



УДК 330.44, ББК 65.051.5, JEL Code C020

DOI [10.17072/1994-9960-2025-3-246-259](https://doi.org/10.17072/1994-9960-2025-3-246-259)

EDN [REBMLQ](https://www.edn.ru/REBMLQ)

Модели многокритериального оценивания эффективности функционирования региональных экономических систем

Михаил Владимирович Цапенко

РИНЦ Author ID: [468959](https://elibrary.ru/author_view.aspx?authorid=468959), Researcher ID: [D-7909-2014](https://orcid.org/0009-0001-9000-2014), Scopus Author ID: [57210313737](https://orcid.org/0009-0001-9000-2014)

Анжела Александровна Ермакова

РИНЦ Author ID: [1193171](https://elibrary.ru/author_view.aspx?authorid=1193171), ✉ khapalina.aa@samgtu.ru

Самарский государственный технический университет, Самара, Россия

Аннотация

Введение. В статье представлены постановки и проанализированы решения моделей многокритериального оценивания эффективности функционирования региональных экономических систем. Экспериментальной базой выбраны федеральные округа, и на примере Центрального федерального округа проведена оценка эффективности функционирования экономических систем входящих в него регионов. В рассматриваемых моделях в основу расчета показателя оценки эффективности региональных экономических систем положен принцип соотнесения результирующего параметра, а именно валового регионального продукта, с затратами базовых агрегированных ресурсов – трудовых и капитальных. **Цель.** Разработка моделей многокритериального оценивания эффективности функционирования региональных экономических систем с целью их ранжирования для определения наиболее эффективных на фиксированном конечном множестве альтернатив с условием наличия различных обобщенных функционалов оценки. **Материалы и методы.** В качестве исходных взяты официальные статистические данные по федеральным округам и регионам за 2022 г. в текущих ценах. Базовым выбран метод *Data Envelopment Analysis (DEA)*, позволяющий построить границу (фронт) эффективности для анализируемой группы объектов, эффективность которых оценивается мерой близости к указанной границе в пределах от 0 до 1. **Результаты.** Получены и сопоставлены результаты оценки эффективности на основе классического и альтернативного обобщенного функционалов, проведено ранжирование объектов исследования, обоснована работоспособность альтернативного функционала оценки на основе линейной комбинации удельных показателей эффективности. **Выводы.** Результаты исследования свидетельствуют о сопоставимости оценок, полученных на основе классического и альтернативного функционалов. Использование альтернативного функционала позволяет существенно упростить построение фронтов эффективности за счет перехода от трехмерного пространства к двумерному.

Ключевые слова

Региональная экономика, многокритериальное оценивание, *Data Envelopment Analysis*, валовой региональный продукт, капитальные, трудовые ресурсы, федеральный округ

Для цитирования

Цапенко М. В., Ермакова А. А. Модели многокритериального оценивания эффективности функционирования региональных экономических систем // Вестник Пермского университета. Серия «Экономика». 2025. Т. 20, № 3. С. 246–259. DOI [10.17072/1994-9960-2025-3-246-259](https://doi.org/10.17072/1994-9960-2025-3-246-259). EDN [REBMLQ](https://www.edn.ru/REBMLQ)

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила: 06.03.2025

Принята к печати: 25.04.2025

Опубликована: 30.09.2025



© Цапенко М. В., Ермакова А. А., 2025

Multicriteria models evaluating the efficiency of regional economic systems

Mikhail V. Tsapenko

RISC Author ID: [468959](#), Researcher ID: [D-7909-2014](#), Scopus Author ID: [57210313737](#)

Anzhela A. Ermakova

RISC Author ID: [1193171](#), ✉ khapalina.aa@samgtu.ru

Samara State Technical University, Samara, Russia

Abstract

Introduction. The paper formulates and analyzes the solutions of multicriteria models employed to evaluate the efficiency of regional economic systems. Federal districts are taken as an experimental base, and the Central Federal District is used to evaluate the efficiency of economic systems in the regions located in this federal district. To calculate the efficiency indicator for the regional economic systems, the models refer to the principle of correlation between the resulting parameter, i.e. gross regional product, and the costs of basic aggregated resources: labor and capital. The *purpose* of the study is to develop the multicriteria models used to evaluate the efficiency of regional economic systems in order to rank them to determine the most effective ones on a fixed finite set of alternatives when various generalized evaluation functionals can be found. *Materials and Methods.* The 2022 official statistical data of federal districts and regions is taken as the initial material adjusted for the current prices. Data Envelopment Analysis (DEA) method was chosen as the basic approach. This method constructs an efficiency boundary (front) for the analyzed group of objects with their efficiency being evaluated by their proximity to the specified boundary in the range from 0 to 1. *Results.* Efficiency indicators are arrived at and compared on the basis of classical and alternative generalized functionals; research objects are ranked; the workability of the alternative evaluation functional determined by a linear combination of specific efficiency indicators is justified. *Conclusions.* The results of the study indicate the comparability of the estimates derived from the classical and alternative functionals. Alternative functional could considerably simplify the construction of efficiency fronts as the three-dimensional space is transformed into the two-dimensional one.

Keywords

Regional economy, multicriteria evaluation, Data Envelopment Analysis, gross regional product, capital, labor resources, federal district

For citation

Tsapenko M. V., Ermakova A. A. Multicriteria models evaluating the efficiency of regional economic systems. *Perm University Herald. Economy*, 2025, vol. 20, no. 3, pp. 246–259. DOI [10.17072/1994-9960-2025-3-246-259](https://doi.org/10.17072/1994-9960-2025-3-246-259). EDN [REBMLQ](#)

Declaration of conflict of interest: none declared.

Received: March 06, 2025

Accepted: April 25, 2025

Published: September 30, 2025



© Tsapenko M. V., Ermakova A. A., 2025

ВВЕДЕНИЕ

Важнейшей экономической категорией теории и практики управления является эффективность. Классическая теория эффективности экономических систем анализирует данную категорию с точки зрения идентификации и количественного исчисления взаимосвязей между результатами функционирования системы и затратами, определившими эти результаты. Для этого рассчитываются показатели, характеризующие результативность использования факторов производства – ресурсов экономической системы.

Такие количественные показатели, оценивающие эффективность функционирования экономической системы, разнообразны по своей природе и содержанию. Их можно структурировать по различным функциональным блокам. Например, при оценке эффективности инвестиционных проектов выделяют продуктовый и ресурсный блоки, производственную систему, систему управления, финансовый блок, инновационную, социальную, экологическую составляющие и др.

Этим блокам соответствует множество локальных показателей эффективности [1], которые характеризуют различные аспекты функционирования системы и, как правило, имеют противоречивый, зачастую антагонистический характер.

Наличие множества локальных показателей формирует многокритериальную среду, в которой проводится оценка эффективности для принятия адекватных управленческих решений.

