

УДК 332.146.2:005.332.4:316.422.44

**ТЕХНИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ РЕГИОНОВ КАК ИНСТРУМЕНТ ПОВЫШЕНИЯ
КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ ТЕРРИТОРИЙ ЗА СЧЕТ СТРАТЕГИИ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО АРБИТРАЖА (ИМИТАЦИИ)**

Чистякова Наталья Олеговна¹,
chistyakovano@tpu.ru

Михальчук Александр Александрович¹,
aamih@tpu.ru

Татарникова Валерия Владимировна¹,
tvv@mail.ru

Акерман Екатерина Александровна²,
eakerman@tsu.ru

Изотова Анастасия Сергеевна¹,
izotova.anastasia1995@gmail.com

¹ Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
Россия, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30

² Национальный исследовательский Томский государственный университет,
Россия, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 36

Чистякова Наталья Олеговна, доктор экономических наук, доцент Школы инженерного предпринимательства Национального исследовательского Томского политехнического университета.

Михальчук Александр Александрович, кандидат физико-математических наук, доцент отделения математики и информатики Школы базовой инженерной подготовки Национального исследовательского Томского политехнического университета.

Татарникова Валерия Владимировна, ассистент Школы инженерного предпринимательства Национального исследовательского Томского политехнического университета.

Акерман Екатерина Александровна, младший научный сотрудник лаборатории социально-экономических исследований Института менеджмента и экономики Национального исследовательского Томского государственного университета.

Изотова Анастасия Сергеевна, эксперт Школы инженерного предпринимательства Национального исследовательского Томского политехнического университета.

Статья посвящена проблематике повышения конкурентоспособности регионов за счет применения стратегии технологического арбитража на макрорегиональном уровне. В работе исследуются возможности применения стратегии имитации для регионов-последователей по степени эффективности использования ресурсов. Стратегии, основанные на парадигме технологического лидерства, можно рассматривать как более эффективные комбинации ресурсов, которые явно превосходят имеющиеся альтернативы и включают: концентрацию человеческого капитала; лидерство на рынках технологий; генерацию знаний и их реализацию. Эти стратегии развития подходят для мегаполисов, поскольку требуют интенсивного взаимодействия и институционального обеспечения для взаимодействия между различными акторами, такими как фирмы, университеты, исследовательские и инновационные центры и правительства. Кроме того, они являются магнитами для привлечения качественного человеческого капитала. Периферийные регионы считаются менее инновационными и, как правило, имеют меньше патентов и инвестиций в НИОКР, что приводит к сосредоточению внимания на процессах и

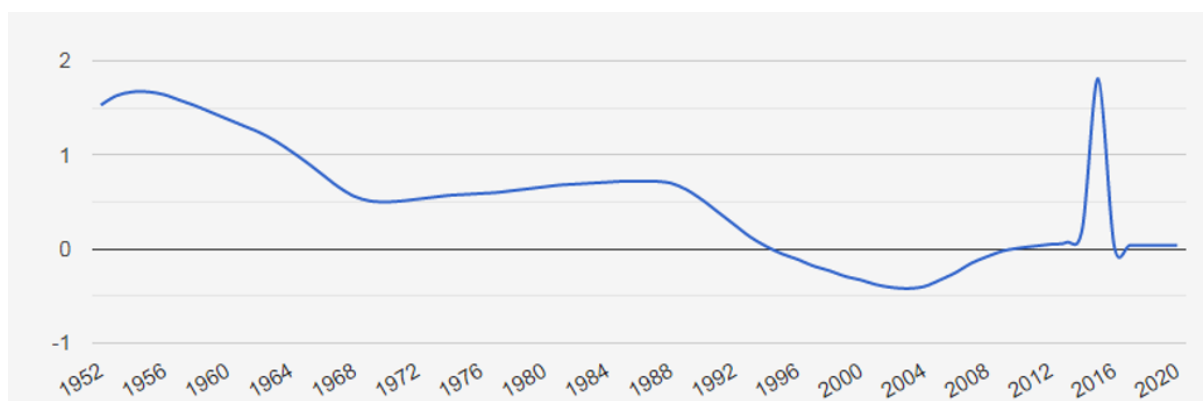
догоняющих инновациях и, следовательно, к необходимости собственной стратегии развития. В статье разрабатывается и иллюстрируется **методология**, основанная на анализе среды функционирования и других методах, которые можно использовать для прояснения региональной стратегии. Исследуются различные типы региональных инноваций на основе лонгитюдного анализа регионов СФО РФ за десятилетний период. Этот подход позволил оценить эффективность использования базовых экономических ресурсов (труд-капитал) на региональном уровне, выделил модель развития регионов за счет инноваций либо технологического арбитража. **В результате** применения метода DEA и MPI были определены регионы – лидеры по эффективности использования разных типов ресурсов. Это позволило кластеризовать регионы по разному типу лидерства и выделить такие, которым рекомендована имитационная стратегия в зависимости от близости к технологическому фронтиру.

Ключевые слова: Техническая эффективность, метод DEA, метод MPI, пространственное развитие, конкурентоспособность регионов.

Введение

Проблематике повышения конкурентоспособности российских регионов посвящено большое количество исследований в отечественных научных кругах. Её обуславливают ряд системных факторов, сдерживающих региональное развитие и связанных с высоким уровнем миграции квалифицированного человеческого капитала из большинства субъектов Федерации (сохраняющийся тренд депопуляции населения и отток в столичные регионы) – рис. 1, а, б; усугубляющимся пространственным неравенством регионального развития – табл. 1; спецификой структуры межбюджетных отношений «центр–регион», закрепляющей право финансового центра распределять большинство налоговых доходов, получаемых в регионах.

Кроме того, ситуация серьезно усугубляется введением постепенных санкционных мер после февраля 2022 г., когда многие отрасли промышленности испытывают серьезные проблемы с поставками комплектующих, сырья и материалов, что существенно отражается и на экономиках регионов, где функционируют данные предприятия. В этой связи поиск новых подходов к региональному стратегированию, который позволил бы через комплементарность и макрорегиональный подход выйти на формирование единого макрорегионального пространства, на базе, в том числе, собственных производственных мощностей и усилении региональной специализации с учетом научного потенциала территорий, обуславливает постановку исследовательской задачи.

