

## Исследование метода анализа среды функционирования и его применение для оценки эффективности предприятий топливно-энергетического комплекса\*

Мария В. Покушко<sup>a,b,@</sup>; Алена А. Ступина<sup>a,c,d</sup>; Инмакулада Медина-Було<sup>b</sup>; Егор С. Дресвянский<sup>a,b</sup>

<sup>a</sup> Сибирский федеральный университет, Россия, г. Красноярск

<sup>b</sup> Университет Кадиса, Испания, г. Пуэрто-Реаль

<sup>c</sup> Красноярский государственный аграрный университет, Россия, г. Красноярск

<sup>d</sup> Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М. Ф. Решетнева, Россия, г. Красноярск

@ mvp1984@mail.ru

Поступила в редакцию 23.03.2020. Принята к печати 13.04.2020.

**Аннотация:** Предложен метод анализа среды функционирования для оценки эффективности функционирования системы теплоснабжения г. Красноярск. Определены основные преимущества и недостатки использования данного метода, дано его описание. Проведен сравнительный анализ методов оценки эффективности по критериям преимуществ и недостатков. Выявлено, что метод анализа среды функционирования – это наиболее удобный инструмент, позволяющий измерить производственную эффективность объекта. Модифицирована архитектура универсальной системы поддержки принятия решений в архитектуру с применением метода анализа среды функционирования. Наглядно показана эффективность использования метода при решении задачи оценки эффективности функционирования системы теплоснабжения г. Красноярск. По результатам оценки эффективности предложены рекомендации по улучшению эффективности функционирования системы теплоснабжения г. Красноярск на примере тринадцати объектов из числа котельных и теплоэлектроцентралей города. В качестве входного показателя использована располагаемая тепловая мощность, в качестве выходных – отпуск тепловой энергии в сеть и масса выброса. По имеющимся исходным данным решена задача по модели анализа среды функционирования, ориентированная на выход, с одним входом и двумя выходами. На основе проведенных расчетов выявлены неэффективные объекты системы теплоснабжения г. Красноярск. Предложена оптимизация значений входных и выходных показателей каждого объекта для улучшения функционирования системы теплоснабжения города в целом. Разработаны рекомендации по проведению модернизации котельных и теплоэлектроцентралей с показателем эффективности менее 1.

**Ключевые слова:** система поддержки принятия решений, модель, модуль принятия решения, линейное программирование, система теплоснабжения, уровень выбрасываемых вредных веществ, тепловая мощность, отпуск тепловой энергии в сеть, масса выброса, окружающая среда

**Для цитирования:** Покушко М. В., Ступина А. А., Медина-Було И., Дресвянский Е. С. Исследование метода анализа среды функционирования и его применение для оценки эффективности предприятий топливно-энергетического комплекса // Вестник Кемеровского государственного университета. Серия: Политические, социологические и экономические науки. 2020. Т. 5. № 2. С. 251–262. DOI: <https://doi.org/10.21603/2500-3372-2020-5-2-251-262>

### Введение

Эффективность функционирования – одна из определяющих характеристик производственной системы [1]. Понятие отражает эффективность, которую имеет исследуемая система в ходе преобразования определенных входов в выходы.

Для осуществления управления организацией любого типа очень важна оценка ее эффективности, которая зависит от степени достижения цели с учетом затрат (ресурсы, время) и сферы применения. Исходя из этого эффективность функционирования будет иметь определенный

смысл в зависимости от поставленной цели и модели оценивания [2]. За последние годы анализ эффективности сложных систем получил широкое распространение по той причине, что исследование эффективности функционирования позволяет улучшать любые показатели работы предприятия, тем самым повышая его эффективность.

Проблеме исследования эффективности функционирования систем во всех сферах деятельности человека в последние годы уделяется повышенное внимание [3]. Для проведения исследований используются разные

\* Статья написана в рамках III Всероссийской научно-практической конференции, посвященной 300-летию освоения Кузбасса «Управление организациями в современной экономике». Специальная тема: «Цифровая трансформация управления».

подходы в зависимости от предметной области. Однако разработан и ряд методов, которые используются для оценки эффективности объектов в довольно широких классах систем. В качестве одного из таких методов, по нашему мнению, может выступать метод анализа среды функционирования (*Data Envelopment Analysis, DEA*) [4]. В последние 25 лет он широко применяется для оценки эффективности функционирования сложных объектов в различных сферах. Но вместе с тем метод не использовался для оценки эффективности функционирования котельных и теплоэлектроцентралей.

На сегодняшний день при принятии решений в области управления организацией менеджеры очень активно используют компьютер. Существующие базы данных и новейшие программы позволяют ускорить время принятия решения. Но менеджменту организаций приходится сталкиваться со всевозможными задачами по управлению системой, а не только с информацией из базы данных [3].

Сегодня существует инструмент, который выступает в качестве помощника в процессе принятия решений, – это системы поддержки принятия решений (СППР). СППР – это компьютеризированная система, имеющая назначение помогать и поддерживать пользователей в преобразовании информации в эффективные для управляемой системы действия в сложных условиях для анализа деятельности [4]. Если в процессе принятия решений возникают трудности, то действенным и необходимым инструментом выступает СППР. Такие информационные системы позволяют повысить эффективность работы предприятия за счет улучшения функции контроля.

### Методы и материалы

Для оценки эффективности существует множество различных методов оценки эффективности функционирования сложных систем, которые могут отличаться по виду получаемых показателей, используемому подходу и т. д. Нами выделены несколько наиболее часто используемых методов, проведено их сравнение. Схема методов оценки эффективности функционирования сложных систем [5] представлена на рис. 1.

Далее был проведен сравнительный анализ методов оценки эффективности сложной системы по их преимуществам [6] и по их недостаткам [7; 8] (табл. 1).

На основании данных приведенного анализа по недостаткам и преимуществам методов оценки эффективности функционирования сложных систем можно предположить, что анализ среды функционирования (АСФ) – это наиболее удобный инструмент, позволяющий измерить производственную эффективность объекта [9].

Метод АСФ (DEA) является довольно популярным инструментом по оценке эффективности сложных систем. Появился данный метод в 1978 г. и был разработан американскими учеными А. Charnes, W. W. Cooper,

Е. Rhodes [1]. В основе АСФ лежит непараметрическая методология, потому как не определена какая-либо форма производственной функции. Модели АСФ делятся на 2 вида в зависимости от ориентации [10]:

1. *Ориентированная на вход модель (inputoriented model)*. На выходе имеем продукт  $y$ , а для производства этого продукта необходимо использовать два вида ресурсов, т. е. входов  $x_1$  и  $x_2$ .

