	Волгоградская область
Иркутская область	Орловская область	Еврейская автономная область
Калужская область	Республика Адыгея	Забайкальский край
Краснодарский край	Республика Алтай	Ивановская область
Красноярский край	Республика Дагестан	Кабардино-Балкарская Республика
Курская область	Республика Ингушетия	Калининградская область
Ленинградская область	Республика Калмыкия	Камчатский край
Липецкая область	Республика Марий Эл	Кемеровская область
Московская область	Республика Мордовия	Костромская область
Нижегородская область	Республика Саха	Курганская область
Омская область	Республика Тыва	Магаданская область
Оренбургская область	Ставропольский край	Мурманская область
Пензенская область	Томская область	Ненецкий автономный округ
Пермский край	Тюменская область	Новгородская область
Республика Башкортостан	Чувашская Республика	Приморский край
Республика Татарстан		Псковская область
Ростовская область		Республика Бурятия
Рязанская область		Республика Карелия
Самарская область		Республика Коми
Саратовская область		Республика Северная Осетия – Алания
Сахалинская область		Республика Хакасия
Свердловская область		Тверская область
Смоленская область		Ульяновская область
Тамбовская область		Хабаровский край
Тульская область		Чукотский автономный округ
Удмуртская Республика		
ХМАО		
Челябинская область		
Ярославская область		

В результате были получены относительно однородные группы регионов в соответствии с выбранным набором показателей. Кластеризация регионов обеспечила отсутствие явных выбросов в полученных группах регионов. Для дальнейшего исследования используются регионы кластера 1.

Предлагаемый подход для моделирования динамики рисков региональной конкуренто-

способности обеспечивает возможность рассмотрения различных минимальных сечений на этапе оценки. Рассмотрим применение данной методики на примере отдельного сечения. В качестве примера используем 5-элементное сечение $E_{29} - E_{30} - E_{31} - E_{32} - E_{28}$, включающее критические события, связанные с изменениями таких показателей, как стоимость основных



фондов (E_{29}), степень износа основных фондов (E_{30}), плотность железнодорожных путей (E_{31}), плотность автомобильных дорог (E_{32}), объем инновационных товаров (E_{28}).

В условиях неопределенности применение различных сценариев обеспечивает возможность среднесрочного и долгосрочного прогнозиро-

вания. Исследование региональной конкурентоспособности предполагает использование оптимистического, реалистического и пессимистического сценариев. В процессе исследования сформированы сценарии с различными уровнями управляющих воздействий и ответных реакций системы (табл. 2).

Таблица 2 / Table 2

Формирования сценариев с использованием различных параметров Колмогорова – Чепмена
Formation of scenarios using various Kolmogorov – Chapman parameters

Сценарий	Параметры модели	Значения	Параметры модели	Значения
Оптимистический	l_1	0,001	d_1	0,3
	l_2	0,001	d_2	0,4
	l_3	0,001	d_3	0,3
	l_4	0,001	d_4	0,5
	l_5	0,001	d_5	0,6
Реалистический	l_1	0,1	d_1	0,1
	l_2	0,3	d_2	0,3
	l_3	0,3	d_3	0,2
	l_4	0,2	d_4	0,2
	l_5	0,3	d_5	0,4
Пессимистический	l_1	0,5	d_1	0,001
	l_2	0,6	d_2	0,001
	l_3	0,6	d_3	0,001
	l_4	0,6	d_4	0,001
	l_5	0,5	d_5	0,01

Реалистический сценарий соответствует среднему уровню как кризисных воздействий, так и противодействующих мер. Оптимистический сценарий в модели характеризуется низкой интенсивностью кризисных воздействий и высокой интенсивностью мер по противодействию. В рамках пессимистического сценария предполагается, что интенсивным кризисным воздействиям на указанные факторы соответствуют противодействующие меры низкой интенсивности.

Результаты

Решение системы дифференциальных уравнений Колмогорова – Чепмена осуществлено методом Рунге – Кутты с автоматической настройкой шага. Для выбранного 5-элементного сечения были вычислены вероятности $P_i(t)$, $i = 0, \dots, 31$, для $t \leq 3$.

