

# ТЕПЛОВЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СТАНЦИИ, ИХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ И АГРЕГАТЫ

УДК 519.71(043.3)

DOI: 10.17673/Vestnik.2016.02.25

**А.Г. САЛОВ**  
**А.А. ГАВРИЛОВА**  
**Ю.В. ЧИРКОВА**  
**Л.А. САГИТОВА**

## ОБОБЩЕННАЯ ОЦЕНКА СРАВНИТЕЛЬНОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ КОТЕЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

SUMMARIZED COMPARATIVE ASSESSMENT OF PERFORMANCE BOILER EQUIPMENT

*Предложена методика оценки сравнительной эффективности оборудования, учитывающая расширенную совокупность характеристик работы энергетического оборудования с применением метода многокритериального оценивания DEA (анализ среды функционирования). Сформированы обобщенные показатели эффективности, характеризующие экономичность (КПД, расходы топлива и электроэнергии), экологичность (выбросы вредных веществ) и технологию (температура уходящих газов, отклонение разрежения от необходимого в топке). Составлен глобальный критерий эффективности, что позволяет комплексно оценить качество работы оборудования по совокупности всех частных критериев. Продемонстрировано применение данной методики на примере котла ТП-230. Использование DEA методики позволяет оптимизировать выбор режимов эксплуатации котлов с учетом их фактического состояния.*

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

### Введение

В результате произошедших изменений в производственно-экономической сфере большая часть энергетического оборудования теплоэлектроцентралей и котельных функционирует в нерасчетных режимах работы, обусловленных снижением потребления тепловой энергии промышленными предприятиями и, как следствие, изменением соотношения между постоянной годовой нагрузкой – вы-

*The article analyses the method of evaluating the comparative effectiveness of the equipment, taking into account the expanded set of characteristics of the energy equipment using the method of multi-criteria evaluation DEA (data envelopment analysis). Generalized performance indicators characterizing the efficiency (efficiency, fuel and electricity costs), ecological (pollutant emissions) and technology (temperature of the exhaust gases, vacuum deviation from the desired in the furnace) are formed. It is compiled global efficiency criterion that allows to comprehensively assess the quality of the work on the set of all partial criteria of equipment. The application of this method on the example of boiler TP-230. Using DEA method to optimize the choice of modes of operation of boilers in accordance with their actual state.*

**Keywords:** energy efficiency, the DEA technique, generalized criterion of efficiency, multi-criteria assessment of the boiler, the optimal modes of operation of power equipment

работкой промышленного пара и сезонной тепловой нагрузкой – выработкой тепла на отопление [1–7].

Даже однотипное теплогенерирующее оборудование одинаковой тепловой мощности, установленное в одной производственно-отопительной котельной, при эксплуатации на одной и той же нагрузке отличается между собой параметрами, характеризующими эффективность производства тепловой энергии. Это обусловлено тем, что оборудование имеет различные периоды эксплуатации, состояние

поверхностей нагрева, количество и качество проведенных ремонтов, число часов наработки после последнего капитального ремонта.

В связи с этим актуальной является задача выбора загрузки отдельных котельных агрегатов с учётом их фактического состояния. Для определения оптимальных режимов работы необходим анализ комплексной эффективности котельного оборудования.

### DEA методика

Одним из широко применимых современных подходов к решению подобных задач является методика многокритериального оценивания DEA или «Анализ среды функционирования» в качестве инструмента для анализа сложных экономических и социальных систем [1], [8-20], разработанная А. Чарнесом, В. Купером и Е. Бэнкером в 70–80-х гг. прошлого столетия.

Суть этого метода состоит в построении областей сравнительной эффективности по эмпирическим данным о функционировании различных объектов. Каждому объекту соответствует точка в многомерном пространстве G: «затраты-выпуск». Решения соответствующих оптимизационных задач линейного программирования дают коэффициенты эффективности, которые определяют сравнительную эффективность каждого объекта. Границу эффективности определяют объекты, показатель эффективности которых является максимальным. В методологии DEA показатель эффективности лежит в интервале (0;1] [1]. Метод DEA можно рассматривать как реализацию свертывания частных критериев эффективности в обобщенный показатель оптимальности [21-24].