2. *Ориентированная на выход модель (outputoriented model)*. На выходе имеем два продукта –  $y_1$  и  $y_2$ , а для производства этих продуктов необходимо использовать один ресурс ( $x$ ) на входе.

Значение эффективности по модели АСФ вычисляется по формуле [11]:

$$0 \leq Efficiency_z = \frac{OZ1}{OZ} \leq 1.$$

Ее значение всегда находится в интервале от 0 до 1.

Для построения эффективной модели оценки эффективности рассмотрим систему поддержки принятия решений. Существует несколько понятий СППР. Представим СППР как совокупность мероприятий по обработке информации для упрощения принятия решения, в основе которой лежит определенная модель [12]. Данная система построена на решении двух основных задач: оптимизации и ранжирования. Оптимизация дает возможность лицу, принимающему решение, выбрать наилучшее из всех возможных. Ранжирование позволяет аппарату управления упорядочить возможные решения в порядке предпочтения. Важным моментом здесь является выбор альтернатив, т. е. совокупности определенных критериев, по которым будет проводиться оценка и сопоставление решений.

Чаще всего СППР ориентированы решать проблемы в области принятия решений и в их основе лежат индивидуальные показатели организации. Рассмотрим схему стандартной СППР (рис. 2) [13].

Очень важным условием построения СППР является выделение ее основных функций при заданных условиях. В нашем случае основными функциями, ради выполнения которых СППР и создается, будут оценка текущего состояния сложной системы и формирование рекомендаций по улучшениям на основании анализа полученных показателей системы и подсистем [14]. Также сформулируем вспомогательные функции для СППР в заданных нами условиях [15]:

- оказание помощи линейному программированию по формированию входных и выходных переменных модели АСФ;
- формирование и анализ исходных данных по системе;
- построение графиков и формирование наглядных таблиц для принятия решения;
- возможность экспорта и импорта результатов анализа СППР.

DOI: 10.21603/2500-3372-2020-5-2-251-262

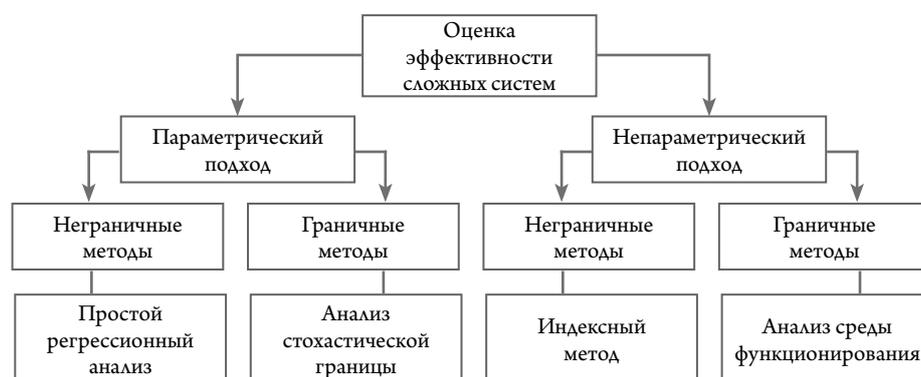


Рис. 1. Схема методов оценки эффективности

Fig. 1. Methods for performance assessment

Табл. 1. Результаты сравнительного анализа методов оценки эффективности сложной системы по их преимуществам и недостаткам  
 Tab. 1. Comparative analysis of the performance assessment methods based on the advantage and disadvantage criteria

Метод	Преимущества	Недостатки
Простой регрессионный анализ	<ul style="list-style-type: none"> <li>простота вычислительных алгоритмов;</li> <li>наглядность результатов (для линейной модели);</li> <li>форма отношения между величинами непараметрическая;</li> <li>применим к различным сферам жизни человека</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>выбор вида зависимости носит субъективный характер (подгонка модели под исходные данные);</li> <li>исходные данные необходимо преобразовать;</li> <li>отсутствие в модели важных независимых переменных влечет неадекватное представление моделируемого объекта;</li> <li>выбросы влекут негативное влияние на коэффициенты регрессии</li> </ul>
Анализ стохастической границы	<ul style="list-style-type: none"> <li>учитывает случайные ошибки;</li> <li>оценивает «истинную» границу, а не среднее значение среди всех объектов;</li> <li>технически разделяет величину случайной ошибки и эффективности</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>случайная переменная неэффективности априори не определена;</li> <li>метод рассчитан на выпуск единственного продукта (выхода);</li> <li>необходимость выбирать функциональную форму производственного функционала;</li> <li>выбросы могут привести к смещению оценок</li> </ul>
Индексный метод	<ul style="list-style-type: none"> <li>относительная простота в использовании;</li> <li>позволяет провести оценку долгосрочных тенденций производительности</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>не учитывает случайные ошибки;</li> <li>при оценке эффективности осуществляется минимизация затрат по определенным техническим показателям</li> </ul>
Анализ среды функционирования	<ul style="list-style-type: none"> <li>позволяет вычислить один агрегированный показатель для каждого из объектов, используя входные и выходные показатели;</li> <li>учитывает наличие многих входов и выходов, т. е. имеет возможность обрабатывать их одновременно;</li> <li>каждый из них может иметь свои единицы измерения;</li> <li>позволяет представить эффективность объекта в виде числового значения;</li> <li>нет необходимости присваивать весовые коэффициенты параметров входа и выхода;</li> <li>не требует определения конкретного вида производственной функции;</li> <li>формирует множество точек, соответствующих показателям исследуемых объектов;</li> <li>позволяет определить, что необходимо изменить на входе / выходе неэффективному объекту для вывода на границу эффективности;</li> <li>позволяет учитывать факторы окружающей среды;</li> <li>направлен на выявление лучшей практики;</li> <li>позволяет учитывать пожелания относительно значимости каких-либо входных / выходных переменных</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>не учитывает случайные ошибки в исходных данных, чувствительность результатов к выбросам;</li> <li>граница эффективности строится на основе эффективных объектов системы, следовательно, спустя определенный промежуток времени она может сдвинуться. Поэтому граница строится не на основе среднего значения, как в случае неграничных методов оценки эффективности;</li> <li>решение задачи может оказаться чересчур ресурсозатратным при большом объеме выборки</li> </ul>

В процессе проектирования СППР по заданным функциям модифицируем схему типичной СППР и в качестве основного рабочего инструмента будем использовать метод анализа функционирования сложной системы АСФ. Представим схему СППР с использованием метода АСФ по заданным нами функциям в виде подсистем (рис. 3) [16; 17].

