

УДК 620.9

**МНОГОКРИТЕРИАЛЬНАЯ ОЦЕНКА СРАВНИТЕЛЬНОЙ
ЭФФЕКТИВНОСТИ ГЕНЕРИРУЮЩЕГО ОБОРУДОВАНИЯ****Л.А. Сагитова***

Самарский государственный технический университет
Россия, 443100, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244

E-mail: l0410@mail.ru

Аннотация. *Функционирование энергетических систем в условиях постоянных преобразований внешней среды в совокупности с их высокой сложностью приводит к необходимости принятия сложных управленческих решений. Для повышения эффективности работы энергообъектов предложен алгоритм системы поддержки принятия решений, позволяющий проводить оптимизацию работы энергетических предприятий с учетом особенностей совместного производства тепловой и электрической энергии. В предложенном алгоритме был реализован принцип системного подхода к ресурсосбережению в энергетических производствах. Предложена методика оценки сравнительной эффективности оборудования, учитывающая расширенную совокупность характеристик работы энергетического оборудования с применением метода многокритериального оценивания DEA (Анализ среды функционирования). Сформулированы обобщенные критерии эффективности работы энергетического оборудования, характеризующие экономичность, технологичность и экологичность режимов работы котлов. Сформирован глобальный критерий эффективности, позволяющий проводить комплексную оценку качества работы оборудования. Продемонстрировано применение данной методики на примере котла ТП-230. Использование DEA-методики позволяет оптимизировать выбор режимов эксплуатации котлов с учетом их фактического состояния. Предложенный алгоритм системы поддержки принятия решений может быть использован для анализа аналогичных энергообъектов.*

Ключевые слова: *энергоэффективность, DEA-методика, обобщенный критерий эффективности, многокритериальная оценка, оптимальные режимы работы энергетического оборудования.*

Энергетические комплексы регионов – сложные развивающиеся системы, являющиеся основой для развития промышленности и обеспечивающие качество жизни людей.

В процессе перехода к рыночной экономике произошло снижение промышленной тепловой нагрузки теплоэлектроцентралей и, как следствие, изменение соотношения между постоянной годовой нагрузкой – выработкой промышленного пара и сезонной тепловой нагрузкой – выработкой тепла на отопление. Произошедшие изменения привели к снижению показателей эффективности работы

* Ляйсан Акзамовна Сагитова, ассистент кафедры «Теплогасоснабжение и вентиляция».

энергообъектов, поскольку основное энергетическое оборудование начало работать в нерасчетных режимах [1–5].

Для повышения эффективности работы энергопроизводств необходим анализ комплексной эффективности котельного оборудования. Таким образом, актуальной является задача определения оптимальных режимов работы и выбора загрузки отдельных котельных агрегатов с учетом их фактического состояния.

В качестве объекта исследования рассматривалась одна из НкТЭЦ-1 Самарской области, входящая в состав ПАО «Т Плюс». Расчеты проводились на примере энергетического котла № 4 типа ТП-230.

Для повышения эффективности работы ТЭЦ предложен алгоритм работы СППР, детально представленный на рис. 1. Данный алгоритм работает на нижнем иерархическом уровне, на котором производится оптимизация работы энергетического оборудования конкретного энергетического предприятия [6].

Работа алгоритма СППР будет происходить в результате реализации следующих шести этапов. Рассмотрим этапы, входящие в алгоритм, более подробно.

1. Целеполагание и выбор методов исследования.

На первом этапе алгоритма производится постановка цели исследования, осуществляется выбор методов исследования и основных параметров, характеризующих работу котельного оборудования, проводится структурный анализ энергетического предприятия.

Работа энергетического оборудования характеризуется более чем 50 показателями, из которых были выбраны в качестве основных следующие 8:

- удельный расход топлива G_r ;
- удельный расход электроэнергии на тягу и дутье $\mathcal{E}_{\text{та}}$;
- температура уходящих газов $t_{\text{ух.н}}$;
- отклонение от оптимального значения разряжения в топке котла ΔP_n ;
- содержание оксидов азота в продуктах сгорания $V_{NO_{x_n}}$;
- содержание оксидов углерода в продуктах сгорания $V_{CO_{x_n}}$;
- содержание диоксидов углерода в продуктах сгорания $V_{CO_{2x_n}}$;
- КПД, η_n .