### Постановка задачи

В качестве объекта исследования рассмотрен энергетический котел типа ТП-230 одной из теплоэлектроцентралей ПАО «Т Плюс». Котел ТП-230 работает на природном газе, имеет номинальную производительность 230 т/ч, эксплуатируется на протяжении более 60 лет [6]. Для определения обобщенного критерия эффективности был проведен анализ 50 показателей, характеризующих режим работы котла в диапазоне от минимальной нагрузки 117 до номинальной 230 т/ч, и из них выбраны в качестве частных критериев следующие восемь:

- 1) удельный расход топлива  $G_{монл.i}$
- 2) удельный расход электроэнергии на тягу и дутье  $\mathcal{E}_{мд.i}$

- 3) температура уходящих газов  $t_{yx.n}$ ;
- 4) отклонение от оптимального значения разрежения в топке котла  $\Delta P_n$ ;
- 5) содержание оксидов азота в продуктах сгорания  $V_{NO_x.n}$ ;
- 6) содержание оксидов углерода в продуктах сгорания  $V_{CO_x.n}$ ;
- 7) содержание диоксидов углерода в продуктах сгорания  $V_{CO_2.n}$ ;
- 8) КПД  $\eta_n$ .

Исходные данные по выбранным входным параметрам были получены экспериментальным путем в результате проведения испытаний. В общем виде экспериментальные данные соответствуют уравнению  $y = ax^2 + bx + c$ , где  $a, b, c = const$ . Поведение полученных зависимостей соответствует физическим процессам, происходящим в котле при изменении нагрузки.

Сформируем обобщённые критерии эффективности и проведем их анализ, используя в качестве входных параметров перечисленные частные критерии, группируя их по принадлежности к выходным характеристикам: экономичности, экологичности и технологичности.

### 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 [23]:

$$f_{экон} = \max_{a_{jn}, b_{jn} \in G} \frac{a_{1n} \cdot \eta_n}{b_{1n} \cdot G_{монл. n} + b_{2n} \cdot \mathcal{E}_{мд}}, \quad (1)$$

$n=1, 2, \dots, N,$

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

Система ограничений, определяющая область весовых коэффициентов G:

$$\begin{cases} \frac{a_{11} \cdot \eta_1}{b_{11} \cdot G_{монл. 1} + b_{21} \cdot \mathcal{E}_{мд.1}} \leq 1, \\ \frac{a_{12} \cdot \eta_2}{b_{12} \cdot G_{монл. 2} + b_{22} \cdot \mathcal{E}_{мд.2}} \leq 1, \\ \dots \\ \frac{a_{1n} \cdot \eta_n}{b_{1n} \cdot G_{монл. n} + b_{2n} \cdot \mathcal{E}_{мд. n}} \leq 1. \end{cases} \quad (2)$$

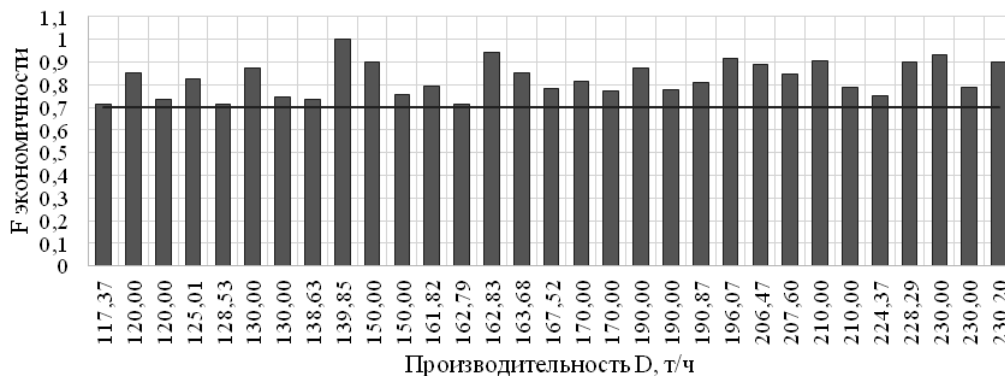


Рис. 1. Значения обобщенного критерия экономичности котла

На рис. 1 представлены результаты расчета обобщенного критерия экономичности  $f_{экон}$ , определенные с помощью метода DEA по формуле (1). Анализ показывает, что критерий  $f_{экон}$  находится в интервале от 0,713 до 1.

