

## Измерение эффективности экономического развития провинций Китая с использованием метода DEA и индекса Мальмквиста

B. M. Карпенко<sup>1</sup>✉, Чжу Хао<sup>2</sup>

<sup>1, 2</sup> Белорусский государственный университет, г. Минск, Республика Беларусь

✉ vmkarpenga@gmail.com

**Аннотация.** Авторы решают вопросы рационального распределения ресурсов и координированного высококачественного развития экономики регионов. Разработан инструментарий для выявления источников регионального роста и причин региональных отличий. На основе панельных данных по 30 единицам провинциального уровня Китая за 2014–2023 гг. построена трехэтапная DEA-модель, рассчитан индекс Мальмквиста и его декомпозиция. Сделаны выводы об особенностях развития экономических регионов Китая, о причинах и структуре экономического роста провинций. Путем анализа индекса Мальмквиста определено влияние технического прогресса на факторную производительность. Приведены рекомендации по улучшению внутренней эффективности регионов.

**Ключевые слова:** экономика регионов, трехэтапная DEA-модель, индекс Мальмквиста, межпровинциальные различия, экономическая эффективность, технический прогресс

**Финансирование:** авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования.

**Для цитирования:** Карпенко В. М., Чжу Хао. «Измерение эффективности экономического

развития провинций Китая с использованием метода DEA и индекса Мальмквиста».

*Экономические и социально-гуманитарные исследования* 12.4 (2025): m10s01a20.

<https://doi.org/10.24151/2409-1073-2025-12-4-m10s01a20> EDN: YJNUM.

Original article

## Measuring the effectiveness of China provinces' economic development using the DEA method and the Malmquist index

V. M. Karpenko<sup>1</sup>✉, Zhu Hao<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> Belarusian State University, Minsk, Republic of Belarus

✉ vmkarpenka@gmail.com

**Abstract.** The authors address the issues of rational allocation of resources and coordinated high-quality development of the regional economy. In this work, a toolkit is developed to identify the sources of regional growth and the causes of regional differences. Based on panel data on 30 provincial-level units in China for the years 2014 to 2023, a three-stage DEA model is built, the Malmquist index and its decomposition are calculated. Conclusions have been drawn about the peculiarities of the development of China's economic regions, the causes and structure of the provinces' economic growth. By analyzing the Malmquist index, the impact of technological progress on factor productivity has been determined. Recommendations for improving the internal efficiency of the regions are given.

**Keywords:** regional economy, three-stage DEA model, Malmquist index, interprovincial differences, economic efficiency, technological progress

**Funding:** this study was not supported by any external sources of funding.

**For citation:** Karpenko V. M., Zhu Hao. "Measuring the Effectiveness of China Provinces' Economic Development Using the DEA Method and the Malmquist Index". *Ekonomicheskie i sotsial'no-gumanitarnye issledovaniya = Economic and Social Research* 12.4 (2025): m10s01a20. (In Russian). <https://doi.org/10.24151/2409-1073-2025-12-4-m10s01a20>

### Введение

В условиях новой эпохи высококачественного развития китайская экономика перешла от стадии высоких темпов роста к этапу, в большей степени ориентированному на повышение эффективности и оптимизацию структуры (Шестакова, Карпенко, 2025). Между единицами провинциального уровня существуют значительные различия в ресурсной обеспеченности, отраслевой структуре и инновационном потенциале, что напрямую влияет на сбалансированное и устойчивое развитие региональной экономики (Li, 2009; Карпенко, Хао, 2022). Системный анализ экономической эффективности на уровне провинций позволяет выявить рациональность распределения ре-

сурсов и скрытые ограничения, обеспечивая тем самым научное основание и политические ориентиры для сокращения региональных диспропорций, содействия всеобщему благосостоянию и реализации стратегических целей национальной модернизации (Zheng, Hu, 2006; Карпенко, Линь, 2022).

В последние годы исследователи широко применяют методы панельных данных для системной оценки эффективности регионального экономического развития Китая, его зеленой трансформации и инновационного стимулирования, формируя многомерные исследовательские подходы. Так, S. Hassan и соавторы, опираясь на панельные данные восточных провинций Китая,

---

© Карпенко В. М., Чжу Хао

разработали индикаторы зеленой экономической результативности и с использованием устойчивых методов оценки ССЕМГ и АМГ выявили значительное позитивное влияние индустриальной модернизации, технологических инноваций и экологического регулирования на рост зеленой экономики, подчеркнув тесную взаимосвязь между повышением эффективности и устойчивым развитием (Hassan et al., 2025). В свою очередь, X. Bai и Q. Shen рассмотрели данную проблему на уровне городов и при помощи модели Super-SBM и динамического QCA исследовали взаимосвязь между развитием цифровой экономики и устойчивостью городов на менее развитых территориях за период 2011–2020 гг., установив, что масштабы и качество цифровой экономики обладают взаимодополняющим эффектом в отношении городского развития (Bai, Shen, 2025). Параллельно коллектив ученых (Shi et al., 2020), используя данные по потреблению электроэнергии в провинциях в качестве индикатора, с опорой на методы кластерного и панельного анализа выявил разнообразные модели экономического развития Китая на провинциальном уровне, подчеркнув значимость данных энергопотребления для измерения экономического роста.