2. Сбор, обработка и анализ статистических данных функционирования объекта.

При реализации данного этапа алгоритма происходит сбор и первичная обработка значений параметров системы контрольно-измерительных приборов (КИП), сравнение их с оптимальными, расчет и анализ выбранных на предыдущем этапе технико-экономических показателей (ТЭП) работы оборудования в реальном времени и формирование отчетов и режимных карт.

Полученные данные направляются во внешнюю систему сбора данных для выработки управленческих решений на уровне энергосистемы.

3. Определение локальных критериев эффективности работы оборудования, формирование глобального критерия эффективности.

При выполнении данного этапа оценивается и сравнивается эффективность работы основного оборудования – котлов. Поскольку работа основного оборудования характеризуется большим количеством различных параметров, были сформированы обобщенные критерии экономичности, экологичности, технологичности работы оборудования и глобальный критерий эффективности, объеди-

няющий предыдущие. В качестве входных параметров использовались ТЭП показатели, проанализированные на втором этапе.



Рис. 1. Алгоритм системы поддержки принятия решений по повышению эффективности функционирования энергопредприятия

Для определения критериев эффективности использовался метод многокритериального оценивания DEA, или «Анализ среды функционирования», позволяющий провести сравнительную оценку котлов [7–10].

Интегральный показатель сравнительной эффективности f возрастает при увеличении выходных величин Y_k и уменьшении входных величин X_m . В качестве входов и выходов принимают различные характеристики деятельности объектов.

В общем случае оцениваемый объект характеризуется величиной обобщенного показателя эффективности f_n

$$f_n = \max_{u_{in}, v_{jn} \in G} \frac{u_{1n} \cdot Y_{1n} + u_{2n} \cdot Y_{2n} + \dots + u_{kn} \cdot Y_{kn}}{v_{1n} \cdot X_{1n} + v_{2n} \cdot X_{2n} + \dots + v_{mn} \cdot X_{mn}} \quad (1)$$

при наличии ограничений:

$$\begin{cases} \frac{u_{1n} \cdot Y_{11} + u_{2n} \cdot Y_{21} + \dots + u_{kn} \cdot Y_{k1}}{v_{1n} \cdot X_{11} + v_{2n} \cdot X_{21} + \dots + v_{mn} \cdot X_{m1}} \leq 1, \\ \frac{u_{1n} \cdot Y_{12} + u_{2n} \cdot Y_{22} + \dots + u_{kn} \cdot Y_{k2}}{v_{1n} \cdot X_{12} + v_{2n} \cdot X_{22} + \dots + v_{mn} \cdot X_{m2}} \leq 1, \\ \frac{u_{1n} \cdot Y_{1N} + u_{2n} \cdot Y_{2N} + \dots + u_{kn} \cdot Y_{kN}}{v_{1n} \cdot X_{1N} + v_{2n} \cdot X_{2N} + \dots + v_{mn} \cdot X_{mN}} \leq 1, \end{cases} \quad (2)$$

где u_{in} и v_{jn} – неотрицательные весовые коэффициенты; $i = \{1, 2, \dots, k\}$; $j = \{1, 2, \dots, m\}$.

Методология DEA применяется для анализа производственной, экономической, технологической, логистической, социальной эффективности процессов и объектов, субъективность при формировании интегральных оценок эффективности минимальна, мнение исследователя влияет только на первоначальный выбор совокупности локальных критериев, которая уточняется по мере решения задачи математического программирования.

Сформируем обобщенные критерии эффективности и проведем их анализ, используя в качестве входных параметров основные показатели эффективности работы котельных установок, выбранные на первом этапе алгоритма, группируя их по принадлежности к выходным характеристикам: экономичности, экологичности и технологичности [11–13].

Если полученные результаты оценки различных режимов работы котла не позволяют выделить наиболее эффективные режимы, то в обобщенные и глобальный критерии вводится дополнительная информация и влияющие на производственную деятельность факторы.

Анализ эффективности котла по обобщенному критерию экономичности. В качестве локальных критериев для построения обобщенного критерия экономичности взяты КПД брутто котла, удельный расход топлива и удельный расход электроэнергии на тягу и дутье. Представим данный критерий в виде функционала:

$$f_{\text{экон}} = \max_{a_{in}, b_{jn} \in G} \frac{a_{1n} \cdot \eta_n}{b_{1n} \cdot G_{r_n} + b_{2n} \cdot \mathcal{E}_{\text{тд}}}, \quad n = 1, 2, \dots, N, \quad (3)$$

где N – количество состояний объекта; a_{in} и b_{jn} – неотрицательные весовые коэффициенты.

