

МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОЕ ОЦЕНИВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ КОТЕЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ ТЕПЛОВЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ

А.Г. Салов, А.А. Гаврилова, А.В. Кухарева, Ю.В. Гаврилова

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

E-mail: a.a.gavrilova@mail.ru

Проведен анализ фактического состояния энергетического оборудования теплоэлектростанций. Установлена причина снижения энергоэффективности его работы в период перехода к рыночным отношениям. Предложен один из возможных путей выбора оптимальных нагрузок однотипных энергетических котлов энергосистемы, имеющих различные показатели работы на одних и тех же нагрузках. Разработаны рекомендации по оптимизации режимов работы основного оборудования. Определены наиболее экономичные режимы эксплуатации энергоустановок и наиболее эффективные сочетания котлов для оптимизации режима станции в целом.

Ключевые слова: энергоэффективность энергетического оборудования, экономичные режимы работы, обобщенный критерий эффективности, обобщенные критерии эксплуатации энергоустановок.

Введение

Состояние промышленного производства нашей страны таково, что удельные затраты энергетических ресурсов на производство валового продукта почти в 3 раза превышают их величину в передовых экономически развитых странах.

Главным направлением, позволяющим обеспечить конкурентоспособность нашей экономики, является внедрение энергосберегающих технологий как на стадии производства тепловой и электрической энергии, так и на стадии их потребления.

Повышение энергоэффективности генерирующих предприятий в настоящее время определено основным направлением модернизации и развития энергетики страны. Оно влияет на другие важнейшие направления экономического развития нашего государства.

Энергосбережение при производстве энергии позволит снизить затраты энергоресурсов на 20-30%, примерно на столько они возросли после 1990 г.

В сфере энергопроизводства снижение эффективности связано со значительным сокращением объемов производства тепловой и электрической энергии и изменением соотношения выработки тепловой и электрической энергии теплоэлектростанциями. При этом энергетическое оборудование стало вынужденно работать в нерасчетных режимах.

Моральное старение и физический износ энергетического оборудования привели к снижению надежности и долговечности энергетических установок и, как следствие, к повышенным эксплуатационным расходам.

Анализ данных по функционированию территориального производственного

Алексей Георгиевич Салов – д.т.н., доцент.

Анна Александровна Гаврилова – к.т.н., доцент.

Анастасия Валерьевна Кухарева – студент.

Юлия Валерьевна Гаврилова – студент.

комплекса, проведенный в работах [1-3], показал, что основной причиной этого снижения явился резкий спад потребности в энергии промышленного сектора области, объем производства в котором уменьшился на 43,6%.

Эти изменения существенно повлияли на динамику производства энергии – объем производства тепловой энергии снизился на 49,1%, электрической энергии – на 26,4%.

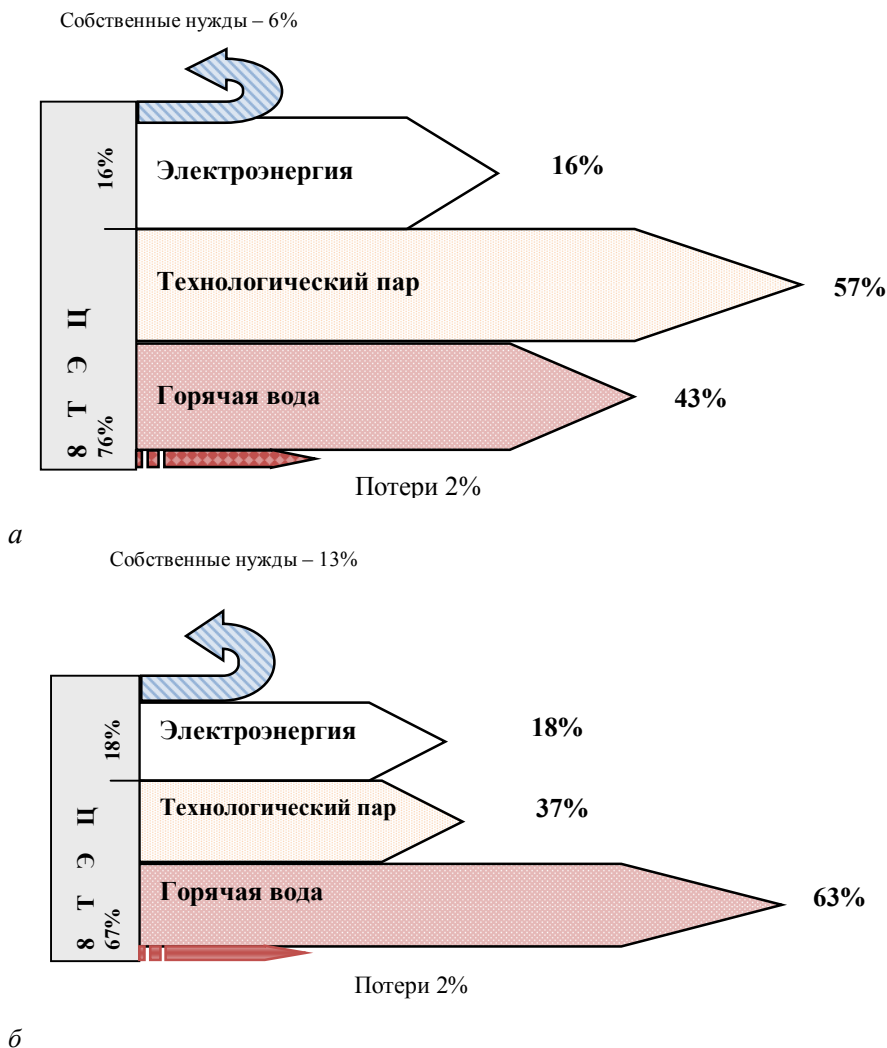


Рис. 1. Структура производства энергии энергосистемой Самарской области:
а – 1989 г. (100%); *б* – 1996-2010 гг. (56% по сравнению с 1989 г.)