Известны различные методы принятия решений в многокритериальных средах, которые получили широкое распространение [2]. Несмотря на разнообразие методов, все они направлены на создание условий для получения необходимой и достаточной информации с целью принятия оптимальных управленческих решений.

Одной из типовых задач управления является задача выбора различных вариантов

организации процессов или объектов на конечном множестве альтернатив. Для решения такой задачи необходим измеримый интегральный обобщенный показатель, позволяющий провести однозначную ранжировку объектов выбора.

Синтез интегрального обобщенного показателя эффективности может быть основан на различных процедурах свертки локальных показателей с применением инструментальных средств, реализующих логические и (или) вычислительные модели многокритериального оценивания [3].

В настоящей статье рассмотрена вычислительная модель многокритериального оценивания *Data Envelopment Analysis (DEA)* [4; 5]. В русскоязычной интерпретации этот метод известен как «анализ охвата данных» [2] и «анализ среды функционирования» [6].

Метод *DEA* позволяет рассчитать интегральную обобщенную оценку эффективности множества оцениваемых объектов. Такая интегральная оценка эффективности является инструментом сравнения объектов оценки. Сравнительный характер получаемых оценок эффективности определен тем, что интегральные обобщенные показатели, рассчитанные по методу *DEA*, релевантны только для конкретной анализируемой совокупности (от англ. *the envelope* – «оболочка») объектов и позволяют сравнивать эти объекты оценивания между собой только в рамках фиксированного множества.

Добавление (удаление) объектов в (из) анализируемую совокупность может приводить к изменению значений полученных ранее оценок и потере их содержательного компонента соответственно. Поэтому значения интегрального показателя эффективности имеют смысл только для конкретного, заранее зафиксированного множества объектов на этапе постановки задачи исследования. Значения интегральной обобщенной оценки эффективности, которые получены методом *Data Envelopment Analysis*, принадлежат единичному интервалу [0, 1].

Объектом исследования являются региональные экономические системы – федеральные округа и субъекты Российской Федерации. Предметом – модели многокритериального оценивания региональных экономических систем, позволяющие рассчитать обобщенный показатель эффективности, на основе которого ранжируются объекты исследования.

Применение моделей *DEA* рассмотрено на примере оценки эффективности региональных экономических систем, где в качестве результата функционирования взят валовой региональный продукт (ВРП), эффективность производства которого оценена с точки зрения затрат двух агрегированных ресурсов – капитальных и трудовых.

Новизной проведенного исследования является применение метода *DEA* к оценке эффективности функционирования региональных экономических систем. Этот метод реализует комплексный подход к расчету интегрального показателя эффективности на основе свертки локальных показателей. При этом под функционированием региональной экономической системы понимаются процессы преобразования базовых агрегированных ресурсов, трудовых и капитальных, в валовой региональный продукт.

Производство ВРП является одной из ключевых функций региональной экономической системы. Эта экономическая категория включает стоимостную оценку всего объема произведенных товаров и услуг в конкретном регионе и оценивает общий уровень благосостояния его жителей. Помимо этого, объем производства ВРП служит одним из основополагающих показателей при распределении субсидий государственного бюджета и принятии управленческих решений по территориальным субъектам.

Таким образом, оценка эффективности региональной экономики с точки зрения производства валового регионального продукта является актуальной задачей, которая может быть решена с помощью методов многокритериального оценивания.

Решение этой задачи востребовано практикой управления региональными экономическими системами с целью их ранжирования и определения приоритетности.

ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

Оценка эффективности деятельности любого процесса или объекта является достаточно трудоемкой задачей. Каждый из них зачастую описывается множеством локальных показателей и характеристик, которые могут противоречить друг другу. Для решения задач такого типа применяются методы многокритериального оценивания, позволяющие учесть влияние всей совокупности локальных характеристик на интегральный обобщенный показатель, на основе которого проводится оценка эффективности.

Методы многокритериального оценивания нашли свое применение в различных сферах моделирования и управления: имитационном моделировании логистических процессов [7], управлении социально-экономическими системами на основе проектного подхода [8], оценке инновационного потенциала региональных экономических систем [9], задачах оптимизации налогообложения [10], а также в деятельности по переработке отходов [11] и оценке пригодности земель сельскохозяйственного назначения [12].

С помощью методов многокритериального оценивания решаются задачи в области градостроительства и комплексного развития новых микрорайонов [13] и повышения уровня безопасности в существующих территориальных единицах [14]. Необходимо отметить, что многокритериальное оценивание продолжает развиваться путем совершенствования существующих методов [15].

По способу реализации эти методы можно разделить на две группы: экспертные и формальные.

Примером экспертного метода может послужить метод анализа иерархий Т. Саати, или МАИ [16]. Суть МАИ заключается в построении

иерархии задачи выбора с последующей оценкой возможных альтернатив с целью выявления наиболее предпочтительной [17]. Слабой стороной метода является определение весовых коэффициентов критериев оценки экспертами, что вносит существенную долю субъективности в результаты оценки [18]. В качестве сильной стороны можно назвать возможность оценить качество работы экспертов на основе показателя согласованности сделанных ими оценок [19]. Данный метод является одним из наиболее распространенных: число научных статей с описанием применения метода составляет 15 452 публикации [2].

Отсутствие необходимости привлечения экспертного субъективного знания является особенностью метода *DEA* [4]. В процессе реализации алгоритма этого метода формулируются и решаются задачи математического программирования для каждого объекта оценки с целью выявления весовых коэффициентов, определяющих вклад той или иной локальной характеристики в интегральный обобщенный показатель эффективности. Такой подход исключает субъективную составляющую в процессе многокритериального оценивания.

При этом сами объекты оценки функционально представляются в виде процессов преобразования множества входных характеристик в выходные, а интегральный обобщенный показатель эффективности оцениваемой системы формируется в виде отношения взвешенных аддитивных наборов выходных характеристик к входным в базовом варианте метода *DEA* [6].

Преимуществами метода *DEA* являются следующие: отсутствие ограничений на функциональный вид зависимостей между входными и выходными характеристиками, а также на их измерители; возможность одновременной обработки большого числа этих характеристик для существенного числа объектов оценки; конструирование Парето-оптимального множества, формируемого эффективными объектами; возможность оценки направлений изменения локальных характеристик для выведения неэффективных объектов на границу (фронт) эффективности [20].

Недостатком метода *DEA* является вариативность вклада локальных показателей в интегральную оценку эффективности. Для конкретных объектов оценивания одни и те же оценки эффективности могут быть получены на основе различных сочетаний значений весовых коэффициентов. Такая ситуация существенно усложняет задачу содержательной интерпретации их значений.