Режимы, при которых  $f_{экон} < 0,75$ , считаются неэффективными. Обобщенный критерий показывает, что при производительности до 139 т/ч эксплуатация котла по экономичности считается неэффективной.

Для исследования причин, вызвавших снижение показателей, проанализируем весовые коэффициенты частных критериев, что позволит определить, какие из выбранных факторов оказали наибольшее влияние на исследуемый критерий.

Достижение максимального значения показателя обобщенного критерия экономичности котла обусловлено более низким удельным расходом газа и меньшим удельным расходом электроэнергии на тягу и дутье.

Для минимальных значений  $f_{экон}$  при производительности от 166 т/ч и выше значения весовых коэффициентов получились одинаковыми. Таким образом, на снижение обобщенного критерия экономичности повлияли высокие значения удельного расхода электроэнергии на тягу и дутье.

Значение КПД котла в разных режимах различалось незначительно, поэтому не оказало существенного влияния на значение критерия  $f_{экон}$ .

В результате анализа режимов работы котла мы можем сформулировать следующие направления экономичности его работы:

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

Снижение удельного расхода электроэнергии на тягу и дутье можно достичь применением регулируемых приводов, например, используя гидромолты или частотно-регулируемый привод.

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

### Анализ эффективности обобщенного критерия технологичности

Обобщенный критерий технологичности учитывает температуру уходящих газов и отклонение разрежения в топке котла от оптимального значения (20 кПа) и может быть сформирован следующим образом:

$$f_{техн} = \max_{c_{in} \in G} \frac{1}{c_{1n} \cdot t_{yx,n} + c_{2n} \cdot \Delta P_n}, \quad (3)$$

$n=1, 2, \dots, N,$

где  $c_{jn}$  – весовые коэффициенты.

Система ограничений:

$$\begin{cases} \frac{1}{c_{11} \cdot t_{yx1} + c_{21} \cdot \Delta P_1} \leq 1, \\ \frac{1}{c_{12} \cdot t_{yx2} + c_{22} \cdot \Delta P_2} \leq 1, \\ \dots \\ \frac{1}{c_{1n} \cdot t_{yx,n} + c_{2n} \cdot \Delta P_n} \leq 1. \end{cases} \quad (4)$$

Результаты расчета показателя критерия, в соответствии с формулой (3), приведены на рис. 2. Анализ результатов показал, что технологическая эффективность во всем диапазоне нагрузок колеблется в интервале от 0,9 до 1, достигая наибольшего значения при нагрузках до 170 т/ч.

Максимальное значение критерия технологичности наблюдается при нагрузке котла 161,8 и 167,5 т/ч как следствие минимального значения параметров: температуры уходящих газов и отклонения от оптимального значения разрежения в топке котла. Значительное снижение температуры уходя-



Рис. 2. Обобщенный параметр технологичности

щих газов может свидетельствовать о плохой герметичности котла и повышенных присосах, а рост разрежения в топке – о неудовлетворительной работе устройств, регулирующих работу дымососов.

Анализируя весовые коэффициенты в процентном соотношении, определим, какие из технологических параметров оказали наибольшее влияние на обобщенный критерий технологичности.

Перепад отклонения разрежения от оптимального параметра разрежения в топке котла имеет наибольший весовой коэффициент, равный 81,7 %, и, следовательно, оказывает максимальное влияние на обобщенный технологический критерий эффективности.

Для решения данной проблемы необходимо осуществить ремонт обшивки газоходов котла, что снизит присос воздуха, и установить систему автоматизации, которая контролирует величину разрежения и регулирует соотношение топливо-воздух.

### Анализ эффективности котла по обобщенному критерию экологичности

Обобщенный критерий экологичности примет вид:

$$f_{\text{экол}} = \max_{d_{in} \in G} \frac{1}{d_{1n} \cdot V_{n \text{ NO}_x} + d_{2n} \cdot V_{n \text{ CO}} + d_{3n} \cdot V_{n \text{ CO}_2}}, \quad (5)$$

$n=1, 2, \dots, N,$

где  $d_{jn}$  – весовые коэффициенты.