Приведем некоторые черты (но не формальные признаки) сложной системы:

- 1) отсутствие математического описания и необходимость в нем;
- 2) стохастичность поведения, или «зашумленность», обусловлена наличием генераторов случайных помех и большим числом второстепенных процессов [18];
- 3) нетерпимость к управлению – система имеет свою цель [19];
- 4) нестационарность: система может изменяться с течением времени и при изменении определенных параметров [20];
- 5) невоспроизводимость: подразумевается отсутствие возможности воспроизводить проведенные эксперименты, т.к. с течением времени может изменяться как сама система, так и ее показатели [21].

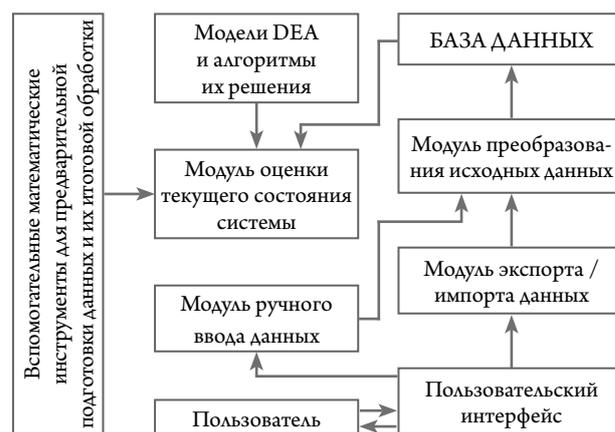
**Результаты**

В последнее время одной из важнейших мировых проблем является проблема экологии, загрязнения окружающей среды. В частности, это касается и Красноярского края, т.к. проблема загрязнения окружающей среды для г. Красноярск стоит особо остро. Уже не один десяток лет жители городов края вынуждены мириться с неблагоприятными условиями среды проживания, связанной с загрязнением [22]. На основе исследований, проведенных правительством Красноярского края, теплоэлектростанции (ТЭЦ) и котельные являются основными источниками загрязнения экосистемы [23]. С увеличением производственных мощностей растет и объем выбрасываемых в воздух опасных и вредных веществ. Поэтому важным вопросом является контроль и предотвращение чрезмерного загрязнения окружающей среды.

Статистические данные показывают, что количество выбрасываемых отходов со всех трех ТЭЦ и с остальных предприятий и котельных города с каждым годом уменьшается. Мы видим положительную динамику, что связано с модернизацией на предприятиях. К примеру, на ТЭЦ 1 демонтировали три низкие трубы высотой 105–120 м и строят взамен одну новую высотой 275 м. Снос труб освободит место для установки электрофильтров с эффективностью очистки 99 %. В настоящее время на станции работают батарейные циклонные уловители с эффективностью 95 %. Также хотелось бы отметить, что неэффективные котельные выводят из эксплуатации. Однако для повышения эффективности функционирования необходимо провести еще множество мероприятий



**Рис. 2. Схема типичной СППР**  
**Fig. 2. Diagram of a typical decision support system**



**Рис 3. Структурная схема СППР с использованием метода АСФ**  
**Fig. 3. Block diagram of the decision support system using the Data envelopment analysis method**

по модернизации системы теплоснабжения города [24]. В связи с актуальностью повышения эффективности работы ТЭЦ и котельных в качестве апробации метода выбрана сложная система – система теплоснабжения г. Красноярск.

Понятие сложной системы не имеет конкретного строгого определения. Но в общих чертах можно сказать, что сложной является система, которая состоит из множества компонентов (подсистем), взаимодействующих между собой. Основные черты сложной системы были рассмотрены выше [25].

Для получения результатов было использовано программное обеспечение *Data Envelopment Analysis Program*, разработанное в Университете Новой Англии в Австралии профессором Т. Coelli [26]. Данное приложение находится в свободном доступе для использования в некоммерческих, академических целях [27].

DOI: 10.21603/2500-3372-2020-5-2-251-262

На основе проекта [28] «Схема теплоснабжения города Красноярска до 2033 года» были выбраны котельные системы теплоснабжения города в количестве двадцати восьми штук, принадлежащие десяти разным организациям. Выделены показатели по котельным за 2018 г., сформирована выборка, необходимая для решения задачи оценки эффективности системы на основании методологии АСФ [29].

По имеющимся исходным данным будем решать задачу по модели АСФ, ориентированную на выход, с одним входом и двумя выходами [30, с. 29–35]. В качестве входного показателя используем располагаемую тепловую мощность (Гкал/час). В качестве выходных – отпуск тепловой энергии в сеть (тыс. Гкал) и массу выброса (тыс. т в год).

При применении метода АСФ возможны ситуации, когда возникает необходимость в уменьшении части выходных показателей. В нашем случае необходимо уменьшить массу выбросов от котельных, хотя по модели следует их увеличивать. Для этого будем использовать в расчетах не значение показателей объектов по массе выбросов, а их отклонение от выбранного порогового значения [31, с. 7–13]. За пороговое примем значение равное 22000,0 тыс. т в год, как максимальную величину по этому показателю из всех ранжированных объектов, округленную до целого значения.

В табл. 2, содержится информация об исходных данных, т. е. о DMU – Decision Making Unit (модуль принятия решений) [32], одном входе и двух выходах. Данные последнего столбца таблицы демонстрируют отклонение выходного показателя от порогового значения.

Поставим цель – увеличить объем выхода без увеличения входа, т. е. при определенной мощности оборудования каждого DMU нам необходимо увеличить количество отпускаемой в сеть энергии, а также уменьшить количество выбросов или, что то же самое, увеличить

отклонение массы выбросов от порогового значения. В соответствии с целью будем решать ориентированную на выход задачу.

Теперь применим эффект масштаба. В данном исследовании будем использовать переменную отдачу от масштаба [33], т. к. совокупность данных является достаточно неоднородной, имеет большой разброс. Коэффициент вариации значительно выше 33 %: для показателей располагаемой тепловой мощности составляет 117,67 %, для показателей отпуска тепловой энергии в сеть – 130,74 %, для показателей массы выброса – 97,98 %.

Проекция неэффективного объекта на границу эффективности – это гипотетический объект [34]. Гипотетический объект образуется как линейная комбинация одного и более эффективных объектов, эти объекты иначе называются эталонными. Каждый объект имеет свой весовой коэффициент и является составляющей линейной комбинации. То есть неэффективному объекту ставятся в соответствие эффективные, чем больше коэффициент у этого эталонного объекта, тем ближе соотношение значений неэффективного и эталонного [35]. Отметим результаты показателей эффективности для каждого объекта в табл. 3.