В качестве отдельных состояний региональной системы рассматриваются критические события, связанные с рисками ухудшения показателей E_{29} , E_{30} , E_{31} , E_{32} , E_{28} : $P_0(t)$ – не наступило ни

одно из указанных событий; $P_1(t)$ – $P_5(t)$ – наступили события, связанные с ухудшениями соответствующих показателей E_{29} , E_{30} , E_{31} , E_{32} , E_{28} ; $P_6(t)$ – $P_{24}(t)$ – наступили события, связанные с ухудшениями пар различных показателей; $P_{26}(t)$ – $P_{30}(t)$ – наступили события, связанные с ухудшениями комбинаций из трех различных показателей; $P_{31}(t)$ – наступило событие, связанное с ухудшением всех показателей E_{29} , E_{30} , E_{31} , E_{32} , E_{28} .

Для трех вариантов базовых сценариев (оптимистический, реалистический, пессимистический) получены оценки вероятностей изменения как отдельных показателей, так и конкурентоспособности регионов в целом. В табл. 3 для регионов, относящихся к кластеру 1, для различных сценариев представлены прогнозные значения вероятностей $P_0(t)$ для $t = 3$.

В рамках пессимистического сценария низкие уровни рисков конкурентоспособности соответствуют следующие регионам: города Москва и Санкт-Петербург, Республика Татарстан, Московская область, Краснодарский и Красноярский края, ХМАО, Свердловская, Ростовская и



Таблица 3 / Table 3

Оценка регионов в соответствии с рисками снижения конкурентоспособности
Regions assessment in accordance with the risks of competitiveness decline

Регион	Оптимистический сценарий	Реалистический сценарий	Пессимистический сценарий
Республика Татарстан	0,0226	0,1595	0,2376
Белгородская область	0,0267	0,1672	0,4663
Липецкая область	0,0299	0,2101	0,6455
Курская область	0,0361	0,2169	0,6781
г. Санкт-Петербург	0,0653	0,2233	0,1767
Краснодарский край	0,0792	0,2451	0,3128
Нижегородская область	0,0602	0,2560	0,4337
Сахалинская область	0,0420	0,2630	0,6395
Московская область	0,0908	0,2646	0,2436
Тульская область	0,0578	0,2696	0,5886
г. Москва	0,0991	0,2833	0,0159
Тамбовская область	0,0616	0,2855	0,6688
Удмуртская Республика	0,0772	0,2917	0,6081
Пермский край	0,0928	0,3019	0,5107
Ярославская область	0,0835	0,3025	0,6198
Ленинградская область	0,0771	0,3225	0,4974
ХМАО	0,0874	0,3364	0,4190
Ростовская область	0,1434	0,3561	0,4251
Воронежская область	0,1345	0,3636	0,4701
Калужская область	0,1034	0,3947	0,6174
Самарская область	0,1791	0,4030	0,4520
Пензенская область	0,1424	0,4164	0,6476
Свердловская область	0,2402	0,4455	0,3684
Омская область	0,2009	0,4519	0,6316
Рязанская область	0,1513	0,4535	0,6922
Владимирская область	0,1896	0,4768	0,6604
Оренбургская область	0,2328	0,4790	0,6273
Республика Башкортостан	0,3109	0,5152	0,4455
Красноярский край	0,3127	0,5424	0,3973
Смоленская область	0,2554	0,5789	0,7521
Челябинская область	0,4101	0,5957	0,4422
Саратовская область	0,3259	0,5959	0,5719
Иркутская область	0,3824	0,6145	0,4869

Нижегородская области. Это вполне согласуется с экспертными оценками по высокому уровню социально-экономического развития среди российских регионов. В качестве десяти регионов с низкими уровнями рисков конкурентоспособности для оптимистического сценария следует указать такие регионы, как Республика Татарстан,

г. Санкт-Петербург, Липецкая, Белгородская, Курская, Сахалинская, Тульская, Нижегородская, Тамбовская и Ленинградская области. Следует отметить, что усиление противодействующих мер приводит в соответствии с данной моделью к выявлению новых регионов с низким уровнем рисков региональной конкурентоспособности.