Труд, капитал и инвестиции в НИОКР чаще всего рассматриваются как ключевые факторы при измерении региональной экономической эффективности, однако большинство работ ограничиваются использованием традиционной DEA-модели (Карпенко, Рассеко, 2022), что не позволяет в полной мере устранить влияние внешней среды и случайных факторов, а следовательно, имеет определенные ограничения при отражении реального уровня эффективности. Мы вводим трехэтапную DEA-модель, которая после учета внешней среды и случайного шума позволяет более точно идентифицировать чистую техническую эффективность и эффективность в масштабе каждой провин-

ции. Дополнительно мы используем индекс Мальмквиста, чтобы зафиксировать динамику изменений эффективности экономики и технического прогресса в межрегиональном и межвременном разрезе. Такой метод позволяет измерять в течение десяти лет производительность 30 единиц провинциального уровня, а также более полно раскрыть межрегиональные различия в эффективности и тенденциях их эволюции.

В отношении четырех муниципалитетов центрального подчинения (Пекин, Шанхай, Тяньцзинь, Чунцин) следует отметить, что в эмпирических исследованиях регионального развития Китая муниципалитеты центрального подчинения, провинции и автономные районы обычно рассматриваются на одном аналитическом уровне, поскольку все они относятся к провинциальному уровню административного деления; для них характерны согласованные процедуры реализации политики и единообразие бюджетно-статистических методологий, сопоставимость источников данных и их периодичности, а также относительная стабильность административных границ и наблюданной совокупности, что облегчает построение единой панельной базы и прямую привязку эффекта центральной политики к провинциальному уровню.

Вместе с тем Специальный административный район Гонконг (САР Гонконг), Специальный административный район Макао (САР Макао) и Тайвань часто выделяются в отдельную группу либо не включаются в общую панель данных из-за системных расхождений с материковым Китаем в правовой и экономической архитектуре, налогово-денежном устройстве, статистических стандартах и операционализации показателей; их официальная статистика ведется автономно, значительная часть микроданных трудно гармонизируется или ограниченно доступна, а принудительное агрегирование снижает гомогенность модели и надежность выводов.

Тибетский автономный район также нередко исключается из рассмотрения ввиду наличия массивов пропусков и частого изменения статистической методики, трудностей измерения отдельных показателей, высокой зависимости от межбюджетных трансфертов и специфической отраслевой структуры.

Соответственно, в данном тексте из 34 провинциальных административных единиц используются 30, а САР Гонконг, САР Макао, Тайвань и Тибетский автономный район исключены.

### **Составление трехэтапной DEA-модели исследования**

*Первый этап составления методологии: традиционная DEA-модель.* При исследовании региональной экономической эффективности традиционная DEA-модель обычно используется в качестве исходного инструмента измерения, что позволяет на основе исходных данных о затратах и выпуске оценивать совокупную техническую эффективность. Мы выбрали ориентированную на затраты ВСС-модель для расчета начальных значений эффективности. Модель имеет следующий вид:

$$\min \theta - \varepsilon (e^T S^- + e^T S^+)$$

при ограничениях:

$$\begin{cases} \sum_{j=1}^n X_j \lambda_j + S^- = \theta X^0 \\ \sum_{j=1}^n Y_j \lambda_j + S^+ = Y^0 \\ \lambda_j \geq 0, S^- \geq 0, S^+ \geq 0 \end{cases}$$

где

$X_j$  — входные ресурсы;

$Y_j$  — выпуск;  $\lambda_j$  — весовые коэффициенты;

$\theta$  — интегральная техническая эффективность;

$S^+$  — избыточные переменные;

$S^-$  — переменные ослабления;

$\varepsilon$  — неархимедово бесконечно малое число.

*Второй этап составления методологии: SFA-регрессия для устранения влияния факторов внешней среды и статистического шума.* Так как внешняя среда, в которой находятся регионы, различается, простое применение DEA может приводить к смещению значений эффективности. Чтобы исключить этот фактор, применяем метод стохастического фронтирного анализа (SFA), позволяющий регрессионно разложить взаимосвязь между избыточными затратами и факторами внешней среды, тем самым выявляя и устранивая влияние внешних условий и статистического шума. Оптимизация входных данных позволяет нам привести все исследуемые объекты к единым условиям внешней среды и получить более объективные и корректные результаты сравнения.

$$S_{mj} = f(Z_j; \beta_m) + v_{mj} + \mu_{mj},$$

где

$S_{mj}$  — значение избыточного входа  $m$ -го ресурса в  $j$ -м объекте;

$Z_j$  — факторы внешней среды;

$\beta_m$  — коэффициенты влияния внешней среды;

$v_{mj} + \mu_{mj}$  — совокупный член ошибки, где  $v_{mj}$  отражает случайные возмущения, а  $\mu_{mj}$  — неэффективность управления;

при этом  $v_{mj}$  и  $\mu_{mj}$  являются независимыми.

Скорректированные входные данные определяются как:

$$X'_{mj} = X_{mj} + [\max [f(Z_j; \beta_m)] - f(Z_j; \beta_m)] + [\max (v_{mj}) - v_{mj}],$$

где

$X'_{mj}$  — откорректированные входы;

$X_{mj}$  — исходные входы;

$\left[ \max \left[ f(Z_j; \beta_m) \right] - f(Z_j; \beta_m) \right]$  — устранение влияния факторов внешней среды;

$\max(v_{mj}) - v_{mj}$  — выравнивание случайных возмущений.