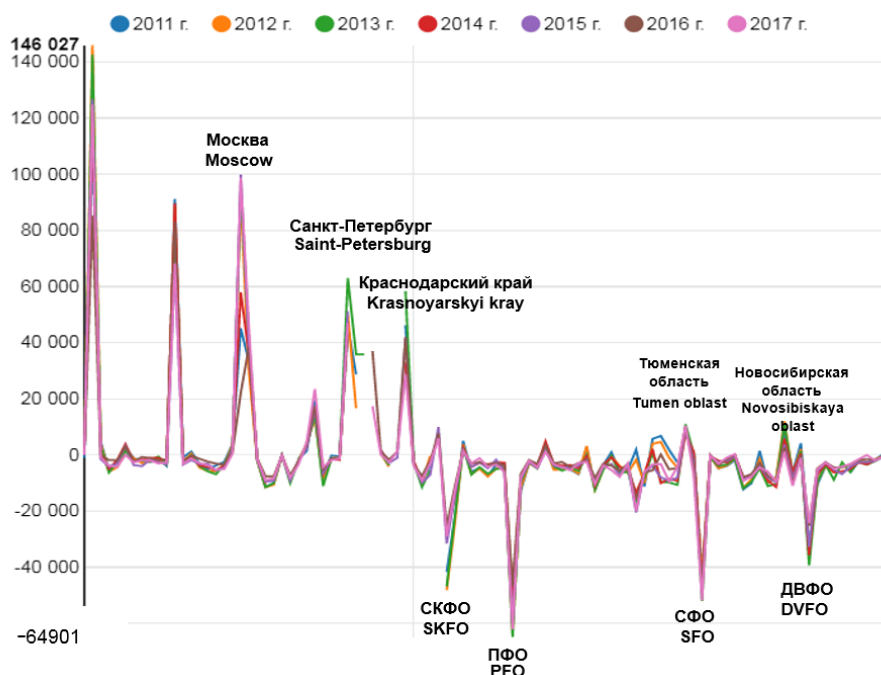


Источник: [1].

Source: [1].

Рис. 1. а. Темпы роста населения РФ (1952–2020)

Fig. 1. a. Population growth rate (1952–2020)



Источник: рассчитано по данным [2].
Source: calculated according to [2].

Рис. 1. б. Миграционный прирост (убыль) населения РФ, абсолютные значения 2011–2017 гг.
Fig. 1. b. Migration increase (decrease) of the population of the Russian Federation, absolute values for 2011–2017

Таблица 1. Показатели СЭР 2017 г., отражающие уровень пространственного неравенства субъектов РФ

Table 1. Indicators of social-economic development, reflecting spatial inequality level of Russian regions

Наименование показателя Indicator	Сред. значение (ариф.). Average value (arith.)	Медиана Median	Мин. Min	Макс. Max	Размах Span variation	Станд. отклон. Standard deviation	Квар, % Quartiles, %
Площадь территории, тыс. км ² Territory area, thou. km ²	201	72	1	3 084	3 083	438	218
Численность населения на 1 января 2018 г., тыс. человек Population in January 1, 2018, thousand people	1 728	1 177	44	12 507	12 463	1 792	104
Среднемесячная номинальная начисленная заработная плата, тыс. р. Average monthly nominal accrued wages, thousand rubles	35,1	30,3	21,9	92,0	70,1	15,3	44
ВВП в 2016 г., млрд р. GRP in 2016, billion rubles	815	392	46	14 300	14 254	1 647	202
Инвестиции в основной капитал, млрд р. Investments in fixed assets, billion rubles	188	104	9	1 972	1 963	276	147
Основные фонды, млрд р. Fixed assets, billion rubles	2 290	1 117	100	36 605	36 505	4 362	191

Источник: рассчитано авторами по данным [3].
Source: calculated according to [3].

Таким образом, целью исследования является анализ разных моделей стратегирования регионального развития с применением подходов технологического арбитража (стратегий имитации) в зависимости от выбранного метода использования ресурсов через расчет технической эффективности региона.

Обзор литературы

Возможности имитационного моделирования широко используются на уровне микроэкономического анализа при изучении моделей повышения конкурентоспособности компаний на рынке [4, 5]. Исследования преимуществ первопроходцев за счет разработки и удержания продуктовых и процессных инноваций [6] ставят под сомнение рост их конкурентоспособности из-за высоких затрат на издержки и непредсказуемости реакции рынка [7], отсутствие возможности долго сохранять новую технологию, или ноу-хау, как исключительное конкурентное преимущество [8]. При этом первые последователи (имитаторы) могут быстро заимствовать идею, особенно если она приводит к смене технологий в отрасли, и, учтя ошибки первопроходца, внедрить ее с поправками на реакцию потребителей, низкими затратами на НИОКР и снизить тем самым основные конкурентные преимущества первопроходца [9].

В данной работе, которая является продолжением исследований группы авторов [10–12], была предпринята попытка, используя подход технологического арбитража, применить стратегию имитационного развития на мезоэкономическом уровне анализа – макрорегиональном экономическом пространстве с небольшими допущениями. Предлагается кластеризовать регионы по схожим признакам социально-экономического развития и в каждой из групп регионов выделить регионы-лидеры по эффективности использования ресурсов территории, что говорит об их более конкурентной позиции, и регионы, реализующие стратегию технологического арбитража (регионы-последователи). Это возможно при допущении, что регионы, так же как и предприятия, обладают определенными набором ресурсов, которые могут использоваться более или менее оптимально с позиции получения результата. Подобные подходы исследовались в работах [10–13], на уровне странового анализа и с целью выявления насколько стратегия технологического арбитража наиболее применима для конкретного государства с учетом эффективности использования базовых ресурсов (труд и капитал). Учет арбитражных возможностей важен по двум причинам. Во-первых, такие возможности напрямую связаны с инновационным развитием, и их неиспользование в теоретических и методологических подходах является серьезным упущением с методологической точки зрения. Во-вторых, бдительные имитаторы-арбитражеры получают выгоду от имитации новых схем средств и целей, введенных новаторами, тем самым приближаясь к новым границам производства. Поступая таким образом, они повышают экономическую эффективность в соответствии с новой структурой средств и целей, продвигая рынки к новому равновесию и более эффективному пределу производства. «Таким образом, хотя успешное использование возможностей технологического арбитража не требует новых инноваций, но способствует повышению экономической эффективности и производительности» [10]. В данном исследовании была осуществлена попытка тестирования гипотезы на уровне регионов, близко расположенных к друг другу и имеющих возможность заимствовать лучшие практики и модели управления друг у друга, протестированной на межстрановом уровне, отражающей тот факт, что более высокие темпы создания новых фирм в результате возможностей технологического арбитража на менее эффективных рынках, где информационная асимметрия может быть более устойчивой, могут быть достигнуты за счет наилучшего возможного сочетания ресурсов (труд – капитал) для получения определенных результатов. Некоторые регионы будут потреблять относительно небольшое количество этих

ресурсов для производства определенного объема ВРП, в то время как другие, менее эффективные, будут использовать более высокую долю труда, капитала или того и другого для достижения той же цели. В любой момент времени среди регионов будут те, которые наилучшим образом рекомбинируют ресурсы в рамках существующей технологии и, таким образом, определяют саму границу эффективности (технологический фронт).