Изучив табл. 3, можно увидеть, что, например, для шестого DMU – Объекта № 6 – эталонными являются второе и пятое предприятие, причем Объект № 2 с коэффициентом 0,158, а Объект № 5 с коэффициентом 0,842, следовательно, показатели Объекта № 5 ближе к показателям Объекта № 6, но Объект № 2 тоже вносит свой вклад. Для Объекта № 7 эталонными являются третье и пятое предприятие с коэффициентами 0,034 и 0,966 соответственно, следовательно, показатели Объекта № 5 значительно ближе к показателям Объекта № 7. Для восьмого DMU – Объекта № 8 – эталонными являются Объект № 4 с коэффициентом 0,154 и Объект № 11 с коэффициентом 0,846:

Табл. 2. Исходные данные – перечень DMU, входы и выходы

Tab. 2. Source data: list of Decision Making Units, inputs, and outputs

Название DMU	Вход (x)		Выход (y)	
	Располагаемая тепловая мощность, Гкал/час	Отпуск тепловой энергии в сеть, тыс. Гкал в год	Масса выброса, тыс. т в год	Масса выброса (отклонение)
Объект № 1	1464,00	3531,00	21165,6953	834,3047
Объект № 2	1405,00	3470,00	18218,3039	3781,6960
Объект № 3	631,50	1914,00	12655,9817	9344,0180
Объект № 4	288,96	442,63	989,2731	21010,7300
Объект № 5	136,43	394,93	2247,1820	19752,8200
Объект № 6	339,85	795,60	6431,6010	15568,4000
Объект № 7	153,20	423,39	6789,9520	15210,0500
Объект № 8	96,60	82,83	2221,0240	19778,9800
Объект № 9	373,00	433,39	2709,6086	19290,3900
Объект № 10	120,00	157,55	1755,0000	20245,0000
Объект № 11	61,60	70,36	1231,4500	20768,5500
Объект № 12	57,60	98,95	1839,6038	20160,4000
Объект № 13	57,60	98,95	20160,4000	1839,6000

показатели Объекта № 11 ближе к показателям Объекта № 8. Для Объекта № 9 эталонными являются второе и четвертое предприятие, причем Объект № 2 с коэффициентом 0,009, а Объект № 4 с коэффициентом 0,991, следовательно, показатели Объекта № 4 практически одинаковые с показателями Объекта № 9. Десятому DMU эталонными являются четвертое и одиннадцатое предприятие, причем Объект № 4 с коэффициентом 0,257, а Объект № 11 с коэффициентом 0,743, следовательно, показатели Объекта № 11 ближе к показателям Объекта № 10.

Как уже было отмечено ранее, метод АСФ формирует рекомендуемые значения показателей для неэффективных объектов – котельных и теплоэлектроцентралей. Если бы неэффективные DMU соответствовали рекомендуемым значениям показателей, то они переместились бы на границу эффективности. Метод АСФ не анализирует элементы и процессы внутри системы. Он позволяет анализировать только входы и выходы, а также давать рекомендации по оптимизации этих показателей для повышения эффективности работы системы в целом.

Табл. 4 содержит все исходные и рекомендуемые значения для всех исследуемых объектов. В ней для сравнения представлены показатели отклонения фактического показателя от оптимального. Оптимальное значение по решению

Табл. 3. Результат оценки эффективности (модель, ориентированная на выход, переменная отдача от масштаба)

Tab. 3. Performance evaluation result (output-oriented model, variable returns to scale)

Название DMU	Показатель эффективности	Место	Эталонные DMU	
Объект № 1	1	1	Объект № 1	–
Объект № 2	1	1	Объект № 2	–
Объект № 3	1	1	Объект № 3	–
Объект № 4	1	1	Объект № 4	–
Объект № 5	1	1	Объект № 5	–
Объект № 6	0,902	12	Объект № 2	0,158
			Объект № 5	0,842
Объект № 7	0,948	10	Объект № 3	0,034
			Объект № 5	0,966
Объект № 8	0,951	9	Объект № 4	0,154
			Объект № 11	0,846
Объект № 9	0,925	11	Объект № 2	0,009
			Объект № 4	0,991
Объект № 10	0,972	8	Объект № 4	0,257
			Объект № 11	0,743
Объект № 11	1	1	Объект № 11	–
Объект № 12	1	1	Объект № 12	–
Объект № 13	1	1	Объект № 13	–
Среднее значение	0,975	–	–	–

данной задачи методом АСФ будет равно 1. Обратим внимание на последнюю колонку таблицы. Можно заметить, что изменение показателей по разным входам или выходам для одного DMU не будет являться одинаковым. Это объясняется тем, что иногда возникает необходимость не только пропорционального увеличения значений, но и дополнительного увеличения не в одинаковых пропорциях.

Объекты № 1–6 и Объекты № 12, 13 системы теплоснабжения г. Красноярск функционируют максимально эффективно. Их показатели эффективности составляют максимальное из возможных значений и равны 1, т.е. не требуется проводить никакого вмешательства в работу 8 объектов системы теплоснабжения города. По данным, представленным в табл. 4, можно также увидеть, что для объектов с показателем эффективности меньше 1 есть отклонения по показателям входа и выходов фактических данных и рекомендованных. Их коэффициент эффективности меньше 1, соответственно требуется провести улучшения для работы данных предприятий в целях улучшения работы системы теплоснабжения г. Красноярск в целом. Это объекты № 7–11. Для Объекта № 7 рекомендуется увеличить отпуск тепловой энергии в сеть на 11 %, а массу выброса уменьшить на 10,8 % без изменения мощности оборудования. Для Объекта № 8 рекомендуется увеличить отпуск тепловой энергии в сеть на 5,4 %, а массу выброса сократить на 27,5 % без изменения мощности оборудования. Для Объекта № 9 рекомендуется увеличить отпуск тепловой энергии в сеть на 54,13 %, а массу выброса сократить на 5,2 % без изменения мощности оборудования. Для Объекта № 10 рекомендуется увеличить отпуск тепловой энергии в сеть на 8,15 %, а массу выброса уменьшить на 8,15 %, при этом мощность оборудования снизить на 19,95 %. Для Объекта № 11 рекомендуется увеличить отпуск тепловой энергии в сеть на 5,35 %, а массу выброса сократить на 2,9 % без изменения мощности оборудования.

Изучив основные внутренние технологические процессы объектов системы теплоснабжения г. Красноярск, можно предложить рекомендации по проведению модернизации котельных и теплоэлектроцентралей с коэффициентом эффективности менее 1. Рекомендуется провести внутреннюю модернизацию пяти объектов системы теплоснабжения г. Красноярск. Это возможно осуществить за счет следующих мер:

- использование сырья с более высоким коэффициентом теплоотдачи;
- переход котельных на гибридную работу (выработка электроэнергии для собственных нужд);
- использование продуктов горения угля в коммерческих целях (переработка и повторное использование);
- применение более эффективных узлов и механизмов оборудования;
- внедрение компьютеризированных линий;
- снижение теплопотерь в системе с помощью использования новых видов теплоизоляции.