*Третий этап составления методологии: DEA-модель с откорректированными входами.* После корректировки входных переменных применяем DEA-модель повторно, что позволяет нам исключить влияние внешней среды и случайных факторов, обеспечивая более объективную оценку эффективности.

### Методика расчета индекса совокупной факторной производительности Мальмквиста

Индекс Мальмквиста является распространенным инструментом для измерения динамических изменений совокупной факторной производительности (Total Factor Productivity, TFP). Он основан на методе функции расстояния и позволяет сравнивать уровень производительности объектов (DMU) в разные периоды.

Пусть  $(x_t, y_t)$  и  $(x_{t+1}, y_{t+1})$  обозначают вектор входов и выходов для объекта в периоды  $t$  и  $t + 1$ . Функция расстояния  $D^t(x, y)$  оценивает эффективность  $(x, y)$  относительно производственных возможностей периода  $t$ .

Определим индекс Мальмквиста:

$$M_{t,t+1} = \sqrt{\frac{D^t(x_{t+1}, y_{t+1})}{D^t(x_t, y_t)} \cdot \frac{D^{t+1}(x_{t+1}, y_{t+1})}{D^{t+1}(x_t, y_t)}},$$

где числитель отражает различия относительно технологической границы периода  $t$ , а знаменатель — относительно технологической границы периода  $t + 1$ ; геометрическое среднее обеспечивает временную симметрию. Условие  $M_{t,t+1} > 1$  означает рост совокупной факторной производительности.

Индекс Мальмквиста может быть разложен на изменения технической эффективности (Efficiency Change, EFFCH) и технический прогресс (Technical Change, TECHCH):

$$\text{TFPCCH} = \text{EFFCH} \cdot \text{TECHCH},$$

$$\text{EFFCH} = \text{Efficiency}_{t+1} / \text{Efficiency}_t,$$

где EFFCH измеряет эффект «догоняния» по отношению к производственной границе, а TECHCH отражает ее сдвиг во времени.

### Эмпирическая база исследования

С целью рассчитать экономическую эффективность по 30 единицам провинциального уровня Китая за 2014–2023 гг. (ввиду

отсутствия данных Тибет не включен в анализ) и с учетом доступности данных были отобраны результатирующие (выходные) и факторные (входные и показатели среды) показатели. Источником показателей для анализа является база данных CSMAR (Guotaiyan Database)<sup>1</sup>. Это комплексный исследовательский ресурс глубокой исторической покрытости, ориентированный на экономику и финансовые рынки Китая; методологические подходы и метрики согласуются с международными стандартными базами (такими как CRSP, Compustat и др.).

В качестве результатирующего (выходным) показателя выбираем годовой валовой региональный продукт (ВРП), 100 млн юаней.

К факторным входным показателям относим:

- Труд, измеряемый годовой численностью занятых в провинции, 10 тыс. чел.
- Капитал, рассчитанный методом перманентной инвентаризации (PIM), при

<sup>1</sup> CSMAR — Product of Shenzhen CSMAR Data Technology Co., Ltd. Режим доступа: <https://data.csmar.com/> (дата обращения: 05.11.2025).

этом 2000 г. принят за базовый; запасы капитала последующих лет получены посредством рекуррентного применения классической формулы метода перманентной инвентаризации, источник данных — работа по переоценке основно-

го капитала Китая в 1952–2006 гг. (Shan, 2008), 100 млн юаней.

- Технологии, измеренные расходами на НИОКР промышленных предприятий, 10 тыс. юаней.

**Таблица 1.** Средние значения индекса эффективности экономического развития провинций Китая за 2014–2023 гг.

*Table 1. Average values of the economic development performance index of China's provinces for the years 2014 to 2023*

Провинция/Город	Среднее значение	Ранг	Провинция/Город	Среднее значение	Ранг
Пекин	1	1	Хэйлунцзян	0,8398	16
Гуандун	1	1	Юньнань	0,8311	17
Хайнань	1	1	Тяньцзинь	0,8155	18
Цзянсу	1	1	Цзилинь	0,7843	19
Цинхай	1	1	Фуцзянь	0,7701	20
Сычуань	1	1	Хубэй	0,7673	21
Гуанси	0,9922	7	Шаньси	0,7525	22
Синьцзян	0,9865	8	Ганьсу	0,732	23
Нинся	0,966	9	Цзянси	0,7318	24
Шанхай	0,9218	10	Хунань	0,7222	25
Хэнань	0,9009	11	Шэньси	0,7084	26
Гуйчжоу	0,9005	12	Чунцин	0,6813	27
Шаньдун	0,8692	13	Хэбэй	0,6652	28
Внутренняя Монголия	0,8502	14	Ляонин	0,6632	29
Чжэцзян	0,85	15	Анхой	0,6107	30
Регион		Среднее значение		Ранг	
Восточный		0,8892		1	
Западный		0,8771		2	
Северо-Восточный		0,7624		3	
Центральный		0,7476		4	

К факторным показателям среды относим:

- Индекс рыночной ориентации, источник данных — работа Ван Сяолу «Отчет об индексе рыночной ориентации по провинциям Китая (2021)». По аналогии с подходами группы китайских ученых ([Luo Dongliang et al.], 2024), а также Wenlong Han и его коллег (Han, Zhang, Zhao, 2024), применяем метод скользящего среднего для расчета значений индекса рыночной ориентации по регионам за 2014–2023 гг.
- Отраслевую структуру, измеряемую долей

третичного сектора в годовом валовом региональном продукте.