Анализировать эффективность регионов с позиции возможностей технологического арбитража позволяет метод Data Envelopment Analysis, DEA (анализ среды функционирования), который активно используется в работах, в том числе российских ученых, по выявлению технической эффективности регионов по тем или иным параметрам, в зависимости от целей исследования. Эффективность в контексте анализа среды функционирования понимается как «отношение взвешенной суммы выходов производственного объекта (полезных результатов деятельности, например, объема произведенной продукции) к взвешенной сумме его входов (потребляемых ресурсов), что позволяет классифицировать объекты как эффективные только в том случае, когда они производят наибольшие выходы при наименьших входах» [14]. Так, в работе [15] представлены результаты апробации моделей оценок сравнительной эффективности инновационных потенциалов регионов. В исследовании [16] изучается эффективность государственного менеджмента экологической безопасности в регионах Приволжского федерального округа, оценка финансовой и социальной эффективности в муниципальных образованиях Орловской области представлены в работе [17]. В работе [14] отражена оценка эколого-экономической эффективности регионов на основе базовых моделей анализа среды функционирования. Таким образом, применение базовых и модифицированных подходов на основе анализа среды функционирования широко используется для решения разного спектра управленческих задач разного уровня анализа – от расчета эффективности предприятий и отраслей до применения принципиально иного подхода к стратегированию регионального развития.

Методология исследования

Метод DEA (Data Envelopment Analysis) в настоящее время представляет собой развитую методологию сравнительной оценки эффективности функционирования различного рода субъектов (регионов СФО) по широкому набору входных и выходных показателей их деятельности. В отечественной академической литературе он известен также как анализ среды функционирования [14]. DEA-метод реализуется посредством многократного решения оптимизационной задачи линейного программирования и располагает все эффективные регионы на линии фронта эффективности (фронтире), а неэффективные – внутри фронта. Чем ближе к фронтиру расположен регион, тем выше значение относительной эффективности его управленческой деятельности. Кроме статической технической эффективности (ТЕ) региона, измеряемой ежегодно, методология DEA предлагает краткосрочную динамическую характеристику – индекс производительности Малмквиста MPI (Malmquist productivity index), оценивающий двухлетний прогресс (регресс) эффективности того же региона [18]. Значения $MPI < 1$, $MPI = 1$ и $MPI > 1$ говорят соответственно о снижении, постоянстве или увеличении эффективности региона в течение исследуемого периода. В литературе [18–25] используют форму представления индекса Малмквиста $MPI = EFF \cdot TECH$, где первая часть представляет собой эффект роста относительной эффективности (Catch-up Effect), а вторая – эффект сдвига границы эффективности (Frontier Shift Effect). Другими словами, EFF равен отношению $TECH_{t+1}$ к $TECH_t$ в период t , который будет выше единицы, если будет повышение эффективности региона. Оставшаяся часть TECH является мерой сдвига фронта в соответствии с технологическим улучшением между периодами. Член TECH больше, равен или меньше единицы, когда

технологическая передовая практика, созданная лидерами, определяющими границы эффективности, улучшается, не изменяется или ухудшается соответственно. В случае нескольких лет на периоде T в работе [26] предложено оценивать долгосрочную динамику МРІ линейным трендом $at + b$ ($\alpha > 0$, определяет прогресс, а $\alpha < 0$ – регресс).

Неоднородность регионов по показателям позволяет применить кластерный анализ для типологизации регионов СФО. Для кластеризации используются методы К-средних и иерархической кластеризации (с помощью правила объединения – метода Варда и меры близости – Евклидово, Чебышева или Манхэттенское расстояние). В качестве средств визуализации результатов кластеризации регионов СФО применяются дендрограммы и диаграммы рассеяния регионов СФО по соответствующим показателям. Для оценки качества построенных кластерных моделей регионов СФО применены статистические критерии дисперсионного анализа. В случае малых выборок используются непараметрические характеристики (медиана, квартильный размах, минимальное и максимальное значения), для наглядной интерпретации – диаграммы размаха, а для сравнения выборок применяются непараметрические критерии проверки гипотез (критерии Краскела–Уоллиса и Манни–Уитни для независимых выборок). Расчеты выполнены с помощью программных продуктов: DEAP [27, 28] и STATISTICA [29, 30].

Объектом исследования являются 10 регионов Сибирского федерального округа (регионы СФО): Красноярский (далее аббревиатура на графике – КК) и Алтайский (АК) края, Омская (ОО), Иркутская (ИО), Новосибирская (НО), Томская (ТО), Кемеровская (КО) области, Республики Хакасия (РХ), Алтай (РА) и Тыва (РТ). Регионы СФО имеют высокий уровень дифференциации по основным макроэкономическим показателям, различную структуру промышленности и, как следствие, разный уровень инновационного развития, что предопределяет наличие разных вариантов стратегий технологического арбитража. Базой данных исследования являются статистические показатели социально-экономического и инновационного развития регионов. В качестве ресурсных индикаторов схода использованы показатели (УЗН – Уровень занятости населения в возрасте 15–72 лет, % – труд и ИОК – инвестиции в основной капитал с учетом цен (с лагом в год), млрд руб. – капитал. Как показатель результативности был рассчитан ВРП с учетом дефлятора, млн руб.) за 2010–2020 гг.

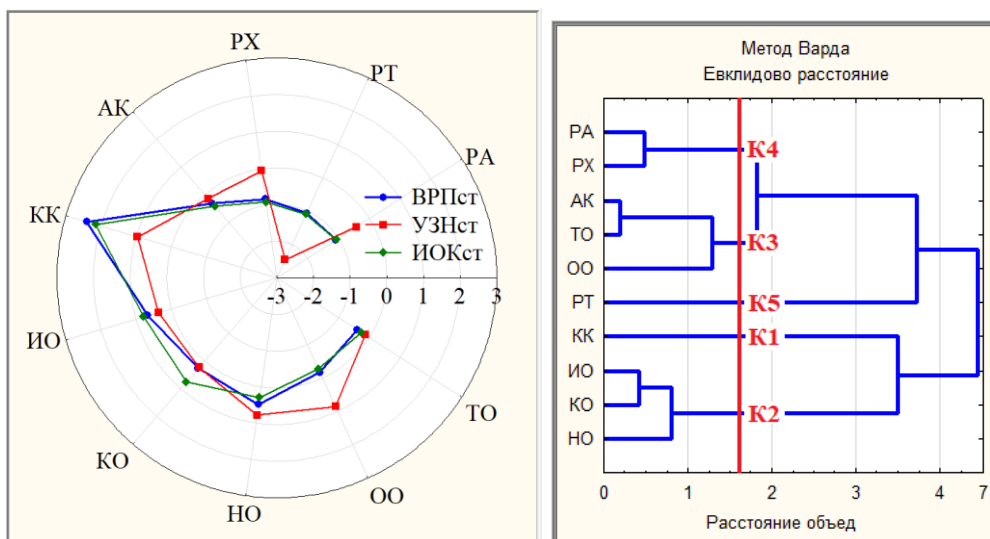
Результаты

С помощью кластерного анализа по совокупности исходных стандартизированных показателей, усредненных за 2010–2020 гг., получено разбиение 10 регионов СФО на пять кластеров (рис. 2).