Система ограничений для функционала (5):

$$\begin{cases} \frac{1}{d_{11} \cdot V_{1 \text{ NO}_x} + d_{21} \cdot V_{1 \text{ CO}} + d_{31} \cdot V_{1 \text{ CO}_2}} \leq 1, \\ \frac{1}{d_{12} \cdot V_{2 \text{ NO}_x} + d_{22} \cdot V_{2 \text{ CO}} + d_{32} \cdot V_{2 \text{ CO}_2}} \leq 1, \\ \dots \\ \frac{1}{d_{1n} \cdot V_{n \text{ NO}_x} + d_{2n} \cdot V_{n \text{ CO}} + d_{3n} \cdot V_{n \text{ CO}_2}} \leq 1. \end{cases} \quad (6)$$

Исследование работы котельного оборудования по экологическим параметрам сводится к оценке величины вредных выбросов в атмосферу. Принятые для расчета входные параметры: содержание выбросов окиси углерода, двуокиси углерода и окислов азота в уходящих газах. С точки зрения экологии требуется снижение выбросов вредных веществ в уходящих дымовых газах, чему соответствует обобщенный критерий экологичности (5). Полученная зависимость для данного критерия представлена на рис. 3.

Для эффективных режимов работы примем величину критерия выше 0,7. Отделив результаты вычислений линией 0,7, примем, что результаты, находящиеся выше, являются приемлемыми. Таким образом, рассматривая приемлемые результаты испытаний, можно проанализировать не только эффективность работы оборудования, но и качество

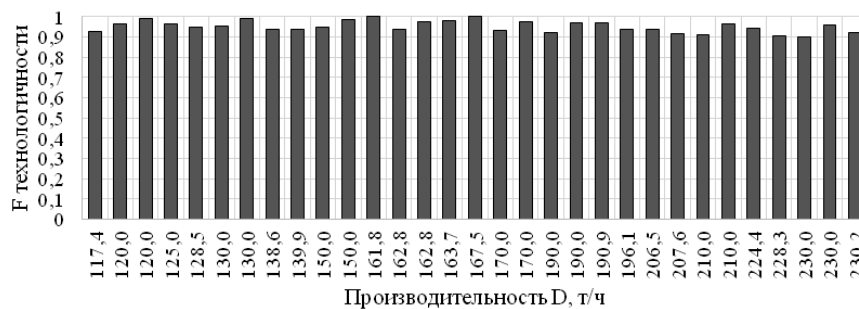


Рис. 3. Обобщенный параметр экологичности

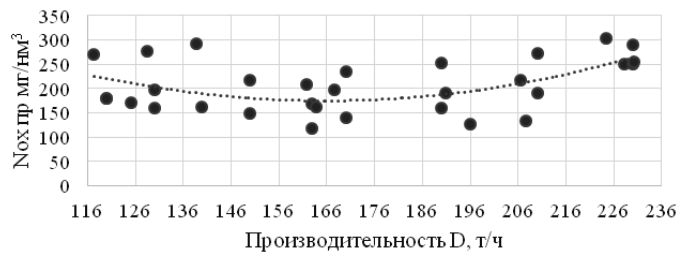


Рис. 4. Приведенное содержание  $N_{ox\text{ средн.}} - N_{ox\text{ пр.}}$  мг/нм<sup>3</sup>

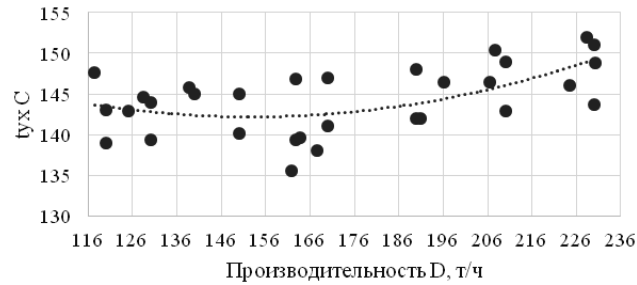


Рис. 5. Приведенная температура уходящих газов

проведенных ремонтов, после которых производились испытания оборудования.