Для принятия стратегических мер по снижению рисков полагается целесообразным применять именно реалистический сценарий. В рамках

данного сценария сформирован рейтинг регионов в соответствии с уровнем рисков конкурентоспособности в среднесрочной перспективе (рис. 2).

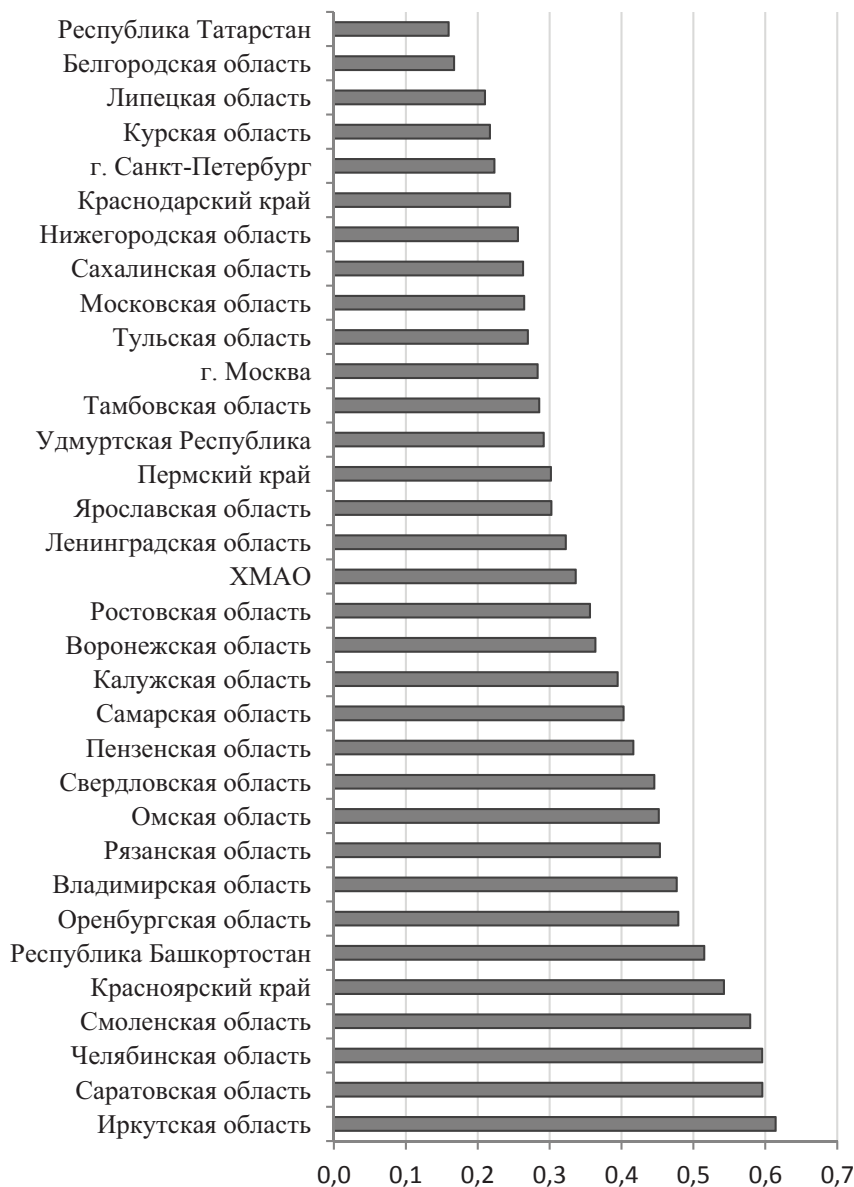


Рис. 2. Рейтинг регионов в соответствии с оценкой рисков конкурентоспособности

Fig. 2. Regions rating in accordance with the assessment of competitiveness risks

Республика Татарстан, Белгородская, Липецкая и Курская области, г. Санкт-Петербург, Краснодарский край, Нижегородская, Сахалинская, Московская и Тульская области относятся к десяти регионам, имеющим низкий уровень рисков в рамках реалистического сценария.