Между кластерами (рис. 2, справа) различия оценены по стандартизированной шкале в один стандарт как статистически значимые по крайней мере по одному из системы показателей кластеризации:

- кластер К1 (КК) – лидер по ВРП и ИОК;
- кластер К2 (НО, КО, ИО) – средний – выше среднего;
- кластер К3 (ТО, АК, ОО) – средний;
- кластер К4 (РА, РХ) – средний – ниже среднего.
- кластер К5 (РТ) – аутсайдер по УЗН.

Модель DEA (IN/OUT _VRS) для ресурсов (УЗН; ИОК) и результата (ВРП), ориентированная на вход/выход с переменной отдачей от масштаба, позволила оценить как эффективность $TE_{\text{вых}}$ регионов по максимизации результата ВРП при фиксированных ресурсах (УЗН; ИОК), так и эффективность $TE_{\text{вх}}$ регионов по минимизации ресурсов (УЗН; ИОК) при фиксированном результате ВРП.



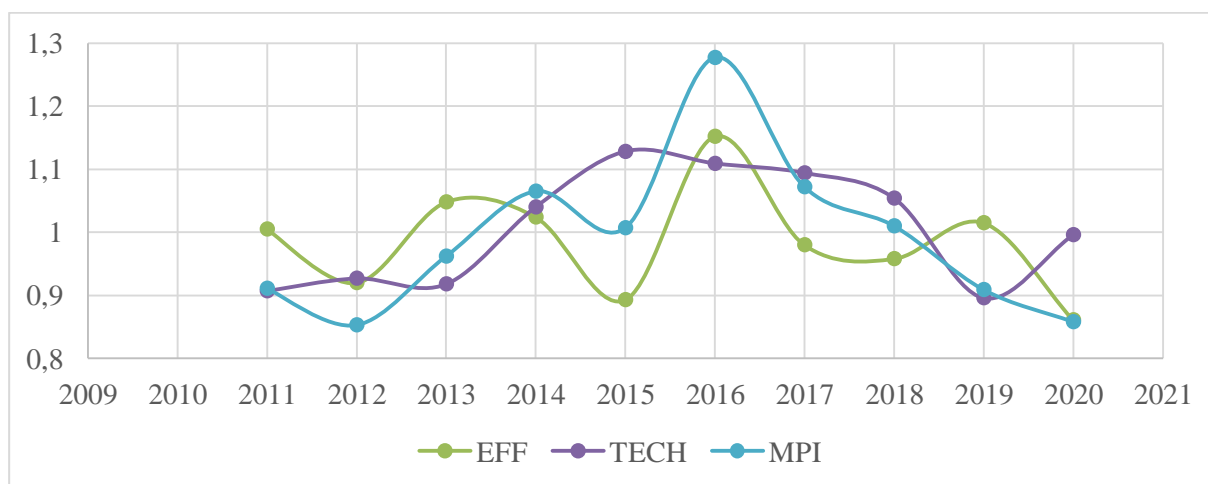
Источник: составлено автором.
Source: calculated by authors.

Рис. 2. Линейные графики исходных стандартизованных показателей (слева) и дендрограмма (справа) регионов СФО
Fig. 2. Linear graphs of the original standardized indicators (left) and dendrogram (right) of the regions of the Siberian Federal District

Методом DEA на каждый год периода 2010–2020 гг. построены выборки ТЕ и МРІ, а также их средние по времени МРІ_{ср} и дополнительно рассчитанные коэффициенты линейных трендов α.

По СФО (усредненные по регионам и годам) показатели эффективности составили: $TE_{вх} = 0,948$ и $TE_{вых} = 0,875$; $MPI = 0,985$ при $EFF = 0,982$ и $TECH = 1,003$.

Динамика показателей эффективности СФО (усредненные по регионам) является переменной и отражена на рис. 3.



Источник: составлено автором.
Source: calculated by authors.

Рис. 3. Линейные графики динамики показателей статической (ТЕ) и динамической (EFF, TECH, МРІ) эффективности СФО (усредненные по регионам)
Fig. 3. Linear graphs of the dynamics of indicators of static (TE) and dynamic (EFF, TECH, MPI) efficiency of the SFD (averaged by regions)

Исходя из данных значений можно сделать вывод, что с 2014 по 2018 г. произошел сдвиг кривой технологического фронта в среднем по СФО за счет более эффективного использования ресурсов и инновационных изменений, в то время как в оставшиеся периоды преимущественно демонстрировалась стратегия имитационного развития.

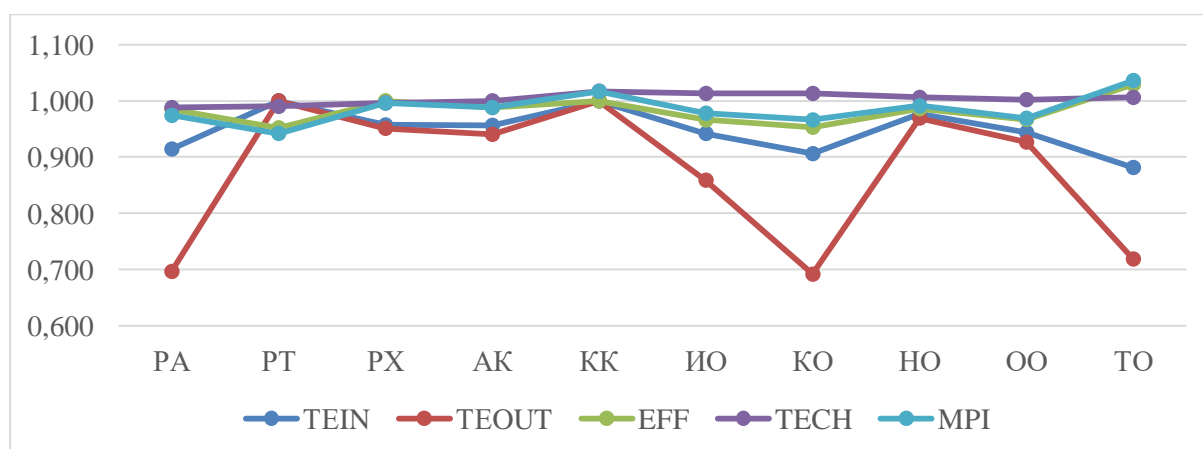
Показатели эффективности СФО (усредненные по годам) являются неоднородными по регионам (табл. 4, рис. 4).