DOI: 10.21603/2500-3372-2020-5-2-251-262

Табл. 4. Рекомендуемые значения показателей

Tab. 4. Recommended indicator values

Отделение (DMU)	Показатель эффективности				
	Входы и выходы	Исходное значение	Рекомендуемое значение	Разность между значениями	Разность, %
Объект № 1		1	–	–	–
Располагаемая мощность оборудования		1464	1464	0	0
Отпуск тепловой энергии в сеть		3531	3531	0	0
Масса выброса		834,3047	834,3047	0	0
Объект № 2		1	–	–	–
Располагаемая мощность оборудования		1405	1405	0	0
Отпуск тепловой энергии в сеть		3470	3470	0	0
Масса выброса		3781,696	3781,696	0	0
Объект № 3		1	–	–	–
Располагаемая мощность оборудования		631,5	631,5	0	0
Отпуск тепловой энергии в сеть		1914	1914	0	0
Масса выброса		9344,018	9344,018	0	0
Объект № 4		1	–	–	–
Располагаемая мощность оборудования		288,96	288,96	0	0
Отпуск тепловой энергии в сеть		442,63	442,63	0	0
Масса выброса		21010,73	21010,73	0	0
Объект № 5		1	–	–	–
Располагаемая мощность оборудования		1464	1464	0	0
Отпуск тепловой энергии в сеть		3531	3531	0	0
Масса выброса		834,3047	834,3047	0	0
Объект № 6		1	–	–	–
Располагаемая мощность оборудования		136,43	136,43	0	0
Отпуск тепловой энергии в сеть		394,93	394,93	0	0
Масса выброса		19752,82	19752,82	0	0
Объект № 7		0,902	–	–	–
Располагаемая мощность оборудования		339,85	339,85	0	0
Отпуск тепловой энергии в сеть		795,6	881,735	86,135	11
Масса выброса		15568,4	17253,905	1685,505	10,8
Объект № 8		0,948	–	–	–
Располагаемая мощность оборудования		153,2	153,2	0	0
Отпуск тепловой энергии в сеть		423,39	446,387	22,997	5,4
Масса выброса		15210,05	19400,232	4190,182	27,5
Объект № 9		0,951	–	–	–
Располагаемая мощность оборудования		96,6	96,6	0	0
Отпуск тепловой энергии в сеть		82,83	127,668	44,838	54,13
Масса выброса		19778,98	20805,831	1026,851	5,2
Объект № 10		0,925	–	–	–
Располагаемая мощность оборудования		373	298,573	–74,427	–19,95
Отпуск тепловой энергии в сеть		433,39	468,706	35,316	8,15
Масса выброса		19290,39	20862,328	1571,938	8,15
Объект № 11		0,972	–	–	–
Располагаемая мощность оборудования		120	120	0	0
Отпуск тепловой энергии в сеть		157,55	165,982	8,432	5,35
Масса выброса		20245	20830,757	585,757	2,9
Объект № 12		1	–	–	–
Располагаемая мощность оборудования		61,6	61,6	0	0
Отпуск тепловой энергии в сеть		70,36	70,36	0	0
Масса выброса		20768,55	20768,55	0	0

Отделение (DMU)	Показатель эффективности			
	Исходное значение	Рекомендуемое значение	Разность между значениями	Разность, %
Объект № 13	1	–	–	–
Располагаемая мощность оборудования	57,6	57,6	0	0
Отпуск тепловой энергии в сеть	98,95	98,95	0	0
Масса выброса	20160,4	20160,4	0	0

### Заключение

В статье была предложена настройка метода АСФ для решения задачи оценки эффективности функционирования системы теплоснабжения г. Красноярск, в частности для оценки уровня выбрасываемых вредных веществ в окружающую среду с различных предприятий, оказывающих услуги теплоснабжения. В последние 25 лет АСФ широко применяется для оценки эффективности функционирования сложных систем в различных сферах. Но вместе с тем метод не использовался для оценки эффективности функционирования теплоэлектростанций и котельных.

Рассмотрена архитектура универсальной СППР, отражающая структуру взаимосвязей объектов. Произведена адаптация метода АСФ для применения в СППР, что позволяет повысить эффективность управления сложными системами. Модифицирована архитектура универсальной СППР в архитектуру с применением метода АСФ, более полно отражающая структуру взаимосвязей объектов. Данная архитектура позволит более обоснованно и качественно подходить к процессу принятия решения в организациях системы теплоснабжения, в том числе по оценке степени безопасности предприятия относительно окружающей среды и в общем по оценке эффективности функционирования данных предприятий.

На основе проведенного сравнительного анализа, сделаны выводы об эффективности использования метода АСФ, т.к. он позволяет представить эффективность

объекта в виде числового значения за счет вычисления одного агрегированного показателя для каждого из объектов, используя входные и выходные показатели. Метод АСФ был апробирован на системе теплоснабжения г. Красноярск. В качестве предприятий рассматривались теплоэлектростанции и котельные. Проанализированы основные показатели входа (располагаемая тепловая мощность) и выходов (отпуск тепловой энергии в сеть и масса выброса) исследуемых предприятий. Представлены рекомендуемые показатели этих значений, рассчитанные по методу АСФ для улучшения функционирования данных объектов. Проанализировано тринадцать объектов системы теплоснабжения г. Красноярск из числа котельных и теплоэлектростанций. Восемь объектов системы работают в оптимальном режиме, поэтому улучшения по данным предприятиям проводить не требуется. У пяти объектов системы теплоснабжения города показатели эффективности меньше 1, т.е. предприятия работают не в оптимальном режиме, и по ним требуется провести улучшения показателей входов и выходов в целях улучшения работы системы теплоснабжения г. Красноярск в целом.

По результатам оценки эффективности по методу АСФ предложены рекомендации для улучшения эффективности функционирования системы теплоснабжения г. Красноярск.