Система ограничений, определяющая область весовых коэффициентов G :

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{a_{11} \cdot \eta_1}{b_{11} \cdot G_{r_1} + b_{21} \cdot \mathfrak{E}_{\text{тд1}}} \leq 1, \\ \frac{a_{12} \cdot \eta_2}{b_{12} \cdot G_{r_2} + b_{22} \cdot \mathfrak{E}_{\text{тд2}}} \leq 1, \\ \dots\dots\dots \\ \frac{a_{1n} \cdot \eta_n}{b_{1n} \cdot G_{r_n} + b_{2n} \cdot \mathfrak{E}_{\text{тдn}}} \leq 1. \end{array} \right. \quad (4)$$

Анализ эффективности обобщенного критерия технологичности. Обобщенный критерий технологичности, учитывающий температуру уходящих газов и отклонение разряжения в топке котла от оптимального значения (20 кПа), сформирован следующим образом:

$$f_{\text{техн}} = \max_{c_{in} \in G} \frac{1}{c_{1n} \cdot t_{\text{yxn}} + c_{2n} \cdot \Delta P_n}, \quad n = 1, 2, \dots, N, \quad (5)$$

где c_{in} – неотрицательные весовые коэффициенты.

Система ограничений (4):

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{1}{c_{11} \cdot t_{\text{yx1}} + c_{21} \cdot \Delta P_1} \leq 1, \\ \frac{1}{c_{12} \cdot t_{\text{yx2}} + c_{22} \cdot \Delta P_2} \leq 1, \\ \dots\dots\dots \\ \frac{1}{c_{1n} \cdot t_{\text{yxn}} + c_{2n} \cdot \Delta P_n} \leq 1. \end{array} \right. \quad (6)$$

Анализ эффективности котла по обобщенному критерию экологичности. Обобщенный критерий экологичности примет вид:

$$f_{\text{экол}} = \max_{d_{in} \in G} \frac{1}{d_{1n} \cdot V_{\text{NOx}_n} + d_{2n} \cdot V_{\text{CO}_n} + d_{3n} \cdot V_{\text{CO}_{2n}}}, \quad n = 1, 2, \dots, N, \quad (7)$$

где d_{in} – неотрицательные весовые коэффициенты.

Система ограничений для функционала (5):

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{1}{d_{11} \cdot V_{\text{NOx}_1} + d_{21} \cdot V_{\text{CO}_1} + d_{31} \cdot V_{\text{CO}_{21}}} \leq 1, \\ \frac{1}{d_{12} \cdot V_{\text{NOx}_2} + d_{22} \cdot V_{\text{CO}_2} + d_{32} \cdot V_{\text{CO}_{22}}} \leq 1, \\ \dots\dots\dots \\ \frac{1}{d_{1n} \cdot V_{\text{NOx}_n} + d_{2n} \cdot V_{\text{CO}_n} + d_{3n} \cdot V_{\text{CO}_{2n}}} \leq 1. \end{array} \right. \quad (8)$$

Анализ глобального критерия эффективности. Для формирования глобального критерия эффективности сравнительной совокупности объектов объединим полученные обобщенные критерии эффективности (3), (5), (7) [14, 15]:

$$f = \max_{a_i, b_j, c_j, d_j \in G} \frac{a_{1n} \cdot \eta_n}{b_{1n} \cdot G_{r_n} + b_{2n} \cdot \Theta_{\text{тд}} + c_{1n} \cdot t_{\text{yxh}} + c_{2n} \cdot \Delta P + d_{1n} \cdot V_{\text{NOx}_n} + d_{2n} \cdot V_{\text{CO}_n} + d_{3n} \cdot V_{\text{CO}_{2n}}} \cdot$$

$$n = 1, 2, \dots, N. \quad (9)$$

К весовым коэффициентам применяется система ограничений по аналогии с системами (4), (6), (8).