Таким образом, следует выбирать режимы работы данного оборудования при производительности от 163 до 170 т пара в час. Важно отметить, что эффективность по экологическому критерию не зависит от производительности напрямую, поскольку при близких значениях оценки эффективности резко расходятся. Так, например, при двух испытаниях, сделанных через определенные промежутки времени, и разном состоянии оборудования, при выработке пара 130 т/ч, величины критерия эффективности составили 0,6 и 0,72, а при 170 т/ч – 0,5 и 0,82.

Следовательно, на величину критерия эффективности весьма сильно влияет состояние оборудования на момент проведения испытаний и качество проведенного ремонта. Возможно, рассматривая результаты каждого испытания по отдельности, можно выявить различные зависимости. Так, например, при паропроизводительности от 140 до 210 т/ч наблюдаются наименьшие величины выбросов оксидов азота.

Построив графики зависимости приведенной температуры уходящих газов (рис.4, 5) и приведенного содержания соединений оксида азота, важно отметить, что они подобны.

Таким образом, результаты анализа обобщенных критериев экономичности, технологичности и экологичности выявили необходимость проведения ремонтных работ, но не позволили дать однозначные рекомендации по выбору наиболее эффективных ре-

жимов функционирования котла ТП-230. Для этого сформулируем глобальный критерий эффективности оборудования, одновременно учитывающий все восемь частных критериев работы котла [24].

### Анализ глобального критерия эффективности

Для формирования глобального критерия эффективности сравнительной совокупности объектов объединим полученные обобщенные критерии эффективности (1), (3), (5).

$$f = \max_{a,b,c,d_j \in G} \frac{a_{1n} \cdot \eta_n}{b_{1n} \cdot G_{\text{топл.н}} + b_{2n} \cdot \mathcal{E}_{\text{мб}} + c_{1n} \cdot t_{\text{зх.н}} + c_{2n} \cdot \Delta P + d_{1n} \cdot V_n \cdot NO_x + d_{2n} \cdot V_n \cdot CO + d_{3n} \cdot V_n \cdot CO_2} \quad (7)$$

где  $n=1, 2, \dots, N$ .

К весовым коэффициентам применяется система ограничений по аналогии с системами (2), (4), (6).

Результатом использования глобального критерия эффективности является комплексная оценка работы оборудования с учетом всех выбранных частных показателей эффективности (рис. 6).

Рассмотрим влияние каждого из выбранных выходных параметров в глобальный критерий эффективности (7). Поскольку величины весовых коэффициентов КПД брутто котла и температуры уходящих газов малы и во многих случаях не превышают 0,05, при средней арифметической общей оценке эффективности 0,975, следует, что данные локальные параметры практически не влияют на итоговую оценку по сравнению с другими критериями.

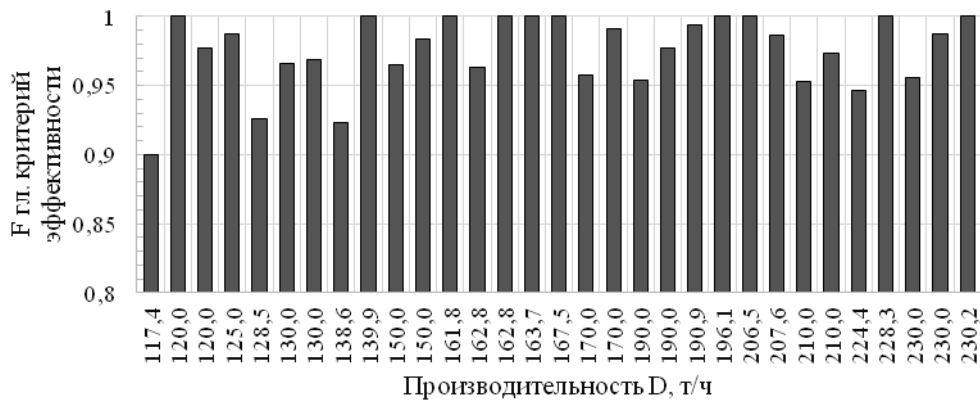


Рис.6. Глобальный критерий эффективности котла

Наибольшее влияние, относительно других характеристик работы теплового оборудования, оказывает удельный расход газа с весовым коэффициентом от 0,7 до 0,3. Вторым по значимости и влиянию (от 0,4 до 0,1) на глобальный критерий является показатель, определяющий отклонение разрежения в топке котла от оптимального значения. Таким образом, расчеты показали возможность эксплуатации исследуемого котла на всем диапазоне нагрузок. Наиболее эффективными являются нагрузки в интервале от 140 до 210 т/ч, где показатели глобального критерия достигают максимальных значений, равных 1.