Таблица 4. Эффективность СФО (усредненные по годам)
Table 4. Efficiency of the SFD (averaged over the years)

Регион/Region	TE _{IN}	TE _{OUT}	EFF	TECH	MPI
Республика Алтай/Altai Republic	0,914	0,697	0,985	0,988	0,974
Республика Тыва/Tuva Republic	1	1	0,952	0,99	0,942
Республика Хакасия The Republic of Khakassia	0,957	0,951	1	0,996	0,996
Алтайский край/Altai region	0,956	0,940	0,988	1	0,988
Красноярский край/Krasnoyarsk region	1	1	1	1,017	1,017
Иркутская область/Irkutsk region	0,942	0,859	0,966	1,013	0,978
Кемеровская область/Kemerovo region	0,906	0,692	0,953	1,013	0,966
Новосибирская область Novosibirsk region	0,977	0,969	0,986	1,006	0,991
Омская область/Omsk region	0,944	0,927	0,967	1,002	0,969
Томская область/Tomsk region	0,881	0,719	1,029	1,006	1,036

Источник: составлено автором.

Source: calculated by authors.



Источник: составлено автором.

Source: calculated by authors.

Рис. 4. Линейные графики неоднородности показателей статической (TE) и динамической (EFF, TECH, MPI) эффективности СФО (усредненные по годам)

Fig. 4. Linear graphs of heterogeneity of indicators of static (TE) and dynamic (EFF, TECH, MPI) efficiency of the SFD (averaged over years)

По результатам расчета ДЕА выявлены два постоянных региона-лидера (КК и РТ) за 2010–2020 гг. и пять временных (РА, РХ, АК, НО и ОО) на разных промежутках (табл. 4). Причем лидеры различаются по затратному признаку: постоянные лидеры КК и РТ – лидеры по минимизации затрат как УЗН, так и ИОК; а временные РА, РХ, АК, ОО и НО – лидеры по минимизации только затрат ИОК.

Показатели эффективности $TE_{вх}$, $TE_{вых}$, EFF , $TECH$ и MPI для СФО (по регионам и годам) отражены в табл. 5.

Таблица 5. EFF регионов СФО
Table 5. EFF of Siberian Federal District regions

Регион/Region	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Республика Алтай Altai Republic	1,204	0,73	1,678	0,973	0,836	1,139	0,86	0,898	1,223	0,667
Республика Тыва Tuva Republic	1,123	1,007	0,896	0,86	0,752	1,333	1,126	0,919	1,084	0,624
Республика Хакасия The Republic of Khakassia	0,948	0,801	1,109	1,187	0,785	1,274	1	1	1	1
Алтайский край Altai region	1	0,947	1,008	0,932	0,91	1,234	1	0,916	0,962	1,005
Красноярский край Krasnoyarsk region	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Иркутская область Irkutsk region	0,994	1,051	0,964	0,951	0,924	1,103	0,898	0,947	0,901	0,944
Кемеровская область Kemerovo region	0,776	0,791	0,918	1,265	0,932	1,298	1,012	0,837	0,924	0,917
Новосибирская область Novosibirsk region	1	0,986	1,014	0,945	0,91	1,163	1	1	1	0,864
Омская область Omsk region	0,974	0,999	0,979	1,089	1,012	0,987	0,973	0,981	0,939	0,768
Томская область Tomsk region	1,085	0,95	1,081	1,103	0,905	1,044	0,955	1,108	1,16	0,936

Источник: составлено автором.

Source: calculated by authors.

Таблица 6. MPI регионов СФО
Table 6. MPI of Siberian Federal District regions

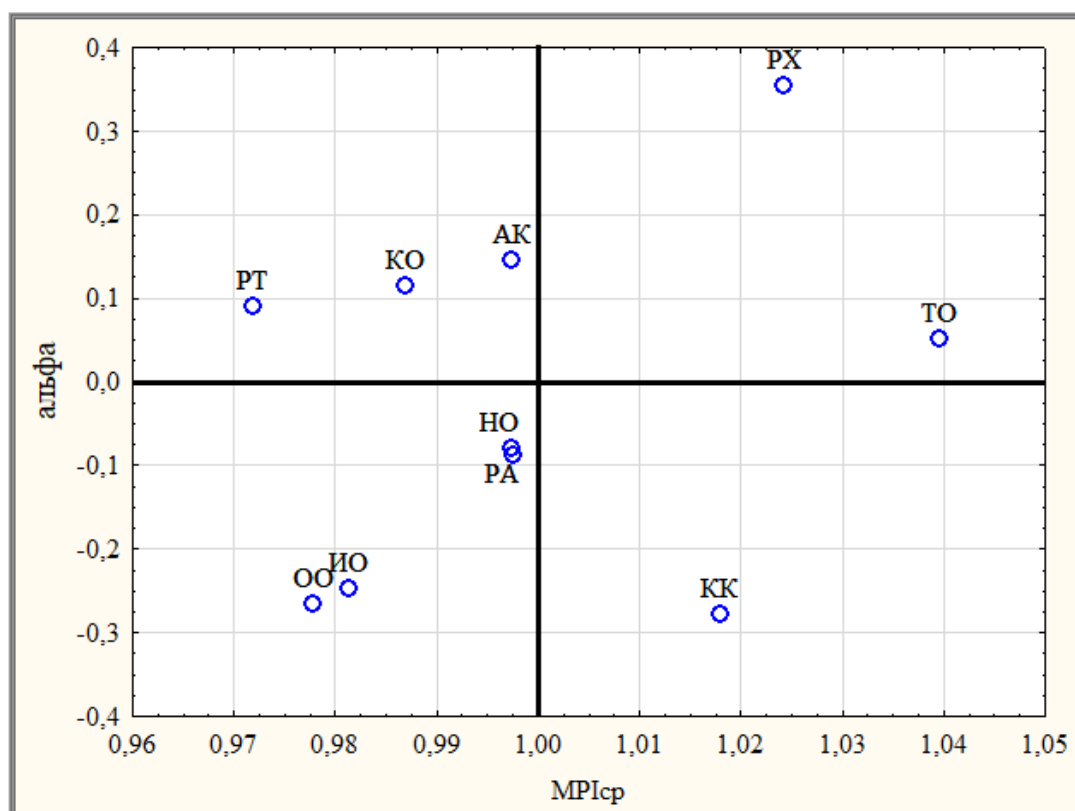
Регион/Region	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	α
Республика Алтай Altai Republic	0,84	0,697	1,435	1,045	0,941	1,323	0,988	1,069	0,909	0,729	-0,088
Республика Тыва Tuva Republic	0,784	0,976	0,766	0,924	0,846	1,548	1,293	1,094	0,806	0,682	0,091
Республика Хакасия The Republic of Khakassia	0,705	0,72	1,017	1,267	0,886	1,469	1,141	1,166	0,783	1,089	0,354
Алтайский край Altai region	0,94	0,834	0,944	0,953	1,056	1,382	1,104	0,901	0,884	0,976	0,145
Красноярский край Krasnoyarsk region	1,068	1,009	0,959	1,029	1,053	1,024	1,015	1,043	1,024	0,956	-0,279
Иркутская область Irkutsk region	1,021	0,971	0,899	0,982	1,036	1,183	0,938	0,978	0,915	0,89	-0,247
Кемеровская область Kemerovo region	0,804	0,752	0,831	1,325	1,044	1,403	1,083	0,845	0,916	0,866	0,115
Новосибирская область Novosibirsk region	1,012	0,893	0,957	0,959	1,027	1,28	1,085	0,989	0,955	0,817	-0,079
Омская область Omsk region	0,943	0,886	0,919	1,112	1,181	1,1	1,068	0,965	0,867	0,738	-0,265
Томская область Tomsk region	1,079	0,853	1,018	1,124	1,045	1,162	1,046	1,088	1,065	0,917	0,051

Источник: составлено автором.