Метод *DEA* является достаточно новым и набирает популярность в научных исследованиях по различным направлениям, таким, например, как энергетика [21], аэрокосмическая промышленность [22] и банковская сфера [23]. *DEA*-методика активно модернизируется и адаптируется исследователями для решения широкого круга задач: в работах [24; 25] представлены улучшенные модели для применения указанной методики, в статье [26] описана модификация метода на основе использования эталонных границ эффективности.

Кроме того, метод *DEA* нашел применение в области системного анализа и оценки эффективности сложноструктурированных систем, например для решения задачи выбора оптимальных технологий комплекса переработки нефтесодержащих отходов [27] и оценки экологической устойчивости предприятий нефтегазовой отрасли [28].

Этот метод занимает второе место по популярности после МАИ: число научных статей с описанием его применения составляет 9367 [2].

Таким образом, метод *DEA* позволяет решить задачу интегральной оценки эффективности сложных систем на основе расчета интегрального показателя эффективности в рамках фиксированного конечного множества объектов оценки для их ранжирования в условиях объективизации определения вклада локальных характеристик в интегральный обобщенный показатель эффективности.

В настоящей статье рассмотрен пример применения метода многокритериального оценивания для решения задачи оценки региональных экономических систем с целью их сравнительного анализа на основе расчета значений объективного интегрального показателя,

в основу которого положены локальные характеристики.

Объективность такого показателя определена процедурами расчета весовых коэффициентов вклада локальных характеристик на основе *DEA*-модели.

Целью исследования является разработка моделей многокритериального оценивания эффективности функционирования региональных экономических систем в целях их ранжирования для определения наиболее эффективных на фиксированном конечном множестве альтернатив с условием наличия различных обобщенных функционалов оценки.

Задачи исследования:

- многокритериальное оценивание эффективности функционирования экономических систем федеральных округов;

- многокритериальное оценивание эффективности функционирования экономических систем регионов Центрального федерального округа;

- конструирование альтернативного обобщенного функционала оценивания;

- сравнительный анализ результатов, полученных с применением различных обобщенных функционалов оценивания.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Для многокритериальной оценки эффективности функционирования региональных экономик применен метод *DEA*, который позволяет вычислить интегральную обобщенную оценку эффективности для каждого объекта сравнения и не требует указания априорных значений весов для определения вклада локальных характеристик. Тем самым исключается субъективная составляющая оценки.

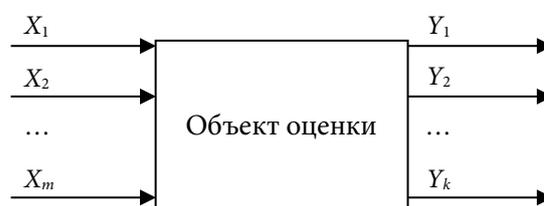
Для реализации *DEA*-метода выбрана его классическая *CCR*-модель, имеющая вид (1)–(2) [4]:

$$f = \frac{u_{1j}Y_{1j} + u_{2j}Y_{2j} + \dots + u_{kj}Y_{kj}}{v_{1j}X_{1j} + v_{2j}X_{2j} + \dots + v_{mj}X_{mj}} \rightarrow \max_{(u_{ij}, v_{lj}) \in G_j}, j = \overline{1, N}, \quad (1)$$

$$\frac{u_{1j}Y_{1j} + u_{2j}Y_{2j} + \dots + u_{kj}Y_{kj}}{v_{1j}X_{1j} + v_{2j}X_{2j} + \dots + v_{mj}X_{mj}} \leq 1, u_{ij} > 0, v_{lj} > 0, j = \overline{1, N}, \quad (2)$$

где X_m – входные характеристики; Y_k – выходные характеристики; u, v – весовые коэффициенты, определяющие вклад соответствующих характеристик; G – область значений весовых коэффициентов; N – число объектов сравнения.

Для применения этой модели конструируется функциональная модель объектов оценивания, которая имеет структуру, представленную на рис. 1.



Источник: составлено авторами.

Source: compiled by the authors.

Рис. 1. Общая структура функциональной модели объекта оценки

Fig. 1. General structure of the functional model

Функциональная модель предполагает, что объект оценивания преобразует множество входных характеристик – ресурсов X_m – в конечные результаты деятельности Y_k , при этом способы и алгоритмы преобразования входных характеристик в выходные во внимание не принимаются.

В этом случае интегральный обобщенный показатель эффективности формируется исходя из гипотезы о необходимости максимизации выходных характеристик при условии минимизации входных – функционал оценки (1).

В качестве входных характеристик X_1, X_2, \dots, X_m берутся значения параметров системы, уменьшение которых приводит к повышению показателя интегральной обобщенной эффективности:

$$\frac{\partial f(X_1, X_2, \dots, X_m)}{\partial X_j} < 0, j = 1, 2, \dots, m. \quad (3)$$

Основным классом входных характеристик являются затраты различного вида ресурсов.

Выходные характеристики Y_1, Y_2, \dots, Y_k выбираются таким образом, чтобы каждая из них определяла фактор, играющий положительную роль в интегральном обобщенном показателе эффективности:

$$\frac{\partial f(Y_1, Y_2, \dots, Y_k)}{\partial Y_i} > 0, i = 1, 2, \dots, k. \quad (4)$$

Выходными характеристиками могут быть самые различные величины, определяющие результаты деятельности объекта оценивания.

На основе содержательного выбора m входов и k выходов, совокупность которых с позиции исследователя дает достаточно полную и адекватную характеристику системы, формируется интегральный обобщенный показатель эффективности в виде функционала (1).

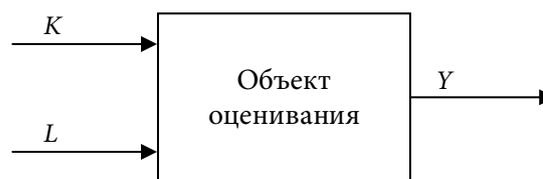
В качестве гипотезы мы исходим из того, что при нахождении численных значений эффективности для каждой из n ($n = 1, 2, \dots, N$) оцениваемых систем в методе *DEA* величины всех интегральных обобщенных показателей эффективности f конечны и ранжирование их значений осуществляется на числовом интервале $[0, 1]$ по условию максимизации функционала интегрального обобщенного показателя (1) для каждого объекта при условии выполнения системы ограничений (2).

В таком случае задача нахождения для n -й системы интегрального обобщенного показателя эффективности f_n и соответствующего ему набора весовых коэффициентов сводится к решению задач математического программирования (1), (2).

На основе этой классической модели *DEA*-метода – обобщенный функционал для расчета интегрального показателя вида (1) и система ограничений (2) – был реализован алгоритм метода *DEA* для многокритериальной оценки эффективности функционирования региональных экономических систем на разных уровнях территориальных образований РФ.

Исходными данными для расчета стали официальные статистические данные по федеральным округам и регионам за 2022 г. в текущих ценах¹.