**Выводы.** 1. В работе продемонстрированы возможности DEA методики для определения эффективности энергетического оборудования по комплексу ключевых критериев его работы.

2. Проведенное исследование позволяет качественно и количественно оценить проведенные реконструкции и подобрать оптимальные режимы работы оборудования.

3. Анализ полученных результатов показал возможность разработки комплекса мероприятий, который следует применить для внесения необходимых корректировок в работу оборудования.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Дилигенский Н.В., Гаврилова А.А., Цапенко М.В. Построение и идентификация математических моделей производственных систем: учебное пособие. Самара: ООО «Офорт», 2005. 126 с.
2. Надёжность теплоэнергетического оборудования ТЭС и АЭС / под ред. А.И. Андрющенко. М.: Высшая школа, 1991. 303 с.
3. Гаврилова А.А., Колмыков Д.С., Алфеев А.А. Многокритериальная оценка эффективности модернизации генерирующего оборудования региональной энергосистемы // Вестник Самарского государственного технического университета. 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. Серия «Технические науки». Новочеркасск, 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 Самарского государственного технического университета. Серия «Технические науки». 2008. №2 (22). С.186–195.

6. Гаврилов В.К., Гаврилова А.А. Многокритериальная оценка эффективности функционирования энергетического оборудования // Математическое моделирование и краевые задачи: Тр. III Всерос. научн. конф / Инж. акад. РФ; СамГТУ. Самара: РИО СамГТУ, 2006. С. 43–45.

7. Салов А.Г., Гаврилова А.А., Кухарева А.В., Гаврилова Ю.В. Многокритериальное оценивание эффективности функционирования котельного оборудования тепловых электрических станций // Вестник Самарского государственного технического университета. Серия «Технические науки». 2011. №3 (31). С.201–207.

8. Norio Hibiki, Toshiyuki Sueyoshi DEA Sensitive Analysis by Changing a Reference Set: Regional Contribution to Japanese Industrial Development // Omega, The International Journal of Management Science, Vol. 27, 1999, p. 139-153.

9. Thierry Post, Jaap Spronk Performance Benchmarking Using Interactive Data Envelopment Analysis // European Journal of Operational Research, Vol. 115, 1999, p. 472-487.

10. Mickael Lothgren, Magnus Tambour Alternative Approaches to Estimate Returns to Scale in DEA-models // Stockholm School of Economics (The Economic Research Institute), Working Paper, No. 90, January 1996.

11. Mickael Lothgren, Magnus Tambour Productivity and Customer Satisfaction in Swedish Pharmacies: a DEA Network Model // European Journal of Operational Research, Vol. 115, 1999, p. 449-458.

12. Dyson R.G., Thanassoulis E. and Boussofiane A. DATA ENVELOPMENT ANALYSIS – Warwick Business School [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.warwick.ac.uk/~bsrlu/dea/deat1.htm>.

13. Ahn, Tae Sik, Abraham Charnes and William Wager Cooper, Using Data Envelopment Analysis to Measure the Efficiency of Not-for-profit Organizations: A critical evaluation – A comment // Managerial and Decision Economics 9(3), September, 1988. p.251-253.

14. Al-Faraj, Taqi N., Abdulaziz S. Alidi and Khalid A. Bu-Bshait, Evaluation of Bank Branches by Means of Data Envelopment Analysis // International Journal of Operations and Production Management 13(9), 1993. p. 45-52.

15. Antreas D. Athanassopoulos, Nikos Lambroukos, Lawrence Seiford Data Envelopment Scenario Analysis for Setting Targets to Electricity Generation Plants // European Journal of Operational Research, Vol. 115, 1999, p. 413-428.

16. Arnold, Victor L., Indranil R. Bardhan, William Wager Cooper and Subal C. Kumbhakar New Uses of DEA and Statistical Regression for Efficiency Evaluation and Estimation – with an Illustrative Application to Public Secondary Schools in Texas // Annals of Operations Research 66, 996. p. 255–277. 9/25 to 9/27.