- Человеческий капитал, измеряемый численностью студентов учреждений высшего образования в расчете на 100 тысяч населения, чел.

### Поэтапный эмпирический анализ эффективности экономического развития провинций Китая в период 2014–2023 гг.

**Первый этап анализа.** Используем программное обеспечение *idea ultra V5* и ориентированную на затраты ВСС-модель. На основе полученных результатов рассчитаем

среднее значение за десятилетний период. Итоговые результаты представим в табл. 1.

Как видно из табл. 1, Пекин, Гуандун, Хайнань, Цзянсу, Цинхай и Сычуань в течение десяти лет (2014–2023 гг.) неизменно оставались на передовой линии эффективности, тогда как такие провинции, как Аньхой, Ляонин и Хэбэй, занимали позиции в конце рейтинга. Согласно региональной структуре, средний уровень эффективности наивысший на Восточном побережье, Западный регион Китая занимает второе место, тогда как общая эффективность Северо-Восточного и Центрального регионов относительно низка. Однако данный расчет

включает влияние факторов внешней среды и случайных возмущений, вследствие чего он не может объективно и точно отразить эффективность экономического развития провинций. Поэтому на втором этапе анализа мы применяем метод SFA.

**Второй этап анализа.** С использованием программного обеспечения *Frontier 4.1* три избыточные переменные затрат, рассчитанные на первом этапе, последовательно задаем в качестве объясняемых переменных, а индекс рыночной ориентации, человеческий капитал и отраслевую структуру — в качестве объясняющих переменных. Результаты представим в табл. 2.

Таблица 2. Результат SFA-регрессии для избыточных затрат  
Table 2. SFA regression result for excess costs

Показатель	Технологии	Труд	Капитал
Константа	-1,87E+06***	2,37E+02***	-7,72E+03***
Индекс рыночной ориентации	1,75E+05***	3,21E+01***	6,67E+02***
Человеческий капитал	-1,10E+03***	-2,03E+01***	2,03E+01***
Отраслевая структура	-5,68E+00***	9,66E-02***	-6,15E-01***
$\sigma$	1,36E+12	1,22E+06	3,93E+08
$\gamma$	9,65E-01***	1,00E+00***	1,00E+00***
Значение log-функции	-4437,26	-2318,11	-3158,09
Значение LR	79,69***	141,02***	193,86***

Примечание: \*\*\*, \*\* и \* указывают на статистическую значимость коэффициента на уровнях 1, 5 и 10 % соответственно.

Из табл. 2 видно, что все три модели прошли проверку на значимость, на уровне 1 % они статистически значимы, следовательно, стохастическая фронтирная модель является состоятельной.

#### Анализ влияния факторных показателей среды на избыточность технологических затрат

1. Индекс рыночной ориентации оказывает *положительное и статистически значимое влияние* на избыточность технологических затрат, что свидетельствует о том, что более высокий уровень рыночной ориентации приводит к технологической избы-

точности. Это, вероятно, связано с дублированием НИОКР и конкуренцией низкого уровня в условиях рыночной конкуренции, что снижает предельную эффективность научно-исследовательских вложений.

2. Человеческий капитал оказывает *отрицательное и значимое влияние* на избыточность технологических затрат, что означает: чем выше уровень человеческого капитала, тем ниже технологическая избыточность. Квалифицированные работники способствуют повышению эффективности НИОКР.

3. Отраслевая структура оказывает *отрицательное и значимое влияние* на избыточность технологических затрат, что согласуется с положительной ролью сектора услуг и высокотехнологичных отраслей в повышении технологической эффективности.

#### Анализ влияния факторных показателей среды на избыточность трудовых затрат

1. Индекс рыночной ориентации оказывает *положительное влияние* на избыточность трудовых затрат, что указывает на его *отрицательное воздействие* на эффективность экономического развития. В процессе повышения уровня рыночной ориентации рынок труда становится более активным, однако эффективность распределения рабочей силы может снижаться из-за институциональных трений или избытка предложения рабочей силы, что приводит к избыточности.
2. *Отрицательная связь* между человеческим капиталом и избыточностью труда свидетельствует о том, что рост образовательного уровня способен эффективно снижать трудовую избыточность: образованные работники лучше адаптируются к требованиям рынка и технологий.
3. Отраслевая структура оказывает *положительное и значимое влияние* на трудовую избыточность, что показывает: рост доли третичного сектора ведет к увеличению избыточности труда, возможно, вследствие высокой доли низкоэффективных рабочих мест в сфере услуг.

#### Анализ влияния факторных показателей среды на избыточность капитальных затрат

1. Индекс рыночной ориентации оказывает *положительное и значимое влияние* на избыточность капитальных затрат, что указывает: рыночные преобразования могут порождать капитальную избыточность, вызванную чрезмерными инвестициями и дублированием строительства.

2. Человеческий капитал оказывает *отрицательное влияние* на избыточность капитала. В отличие от труда, рост образовательного уровня может сопровождаться увеличением капитальных вложений (например, в образовательную инфраструктуру, НИОКР), что проявляется как рост капитальной избыточности.

3. Отраслевая структура оказывает *отрицательное и значимое влияние* на избыточность капитальных затрат, что означает: рост доли третичного сектора способствует снижению капитальной избыточности, поскольку капиталоемкость сферы услуг ниже, чем у традиционной промышленности.