Следует отметить, что к регионам, которые для всех трех сценариев вошли в первые десять объектов, отличающихся низким уровнем рисков, относятся Татарстан, Нижегородская область, г. Санкт-Петербург.

Кроме того, для отдельных показателей определены значения среднеквадратических отклонений вычисленных значений $P_i(t)$, $i = 1, \dots, 5$, для $t = 3$ по регионам (табл. 4). Вычисленные значения стандартного отклонения для вероятностей критических событий $P_i(t)$, $i = 1, \dots, 5$, позволяют оценить вариативность полученных оценок. Для критических событий, имеющих большую вариативность, предполагается, что именно эти события обуславливают большие риски для конкурентоспособности региона.



Таблица 4 / Table 4

Оценка вариативности факторов риска снижения региональной конкурентоспособности
Assessing the variability of risk factors for the decline in regional competitiveness

Сценарий	$P_1(t)$	$P_2(t)$	$P_3(t)$	$P_4(t)$	$P_5(t)$
Оптимистический	0,1009	0,1107	0,1078	0,0991	0,1081
Реалистический	0,1321	0,1658	0,1655	0,1157	0,1542
Пессимистический	0,1429	0,1372	0,1464	0,1224	0,1383

Это позволило выявить, какие именно критические события представляют собой наибольшие риски для конкурентоспособности региона в целом. В частности, степень износа основных фондов в реалистической и в оптимистической модели представляется наиболее рискованным фактором в рассмотренном сечении. В пессими-

стическом сценарии плотность железнодорожных путей для данного сечения является наиболее существенным фактором риска.

Сравнение вариативности для полученных оценок вероятностей критических событий для различных сценариев позволяет оценить эффективность управляющих воздействий (рис. 3).

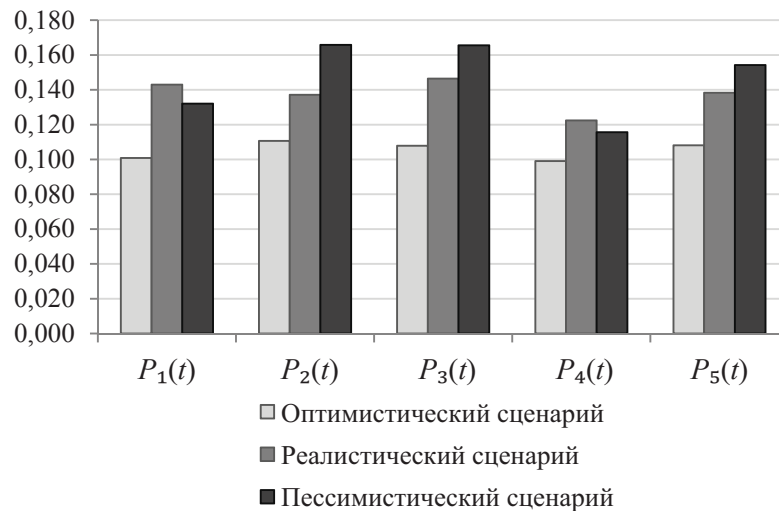


Рис. 3. Оценка факторов конкурентоспособности регионов в различных сценариях

Fig. 3. Assessment of regional competitiveness factors for various scenarios

В частности, для сечения $E_{29} - E_{30} - E_{31} - E_{32} - E_{28}$ усиление управляющих воздействий при сравнении реалистического и пессимистического сценариев не привело к уменьшению вариативности вероятности возникновения критических событий по отдельным факторам (стоимость основных фондов, плотность автомобильных дорог). Для критических событий, связанных с изменением объема инновационных товаров, степень износа основных фондов и плотностью автомобильных дорог, в рассмотренном сечении наблюдается уменьшение рисков с ростом управленческого воздействия.