По аналогии с факторами, учитываемыми в моделях производственных функций Кобба–Дугласа [29], сконструирована двухфакторная функциональная модель многокритериального оценивания эффективности функционирования региональных экономических систем (рис. 2).



Источник: составлено авторами.
Source: compiled by the authors.

Рис. 2. Структура функциональной модели региональной экономической системы
Fig. 2. Structure of the functional model for the regional economic system

Входными характеристиками в функциональной модели региональной экономики являются стоимостная оценка основных фондов K (млн руб.) и число занятых в региональной экономической системе L (тыс. человек).

Выходная характеристика Y (млн руб.) – объем производства ВРП в рассматриваемой территориальной единице – федеральном округе или регионе.

Как отмечено, такой выбор входных и выходной характеристик произведен по аналогии с моделями производственных функций Кобба–Дугласа [29], которые позволяют оценивать эффективность масштабных производственных систем.

В рамках моделей *Data Envelopment Analysis* взаимосвязи между локальными характеристиками не учитываются. Объекты оценивания рассматриваются как «черный ящик», который преобразует входные характеристики в выходные без учета их функциональных взаимосвязей.

¹ Российский статистический ежегодник. 2023: ст. сб. М.: Росстат, 2023. 701 с.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

На первом этапе исследования проведена многокритериальная оценка эффективности функционирования федеральных округов. Для этого сконструирован стандартный для модели *CCR DEA*-метода [4] вариант обобщенного функционала оценивания:

$$f1_n = \max_{u_n, v_{1n}, v_{2n} \in G} \frac{u_n \cdot Y_n}{v_{1n} \cdot K_n + v_{2n} \cdot L_n}, \quad (5)$$

где Y – суммарный объем произведенного ВРП во всех регионах округа (млн руб.); K – стоимость основных фондов региональной экономики (млн руб.); L – число занятых в федеральном округе (тыс. человек); u, v_1, v_2 – весовые коэффициенты вклада локальных характеристик.

Например, в случае функционала оценивания (5) расчет критерия будет осуществляться путем максимизации функционала (6)

$$f1_1 = \max_{u_1, v_{11}, v_{21} \in G} \frac{u_1 \cdot 47367524,5}{v_{11} \cdot 41439897 + v_{21} \cdot 20958} \quad (6)$$

с учетом ограничений на значения весовых коэффициентов (7):

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{u_n \cdot 47367524,5}{v_{1n} \cdot 41439897 + v_{2n} \cdot 20958} \leq 1; \\ \frac{u_n \cdot 18928860,6}{v_{1n} \cdot 21959772 + v_{2n} \cdot 7299} \leq 1; \\ \frac{u_n \cdot 9815610,9}{v_{1n} \cdot 12001990 + v_{2n} \cdot 8021} \leq 1; \\ \frac{u_n \cdot 3111332,3}{v_{1n} \cdot 2205571 + v_{2n} \cdot 4309} \leq 1; \\ \frac{u_n \cdot 19664499,4}{v_{1n} \cdot 23115608 + v_{2n} \cdot 14157} \leq 1; \\ \frac{u_n \cdot 20073356,5}{v_{1n} \cdot 43547756 + v_{2n} \cdot 5965} \leq 1; \\ \frac{u_n \cdot 13054068,2}{v_{1n} \cdot 13179687 + v_{2n} \cdot 7884} \leq 1; \\ \frac{u_n \cdot 8655564,1}{v_{1n} \cdot 14131803 + v_{2n} \cdot 3921} \leq 1; \\ u_n, v_{1n}, v_{2n} \geq 0; \end{array} \right. \quad (7)$$

$n = \{1, 2 \dots 8\}$.

Таким образом, путем решения задачи математического программирования найдены следующие весовые коэффициенты для Центрального федерального округа (табл. 1).

Табл. 1. Значения весовых коэффициентов для Центрального федерального округа

Table 1. Values of weighting coefficients for the Central Federal District

Центральный федеральный округ		
Функционал (5)		
u_1	v_1	v_2
0,17123	0,17972	31,64918

Источник: составлено авторами.
Source: compiled by the authors.

Исходные данные и результаты оценки представлены в табл. 2.

Табл. 2. Многокритериальная оценка эффективности федеральных округов РФ

Table 2. Multicriteria evaluation of efficiency of federal districts in the Russian Federation

Федеральный округ	K , млн руб.	L , тыс. чел.
Центральный	41 439 897	20 958
Северо-Западный	21 959 772	7 299
Южный	12 001 990	8 021
Северо-Кавказский	2 205 571	4 309
Приволжский	23 115 608	14 175
Уральский	43 547 756	5 965
Сибирский	13 179 687	7 884
Дальневосточный	14 131 803	3 921

Федеральный округ	Y , суммарный ВРП регионов, входящих в округ, млн руб.	<i>DEA</i> -оценка по функционалу (5), %
Центральный	47 367 524,5	100,00
Северо-Западный	18 928 860,6	100,00
Южный	9 815 610,9	69,72
Северо-Кавказский	3 111 332,3	100,00
Приволжский	19 664 499,4	73,15
Уральский	20 073 356,5	100,00
Сибирский	13 054 068,2	85,38
Дальневосточный	8 655 564,1	81,75

Источник: составлено авторами.
Source: compiled by the authors.

Как видно из данных табл. 2, наивысшие оценки эффективности получили Центральный, Северо-Западный, Северо-Кавказский и Уральский федеральные округа. Эти округа имеют наилучшее соотношение выходного параметра – объема ВРП – к затратам капитальных и трудовых ресурсов.

На следующем этапе исследования для многокритериального оценивания эффективности функционирования региональных экономических систем выбраны регионы, входящие в состав Центрального федерального округа. Этот округ обладает самыми высокими значениями локальных параметров оценки и наивысшей *DEA*-оценкой эффективности (см. табл. 2).

Результаты оценки эффективности функционирования для регионов, входящих в Центральный федеральный округ, по функционалу (5) представлены в табл. 3. Данные таб-

лицы показывают, что наивысшую *DEA*-оценку эффективности функционирования получили г. Москва и Ивановская область. Остальные регионы округа можно разделить на три группы эффективности:

1) оценка эффективности – более 70% (Белгородская, Московская, Владимирская, Костромская, Орловская и Брянская области);

2) оценка эффективности – от 70 до 50% (Тульская, Воронежская, Тамбовская, Курская, Смоленская, Калужская, Ярославская и Липецкая области);

3) оценка эффективности – менее 50% (Рязанская и Тверская области).

После получения оценок эффективности на основе классической *DEA*-модели [4] была осуществлена многокритериальная оценка региональных экономик на основе альтернативного обобщенного функционала и проведено сравнение полученных результатов.