Source: calculated by authors.

Таким образом, стратегию развития регионов с наиболее эффективным использованием ресурсов и внедрения инновационных технологий демонстрировали преимущественно Красноярский край (на протяжении всего периода) и Новосибирская область (2011, 2017–2019).

Долгосрочная динамическая эффективность регионов СФО в средних показателях (MPI_{cp}) и α проиллюстрирована на рис. 5.



Источник: составлено автором.

Source: calculated by authors.

Рис. 5. Диаграмма рассеяния регионов по MPI_{cp} и α (модель № 4)

Fig. 5. Scatterplot of regions by MPI_{cp} and α

Наиболее оптимальное использование ресурсов и, как следствие, инновационная стратегия развития с позиции минимизации затрат для получения определенного размера ВРП и максимизации ВРП при существующих ресурсах в долгосрочном периоде продемонстрировали три региона – Красноярский край, Томская область (вторая стратегия) и Республика Хакасия (первая стратегия). Остальным регионам преимущественно рекомендована имитационная стратегия, связанная с менее эффективным использованием ресурсов в долгосрочном периоде, применяя тактику выявленных лидеров на кривой технологического фронта. Необходимо отметить, что данное исследование планируется развивать в области перетока знаний и обмена технологиями между регионами, чтобы максимально применять комплементарный и взаимодополняющий подход в рамках макрорегионального развития.

Исследование выполнено при поддержке гранта РНФ (проект 22-28-01325 Глобальная конкурентоспособность и технологическое лидерство регионов: Переосмысление подходов к формированию макрорегионального экономического пространства).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. World Population Prospects: the 2017 Revision, Key Findings and Advance Tables. – NY, United Nations, 2017. URL: https://population.un.org/wpp/publications/files/wpp2017_keyfindings.pdf (дата обращения 24.10.2019)
2. Население России 2017: двадцать пятый ежегодный демографический доклад / отв. ред. С.В. Захаров. – М.: Изд. дом Высшей школы экономики, 2019. – 480 с.
3. Регионы России. Социально-экономические показатели. Статистический сборник. URL: https://www.gks.ru/free_doc/doc_2018/region/reg-pok18.pdf (дата обращения 24.10.2019).
4. Lieberman M.B., Asaba Sh. Why do firms imitate each other? // *Academy of Management Review*. – 2006. – V. 31. – № 2. – P. 366–385.
5. Gebresilassie Y.H., Nyatanga Ph. Efficiency of the ethiopian health extension program: an application of data envelopment analysis // *Eurasian Journal of Business and Economics*. – 2017. – № 10 (19). – P. 99–126.
6. Handono T., Prabowo E., Cabanda E. Stochastic frontier analysis of Indonesian firm efficiency: a note // *International Journal of Banking and Finance*. – 2011. – V. 8. – Iss. 2. – P. 74–91. DOI: 10.32890/ijbf2011.8.2.8426. URL: https://www.researchgate.net/publication/333671023_Stochastic_Frontier_Analysis_of_Indonesian_Firm_Efficiency_A_Note (дата обращения 24.10.2021).
7. Ali J. Productivity and efficiency in Indian meat processing industry: A DEA approach // *Indian Journal of Agricultural Economics*. – 2007. – V. 62(4). – P. 637–648.
8. Yan Li, Chunlu Liu. Malmquist indices of total factor productivity changes in the Australian construction industry // *Construction Management and Economics*. – 2010. – V. 28. – Iss. 9. – P. 933–945.
9. Leverage, technical efficiency and profitability: an application of DEA to foreign-invested toy manufacturing firms in China / V. Mok, G. Yeung, Zh. Han, Z. Li // *Journal of Contemporary China*. – 2007. – V. 16. – Iss. 51. – P. 259–274.
10. Anokhin S., Wincent J. Technological arbitrage opportunities and interindustry differences in entry rates // *Journal of Business Venturing*. – 2014. – № 29 (3). – P. 437–452.
11. Measuring arbitrage opportunities: a minimum performance inefficiency estimation technique / S. Anokhin, M.D. Troutt, J. Wincent, A.A. Brandyberry // *Organizational Research Methods*. – 2010. – № 13 (1). – P. 55–66.
12. Чистякова Н.О., Михальчук А.А. Оценка DEA–динамической эффективности инновационного развития регионов СФО // *Вестник НГУЭУ*. – 2020. – № 4. – С. 72–90.
13. Charnes A., Cooper W., Rhodes E. Evaluating program and managerial efficiency: An application of data envelopment analysis to program follow through // *Management Science*. – 1981. – № 27. – P. 668–697.
14. Ратнер С.В. Динамические задачи оценки эколого-экономической эффективности регионов на основе базовых моделей анализа среды функционирования // *Управление большими системами*. – Вып. 67. – М.: ИПУ РАН, 2017. – Вып. 67. – С. 81–106. DOI: <https://doi.org/10.25728/ubs.2017.67.4>.
15. Цапенко М.В. Синтез глобальных оценок сравнительной эффективности инновационного потенциала региона // *Экономика и управление*. – 2015. – № 5 (126). – С. 53–58.
16. Порунов А.Н. Оценка сравнительной эффективности государственного менеджмента экологической безопасности в регионе методом DEA-анализа (на примере Приволжского федерального округа // *Научный журнал НИУ ИТМО. Серия «Экономика и экологический менеджмент»*. – 2016. – № 1. – С. 104–111.
17. Ивлева Н.В., Комаревцева О.О. Применение имитационного моделирования в процессе управления финансово-инвестиционными ресурсами муниципального образования // *Вестник Белгородского университета кооперации, экономики и права*. – 2014. – № 3 (51). – С. 303–310.
18. Linear programming approaches to the measurement and analysis of productive efficiency / C.A.K. Lovell, Sh. Grosskopf, E. Ley, J.T. Pastor, D. Prior, Ph. Vanden Eeckaut // *Top*. – 1994. – V. 2. – P. 175–248.
19. Seiford L.M., Thrall R.M. Recent developments in DEA: the mathematical approach to frontier analysis // *Journal of Econometrics*. – 1990. – V. 46. – P. 7–38.
20. Seiford L.M. Data envelopment analysis: the evolution of the state of the art (1978–1995) // *Journal of Productivity Analysis*. – 1996. – V. 7. – P. 99–138.
21. Charnes A., Cooper W.W., Rhodes E. Measuring of efficiency of decision making units // *European Journal of Operations Research*. – 1978. – V. 2. – № 6. – P. 429–444.
22. Banker R.D., Charnes A., Cooper W.W. Some models for estimating technical and scale inefficiencies in data envelopment analysis // *Management Science*. – 1984. – V. 30. – № 9. – P. 1078–1092.
23. Coelli T. A Guide to DEAP Version 2.1: a data envelopment analysis (computer) program. – Armidale, NSW, 2351, Centre for Efficiency and Productivity Analysis Department of Econometrics University of New England, Australia. URL: <http://www.owl.net.rice.edu/~econ380/DEAP.PDF> (дата обращения 24.10.2021).