### Литература

1. Моргунов Е. П., Моргунова О. Н. Формирование искусственной границы эффективности в методе Data Envelopment Analysis // Вестник Сибирского государственного аэрокосмического университета им. академика М. Ф. Решетнева / под общ. ред. Г. П. Беякова. Красноярск: СибГАУ, 2003. С. 385–386.
2. Cooper W. W., Seiford L. M., Tone K. Data Envelopment Analysis. Boston: Kluwer Academic Publishers, 2000. 318 p. DOI: 10.1007/b109347
3. Шугалей А. П., Чевтаева В. В., Долганова А. А. Применение метода Data Envelopment Analysis для оценки эффективности функционирования отделений медицинского учреждения // Решетневские чтения. 2018. Т. 2. С. 372–373.
4. Emrouznejad A. R., Yang G. A survey and analysis of the first 40 years of scholarly literature in DEA: 1978–2016 // Socio-Economic Planning Sciences. 2018. Vol. 61. P. 4–8. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.seps.2017.01.008>
5. Моргунов Е. П. Система поддержки принятия решений при исследовании эффективности сложных систем: принципы разработки, требования и архитектура // Вестник СибГАУ. 2007. № 3. С. 59–63.
6. Emrouznejad A. R., Banker R., Lopes A. L. M., Almeida M. Data Envelopment Analysis in the public sector // Socio-Economic Planning Sciences. 2014. Vol. 48. Iss. 1. P. 2–3. DOI: 10.1016/j.seps.2013.12.005
7. Моргунова О. Н. Информационная система как источник данных для оценки уровня эффективности объектов и процессов в сфере высшего образования // Теоретические и прикладные вопросы современных информационных технологий: мат.-лы VI Всерос. науч.-техн. конф. (Улан-Удэ, 25–31 июля 2005 г.) Улан-Удэ, 2005. Ч. 2. С. 286–289.

DOI: 10.21603/2500-3372-2020-5-2-251-262

8. Ковалев И. В., Карасева М. В. Мультилингвистические технологии подготовки и принятия решений в распределенных информационно-управляющих системах. Красноярск: СибГАУ, 2010. 132 с.
9. Руйга И. Р., Ступина А. А. Оценка инновационной и инвестиционной устойчивости социально-экономических систем на основе методов системного анализа: теоретический аспект // Цифровая экономика и Индустрия 4.0: тенденции 2025: сб. тр. науч.-практ. конф. с междунар. участием. (Санкт-Петербург, 3–5 апреля 2019 г.) СПб., 2019. С. 201–209. DOI: 10.18720/IEP/2019.1/29
10. Kuzmich R. I., Stupina A. A., Korpacheva L. N., Ezhemanskaja S. N., Ruiga I. R. The modified method of logical analysis used for solving classification problems // Informatica. 2018. Vol. 29. № 3. P. 467–486. DOI: <http://dx.doi.org/10.15388/Informatica.2018.176>
11. Моргунова О. Н. Проблема оценки эффективности сложных иерархических систем // Системный анализ в проектировании и управлении: тр. IX Междунар. науч.-практ. конф. (Санкт-Петербург, 30 июня – 8 июля 2005 г.) СПб., 2005. С. 48–53.
12. Foroughi A. A., Shureshjani R. A. Solving generalized fuzzy data envelopment analysis model: a parametric approach // Cent. Eur. J. Oper. Res. 2017. Vol. 25. P. 889–905. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10100-016-0448-5>
13. Царев Р. Ю., Волков В. А., Лохмаков П. М. Программно-информационные технологии повышения надежности систем управления // Инновационные недра Кузбасса. IT-технологии: тр. VI Всерос. науч.-практ. конф. (Кемерово, 19–21 марта 2007 г.) Кемерово, 2007. С. 63–66.
14. Ruiga I. R., Stupina A. A., Kovzunova E. S., Chayka A. A., Shkradyuk I. A. Practical implementation of Data Envelopment Analysis technology to assess the innovative sustainability of resource-type regions // Journal Physics: Conference Series. 2019. Vol. 1399. Iss. 3. DOI: [doi:10.1088/1742-6596/1399/3/033118](https://doi.org/10.1088/1742-6596/1399/3/033118)
15. Чернышова Г. Ю., Ковалев Р. Н. Применение модели анализа среды функционирования (Data Envelopment Analysis) для оценки эффективности web-ресурсов // Фундаментальные исследования. 2017. № 8-2. С. 453–457.
16. Pokushko M. V., Stupina A. A., Medina-Bulo I., Dresvianskii E. S., Karaseva M. V. Application of data envelopment analysis method for assessment of performance of enterprises in fuel and energy complex // Journal of Physics: Conference Series. 2019. Vol. 1353. DOI: [10.1088/1742-6596/1353/1/012140](https://doi.org/10.1088/1742-6596/1353/1/012140)
17. Widiarto I., Emrouznejad A. Social and financial efficiency of Islamic microfinance institutions: a Data Envelopment Analysis application // Socio-Economic Planning Sciences. 2015. Vol. 50. P. 1–17. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.seps.2014.12.001>
18. Антамошкин А. Н., Моргунова О. Н., Моргунов Е. П. Методика исследования эффективности сложных иерархических систем // Вестник СибГАУ. 2006. № 2. С. 9–13.
19. Руйга И. Р. Возможности использования Data Envelopment Analysis для оценки уровня инновационной устойчивости региона // Решетневские чтения. 2017. Т. 2. С. 452–453.
20. Jablonsky J. Efficiency analysis in multi-period systems: an application to performance evaluation in Czech higher education // Cent. Eur. J. Oper. Res. 2016. Vol. 24. P. 283–296. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10100-015-0401-z>
21. Roháčová V. A DEA based approach for optimization of urban public transport system // Cent. Eur. J. Oper. Res. 2015. Vol. 23. P. 215–233. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10100-013-0314-7>
22. Руйга И. Р., Земляной М. П. Зарубежный опыт использования цифровых технологий в стратегическом развитии крупного города // Цифровая экономика и Индустрия 4.0: новые вызовы: тр. науч.-практ. конф. с междунар. участием. (Санкт-Петербург, 2–4 апреля 2018 г.) СПб., 2018. С. 217–225. DOI: 10.18720/IEP/2018.1/29
23. Takano Y., Ishii N., Muraki M. Multi-period resource allocation for estimating project costs in competitive bidding // Cent. Eur. J. Oper. Res. 2017. Vol. 25. P. 303–323. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10100-016-0438-7>
24. Branda M., Kopa M. On relations between DEA-risk models and stochastic dominance efficiency tests // Cent. Eur. J. Oper. Res. 2014. Vol. 22. P. 13–35. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10100-012-0283-2>
25. Буренок В. М., Лавринов Г. А., Хрусталева Е. Ю. Механизмы управления производством продукции военного назначения. М.: Наука, 2006. 303 с.
26. Моргунов Е. П., Моргунова О. Н. Продвижение метода оценки эффективности систем Data Envelopment Analysis в России // Системный анализ в проектировании и управлении: сб. науч. тр. XX Междунар. науч.-практ. конф. (Санкт-Петербург, 29 июня – 1 июля 2016 г.) СПб., 2016. С. 390–398.
27. Кривоножко В. Е., Лычев А. В. Анализ деятельности сложных социально-экономических систем. М.: МАКС Пресс, 2010. 207 с.
28. Буссофиане А., Дайсон Р. Дж., Танасулис Э. Прикладной анализ свертки данных // Российский журнал менеджмента. 2012. Т. 10. № 2. С. 63–88.
29. Федотов Ю. В. Измерение эффективности деятельности организации: особенности метода DEA (анализа свертки данных) // Российский журнал менеджмента. 2012. Т. 10. № 2. С. 51–62.