Табл. 3. Многокритериальная оценка эффективности регионов, входящих в Центральный федеральный округ

Table 3. Multicriteria evaluation of efficiency of the regions located in the Central Federal District

Регион	<i>K</i> , млн руб.	<i>L</i> , тыс. чел.	<i>Y</i> , суммарный ВРП регионов, входящих в округ, млн руб.	<i>DEA</i> -оценка по функционалу (5), %
1. Белгородская область	1 039 810	795	1 311 232,6	95,27
2. Брянская область	579 426	559	549 347,1	71,29
3. Владимирская область	671 650	706	780 490,4	87,20
4. Воронежская область	1 521 225	1 155	1 377 736,5	68,43
5. Ивановская область	268 625	474	364 016,5	100,00
6. Калужская область	945 555	548	693 947,6	55,69
7. Костромская область	252 444	273	276 043,9	82,00
8. Курская область	836 436	537	665 472,5	60,29
9. Липецкая область	1 168 566	589	792 823,2	51,28
10. Московская область	6 652 761	4 394	7 720 842,6	87,90
11. Орловская область	383 394	329	369 901,2	72,73
12. Рязанская область	944 332	521	619 185,0	49,79
13. Смоленская область	628 297	452	483 299,8	58,18
14. Тамбовская область	573 148	496	473 768,7	62,30
15. Тверская область	1 027 545	612	629 399,0	46,46
16. Тульская область	1 094 853	795	1 004 283,2	69,37
17. Ярославская область	1 087 494	597	748 305,6	52,26
18. г. Москва	21 764 336	7 127	28 507 429,1	100,00

Источник: составлено авторами.

Source: compiled by the authors.

Альтернативный обобщенный функционал сконструирован в виде линейной комбинации удельных показателей производительности (капитала и труда по производству валового регионального продукта):

$$f_2 = \max_{u_{1n}, u_{2n} \in G} \left(\frac{Y_n}{K_n} u_{1n} + \frac{Y_n}{L_n} u_{2n} \right). \quad (8)$$

Результаты сравнения оценок по обобщенным функционалам f_1 (5) и f_2 (8) представлены на рис. 3.

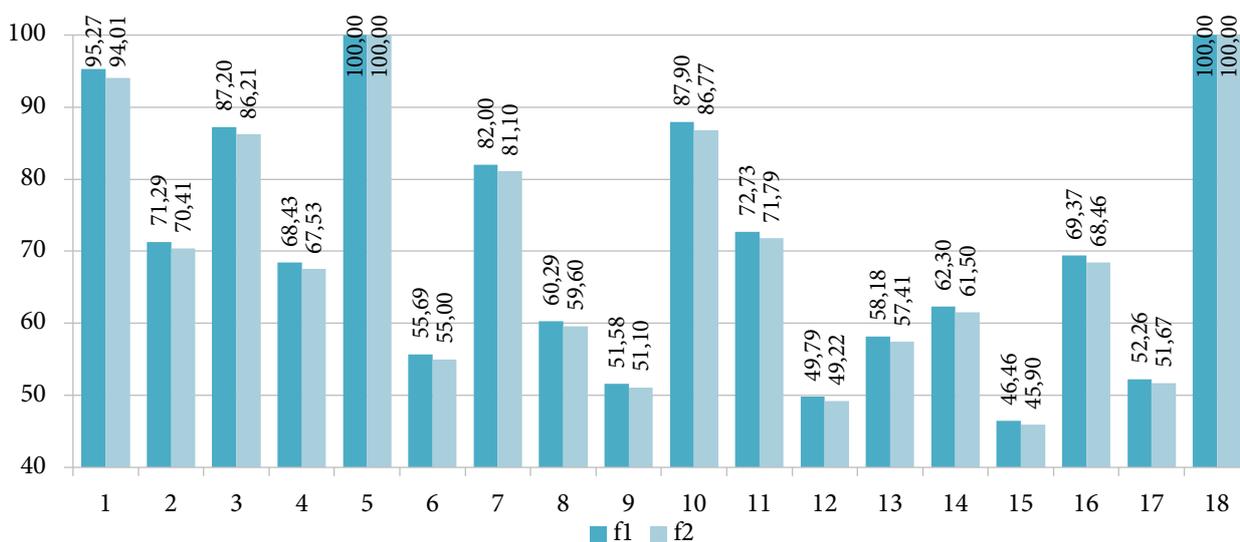
Как видно из диаграммы, представленной на рис. 3, получены абсолютно сопоставимые результаты многокритериального оценивания регионов по двум различным обобщенным функционалам – f_1 (5) и f_2 (8). При этом двухфакторный линейный вид обобщенного функционала f_2 (8) позволяет наглядно строить в двумерном пространстве весовых коэффициентов эффективные фронты, которые, в свою очередь, предоставляют возможность выработать управленческие решения, способствующие выводу неэффективных объектов на уровень максимальной эффективности по анализируемым локальным характеристикам.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенная оценка эффективности функционирования федеральных округов и регионов Центрального федерального округа на основе базового и альтернативного обобщенных функционалов и сопоставление оценок эффективности с помощью двух различных обобщенных функционалов подтвердили работоспособность метода многокритериального оценивания на основе *DEA*-моделей для решения задачи оценки эффективности функционирования региональных экономических систем.

Научной новизной обладают результаты оценок эффективности, полученные на основе классического и альтернативного обобщенного функционалов *DEA*-метода, примененного к задаче оценки эффективности функционирования региональных экономических систем.

Сопоставление оценок на основе альтернативного и базового классического функционалов показало работоспособность линейных конструкций обобщенных функционалов в *DEA*-моделях на основе линейной комбинации удельных показателей. Эти результаты не противоречат классической постановке *DEA*-модели и имеют высокую степень корреляции.



Примечание: номера регионов совпадают с нумерацией строк в табл. 3.

Notes: the numbers of the regions match the numbers of the lines in Table 3.

Источник: составлено авторами.

Source: compiled by the authors.

Рис. 3. Сравнение результатов оценки по различным функционалам

Fig. 3. Comparison of results by various functionals

Предложенный альтернативный линейный функционал существенно уменьшает сложность построения и анализа фронтов эффективности, так как в этом случае граница эффективности располагается в двухмерном, а не в трехмерном (в общем случае – n -мерном)

пространстве весовых коэффициентов, как при классической постановке задачи.