24. Malmquist S. Index numbers and indifference surfaces // *Trabajos de Estadística*. – 1953. – № 4. – P. 209–242.
25. Productivity growth, technical progress, and efficiency changes in industrialised countries / R. Fare, S. Grosskopf, M. Norris, Z. Zhang // *American Economic Review*. – 1994. – V. 84. – P. 66–83.
26. Tohidi G., Razavyan S. A circular global profit Malmquist productivity index in data envelopment analysis // *Applied Mathematical Modelling*. – 2013. – № 37. – P. 216–227.
27. Azad A.K., Masum A.K., Haque S. Use of Circular Malmquist Index (CMI) and Variable Returns to Scale (VRS-MI) in productivity measurement – a comparative study // *International Journal of Ethics in Social Sciences*. – 2014. – V. 2. – № 2. – P. 69–76.
28. Jafari Y. Malmquist productivity index for multi time periods // *International Journal of Data Envelopment Analysis*. – 2014. – V. 2. – №.1. – P. 315–322. URL: https://ijdea.srbiau.ac.ir/article_7070.html (дата обращения 24.10.2021).
29. TIBCO Software Inc. *Data Science Textbook*. 2020. URL: <https://docs.tibco.com/data-science/textbook> (дата обращения: 13.04.2020).
30. Халафян А.А., Боровиков В.П., Калайдина Г.В. Теория вероятностей, математическая статистика и анализ данных: Основы теории и практика на компьютере. STATISTICA. EXCEL. – Москва, URSS, 2016. – 317 с.

Поступила 27.02.2022 г.

UDC 332.146.2:005.332.4:316.422.44

**TECHNICAL EFFICIENCY OF REGIONS AS A TOOL FOR INCREASING
THE COMPETITIVENESS OF TERRITORIES THROUGH THE STRATEGY
OF TECHNOLOGICAL ARBITRAGE (CATCHING-UP STRATEGY)****Natalia O. Chistyakova¹,**
chistyakovano@tpu.ru**Alexander A. Mikhailchuk¹,**
aamih@tpu.ru**Valerya V. Tatarnikova¹,**
tvv@mail.ru**Ekaterina A. Akerman²,**
eakerman@tsu.ru**Anastasiya S. Izotova¹,**
izotova.anastasia1995@gmail.com¹ National Research Tomsk Polytechnic University,
30, Lenin avenue, Tomsk, 634050, Russia² National Research Tomsk State University,
36, Lenin avenue, Tomsk, 634050, Russia**Natalya O. Chistyakova**, Dr. Sc., associate professor, National Research Tomsk Polytechnic University.**Alexander A. Mikhailchuk**, Cand. Sc., associate professor, National Research Tomsk Polytechnic University.**Valeria V. Tatarnikova**, assistant, National Research Tomsk Polytechnic University.**Ekaterina A. Akerman**, junior researcher, National Research Tomsk State University.**Anastasia S. Izotova**, expert, National Research Tomsk Polytechnic University.

The article is devoted to the problem of increasing the competitiveness of regions through the application of the technology arbitrage strategy at the macro-regional level. The paper explores the possibilities of applying the imitation strategy for follower regions in terms of the degree of efficiency in the use of resources. Strategies based on the technology leadership paradigm can be seen as more efficient combinations of resources that are clearly superior to available alternatives and include a concentration of human capital; leadership in technology markets; establishment and generation of knowledge and their implementation. These development strategies are suitable for megacities because they require intensive interaction and institutional support between various actors such as firms, universities, research and innovation centers and governments, in addition, they are magnets for attracting quality human capital. Peripheral regions are considered less innovative and tend to have less patents and investment in R&D, leading to a focus on process and catch-up innovation and hence the need for their own development strategy. The article develops and illustrates a methodology based on the analysis of the operating environment and other methods that can be used to clarify the regional strategy. Various types of regional innovations are analyzed based on a longitudinal analysis of the regions of the Siberian Federal District of the Russian Federation over a ten-year period. This approach made it possible to analyze the effectiveness of the use of basic economic resources (labor-capital) at the regional level, singled out a model for the development of regions through innovation or through technological arbitrage. As a result of applying the Data Envelopment Analysis and Malmquist productivity index methods, the leading regions were identified in terms of the efficiency of using different types of resources. This made it possible to cluster regions according to different types of leadership and identify regions for which an imitation strategy is recommended, depending on their proximity to the technological frontier.

Key words: Technical efficiency, DEA method, MPI method, spatial development, regional competitiveness.

The research was supported by the RSF grant (project 22-28-01325 Global competitiveness and technological leadership of the regions: rethinking the approaches to formation of macro-regional economic space).