**Третий этап анализа.** С использованием программного обеспечения *idea ultra V5* и скорректированных входных переменных при сохранении исходных выходных показателей вновь проведем анализ эффективности экономического развития провинций Китая за 2014–2023 гг. Полученные результаты представим в табл. 3.

Сравнение с результатами первого этапа анализа (табл. 1) показывает, что после исключения влияния факторов внешней среды и случайных возмущений эффективность экономического развития в 30 провинциях в 2014–2023 гг. в целом повысилась, что свидетельствует о необходимости корректировки входных переменных.

Следует отметить, что Пекин, провинции Гуандун, Хайнань, Цзянсу и Сычуань не изменили своих позиций в рейтинге и на протяжении всего десятилетнего периода оставались на передовой линии эффективности. В то же время в таких провинциях, как Цинхай, Синьцзян, Юньнань и Внутренняя Монголия, средние значения эффективности снизились в различной степени, что указывает на то, что их высокая эффективность на первом этапе анализа во многом объяснялась благоприятными внешними условиями. Напротив, в Тяньцзине,

Чунцине, Цзилине, Цзянси и ряде других провинций эффективность значительно возросла по сравнению с первым этапом анали-

за, что подтверждает наличие ограничивающего воздействия факторов внешней среды на уровень экономического развития.

**Таблица 3.** Корректировка индекса эффективности экономического развития провинций Китая (2014–2023 гг.)

*Table 3. Adjustment of the Performance Economic Development Efficiency index of China's provinces (2014 to 2023)*

Провинция/Город	Среднее значение	Ранг	Провинция/Город	Среднее значение	Ранг
Пекин	1	1	Чжэцзян	0,8834	16
Гуандун	1	1	Шаньдун	0,8742	17
Гуанси	1	1	Фуцзянь	0,8681	18
Хайнань	1	1	Цзянси	0,8421	19
Цзянсу	1	1	Внутренняя Монголия	0,8398	20
Нинся	1	1	Ганьсу	0,8393	21
Сычуань	1	1	Хубэй	0,8201	22
Тяньцзинь	1	1	Чунцин	0,818	23
Шанхай	0,9871	9	Шэнси	0,8075	24
Цинхай	0,9513	10	Шаньси	0,8003	25
Гуйчжоу	0,9337	11	Юньнань	0,779	26
Цзилинь	0,9297	12	Хунань	0,7708	27
Хэйлунцзян	0,9274	13	Ляонин	0,7533	28
Хэнань	0,9061	14	Хэбэй	0,6996	29
Синьцзян	0,9034	15	Аньхой	0,6876	30
Регион		Среднее значение		Ранг	
Восточный		0,9312		1	
Западный		0,8975		2	
Северо-Восточный		0,8701		3	
Центральный		0,8045		4	

В целом по региональной структуре ранжирование не претерпело значительных изменений. Однако в Северо-Восточном регионе Китая после корректировок среднее значение эффективности заметно повысилось, что свидетельствует о том, что низкая эффективность, зафиксированная на первом этапе, в значительной степени была вызвана внешними ограничениями (такими как уровень рыночной трансформации, структура отраслей и человеческий капитал). После устранения этих экзогенных различий разрыв в потенциальной эффективности между северо-восточными и восточными регионами значительно сократился. Центральный

регион также продемонстрировал выраженный рост. Западный и Восточный регионы, хотя и показали относительно небольшой прирост, на третьем этапе анализа сохранили свои лидирующие позиции, что свидетельствует об устойчивости показателей эффективности их эндогенных преимуществ в условиях единых внешних параметров.

#### Применение индекса Мальмквиста для расчета факторной производительности

С использованием программного обеспечения *idea ultra V5* проведем соответствующие вычисления на основе данных по 30 единицам провинциального уровня за 2014–2023 гг., в результате чего получим

индекс Мальмквиста (MI), который далее разложим на изменение технической эффективности (EC – Efficiency Change, EFFCH) и технический прогресс (TC – Technical Change, TECHCH). Затем подсчитаем количество случаев, когда значения MI, EC и TC превышали 1 в каждом году, а также рассчитаем долю провинций со значениями выше 1 в общем числе провинций.

Значения MI в разные временные интервалы демонстрируют значительные колебания и выраженные этапные характеристики (рис. 1). В 2014–2015 гг. лишь около 20 % провинций показали улучшение совокупной факторной производительности, что отражает относительно ограниченный региональный охват. Начиная с 2016 г. доля провинций с  $MI > 1$  постепенно увеличивалась и в 2017–2018 гг. достигла 70 %, что свидетельствует как о существенном улучшении технической эффективности, так и о техническом прогрессе в большинстве провинций. Однако в 2019–2020 гг. этот показатель снизился до 30 %, что указывает на замедление темпов роста экономической эффективности или на воздействие внешних шоков.