Конструирование подобных фронтов эффективности позволит разработать алгоритмы управления для максимизации значений интегральных оценок эффективности.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

REFERENCES

1. Лысенкова М. В., Молчанов А. В. Методики и методы оценки эффективности инвестиционно-проектной деятельности: сравнительный анализ и практические рекомендации // *Белорусский экономический журнал*. 2022. № 2 (99). С. 48–70. DOI [10.46782/1818-4510-2022-2-48-70](https://doi.org/10.46782/1818-4510-2022-2-48-70). EDN [WOHXGE](https://www.edn.net/WOHXGE)

2. Чечнев В. Б. Анализ и классификация многокритериальных методов принятия решений // *Онтология проектирования*. 2024. Т. 14, № 4 (54). С. 607–624. DOI [10.18287/2223-9537-2024-14-4-607-624](https://doi.org/10.18287/2223-9537-2024-14-4-607-624). EDN [QMCAUL](https://www.edn.net/QMCAUL)

3. Микони С. В., Соколов Б. В., Бураков Д. П. Система выбора и ранжирования альтернатив СВИРЬ-М: теоретические основы и практика применения // *Онтология проектирования*. 2024. Т. 14, № 3 (53). С. 440–456. DOI [10.18287/2223-9537-2024-14-3-440-456](https://doi.org/10.18287/2223-9537-2024-14-3-440-456). EDN [VHKQYF](https://www.edn.net/VHKQYF)

4. Charnes A., Cooper W. W., Rhodes E. Measuring the efficiency of decision making units // *European Journal of Operational Research*. 1978. Vol. 2, iss. 6. P. 429–444. DOI [10.1016/0377-2217\(78\)90138-8](https://doi.org/10.1016/0377-2217(78)90138-8)

5. 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. P. 1078–1092. DOI [10.1287/mnsc.30.9.1078](https://doi.org/10.1287/mnsc.30.9.1078)

6. Зеленская Е. М. Применение метода «анализ среды функционирования» в оценке эффективности деятельности учреждений культуры // *Вестник Балтийского федерального университета им. И. Канта. Серия: Гуманитарные и общественные науки*. 2018. № 2. С. 39–51. EDN [XTAWXI](https://www.edn.net/XTAWXI)

7. Кайгородцев А. А., Рахмангулов А. Н. Выбор конфигурации цепей поставок на основе комбинации имитационного моделирования и методов многокритериального оценивания // *Железнодорожный транспорт и технологии (RTT-2023): сб. тр. Междунар. науч.-практ. конф. (Екатеринбург, 29–30 ноября 2023 г.)*. Екатеринбург: Уральский гос. ун-т путей сообщения, 2024. С. 256–260. EDN [LXGSKG](https://www.edn.net/LXGSKG)

1. Lysiankova M. V., Molchanov A. V. Methods for assessing the efficiency of investment and project activities: Comparative analysis and practical recommendations. *Belorussian Economic Journal*, 2022, no. 2 (99), pp. 48–70. (In Russ.). DOI [10.46782/1818-4510-2022-2-48-70](https://doi.org/10.46782/1818-4510-2022-2-48-70). EDN [WOHXGE](https://www.edn.net/WOHXGE)

2. Chechnev V. B. Analysis and classification of multi-criteria decision-making methods. *Ontology of Designing*, 2024, vol. 14, no. 4 (54), pp. 607–624. (In Russ.). DOI [10.18287/2223-9537-2024-14-4-607-624](https://doi.org/10.18287/2223-9537-2024-14-4-607-624). EDN [QMCAUL](https://www.edn.net/QMCAUL)

3. Mikoni S. V., Sokolov B. V., Burakov D. P. SVIR-M, selection and ranking alternatives system: Theoretical foundations and practice of application. *Ontology of Designing*, 2024, vol. 14, no. 3 (53), pp. 440–456. (In Russ.). DOI [10.18287/2223-9537-2024-14-3-440-456](https://doi.org/10.18287/2223-9537-2024-14-3-440-456). EDN [VHKQYF](https://www.edn.net/VHKQYF)

4. Charnes A., Cooper W. W., Rhodes E. Measuring the efficiency of decision making units. *European Journal of Operational Research*, 1978, vol. 2, iss. 6, pp. 429–444. DOI [10.1016/0377-2217\(78\)90138-8](https://doi.org/10.1016/0377-2217(78)90138-8)

5. 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. DOI [10.1287/mnsc.30.9.1078](https://doi.org/10.1287/mnsc.30.9.1078)

6. Zelenskaya E. M. Measuring performance of cultural organizations on the data of the envelopment analysis. *IKBFU's Vestnik. Series: Humanities and Social Sciences*, 2018, no. 2, pp. 39–51. (In Russ.). EDN [XTAWXI](https://www.edn.net/XTAWXI)

7. Kaigorodtsev A. A., Rakhmangulov A. N. Vybor konfiguratsii tsepei postavok na osnove kombinatsii imitatsionnogo modelirovaniya i metodov mnogokriterial'nogo otsenivaniya. *Railway Transport and Technologies (RTT-2023): Proceedings of International Practical Science Conference, Yekaterinburg, 29–30 November 2023*. Yekaterinburg, Ural State University of Railway Transport Publ., 2024, pp. 256–260. (In Russ.). EDN [LXGSKG](https://www.edn.net/LXGSKG)