Анализ весовых коэффициентов показал, что температура уходящих газов, отклонение от оптимального значения разряжения в топке котла, содержание оксидов и диоксидов углерода в продуктах сгорания практически не оказывают влияния на глобальный критерий эффективности (9) для котла ТП-230. После корректировки состава глобальный критерий эффективности работы котла примет следующий вид:

$$f_n = \max_{a_m, b_{jn}, d_{kn} \in G} \frac{a_{1n} \cdot \text{КПД}_n}{b_{1n} \cdot G_{r_n} + b_{2n} \cdot \Theta_{\text{тд}_n} + d_{3n} \cdot \text{NO}_{X_n}}, \quad n = 1, 2, \dots, N, \quad (10)$$

где a_{in} , b_{jn} , d_{kn} – соответствующие неотрицательные весовые коэффициенты.

Система ограничений для функционала (10) примет вид:

$$\begin{cases} \frac{u_{11} \cdot \text{КПД}_1}{v_{11} \cdot G_{r_1} + v_{21} \cdot \Theta_{\text{тд}_1} + v_{31} \cdot \text{NO}_{X_1}} \leq 1, \\ \frac{u_{12} \cdot \text{КПД}_2}{v_{12} \cdot G_{r_2} + v_{22} \cdot \Theta_{\text{тд}_2} + v_{32} \cdot \text{NO}_{X_2}} \leq 1, \\ \dots \\ \frac{u_{1N} \cdot \text{КПД}_N}{v_{1N} \cdot G_{r_n} + v_{2N} \cdot \Theta_{\text{тд}_n} + v_{3n} \cdot \text{NO}_{X_n}} \leq 1. \end{cases} \quad (11)$$

4. Комплексная оценка сравнительной эффективности работы оборудования.

При реализации данного этапа алгоритма проводится анализ критериев эффективности работы основного оборудования, в результате которого формируется комплексная оценка работы основного оборудования с учетом всех выбранных частных показателей эффективности.

На рис. 2 представлены результаты расчета обобщенного критерия экономичности $f_{\text{экон}}$, определенные с помощью метода DEA по формулам (3), (4).

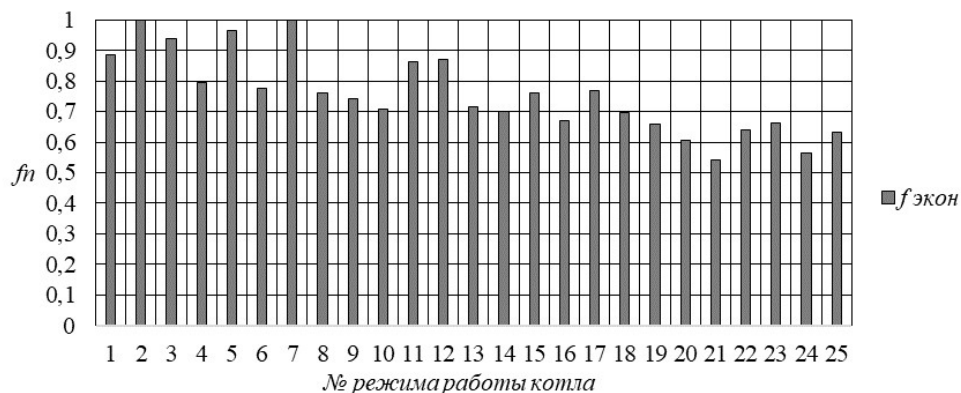


Рис. 2. Значения обобщенного критерия экономичности котла $f_{\text{экон}}$

Анализ показывает, что критерий $f_{\text{экон}}$ находится в интервале от 0,542 до 1.

Режимы, при которых $f_{\text{экон}} < 0.7$, считаются неэффективными. Обобщенный критерий экономичности показывает, что оптимальными являются режимы работы котла № 1–15, 17–18. При режимах работы № 16, 19–25 эксплуатация котла по экономичности считается неэффективной.

В результате анализа весовых коэффициентов частных критериев было определено, что наибольшее влияние на критерий экономичности оказали высокие значения удельного расхода газа и электроэнергии на тягу и дутье. Таким образом, можно сформулировать следующие направления повышения экономичности:

- уменьшение удельного расхода электроэнергии на тягу и дутье;
- понижение удельного расхода газа.

Снижения удельного расхода электроэнергии на тягу и дутье можно достичь применением регулируемых приводов – например, используя гидромфуты или частотно-регулируемый привод на блоках питательных и подпиточных насосов.