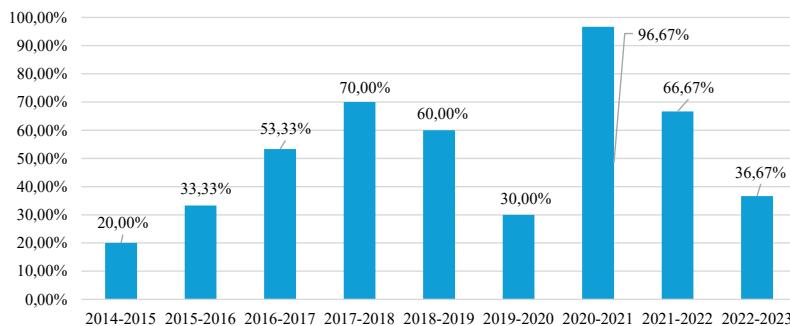
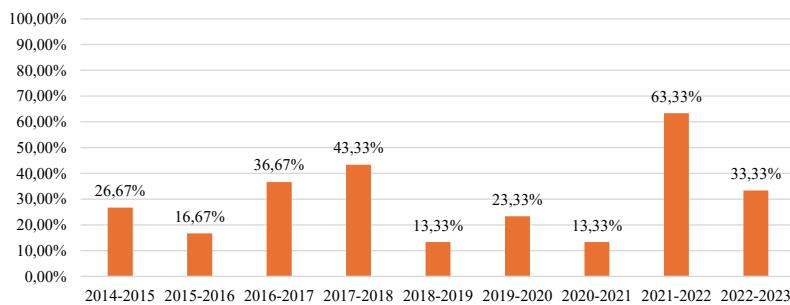
Следует отметить, что в 2020–2021 гг. доля провинций с  $MI > 1$  приблизилась к 97 %, улучшение производительности фактически охватило всю страну. Следовательно, в период после пандемии всеобщий прирост производительности в регионах достигнут за счет перераспределения ресурсов и технологического усвоения. В последующие годы данный показатель несколько снизился, однако в целом оставался выше уровня предыдущего периода, что говорит о сохранении определенной устойчивости в динамике улучшения совокупной факторной производительности.

По значениям индекса изменения технической эффективности доля провинций с  $EC > 1$  в целом оставалась на низком уровне, колеблясь в пределах 10–40 %

(рис. 2). Это означает, что прирост производительности в большинстве регионов не был обусловлен повышением эффективности, а скорее отражал ее стабильность или даже снижение. Лишь в 2021–2022 гг. данный показатель поднялся до 63 %, что свидетельствует о существенном улучшении положения ряда провинций в сферах распределения ресурсов и управления. В целом повышение технической эффективности не носит повсеместного характера, демонстрируя межрегиональные различия.

Вместе с тем доля провинций с индексом технического прогресса выше 1 ( $TC > 1$ ) на протяжении всего периода оставалась на высоком уровне, в 2016–2017, 2018–2019 и 2020–2022 гг. она достигала 97–100 %, что свидетельствует о техническом прогрессе почти во всех провинциях (рис. 3). Очевидно, что технический прогресс является основным «двигателем» роста совокупной факторной производительности в Китае, что соответствует тенденциям последних лет: усиление научно-технических инноваций, индустриальная модернизация и цифровая трансформация. В 2022–2023 гг. доля провинций с  $TC > 1$  снизилась до 50 %, что указывает на ослабление повсеместного характера технического прогресса на последнем этапе; отдельные регионы могли столкнуться с факторами, сдерживающими прогресс, а именно: недостаточная инновационная динамика или неопределенность внешней среды.

При рассмотрении отдельных провинций выявлены весьма значительные различия в динамике совокупной факторной производительности и ее компонентов. В Пекине, Цинхае, Шанхае и Тяньцзине в восьми из девяти смежных периодов MI превышал 1, что свидетельствует о стабильном, устойчивом росте производительности в этих регионах. Вместе с тем в провинции Хэбэй MI превысил 1 лишь в 2020–2021 гг., что указывает на относительно низкий общий уровень экономики.

Рис. 1. Доля провинций с  $MI > 1$  в общем числе провинций, %Fig. 1. The share of provinces with  $MI > 1$  in the total number of provinces, %Рис. 2. Доля провинций с  $EC > 1$  в общем числе провинций, %Fig. 2. The share of provinces with  $EC > 1$  in the total number of provinces, %

По индексу изменения эффективности наилучшие результаты продемонстрировал Пекин: в семи из девяти смежных периодов ЕС превышал 1, что показывает постоянное совершенствование распределения ресурсов и уровня управления. Далее следуют Хайнань, Хэйлунцзян, Цзилинь и Цзянсу: шесть лет с индексом ЕС выше 1 указывают на наличие определенных возможностей повышения эффективности. Однако в Хунань и Гуйчжоу на протяжении всего периода индекс ЕС ни разу не превышал 1, в этих провинциях ограничение именно в аспекте эффективности.

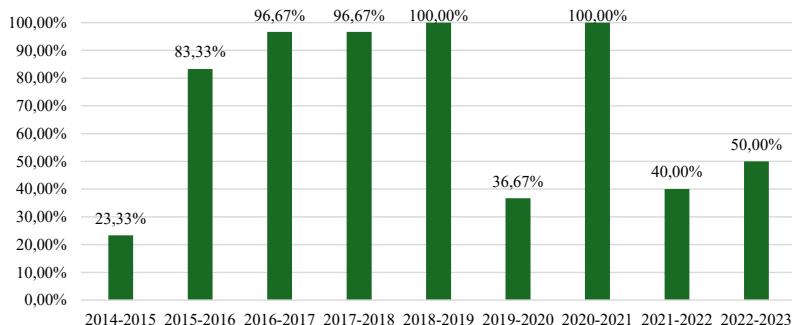
По индексу технического прогресса Тяньцзинь и Шанхай демонстрировали устойчивый рост ( $TC > 1$ ) во всех девяти смежных периодах, что свидетельствует о постоянстве процессов технологических инноваций и диффузии технологий в этих городах центрального подчинения. Даже

самые слабые провинции Сычуань и Гуандун имели индекс ТС выше 1 в четырех из девяти смежных периодов, что подтверждает общенациональный характер технологического прогресса, хотя различия в уровне инновационного потенциала и степени применения технологий между регионами остаются заметными.