17. 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.

18. 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, Vol. 30, No. 9, 1984, p. 1078-1092.

19. Charnes A., Cooper W.W., Rhodes E. Measuring the Efficiency of Decision Making Units // European Journal of Operational Research, Vol. 2, 1978, p. 429 – 444.

20. Charnes A., Cooper W. W., Lewin A. Y. and Seiford L. M. The DEA Process, Usages and Interpretations Data Envelopment Analysis: Theory, methodology and applications. – Kluwer Academic Publishers, Boston, 1994 p. 425-435.

21. Гаврилова А.А., Салов А.Г. Комплексный анализ энергоэффективности вспомогательного оборудования ТЭЦ // Промышленная энергетика. 2011. №12. С. 31–34.

22. Гаврилова А.А. Системный анализ режимов работы вспомогательного оборудования теплоэлектроцентралей, оценка эффективности применения регулируемого привода // Известия высших учебных заведений Северо-Кавказский регион. Серия «Технические науки». 2011. №6 (164). С. 68–70.

23. Сагитова Л.Г. Обобщенная оценка работы энергетического оборудования по экономическим критериям // Радиоэлектроника, электротехника, энергетика: XXI Межд. науч. конф. Т.3 / МЭИ. М., 2015. С. 272.

24. Посашков М.В., Салов А.Г., Немченко В.И. Реинжиниринг структуры управления газораспределительной организации // Проблемы экономики и управления нефтегазовым комплексом. 2014. №1. С. 27–31.

Об авторах:

**САЛОВ Алексей Георгиевич**

доктор технических наук, доцент, профессор кафедры теплогазоснабжения и вентиляции Самарский государственный архитектурно-строительный университет  
443001, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 194  
E-mail: aleksey-salov@rambler.ru

**ГАВРИЛОВА Анна Александровна**

кандидат технических наук, доцент кафедры управления и системного анализа в теплоэнергетических и социотехнических комплексах Самарский государственный технический университет  
443100, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244  
E-mail: a.a.gavrilova@mail.ru

**ЧИРКОВА Юлия Валерьевна**

аспирант кафедры теплогазоснабжения и вентиляции Самарский государственный архитектурно-строительный университет  
443001, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 194  
E-mail: julia.v.chirkova@gmail.com

**САГИТОВА Ляйсан Акзамовна**

магистрант кафедры теплогазоснабжения и вентиляции Самарский государственный архитектурно-строительный университет  
443001, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 194  
E-mail: 10410@mail.ru

**SALOV Aleksey G.**

Doctor in Engineering Science, Professor of the Heat and Gas Supply and Ventilation Chair  
Samara State University of Architecture and Civil Engineering  
443001, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya st., 194  
E-mail: aleksey-salov@rambler.ru

**GAVRILOVA Anna A.**

PhD in Engineering Science, Associate Professor of the Heat and Gas Supply and Ventilation Chair Analysis in the Thermal Power and Socio-technical Complexes  
Samara State University of Architecture and Civil Engineering  
443001, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya st., 194  
E-mail: a.a.gavrilova@mail.ru

**CHIRKOVA Yuliya V.**

Post-graduate student of the Heat and Gas Supply and Ventilation Chair  
Samara State University of Architecture and Civil Engineering  
443001, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya st., 194  
E-mail: julia.v.chirkova@gmail.com

**SAGITOVA Lyaisan A.**

Master student of the Heat and Gas Supply and Ventilation Chair  
Samara State University of Architecture and Civil Engineering  
443001, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya st., 194  
E-mail: 10410@mail.ru

Для цитирования: Салов А.Г., Гаврилова А.А., Чиркова Ю.В., Сагитова Л.А. Обобщенная оценка сравнительной эффективности работы котельного оборудования // Вестник СГАСУ. Градостроительство и архитектура. 2016. №2(23). С. 140-146. DOI: 10.17673/Vestnik.2016.02.25.

For citation: Salov A.G., Gavrilova A.A., Chirkova Yu. V., Sagitova L.A. Summarized comparative assessment of performance boiler equipment // Vestnik SGASU. Town Planning and Architecture. 2016. №2(23). Pp. 140-146. DOI: 10.17673/Vestnik.2016.02.25.