Понижения расхода газа можно добиться путем совершенствования горелочных устройств, устранения неплотностей в обшивке котла и газопроводов.

Результаты расчетов обобщенного критерия технологичности $f_{\text{техн}}$ (5), (6), приведены на рис. 3.

Для эффективных режимов работы примем величину критерия технологичности выше 0,9. Минимальным значением критерия технологичности обладает режим № 23 $f_{\text{экон}} = 0,899$.

Максимальное значение критерия технологичности наблюдается при режимах работы № 9 и № 13 как следствие минимального значения параметров: температуры уходящих газов и отклонения от оптимального значения разрежения в топке котла. Значительное снижение температуры уходящих газов может свидетельствовать о плохой герметичности котла и повышенных присосах, а рост разрежения в топке – о неудовлетворительной работе устройств, регулирующих работу дымососов.

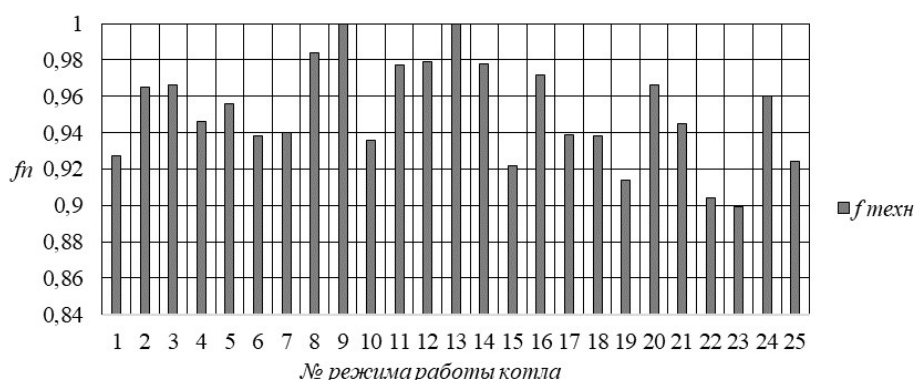


Рис. 3. Обобщенный параметр технологичности $f_{\text{техн}}$

Таким образом, рассматривая приемлемые результаты испытаний, можно проанализировать не только эффективность работы оборудования, но и качество проведенных ремонтов, после которых производились испытания оборудования.

На рис. 4 приведены значения обобщенного критерия экологичности $f_{\text{экол}}$ для различных режимов работы котла ТП-230.

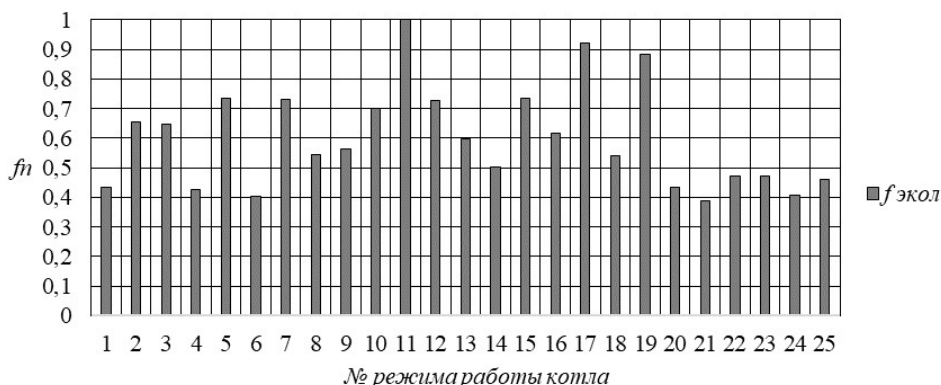


Рис. 4. Обобщенный параметр экологичности $f_{\text{экол}}$

Анализ обобщенного критерия технологичности показал, что технологическая эффективность во всем диапазоне нагрузок колеблется в интервале от 0,389 до 1.

Оптимальными по критерию экологичности являются режимы работы № 5, 7, 10–12, 15, 17, 19, имеющие значения показателя критерия экологичности в интервале $0,7 \leq f_{\text{экол}} \leq 1$.

На величину критерия эффективности весьма сильно влияют состояние оборудования на момент проведения испытаний и качество проведенного ремонта.

Результатом использования скорректированного глобального критерия эффективности f_n является комплексная оценка работы оборудования с учетом выбранных частных показателей эффективности (рис. 5).