30. Моргунов Е. П. Многомерная классификация на основе аналитического метода оценки эффективности сложных систем: дис. ... канд. техн. наук. Красноярск, 2003. 160 с.
31. Лунгу К. Н. Линейное программирование. Руководство к решению задач. М.: Физматлит, 2005. 126 с.
32. Порунов А. Н. Оценка сравнительной эффективности государственного менеджмента экологической безопасности в регионе методом ДЕА-анализа (на примере Приволжского федерального округа) // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия: Экономика и экологический менеджмент. 2016. № 1. С. 104–111. DOI: 10.17586/2310-1172-2016-9-1-104-111
33. Моргунова О. Н., Моргунов Е. П. Компьютерная поддержка принятия решений по оценке эффективности функционирования вуза // IT-инновации в образовании: мат-лы Всерос. науч.-практ. конф. (Петрозаводск, 27–30 июня 2005 г.) Петрозаводск, 2005. С. 152–154.
34. Петухов Г. Б., Якунин В. И. Методологические основы внешнего проектирования целенаправленных процессов и целеустремленных систем. М.: АСТ, 2006. 504 с.
35. Прангишвили И. В. Системный подход и повышение эффективности управления. М.: Наука, 2005. 420 с.

original article

## Data Envelopment Analysis in Performance Assessment of Fuel and Energy Complex Enterprises\*

Mariia V. Pokushko <sup>a,b,@</sup>; Alena A. Stupina <sup>a,c,d</sup>; Inmaculada Medina-Bulo <sup>b</sup>; Egor S. Dresvianskii <sup>a,b</sup>

<sup>a</sup> Siberian Federal University, Russia, Krasnoyarsk

<sup>b</sup> University of Cadiz, Spain, Puerto Real

<sup>c</sup> Krasnoyarsk State Agrarian University, Russia, Krasnoyarsk

<sup>d</sup> Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, Russia, Krasnoyarsk

@ mvp1984@mail.ru

Received 23.03.2020. Accepted 13.04.2020.

**Abstract:** The authors applied the Data Envelopment Analysis (DEA) to assess the performance of the heat supply system in the city of Krasnoyarsk. The article provides a detailed description of the DEA method, its positive sides and shortcomings. The research included a comparative analysis of performance assessment methods in terms of advantages and disadvantages. The DEA method proved the most convenient tool for measuring the production efficiency of an object. The authors modified the architecture of the universal decision support system into a DEA-based one. The DEA method also proved highly efficient in assessing the performance of the heat supply system in the city of Krasnoyarsk. The analysis made it possible to develop recommendations to improve the efficiency of the local heat supply system using the case of thirteen units, e.g. boilers, heat and power plants, etc. The input indicator was represented by the available heat capacity. Heat output to the grid and emission mass were used as output indicators. Based on the available initial data, the authors constructed an output-oriented model for analyzing the functioning environment with one input and two outputs. They identified inefficient units of the Krasnoyarsk heat supply system and proposed optimization of input and output values for each unit to improve the functioning of the heat supply system as a whole. The developed for the upgrading of boilers and heat and power plants had an efficiency index in the range up to 1.

**Keywords:** decision support system, model, decision module, linear programming, heat supply system, level of harmful substances emitted, heat output, heat energy supply to the network, mass of emission, environment

**For citation:** Pokushko M. V., Stupina A. A., Medina-Bulo I., Dresvianskii E. S. Data Envelopment Analysis in Performance Assessment of Fuel and Energy Complex Enterprises. *Vestnik Kemerovskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Politicheskie, sotsiologicheskie i ekonomicheskie nauki*, 2020, 5(2): 251–262. (In Russ.) DOI: <https://doi.org/10.21603/2500-3372-2020-5-2-251-262>

\* The article was written for the III All-Russian Scientific and Practical Conference "Management of organizations in the modern economy" dedicated to the 300th Anniversary of Kuzbass Exploration, topic: Digital Management Transformation.