8. Баркалов С. А., Глушков А. Ю., Моисеев С. И. Математические методы многокритериального оценивания привлекательности проектов // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника. 2020. Т. 20, № 1. С. 111–119. DOI [10.14529/ctcr200111](https://doi.org/10.14529/ctcr200111). EDN [HMUIEG](https://www.edn.ru/HMUIEG)
9. Цапенко М. В. Количественные способы оценки инновационного потенциала региона // Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета им. академика С. П. Королева (национального исследовательского университета). 2011. № 4 (28). С. 145–156. EDN [OXAROL](https://www.edn.ru/OXAROL)
10. Ануфриева З. О. Оценка выбора метода оптимизации налогообложения предприятия по методу экспертного многокритериального оценивания // Труды Ульяновского научного центра «Ноосферные знания и технологии»: сб. науч. тр. / отв. ред. В. Н. Лазарев. Ульяновск: Ульяновский гос. техн. ун-т, 2020. С. 7–11. EDN [LBYLTO](https://www.edn.ru/LBYLTO)
11. Díaz C. G., Díaz M., Laborda E., Pérez M., Pekakis P. Multicriteria approach for evaluating bio-waste-valorization cases // Energy Storage and Saving. 2024. Vol. 3, iss. 4. P. 288–294. DOI [10.1016/j.enss.2024.06.002](https://doi.org/10.1016/j.enss.2024.06.002)
12. Mendas A., Mebrek A., Mekranfar Z. Group decision-making based on GIS and multicriteria analysis for assessing land suitability for agriculture // Revue Internationale de Geometique. 2024. Vol. 33. P. 383–398. DOI [10.32604/rig.2024.055321](https://doi.org/10.32604/rig.2024.055321)
13. Monteiro J., Sousa N., Coutinho-Rodrigues J., Natividade-Jesus E. Benchmarking real and ideal cities – a multicriteria analysis of city performance based on urban form // Cities. 2024. Vol. 150. Article 105040. DOI [10.1016/j.cities.2024.105040](https://doi.org/10.1016/j.cities.2024.105040)
14. Ju W., Xing Z., Wu J., Kang Q. Evaluation of forest fire risk based on multicriteria decision analysis techniques for Changzhou, China // International Journal of Disaster Risk Reduction. 2023. Vol. 98. Article 104082. DOI [10.1016/j.ijdr.2023.104082](https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2023.104082)
15. Juanpera M., Domenech B., Ferrer-Martí L., García-Villoria A., Pastor R. Methodology for integrated multicriteria decision-making with uncertainty: Extending the compromise ranking method for uncertain evaluation of alternatives // Fuzzy Sets and Systems. 2022. Vol. 434. P. 135–158. DOI [10.1016/j.fss.2021.08.008](https://doi.org/10.1016/j.fss.2021.08.008)
16. Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий. М.: Радио и связь, 1993. 278 с.
8. Barkalov S. A., Glushkov A. Yu., Moiseev S. I. Mathematical methods of multicriteria evaluation of attractiveness of projects. *Bulletin of the South Ural State University, Series “Computer Technology, Automatic Control, Radio Electronics”*, 2020, vol. 20, no. 1, pp. 111–119. (In Russ.). DOI [10.14529/ctcr200111](https://doi.org/10.14529/ctcr200111). EDN [HMUIEG](https://www.edn.ru/HMUIEG)
9. Tsapenko M. V. Quantitative ways of estimating the regional innovative potential. *Vestnik of Samara University. Aerospace and Mechanical Engineering*, 2011, no. 4 (28), pp. 145–156. (In Russ.). EDN [OXAROL](https://www.edn.ru/OXAROL)
10. Anufrieva Z. O. Otsenka vybora metoda optimizatsii nalogooblozheniya predpriyatiya po metodu ekspertnogo mnogokriterial'nogo otsenivaniya. *Trudy Ulyanovskogo nauchnogo tsentra «Noosfernye znaniya i tekhnologii»*. Ulyanovsk, Ulyanovsk State Technical University Publ., 2020, pp. 7–11. (In Russ.). EDN [LBYLTO](https://www.edn.ru/LBYLTO)
11. Díaz C. G., Díaz M., Laborda E., Pérez M., Pekakis P. Multicriteria approach for evaluating bio-waste-valorization cases. *Energy Storage and Saving*, 2024, vol. 3, iss. 4, pp. 288–294. DOI [10.1016/j.enss.2024.06.002](https://doi.org/10.1016/j.enss.2024.06.002)
12. Mendas A., Mebrek A., Mekranfar Z. Group decision-making based on GIS and multicriteria analysis for assessing land suitability for agriculture. *Revue Internationale de Geometique*, 2024, vol. 33, pp. 383–398. DOI [10.32604/rig.2024.055321](https://doi.org/10.32604/rig.2024.055321)
13. Monteiro J., Sousa N., Coutinho-Rodrigues J., Natividade-Jesus E. Benchmarking real and ideal cities – a multicriteria analysis of city performance based on urban form. *Cities*, 2024, vol. 150, Article 105040. DOI [10.1016/j.cities.2024.105040](https://doi.org/10.1016/j.cities.2024.105040)
14. Ju W., Xing Z., Wu J., Kang Q. Evaluation of forest fire risk based on multicriteria decision analysis techniques for Changzhou, China. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 2023, vol. 98, Article 104082. DOI [10.1016/j.ijdr.2023.104082](https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2023.104082)
15. Juanpera M., Domenech B., Ferrer-Martí L., García-Villoria A., Pastor R. Methodology for integrated multicriteria decision-making with uncertainty: Extending the compromise ranking method for uncertain evaluation of alternatives. *Fuzzy Sets and Systems*, 2022, vol. 434, pp. 135–158. DOI [10.1016/j.fss.2021.08.008](https://doi.org/10.1016/j.fss.2021.08.008)
16. Saaty T. *Prinyatie reshenii. Metod analiza ierarkhii*. Moscow, Radio i svyaz' Publ., 1993. 278 p. (In Russ.).