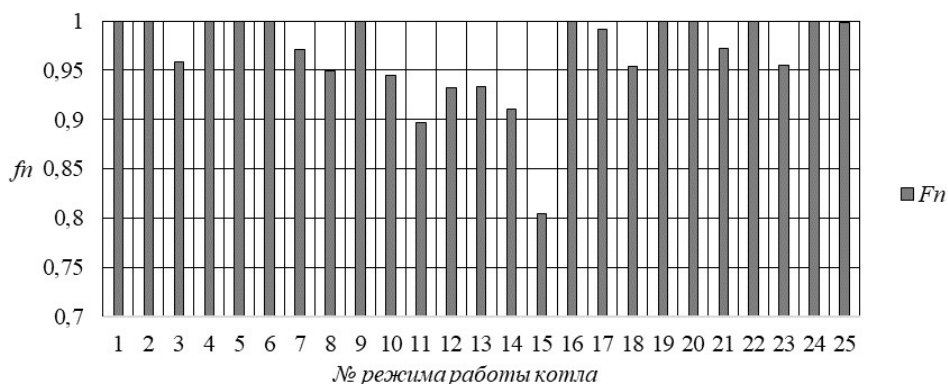


Рис. 5. Глобальный критерий эффективности котла

Наибольший вклад относительно других характеристик работы теплового оборудования оказывает удельный расход газа. Вторым по значимости и влиянию на глобальный критерий является показатель, определяющий удельный расход электроэнергии на тягу и дутье. Таким образом, расчеты показали возможность эксплуатации исследуемого котла на всем диапазоне режимов работы,

наиболее эффективными являются режимы работы № 1–9, 16–25, где значения глобального критерия достигают максимальных значений, близких к 1.

5. Построение систем управления.

Для каждого предприятия на данном этапе строится алгоритм распределения нагрузки между котельными агрегатами на основе данных, полученных в результате многокритериального оценивания.

Построение алгоритма позволяет принимать математически обоснованные решения при выборе оптимальных режимов работы и использовать имеющееся оборудование максимально эффективно.

6. Построение прогнозов и формирование рекомендаций по управлению.

При выполнении заключительного этапа алгоритма определяется экономическая эффективность мероприятий по изменению распределения нагрузки в котельной в соответствии с критериями эффективности, формируются рекомендации по управлению для лиц, принимающих решения; в частности, формируются направления, в первую очередь нуждающиеся в улучшении и ремонте.

Заключение

1. Предложен алгоритм блока СППР, который позволяет на базе методов системного подхода проводить комплексный анализ деятельности энергосистем и оценку энергоэффективности их функционирования на уровне энергетических производств с учетом особенностей совместного производства тепловой и электрической энергии.

2. Исследованы основные параметры, характеризующие работу котельного оборудования, разработаны обобщенные критерии, позволяющие проводить многокритериальную оценку эффективности основного оборудования, предложен алгоритм распределения нагрузки котельной, повышающий экономичность и технологичность ее работы.

3. Разработанный алгоритм можно использовать для анализа энергоэффективности аналогичных энергообъектов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Гаврилова А.А., Салов А.Г.* Системная методология анализа и моделирования энергоэффективности генерирующих компаний. Самара: СамГТУ, Научно-технический центр, 2021. 276 с.
2. *Дилигенский Н.В., Гаврилова А.А., Цапенко М.В.* Построение и идентификация математических моделей производственных систем. Самара: Офорт, 2006. 126 с.
3. *Гаврилова А.А., Колмыков Д.С., Алфеев А.А.* Многокритериальная оценка эффективности модернизации генерирующего оборудования региональной энергосистемы // Вестник СамГТУ. Серия: Технические науки. 2006. № 40. С. 155–162.
4. *Дилигенский Н.В., Гаврилова А.А., Салов А.Г., Гаврилов В.К.* Модельный анализ эффективности совместного производства тепловой и электрической энергии региональной энергосистемой // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Технические науки. 2008. № 5 (147). С. 37–40.
5. *Гаврилова А.А., Салов А.Г., Гаврилов В.К.* Комплексный анализ режимов работы основного оборудования генерирующих предприятий и расходов электрической энергии на собственные нужды // Вестник СамГТУ. Серия: Технические науки. 2008, № 2 (22). С. 186–195.
6. *Сагитова Л.А.* Структура алгоритма системы поддержки принятия решений повышения энергоэффективности регионального энергетического комплекса // Инфокоммуникационные технологии. 2021. Т. 19, № 2. С. 256–262.
7. *Bafail A.O., Aal R.A., Karuvat S.A.* A DEA Approach for Measuring Relative Performance of Saudi Banks // International DEA Symposium 2002 – Efficiency and Productivity Analysis in the 21st Century. Moscow, 2002. P. 40–52.