DOI: 10.21603/2500-3372-2020-5-2-251-262

## References

1. Morgunov E. P., Morgunova O. N. Formation of an artificial border of efficiency in the Data Envelopment Analysis method. *Bulletin of the Reshetnev Siberian State Aerospace University*, ed. Beliakov G. P. Krasnoyarsk: SibGAU, 2003, 385–386. (In Russ.)
2. Cooper W. W., Seiford L. M., Tone K. *Data Envelopment Analysis*. Boston: Kluwer Academic Publishers, 2000, 318. DOI: 10.1007/b109347
3. Shugaley A. P., Chevtaeva V. V., Dolganova A. A. Application of the Data Envelopment Analysis method for measuring of efficiency of departments of medical institution. *Reshetnevsky Readings*, 2018, 2: 372–373. (In Russ.)
4. Emrouznejad A. R., Yang G. A survey and analysis of the first 40 years of scholarly literature in DEA: 1978–2016. *Socio-Economic Planning Sciences*, 2018, 61: 4–8. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.seps.2017.01.008>
5. Morgunov E. P. Decision support system for efficiency assessment of complex systems: design principles, requirements and architecture. *Vestnik SibGAU*, 2007, (3): 59–63. (In Russ.)
6. Emrouznejad A. R., Banker R., Lopes A. L. M., Almeida M. Data Envelopment Analysis in the public sector. *Socio-Economic Planning Sciences*, 2014, 48(1): 2–3. DOI: 10.1016/j.seps.2013.12.005
7. Morgunova O. N. The information system as a data source for assessing the level of efficiency of objects and processes in the field of higher education. *Theoretical and applied issues of modern information technologies: Proc. VI All-Russian Sci.-Techn. Conf., Ulan-Ude, July 25–31, 2005. Ulan-Ude, 2005, pt. 2, 286–289. (In Russ.)*
8. Kovalev I. V., Karaseva M. V. *Multilinguistic technologies of preparation and decision-making in distributed information and control systems*. Krasnoyarsk: SibGAU, 2010, 132. (In Russ.)
9. Ruiga I. R., Stupina A. A. Assessment of innovation and investment the sustainability of socio-economic systems based on methods of system analysis: theoretical aspect. *Digital economy and industry 4.0: trends 2025: Proc. Sci.-Prac. Conf. with Intern. participation, St. Petersburg, April 3–5, 2019. St. Petersburg, 2019, 201–209. (In Russ.)* DOI: 10.18720/IEP/2019.1/29
10. Kuzmich R. I., Stupina A. A., Korpacheva L. N., Ezhemanskaja S. N., Ruiga I. R. The modified method of logical analysis used for solving classification problems. *Informatica*, 2018, 29(3): 467–486. DOI: <http://dx.doi.org/10.15388/Informatica.2018.176>
11. Morgunova O. N. The issue of performance assessment of complex hierarchical systems. *System analysis in design and management: Proc. IX Intern. Sci.-Prac. Conf., St. Petersburg, June 30 – July 8, 2005. St. Petersburg, 2005, 48–53. (In Russ.)*
12. Foroughi A. A., Shureshjani R. A. Solving generalized fuzzy data envelopment analysis model: a parametric approach. *Cent. Eur. J. Oper. Res.*, 2017, 25: 889–905. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10100-016-0448-5>
13. Tsarev R. Yu., Volkov V. A., Lokhnikov P. M. Software and information technologies for improving the reliability of control systems. *Innovative resources of the Kuznetsk basin. IT-technologies: Proc. VI All-Russian Sci.-Prac. Conf., Kemerovo, March 19–21, 2007. Kemerovo, 2007, 63–66. (In Russ.)*
14. Ruiga I. R., Stupina A. A., Kovzunova E. S., Chayka A. A., Shkradyuk I. A. Practical implementation of Data Envelopment Analysis technology to assess the innovative sustainability of resource-type regions. *Journal Physics: Conference Series*, 2019, 1399(3). DOI: [doi:10.1088/1742-6596/1399/3/033118](https://doi.org/10.1088/1742-6596/1399/3/033118)
15. Chernyshova G. Yu., Kovalev R. N. Application of the Data Envelopment Analysis model for the web-resources efficiency. *Fundamentalnye issledovaniia*, 2017, (8-2): 453–457. (In Russ.)
16. Pokushko M. V., Stupina A. A., Medina-Bulo I., Dresvianskii E. S., Karaseva M. V. Application of data envelopment analysis method for assessment of performance of enterprises in fuel and energy complex. *Journal of Physics: Conference Series*, 2019, 1353. DOI: 10.1088/1742-6596/1353/1/012140
17. Widiarto I., Emrouznejad A. Social and financial efficiency of Islamic microfinance institutions: a Data Envelopment Analysis application. *Socio-Economic Planning Sciences*, 2015, 50: 1–17. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.seps.2014.12.001>
18. Antamoshkin A. N., Morgunova O. N., Morgunov E. P. Efficiency assessment technique for complex hierarchical systems. *Vestnik SibGAU*, 2006, (2): 9–13. (In Russ.)
19. Ruiga I. R. The possibility of using the Data Envelopment Analysis method to estimate the region innovative stability. *Reshetnevsky Readings*, 2017, 2: 452–453. (In Russ.)
20. Jablonsky J. Efficiency analysis in multi-period systems: an application to performance evaluation in Czech higher education. *Cent. Eur. J. Oper. Res.*, 2016, 24: 283–296. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10100-015-0401-z>
21. Roháčová V. A DEA based approach for optimization of urban public transport system. *Cent. Eur. J. Oper. Res.*, 2015, 23: 215–233. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10100-013-0314-7>

22. Ruiga I. R., Zemlyanko M. P. Foreign experience of using digital technologies in the city's strategic development. *Digital economy and Industry 4.0: new challenges*: Proc. Sci.-Prac. Conf. with Intern. participation, St. Petersburg, April 2–4, 2018. St. Petersburg, 2018, 217–225. (In Russ.) DOI: 10.18720/IEP/2018.1/29
23. Takano Y., Ishii N., Muraki M. Multi-period resource allocation for estimating project costs in competitive bidding. *Cent. Eur. J. Oper. Res.*, 2017, 25: 303–323. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10100-016-0438-7>
24. Branda M., Kopa M. On relations between DEA-risk models and stochastic dominance efficiency tests. *Cent. Eur. J. Oper. Res.*, 2014, 22: 13–35. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10100-012-0283-2>
25. Burenok V. M., Lavrinov G. A., Khrustalev E. Iu. *Mechanisms for managing production of military products*. Moscow: Nauka, 2006, 303. (In Russ.)
26. Morgunov E. P., Morgunova O. N. Promotion of the method of performance assessment of the Data Envelope Analysis systems in Russia. *System analysis in design and management*: Proc. XX Intern. Sci.-Prac. Conf., St. Petersburg, June 29 – July 1, 2016. St. Petersburg, 2016, 390–398. (In Russ.)
27. Krivonozhko V. E., Lychev A. V. *An analysis of the activities of complex socio-economic systems*. Moscow: MAKS Press, 2010, 207. (In Russ.)
28. Bussofiane A., Dyson R. G., Thanassoulis E. Applied data envelopment analysis. *Rossiiskii zhurnal menedzhmenta*, 2012, 10(2): 63–88. (In Russ.)
29. Fedotov Yu. V. Measuring organization performance: features of the DEA method (Data Envelopment Analysis). *Rossiiskii zhurnal menedzhmenta*, 2012, 10(2): 51–62. (In Russ.)
30. Morgunov E. P. *Multidimensional classification based on the analytical method of evaluating the effectiveness of complex systems*. Cand. Tech. Sci. Diss. Krasnoyarsk, 2003, 160. (In Russ.)
31. Lungu K. N. *Linear programming. Guide to solving problems*. Moscow: Fizmatlit, 2005, 126. (In Russ.)
32. Porunov A. N. The comparative effectiveness of public management environmental security in the region by dea-analysis (for example Volga federal district). *Nauchnyi zhurnal NIU ITMO. Seriya: Ekonomika i ekologicheskii menedzhment*, 2016, (1): 104–111. (In Russ.) DOI: 10.17586/2310-1172-2016-9-1-104-111
33. Morgunova O. N., Morgunov E. P. Computer support for decision-making on evaluating the effectiveness of the University's functioning. *IT-innovations in education*: Proc. All-Russian Sci.-Prac. Conf., Petrozavodsk, June 27–30, 2005. Petrozavodsk, 2005, 152–154. (In Russ.)
34. Petukhov G. B., Iakunin V. I. *Methodological foundations of external design of purposeful processes and purposeful systems*. Moscow: AST, 2006, 504. (In Russ.)
35. Prangishvili I. V. *System approach and improvement of management efficiency*. Moscow: Nauka, 2005, 420. (In Russ.)