Обостряющаяся конкуренция между регионами приводит к необходимости разработки и применения современных моделей, обеспечивающих количественную оценку рисков конкурентоспособности российских регионов. Предлагаемый

подход позволяет количественно оценить динамику регионального развития в условиях риска. Предикативная оценка вероятности критических событий с учетом изменяющихся параметров интенсивности реализации риска и интенсивность противодействия им позволяет выявить региональные лидеры, оценить наиболее существенные факторы рисков. Для адекватного сравнения регионов по уровню рисков конкурентоспособности предлагается предварительно на основе кластерного анализа выделить группы сравнимых между собой объектов.

Список литературы

1. *Camagni R.* On the concept of territorial competitiveness : Sound or misleading? // *Urban Studies*. 2002. Vol. 39. P. 2395–2411.



2. Bristow G. Critical reflections on regional competitiveness: Theory, policy and practice. London : Routledge, 2010. 200 p.
3. Krasnokutskiy P. A., Ugnich E. A., Taranov P. M. Modern Scientific and Methodological Approaches to Assessing the Competitiveness of the Region: Application Problems // IOP Conference Series Earth and Environmental Science. 2019. Vol. 272, iss. 3. P. 1755–1315. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/272/3/032179>
4. Global Competitiveness Report. URL: <https://www.weforum.org/reports/the-global-competitiveness-report-2020> (дата обращения: 08.11.2021).
5. The EU Regional Competitiveness Index 2016. URL: https://ec.europa.eu/regional_policy/sources/docgener/work/201701_regional_competitiveness2016.pdf (дата обращения: 08.09.2021).
6. European innovation scoreboard. URL: https://ec.europa.eu/growth/industry/innovation/facts-figures/scoreboards_e (дата обращения: 08.09.2021).
7. Regional innovation scoreboard. URL: https://ec.europa.eu/growth/industry/innovation/facts-figures/regional_en (дата обращения: 06.09.2021).
8. AV RCI. URL: <http://av-group.ru/2020/1808/> (дата обращения: 13.10.2021).
9. Резчиков А. Ф., Кушников В. А., Яндыбаева Н. В. Модель для оценки состояния национальной безопасности России на основе теории системной динамики // Прикладная информатика. 2017. Т. 12, № 2 (68). С. 106–117.
10. Яндыбаева Н. В., Кушников В. А., Резчиков А. Ф., Иващенко В. А. Разработка инвариантной математической модели для прогнозирования показателей национальной безопасности государств // Управление развитием крупномасштабных систем : материалы 12-й Междунар. конф. (MLSD'2019, Москва). М. : Ин-т проблем управления им. В. А. Трапезникова РАН. 2019. С. 433–436.
11. Veshneva I., Chernyshova G., Bolshakov A. Regional Competitiveness Research Based on Digital Models Using Kolmogorov – Chapman Equations // Society 5.0: Cyberspace for Advanced Human-Centered Society / eds. A. G. Kravets, A. A. Bolshakov, M. Shcherbakov. Cham : Springer, 2021. P. 141–154. (Studies in Systems, Decision and Control. Vol. 333). https://doi.org/10.1007/978-3-030-63563-3_12
12. Ketels C. Recent research on competitiveness and clusters: What are the implications for regional policy? // Cambridge Journal of Regions, Economy and Society. 2013. Vol. 6, iss. 2. P. 269–284.
13. Иншаков О. В. «Ядро развития» в контексте новой теории факторов производства // Экономическая наука современной России. 2003. № 1. С. 11–25.
14. Veshneva I., Chernyshova G. The scenario modeling of regional competitiveness risks based on the Chapman – Kolmogorov equations // Journal of Physics : Conference Series. 2021. Vol. 1784. P. 012008.
15. Росстат. Официальная статистика. URL: <https://rosstat.gov.ru/folder/210/document/13204> (дата обращения: 09.10.2021).
16. Информационно-аналитическая система FIRA PRO. URL: <https://fira.ru/> (дата обращения: 07.12.2020).
17. Elkan C. Using the triangle inequality to accelerate k-means // Proceedings of the Twentieth International Conference on Machine Learning (ICML-2003). Washington DC, 2003. P. 147–153.