Использование трехэтапной DEA-модели и индекса Мальмквиста позволило определить структуру экономического роста провинций Китая и то, чем он был вызван, а именно: во-первых, изменением технической эффективности вложенных средств; во-вторых, новыми вложениями в технический прогресс; в-третьих, диффузией технологий.

### Заключение

На основании эмпирического анализа с применением трехэтапной DEA-модели и индекса Мальмквиста мы сделали три вывода. Во-первых, сохраняется

Рис. 3. Доля провинций с  $TC > 1$  в общем числе провинций, %Fig. 3. The share of provinces with  $TC > 1$  in the total number of provinces, %

поступательное улучшение эффективности экономического развития Китая в целом, однако региональные различия остаются значительными: преимущества экономики провинций Восточного побережья очевидно, в то время как провинции Центрального и Северо-Восточного регионов Китая нуждаются в институциональных и организационных инновациях, а также в оптимизации распределения факторов производства для сокращения разрыва, что подтверждает проблему, выявленную ранее Ruyin Long и соавторами в отношении технической эффективности потребления угля (Long, Wang, Chen, 2016).

Во-вторых, результаты декомпозиции индекса Мальмквиста показывают, что технический прогресс является основным источником роста совокупной факторной производительности. Данный вывод коррелирует с положениями работы коллектива ученых, которые в конце XX в. применили логарифмическую технологию к расчету индекса Мальмквиста, а именно вычисляли составляющие функции расстояния индекса Мальмквиста, используя методы непараметрического программирования<sup>2</sup> (Färe et al., 1994), и в высокой степени согласуется с проводимым в последние годы в Китае курсом на развитие научно-технических инноваций и индустриальную модернизацию. Вместе с тем вклад в улучшение экономи-

ческой эффективности остается ограниченным, и в ряде провинций наблюдается хронический дефицит эффективности, что указывает на необходимость сохранять потенциал совершенствования распределения ресурсов и управленческих практик. О снижении темпов роста энергоэффективности в региональном масштабе в Китае свидетельствует исследование 30 китайских провинций за период 1998–2009 гг. (Lv, Hong, Fang, 2015).

В-третьих, с позиции межпровинциальной гетерогенности, города центрального подчинения и некоторые развитые восточные провинции демонстрируют устойчивое развитие под воздействием как фактора эффективности, так и технического прогресса, тогда как отдельные центральные и западные провинции, ограниченные внешними условиями и ресурсной базой, в большей степени опираются на диффузию технологий, а не на улучшение эффективности. В совокупности это означает, что в будущем наряду с усилением инновационной активности следует уделять больше внимания внутренней эффективности регионов: посредством углубления рыночных реформ, оптимизации отраслевой структуры и развития человеческого капитала можно достичь сбалансированного роста совокупной факторной производительности, обеспечить согласованное региональное развитие и устойчивую трансформацию экономики.

<sup>2</sup> При финансовой поддержке CIBER (Массачусетский государственный университет и Университет Южного Иллинойса в г. Карбондейл).