8. *Banker R.D., Charnes A., Cooper W.W.* Some Models for Estimating Technical and Scale Efficiency in Data Envelopment Analysis // *Omega, The International Journal of Management Science*, 1984. Vol. 30, No. 9. P. 1078–1092.
9. *Charnes A., Cooper W.W., Rhodes E.* Measuring the Efficiency of Decision Making Units // *European Journal of Operational Research*, 1978. Vol. 2. P. 429–444.
10. *Замков О.О., Толстомятенко А.В., Черемных Ю.Н.* Математические методы в экономике. М.: МГУ, изд-во «ДИС», 1997. 368 с.
11. *Салов А.Г., Гаврилова А.А., Чиркова Ю.В., Сагитова Л.А.* Обобщенная оценка сравнительной эффективности работы котельного оборудования // *Вестник СГАСУ. Градостроительство и архитектура: научно-технический журнал*. 2016. № 2. С. 140–146.
12. *Gavrilova A., Salov A., Sagitova L.* System Analysis of the Effectiveness of Regional Energy System Management in the Conditions of Transformation // 2019 XXI International Conference Complex Systems: Control and Modeling Problems (CSCMP). Samara. 2019. P. 736–741. doi: 10.1109/CSCMP45713.2019.8976644. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8976644> (дата обращения: 16 мая 2022).
13. *Gavrilova A.A., Salov A.G., Sagitova L.A.* Assessment of the Efficiency of the Samara Region's Energy Complex Under Changing Conditions // 2020 International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies (FarEastCon). Vladivostok. 2020. Pp. 1–4. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9271116> (дата обращения: 16 мая 2022).
14. *Сагитова Л.А.* Обобщенная оценка работы энергетического оборудования по экономическим критериям // *Радиоэлектроника, электротехника, энергетика: XXI междунар. науч. конф.* М.: МЭИ, 2015. Т. 3. С. 272.
15. *Посаишков М.В., Салов А.Г., Немченко В.И.* Реинжиниринг структуры управления газораспределительной организации // *Проблемы экономики и управления нефтегазовым комплексом*. 2014. № 1. С. 27–31.

Статья поступила в редакцию 16 января 2022 г.

MULTICRITERIA EVALUATION OF THE COMPARATIVE EFFICIENCY OF GENERATING EQUIPMENT

*L.A. Sagitova**

Samara State Technical University
244, Molodogvardeyskaya st., Samara, 443100, Russia

E-mail: l0410@mail.ru

Abstract. *Since energy systems operate in conditions of constant changes in the external environment and are complex organized systems, this leads to the need to make complex management decisions. To improve the efficiency of power facilities, an algorithm for the decision support system is proposed. The algorithm allows to optimize the work of energy enterprises, taking into account the peculiarities of the joint production of heat and electricity. The algorithm is based on the principle of a systematic approach to resource saving in energy production. To assess the comparative efficiency of equipment, a methodology was proposed that takes into account an expanded set of characteristics of the operation of power equipment using the DEA multi-criteria assessment method (Data Envelopment Analysis). Generalized criteria for the efficiency of the operation of power equipment were formulated, characterizing the efficiency, manufacturability and environmental friendliness of the operating modes of boilers. A global efficiency criterion has been formed that allows for a comprehensive assessment of the quality of equipment operation. The application of this technique is demonstrated on the example of the TP-230 boiler. The use of the DEA methodology makes it possible to optimize the choice of boiler operation modes, taking into account their actual state. The proposed decision support system algorithm can be used to analyze similar power facilities.*

Keywords: *energy efficiency, DEA methodology, global efficiency criterion, multi-criteria evaluation, optimum operation modes of the power generating equipment, boiler.*