17. Чупандина Е. Е., Зенкина А. В. Выбор метода анализа финансовой устойчивости аптечных организаций методом анализа иерархий различными группами стейкхолдеров // Современная экономика: проблемы и решения. 2015. № 7 (67). С. 54–62. DOI [10.17308/meps.2015.7/1272](https://doi.org/10.17308/meps.2015.7/1272). EDN [VBFHUP](https://www.edn.ru/entry/VBFHUP)
18. Posphehov G. B., Savón Yu., Moseykin V. V. Landslide susceptibility zonation using the analytical hierarchy process A case study of Guantanamo Province // Mining Informational and Analytical Bulletin (Scientific and Technical Journal). 2024. Vol. 1. P. 125–145. DOI [10.25018/0236_1493_2024_1_0_125](https://doi.org/10.25018/0236_1493_2024_1_0_125). EDN [KPFWIY](https://www.edn.ru/entry/KPFWIY)
19. Картвелишвили В. М., Лебедюк Э. А. Метод анализа иерархий: критерии и практика // Вестник Российского экономического университета им. Г. В. Плеханова. 2013. № 6 (60). С. 97–112. EDN [QCRDPL](https://www.edn.ru/entry/QCRDPL)
20. Игловская А. И., Сальникова А. А. Оценка эффективности систем корпоративной социальной ответственности электросетевых компаний России с использованием метода анализа среды функционирования // Век качества. 2019. № 3. С. 86–105. EDN [MHJEXY](https://www.edn.ru/entry/MHJEXY)
21. Kumar N., Bhunia S., Dey P. Data envelopment analysis and multi-objective genetic algorithm-based optimization of energy consumption and greenhouse gas emissions in rice-wheat system // Energy. 2024. Vol. 313. Article 133680. DOI [10.1016/j.energy.2024.133680](https://doi.org/10.1016/j.energy.2024.133680)
22. Рухлинский В. М., Хаустов А. А., Кулешов А. А. Оценка эффективности системы управления безопасностью полетов на основе анализа среды функционирования // Научный вестник ГосНИИ ГА. 2020. № 31. С. 119–129. EDN [COHYUY](https://www.edn.ru/entry/COHYUY)
23. Cruz E. D., Sabado J. R. F. Credit risk and performance evaluation of cooperatives in Region XI using Data Envelopment analyses (DEA) // European Journal of Economic and Financial Research. 2020. Vol. 6, no. 1. P. 101–120. DOI [10.46827/ejefr.v6i1.1268](https://doi.org/10.46827/ejefr.v6i1.1268)
24. Peykani P., Esmaeili F. S. S., Pishvae M. S., Rostamy-Malkhalifeh M., Lotfi F. H. Matrix-based network data envelopment analysis: A common set of weights approach // Socio-Economic Planning Sciences. 2024. Vol. 95. Article 102044. DOI [10.1016/j.seps.2024.102044](https://doi.org/10.1016/j.seps.2024.102044)
25. Ундарга Л. Методика анализа эффективности финансирования малого и среднего предприятия на основе улучшенной модели DEA // Актуальные вопросы повышения экономической эффективности агропромышленного комплекса
17. Chupandina E. E., Zenkina A. V. The choice of method of analysis of financial stability pharmacies method of analysis of hierarchies of different groups of stakeholders. *Modern Economics: Problems and Solutions*, 2015, no. 7 (67), pp. 54–62. (In Russ.). DOI [10.17308/meps.2015.7/1272](https://doi.org/10.17308/meps.2015.7/1272). EDN [VBFHUP](https://www.edn.ru/entry/VBFHUP)
18. Posphehov G. B., Savón Yu., Moseykin V. V. Landslide susceptibility zonation using the analytical hierarchy process. A case study of Guantanamo Province. *Mining Informational and Analytical Bulletin (Scientific and Technical Journal)*, 2024, vol. 1, pp. 125–145. DOI [10.25018/0236_1493_2024_1_0_125](https://doi.org/10.25018/0236_1493_2024_1_0_125). EDN [KPFWIY](https://www.edn.ru/entry/KPFWIY)
19. Kartvelishvili V. M., Lebedyuk E. A. Metod analiza ierarkhii: kriterii i praktika. *Vestnik of the Plekhanov Russian University of Economics*, 2013, no. 6 (60), pp. 97–112. (In Russ.). EDN [QCRDPL](https://www.edn.ru/entry/QCRDPL)
20. Iglovskaya A. I., Salnikova A. A. Efficiency assessment of corporate social responsibility systems of electric grid companies of Russia using data envelopment analysis. *Age of Quality*, 2019, no. 3, pp. 86–105. (In Russ.). EDN [MHJEXY](https://www.edn.ru/entry/MHJEXY)
21. Kumar N., Bhunia S., Dey P. Data envelopment analysis and multi-objective genetic algorithm-based optimization of energy consumption and greenhouse gas emissions in rice-wheat system. *Energy*, 2024, vol. 313, Article 133680. DOI [10.1016/j.energy.2024.133680](https://doi.org/10.1016/j.energy.2024.133680)
22. Rukhlinskiy V. M., Khaustov A. A., Kuleshov A. A. Safety management system efficiency evaluation using data envelopment analysis. *Nauchnyi vestnik GosNII GA*, 2020, no. 31, pp. 119–129. (In Russ.). EDN [COHYUY](https://www.edn.ru/entry/COHYUY)
23. Cruz E. D., Sabado J. R. F. Credit risk and performance evaluation of cooperatives in Region XI using Data Envelopment analyses (DEA). *European Journal of Economic and Financial Research*, 2020, vol. 6, no. 1, pp. 101–120. DOI [10.46827/ejefr.v6i1.1268](https://doi.org/10.46827/ejefr.v6i1.1268)
24. Peykani P., Esmaeili F. S. S., Pishvae M. S., Rostamy-Malkhalifeh M., Lotfi F. H. Matrix-based network data envelopment analysis: A common set of weights approach. *Socio-Economic Planning Sciences*, 2024, vol. 95, Article 102044. DOI [10.1016/j.seps.2024.102044](https://doi.org/10.1016/j.seps.2024.102044)
25. Undarga L. A Small and medium enterprise financing efficiency analyzing method based on an improved DEA model. *Modern Issues of Higher Economic Efficiency in Agriculture under Current Conditions: Proceedings of International Practical Science Conference, Ulan Ude, 31 October 2023*. Ulan

в современных условиях: материалы междунар. науч.-практ. конф. (Улан-Удэ, 31 октября 2023 г.). Улан-Удэ: Бурятская ГСХА им. В. Р. Филиппова, 2023. С. 8–16. EDN [ECZOCL](#)

26. *Моргунов Е. П., Моргунова О. Н.* Модификация метода «Анализ среды функционирования» на основе использования эталонных границ эффективности // Системы управления и информационные технологии. 2007. № 1-2 (27). С. 262–268. EDN [JWKLYD](#)

27. *Деревянов М. Ю.* Системный анализ сложноструктурированного комплекса переработки нефте-содержащих отходов // Вестник Самарского государственного технического университета. Серия: Технические науки. 2024. Т. 32, № 1 (81). С. 32–55. DOI [10.14498/tech.2024.1.3](#). EDN [DYNHKK](#)

28. *Wang Z., Fan Z.* Green sustainability assessment and efficiency improvement study of international oil and gas companies: Based on data envelopment analysis // *Heliyon*. 2025. Vol. 11, iss. 1. Article e40942. DOI [10.1016/j.heliyon.2024.e40942](#)

29. *Клейнер Г. Б.* Производственные функции: теория, методы, применение. М.: Финансы и статистика, 1986. 239 с.

Ude, BSAA Publ., 2023, pp. 8–16. (In Russ.). EDN [ECZOCL](#)

26. *Morgunov E. P., Morgunova O. N.* Modification of data envelopment analysis based on referential efficient frontiers. *Sistemy upravleniya i informatsionnye tekhnologii*, 2007, no. 1-2 (27), pp. 262–268. (In Russ.). EDN [JWKLYD](#)

27. *Derevyanov M. Yu.* System analysis of structured complex for oil wastes recycling system. *Vestnik of Samara State Technical University. Technical Sciences Series*, 2024, vol. 32, no. 1 (81), pp. 32–55. (In Russ.). DOI [10.14498/tech.2024.1.3](#). EDN [DYNHKK](#)

28. *Wang Z., Fan Z.* Green sustainability assessment and efficiency improvement study of international oil and gas companies: Based on data envelopment analysis. *Heliyon*, 2025, vol. 11, iss. 1, Article e40942. DOI [10.1016/j.heliyon.2024.e40942](#)

29. *Kleiner G. B.* *Proizvodstvennyye funktsii: teoriya, metody, primeneniye*. Moscow, Finansy i statistika Publ., 1986. 239 p. (In Russ.).

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Михаил Владимирович Цапенко – кандидат экономических наук, доцент, доцент кафедры «Управление и системный анализ теплоэнергетических и социотехнических комплексов», Самарский государственный технический университет (Россия, 443100, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244, главный корпус); ✉ mcap@mail.ru

Анжела Александровна Ермакова – ассистент кафедры «Управление и системный анализ теплоэнергетических и социотехнических комплексов», Самарский государственный технический университет (Россия, 443100, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244, главный корпус); ✉ khapalina.aa@samgtu.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Mikhail V. Tsapenko – Candidate of Sciences (Economics), Associate Professor, Associate Professor at the Department of Management and System Analysis of Thermal Power and Socio-Technical Complexes, Samara State Technical University (244, Main Building, Molodogvardeyskaya st., Samara, 443100, Russia); ✉ mcap@mail.ru

Anzhela A. Ermakova – assistant at the Department of Management and System Analysis of Thermal Power and Socio-Technical Complexes, Samara State Technical University (244, Main Building, Molodogvardeyskaya st., Samara, 443100, Russia); ✉ khapalina.aa@samgtu.ru