## Список литературы и источников / References

- Карпенко В. М., Линь К. «Влияние инициативы „Один пояс — один путь“ на экономический рост регионов Китая». *Вестник БГЭУ* 5 (154) (2022): 91–96. EDN: QOIPVI.
- Karpenko V., Lin K. “The Impact of the Belt and Road Initiative on the Economic Growth of China's Regions”. *Vestnik BGEU = The BSEU Herald* 5 (154) (2022): 91–96. (In Russian).
- Карпенко В. М., Хао Ч. «Комплексная оценка экономического развития регионов Китая с использованием метода главных компонент и кластерного анализа». *Весник БрДУ* сер. 2 Гістория. Еканоміка. Права 3 (2022): 84–90. EDN: HVKOCD.
- Karpenko V., Hao Zh. “Comprehensive Assessment of Regional Economic Development in China Using Principal Component Method and Cluster Analysis”. *Vesnik BrDU* ser. 2 Gistoryya. Ekanomika. Prava = Bulletin of BrSU 2<sup>nd</sup> ser. History. Economy. Law 3 (2022): 84–90. (In Russian).
- Карпенко Е. М., Рассеко Ю. Ю. «Построение интегрального показателя оценки регионального темпа жизни с использованием многомерных статистических методов». *Вестник Полоцкого государственного университета* сер. Д Экономические и юридические науки 5 (60) (2022): 44–50. <https://doi.org/10.52928/2070-1632-2022-60-5-44-50>. EDN: LFMACO.
- Karpenko E., Rasseko Yu. “Formation of an Integral Indicator for Assessing the Regional Pace of Life Using Multidimensional Statistical Methods”. *Vestnik Polotskogo gosudarstvennogo universiteta* ser. D Ekonomicheskiye i yuridicheskiye nauki = Herald of Polotsk State University ser. D Economics and Law Sciences 5 (60) (2022): 44–50. (In Russian). <https://doi.org/10.52928/2070-1632-2022-60-5-44-50>
- Шестакова К. В., Карпенко Е. М. «Онтологический анализ категории “социально-экономическая система”». *Вестник Полоцкого государственного университета* сер. Д Экономические и юридические науки 1 (70) (2025): 44–48. <https://doi.org/10.52928/2070-1632-2025-70-1-44-48>. EDN: RDVEOK.
- Shestakova K., Karpenko E. “Ontological Analysis of the Category ‘Socio-Economic System’ ”. *Vestnik Polotskogo gosudarstvennogo universiteta* ser. D Ekonomicheskiye i yuridicheskiye nauki = Herald of Polotsk State University ser. D Economics and Law Sciences 1 (70) (2025): 44–48. (In Russian). <https://doi.org/10.52928/2070-1632-2025-70-1-44-48>
- Bai Xp., Shen Qq. “Exploring Impact of Digital Economy on Sustainable Urban Development by Panel Data of 30 Underdeveloped Cities in China”. *Scientific Reports* 15 (2025): 13325. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-98363-8>
- Färe Rolf, Grosskopf Shawna, Norris Mary, Zhang Zhongyang. “Productivity Growth, Technical Progress, and Efficiency Change in Industrialized Countries”. *The American Economic Review* 84.1 (1994): 66–83.
- Han Wenlong, Zhang Ruisheng, Zhao Feng. “The Measurement of New Quality Productivity and New Driving Force of the Chinese Economy”. *Journal of Quantitative & Technical Economics* 41.6 (2024): 5–25. (In Chinese).
- Hassan S., Chen Sh., Azam A. H. M., Olaleye B. R. “Measuring Green Economic Growth in Eastern China: Influencing Factors and Policy Perspectives”. *Discover Sustainability* 6 (2025): 700. <https://doi.org/10.1007/s43621-025-01585-z>
- Li Xibao. “China's Regional Innovation Capacity in Transition: An Empirical Approach”. *Research Policy* 38.2 (2009): 338–357. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2008.12.002>
- Long Ruyin, Wang Haizhen, Chen Hong. “Regional Differences and Pattern Classifications in the Efficiency of Coal Consumption in China”. *Journal of Cleaner Production* 112-5 (2016): 3684–3691. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.07.025>
- Lv Wendong, Hong Xiaoxin, Fang Kuangnan. “Chinese Regional Energy Efficiency Change and Its Determinants Analysis: Malmquist Index and Tobit Model”. *Annals of Operations Research* 228 (2015): 9–22. <https://doi.org/10.1007/s10479-012-1094-5>
- Shan Haojie. “Reestimating the Capital Stock of China: 1952–2006”. *Journal of Quantitative & Technical Economics* 10 (2008): 17–31. (In Chinese).

Shi Yong, Ren Xinyue, Guo Kun, Zhou Yi, Wang Jun. "Research on the Economic Development Pattern of Chinese Counties Based on Electricity Consumption". *Energy Policy* 147 (2020): 111881.  
<https://doi.org/10.1016/j.enpol.2020.111881>

Zheng Jinghai, Hu Angang. "An Empirical Analysis of Provincial Productivity in China (1979–2001)". *Journal of Chinese Economic and Business Studies* 4.3 (2006): 221–239. <https://doi.org/10.1080/14765280600991917>

罗栋梁 罗健苗 连琦 刘春燕. 连锁股东持股背景下股东关系网络对企业数字化转型的影响研究 [Luo Dongliang et al. "Research on the Effects of Shareholder Relationship Network on Digital Transformation"]. *China Academic Journal Electronic Publishing House* 1 (2024): 94–107. (In Chinese).

## Информация об авторах

**Карпенко Валерий Михайлович** — кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры инновации и предпринимательской деятельности экономического факультета Белорусского государственного университета (Республика Беларусь, 220030, г. Минск, ул. К. Маркса, д. 31), [vmkarpenka@gmail.com](mailto:vmkarpenka@gmail.com), SPIN-код: 7450-1317.

**Чжу Хао** — аспирант кафедры международного менеджмента экономического факультета Белорусского государственного университета (Республика Беларусь, 220030, г. Минск, ул. К. Маркса, д. 31), [zhuhao402@qq.com](mailto:zhuhao402@qq.com)

## Авторский вклад

Карпенко В. М. — разработка концепции; разработка методики; обеспечение ресурсами; научное руководство; критический анализ и доработка текста.

Чжу Хао — изучение концепции; разработка методики; сбор данных и анализ результатов исследования; подготовка начального варианта текста.

## Information about the authors

**Valery M. Karpenko** — Cand. Sci. (Eng.), Assoc. Prof., Associate Professor at the Department of Innovation and Entrepreneurship of the Faculty of Economics, Belarusian State University (Republic of Belarus, 220030, Minsk, K. Marx st., 31), [vmkarpenka@gmail.com](mailto:vmkarpenka@gmail.com), SPIN code: 7450-1317.

**Zhu Hao** — Postgraduate Student at the Department of International Management of the Faculty of Economics, Belarusian State University (Republic of Belarus, 220030, Minsk, K. Marx st., 31), [zhuhao402@qq.com](mailto:zhuhao402@qq.com)

## Author Contributions

V. M. Karpenko — concept development; methodology development; resource provision; scientific guidance; critical analysis and revision of text.

Zhu Hao — study of the concept; development of methodology; data collection and analysis of research results; preparation of the original draft of text.

Статья поступила в редакцию 01.10.2025, одобрена после рецензирования 01.11.2025.

The article was submitted 01.10.2025, approved after reviewing 01.11.2025.