References

1. Camagni R. On the concept of territorial competitiveness: Sound or misleading? *Urban Studies*, 2002, vol. 39, pp. 2395–2411.
2. Bristow G. *Critical reflections on regional competitiveness: Theory, policy and practice*. London, Routledge, 2010. 200 p.
3. Krasnokutskiy P. A., Ugnich E. A., Taranov P. M. Modern Scientific and Methodological Approaches to Assessing the Competitiveness of the Region: Application Problems. *IOP Conference Series Earth and Environmental Science*, 2019, vol. 272, iss. 3, pp. 1755–1315. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/272/3/032179>
4. *Global Competitiveness Report*. Available at: <https://www.weforum.org/reports/the-global-competitiveness-report-2020> (accessed 8 November 2021).
5. *The EU Regional Competitiveness Index 2016*. Available at: https://ec.europa.eu/regional_policy/sources/docgener/work/201701_regional_competitiveness2016.pdf (accessed 8 September 2021).
6. *European innovation scoreboard*. Available at: https://ec.europa.eu/growth/industry/innovation/facts-figures/scoreboards_e (accessed 8 September 2021).
7. *Regional innovation scoreboard*. Available at: https://ec.europa.eu/growth/industry/innovation/facts-figures/regional_en (accessed 6 September 2021).
8. *AV RCI*. Available at: <https://av-group.ru/2020/1808/> (accessed 13 October 2021) (in Russian).
9. Rezchikov A. F., Kushnikov V. A., Jandybaeva N. V. Model for assessing the state of national security in Russia based on the theory of system dynamics. *Applied Informatics*. 2017, vol. 12, no. 2 (68), pp. 106–117 (in Russian).
10. Jandybaeva N. V., Kushnikov V. A., Rezchikov A. F., Ivashchenko V. A. Development of an invariant mathematical model for predicting national security indicators of states. *Upravlenie razvitiem krupnomasshtabnykh sistem: materialy 12-i Mezhdunarodnoi konferentsii (MLSD'2019, Moskva)* [Management of the development of large-scale systems: Proceedings of the twelfth international conference (MLSD'2019, Moscow)]. Moscow, Institut problem upravleniya imeni V. A. Trapeznikov RAN Publ., 2019, pp. 433–436 (in Russian).
11. Veshneva I., Chernyshova G., Bolshakov A. Regional Competitiveness Research Based on Digital Models Using Kolmogorov – Chapman Equations. In: Kravets A. G., Bolshakov A. A., Shcherbakov M., eds. *Society 5.0: Cyberspace for Advanced Human-Centered Society*. Studies in Systems, Decision and Control, vol. 333. Cham, Springer, pp. 141–154. https://doi.org/10.1007/978-3-030-63563-3_12



12. Ketels C. Recent research on competitiveness and clusters: What are the implications for regional policy? *Cambridge Journal of Regions, Economy and Society*, 2013, vol. 6, iss. 2, pp. 269–284.
13. Inshakov O. V. “Development nucleus” in the light of the new factors of production theory. *Economic of Contemporary Russia*, 2003, no. 1, pp. 11–25 (in Russian).
14. Veshneva I., Chernyshova G. The scenario modeling of regional competitiveness risks based on the Chapman – Kolmogorov equations. *Journal of Physics: Conference Series*, 2021, vol. 1784, pp. 012008.
15. Rosstat. *Ofitsial'naya statistika* (Rosstat. Official statistics). Available at: <https://rosstat.gov.ru/folder/210/document/13204> (accessed 9 October 2021) (in Russian).
16. *Informatsionno-analiticheskaya sistema FIRA PRO* (Information and analytical system FIRA PRO). Available at: <https://fira.ru/> (accessed 7 December 2020) (in Russian).
17. Elkan C. Using the triangle inequality to accelerate k -means. *Proceedings of the Twentieth International Conference on Machine Learning (ICML-2003)*. Washington DC, 2003, pp. 147–153.

Поступила в редакцию 20.10.2021; одобрена после рецензирования 20.11.2021; принята к публикации 06.12.2021
The article was submitted 20.10.2021; approved after reviewing 20.11.2021; accepted for publication 06.12.2021