REFERENCES

1. *Gavrilova A.A. Sistemnaya metodologiya analiza i modelirovaniya energoeffektivnosti generiruyushchih kompanij: monografiya. Samara: SamGTU; Nauchno-tehnicheskij centr, 2021. 276 p.*
2. *Diligenskij N.V., Gavrilova A.A., Capenko M.B. Postroenie i identifikaciya matematicheskikh modelej proizvodstvennyh sistem: Uchebnoe posobie. Samara: Ofort, 2005. 126 pp.*
3. *Gavrilova A.A., Kolmykov D.S., Alfeev A.A. Mnogokriterial'naya ocenka effektivnosti modernizacii generiruyushchego oborudovaniya regional'noj energosistemy // Vestnik SamGTU. Seriya: Tekhnicheskie nauki, 2006. № 44. Pp. 155–162.*
4. *Diligenskij N.V., Gavrilova A.A., Salov A.G., Gavrilov V.K. Model'nyj analiz effektivnosti sovmestnogo proizvodstva teplovoj i elektricheskoy energii regional'noj energosistemoj // Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij Severo-Kavkazskij region. Tekhnicheskie nauki. 2008. № 5(147). Pp. 37–40.*
5. *Gavrilova A.A., Salov A.G., Gavrilov V.K. Kompleksnyj analiz rezhimov raboty osnovnogo oborudovaniya generiruyushchih predpriyatij i raskhodov elektricheskoy energii na sobstvennye nuzhdy // Vestnik SamGTU. Seriya: Tekhnicheskie nauki. 2008. № 2(22). Pp. 186–195.*
6. *Sagitova L.A. Struktura algoritma sistemy podderzhki prinyatiya reshenij povysheniya energoeffektivnosti regional'nogo energeticheskogo kompleksa // Infokommunikacionnye tekhnologii. 2021. Vol. 19, № 2. Pp. 256–262.*

* *Lyaysan A. Sagitova, assistant.*

7. *Bafail A.O., Aal R.A., Karuvat S.A.* A DEA Approach for Measuring Relative Performance of Saudi Banks // International DEA Symposium 2002 – Efficiency and Productivity Analysis in the 21st Century. Moscow, 2002. Pp. 40–52.
8. *Banker R.D., Charnes A., Cooper W.W.* Some Models for Estimating Technical and Scale Efficiency in Data Envelopment Analysis // Omega, The International Journal of Management Science, 1984. Vol. 30, № 9. Pp. 1078–1092.
9. *Charnes A., Cooper W.W., Rhodes E.* Measuring the Efficiency of Decision Making Units // European Journal of Operational Research. 1978. Vol. 2. Pp. 429–444.
10. *Zamkov O.O., Tolstopyatenko A.V., Cheremnyh Yu.N.* Matematicheskie metody v ekonomike. M.: MGU, izdatel'stvo «DIS», 1997. 368 p.
11. *Salov A.G., Gavrilova A.A., Chirkova Yu.V., Sagitova L.A.* Obobshchennaya ocenka sravnitel'noj effektivnosti raboty kotel'nogo oborudovaniya // Vestnik SGASU. Gradostroitel'stvo i arhitektura: nauchno-tekhnicheskij zhurnal, 2016. № 2. Pp. 140–146.
12. *Gavrilova A., Salov A., Sagitova L.* System Analysis of the Effectiveness of Regional Energy System Management in the Conditions of Transformation // 2019 XXI International Conference Complex Systems: Control and Modeling Problems (CSCMP). 2019. Pp. 736–741. doi: 10.1109/CSCMP45713.2019.8976644. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8976644> (accessed April 16, 2022).
13. *Gavrilova A.A., Salov A.G., Sagitova L.A.* Assessment of the Efficiency of the Samara Region's Energy Complex Under Changing Conditions // 2020 International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies (FarEastCon). Vladivostok. 2020. Pp. 1–4. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9271116> (accessed April 16, 2022).
14. *Sagitova L.A.* Obobshchennaya ocenka raboty energeticheskogo oborudovaniya po ekonomicheskim kriteriyam // Radioelektronika, elektrotehnika, energetika, XXI mezhd. nauch. konf., 2015, Vol. 3. Pp. 272.
15. *Posashkov M.V., Salov A.G., Nemchenko V.I.* Reinzhiniring struktury upravleniya gazoraspre-delitel'noj organizacii // Problemy ekonomiki i upravleniya neftegazovym kompleksom, 2014. № 1. Pp. 27–31.