REFERENCES

31. *World Population Prospects: The 2017 Revision, Key Findings and Advance Tables*. NY, United Nations, 2017. Available at: https://population.un.org/wpp/publications/files/wpp2017_keyfindings.pdf (accessed 24 October 2019).
32. *Naselenie Rossii 2017: dvadtsat pyaty ezhegodny demograficheskiy doklad* [Population of Russia 2017: twenty-fifth annual demographic report]. Ed. by S.V. Zakharov. Moscow, HSE Publ., 2019. 480 p.
33. *Regiony Rossii. Sotsialno-ekonomicheskie pokazateli. Statisticheskii sbornik* [Regions of Russia. Socio-economic indicators. Statistical compendium]. Available at: https://www.gks.ru/free_doc/doc_2018/region/reg-pok18.pdf (accessed 24 October 2019).
34. Lieberman M.B., Asaba Sh. Why do firms imitate each other? *Academy of Management Review*, 2006, vol. 31, no. 2, pp. 366–385.
35. Gebresilassie Y.H., Nyatanga Ph. Efficiency of the ethiopian health extension program: an application of data envelopment analysis. *Eurasian Journal of Business and Economics*, 2017, no. 10 (19), pp. 99–126.
36. Handono T., Prabowo E., Cabanda E. Stochastic frontier analysis of Indonesian firm efficiency: a note. *International Journal of Banking and Finance*, 2011, vol. 8, Iss. 2, pp. 74–91. DOI: 10.32890/ijbf2011.8.2.8426. Available at: https://www.researchgate.net/publication/333671023_Stochastic_Frontier_Analysis_of_Indonesian_Firm_Efficiency_A_Note (accessed 24 October 2021).
37. Ali J. Productivity and efficiency in Indian meat processing industry: a DEA Approach. *Indian Journal of Agricultural Economics*, 2007, vol. 62 (4), pp. 637–648.
38. Yan Li, Chunlu Liu. Malmquist indices of total factor productivity changes in the Australian construction industry. *Construction Management and Economics*, 2010, vol. 28, Iss. 9, pp. 933–945.
39. Mok V., Yeung G., Han Zh., Li Z. Leverage, technical efficiency and profitability: an application of DEA to foreign-invested toy manufacturing firms in China. *Journal of Contemporary China*, 2007, vol. 16, Iss. 51, pp. 259–274.
40. Anokhin S., Wincent J. Technological arbitrage opportunities and interindustry differences in entry rates. *Journal of Business Venturing*, 2014, no. 29 (3), pp. 437–452.
41. Anokhin S., Troutt M.D., Wincent J., Brandyberry A.A. Measuring arbitrage opportunities: A minimum performance inefficiency estimation technique. *Organizational Research Methods*, 2010, no. 13 (1), pp. 55–66.
42. Chistyakova N.O., Mikhailchuk A.A. Otsenka DEA – dinamicheskoy effektivnosti innovatsionnogo razvitiya regionov SFO [Estimation of DEA – dynamic efficiency of innovative development of regions of the Siberian Federal District]. *Vestnik NGUEU*, 2020, no. 4, pp. 72–90.
43. Charnes A., Cooper W., Rhodes E. Evaluating program and managerial efficiency: An application of data envelopment analysis to program follow through. *Management Science*, 1981, no. 27, pp. 668–697.
44. Ratner S.V. Dinamicheskie zadachi otsenki ekologo-ekonomicheskoy effektivnosti regionov na osnove bazovykh modeley analiza sredey funktsionirovaniya [Dynamic tasks of assessing the ecological and economic efficiency of regions based on basic models of analysis of the functioning environment]. *Upravlenie bolshimi sistemami*, 2017, Iss. 67, pp. 81–106. DOI: <https://doi.org/10.25728/ubs.2017.67.4>.
45. Tsapenko M.V. Sintez globalnykh otsenok sravnitelnoy effektivnosti innovatsionnogo potentsiala regiona [Synthesis of global assessments of the comparative effectiveness of the region's innovative potential]. *Ekonomika i upravlenie*, 2015, no. 5 (126), pp. 53–58.
46. Porunov A.N. Otsenka sravnitelnoy effektivnosti gosudarstvennogo menedzhmenta ekologicheskoy bezopasnosti v regione metodom DEA-analiza (na primere Privolzhskogo federalnogo okruga [Evaluation of the comparative effectiveness of the state management of environmental safety in the region by DEA-analysis (on the example of the Volga Federal District)]. *Nauchnyy zhurnal NIU ITMO. Seriya «Ekonomika i ekologicheskii menedzhment»*, 2016, no. 1, pp. 104–111.
47. Ivleva N.V., Komarevtseva O.O. Primenenie imitatsionnogo modelirovaniya v protsesse upravleniya finansovo-investitsionnymi resursami munitsipalnogo obrazovaniya [The use of simulation modeling in the process of managing financial and investment resources of a municipality]. *Vestnik Belgorodskogo universiteta kooperatsii, ekonomiki i prava*, 2014, no. 3 (51), pp. 303–310.

48. Lovell C.A.K., Grosskopf Sh., Ley E., Pastor J.T., Prior D., Vanden Eeckaut Ph. Linear programming approaches to the measurement and analysis of productive efficiency. *Top*, 1994, vol. 2, pp. 175–248.
49. Seiford L.M., Thrall R.M. Recent developments in DEA: the mathematical approach to frontier analysis. *Journal of Econometrics*, 1990, vol. 46, pp. 7–38.
50. Seiford L.M. Data envelopment analysis: the evolution of the state of the Art (1978–1995). *Journal of Productivity Analysis*, 1996, vol. 7, pp. 99–138.
51. Charnes A., Cooper W.W., Rhodes E. Measuring of efficiency of decision making units. *European Journal of Operations Research*, 1978, vol. 2, no. 6, pp. 429–444.
52. Banker R.D., Charnes A., Cooper W.W. Some models for estimating technical and scale inefficiencies in data envelopment analysis. *Management Science*, 1984, vol. 30, no. 9, pp. 1078–1092.
53. Coelli T. *A Guide to DEAP Version 2.1: a data envelopment analysis (computer) program*. Armidale, NSW, 2351, Centre for Efficiency and Productivity Analysis Department of Econometrics University of New England Australia. Available at: <http://www.ownet.rice.edu/~econ380/DEAP.PDF> (accessed 24 October 2021).
54. Malmquist S. Index numbers and indifference surfaces. *Trabajos de Estadística*, 1953, no. 4, pp. 209–242.
55. Fare R., Grosskopf S., Norris M., Zhang Z. Productivity growth, technical progress, and efficiency changes in industrialised countries. *American Economic Review*, 1994, vol. 84, pp. 66–83.
56. Tohidi G., Razavyan S. A circular global profit Malmquist productivity index in data envelopment analysis. *Applied Mathematical Modelling*, 2013, no. 37, pp. 216–227.
57. Azad A.K., Masum A.K., Haque S. Use of Circular Malmquist Index (CMI) and Variable Returns to Scale (VRS-MI) in productivity measurement – a comparative study. *International Journal of Ethics in Social Sciences*, 2014, vol. 2, no. 2, pp. 69–76.
58. Jafari Y. Malmquist productivity index for multi time periods. *International Journal of Data Envelopment Analysis*, 2014, vol. 2, no.1, pp. 315–322. Available at: https://ijdea.srbiau.ac.ir/article_7070.html (accessed 24 October 2021).
59. *TIBCO Software Inc. Data Science Textbook*. 2020. Available at: <https://docs.tibco.com/data-science/textbook> (accessed: 13 April 2020).
60. Khalafyan A.A., Borovikov V.P., Kalaydina G.V. *Teoriya veroyatnostey, matematicheskaya statistika i analiz dannykh: osnovy teorii i praktika na kompyutere*. STATISTICA. EXCEL [Probability theory, mathematical statistics and data analysis: Fundamentals of theory and practice on the computer. STATISTICS. EXCEL]. Moscow, URSS Publ., 2016. 317 p.

Received: 27 February 2022.