Наиболее значительные изменения произошли в структуре производства тепловой энергии (рис. 1). Постоянный в течение года отпуск промышленного пара после 1995 г. стал в 1,74 раза меньше сезонного отпуска тепловой энергии с горячей водой. Работа энергетического оборудования ТЭЦ в нерасчетных режимах привела к снижению экономичности теплофикационной выработки с 71,3% до 62,9%.

Эффективность производства тепловой и электрической энергии во многом определяется правильным выбором наиболее экономичных режимов работы оборудования. В соответствии с этим одним из актуальных направлений повышения эффек-

тивности выработки энергии является разработка предложений по оптимизации вариантов загрузки котельного оборудования генерирующих предприятий.

Методика оценки эффективности работы котельного оборудования ТЭЦ

В настоящей работе предлагается один из возможных путей выбора оптимальных нагрузок однотипных энергетических котлов энергосистемы, имеющих различные показатели работы на одних и тех же нагрузках.

Оценивание эффективности функционирования котельного оборудования ТЭЦ проведено методом Data Envelopment Analysis (DEA) («анализ среды функционирования» (АСФ)).

В основу данного метода положен алгоритм нахождения численных значений обобщенного критерия эффективности функционирования сложных систем на дискретных множествах состояний путем свертывания частных критериев эффективности.

Проведена многокритериальная оценка эффективности работы основного оборудования двух ТЭЦ самарской энергосистемы – энергетических котлов типа ТП-230-2, работающих при следующих параметрах:

- номинальная паропроизводительность – 230 т/ч;
- давление перегретого пара – 100 кгс/см²;
- температура перегретого пара – 510 °С;
- температура питательной воды – 210 °С.

Котлы имеют различия: по году ввода в эксплуатацию, по специфике монтажа, по характеристикам горелочных устройств, по состоянию поверхностей нагрева, по количеству и качеству проведенных ремонтов и реконструкций, по количеству часов работы, по качеству эксплуатации и т. д.

Эффективность работы котельного агрегата характеризуется совокупностью многих технологических параметров: расхода, температуры, давления (пара, воды, воздуха, природного газа, уходящих газов), а также содержания в продуктах сгорания загрязняющих веществ.

Анализ экспериментальных данных позволил определить наиболее значимые технологические параметры, характеризующие экономичность работы энергетического котла, для проведения оценки сравнительной эффективности работы котельного оборудования.

Функционал строится в виде дроби: числитель представляет собой сумму величин со своими весами, максимизация которых характеризует повышение эффективности использования оборудования, а знаменатель составлен из величин, минимизация которых приводит к аналогичному результату.

В качестве входных параметров приняты:

- расход природного газа – G_2 , тм³/ч;
- удельный расход электроэнергии на тягу и дутье – $\mathcal{E}_{ТД}$, кВтч/тп.

Выходными величинами определены:

- КПД «брутто» – $КПД$, %;
- паропроизводительность – D_0 , т/ч;
- содержание оксидов азота в продуктах сгорания – NO_X , мг/Нм³.

Сформулируем задачу математического программирования для исследуемого многомерного энергетического объекта. Обобщенный критерий эффективности котлоагрегата представим в виде

$$f_n = \max_{u_{in}, v_{jn} \in G} \frac{u_{1n} \cdot D_{0n} + u_{2n} \cdot КПД_n}{v_{1n} \cdot G_{z_n} + v_{2n} \cdot \mathcal{E}_{ТД_n} + v_{3n} \cdot NO_{X_n}}, \quad n = 1, 2, \dots, N, \quad (1)$$

где $КПД_n$ и D_{0n} , $\mathcal{E}_{ТД_n}$, NO_{X_n} , G_{z_n} – значения параметров;

u_{1n} , u_{2n} , v_{1n} , v_{2n} , v_{3n} – положительные весовые коэффициенты.

Система ограничений для функционала (1) имеет вид:

$$\begin{aligned} \frac{u_{1n} \cdot D_{01} + u_{2n} \cdot КПД_1}{v_{1n} \cdot G_{z_1} + v_{2n} \cdot \mathcal{E}_{ТД_1} + v_{3n} \cdot NO_{X_1}} &\leq 1, \\ \frac{u_{1n} \cdot D_{02} + u_{2n} \cdot КПД_2}{v_{1n} \cdot G_{z_2} + v_{2n} \cdot \mathcal{E}_{ТД_2} + v_{3n} \cdot NO_{X_2}} &\leq 1, \\ &\dots\dots\dots \\ \frac{u_{1n} \cdot D_{0N} + u_{2n} \cdot КПД_N}{v_{1n} \cdot G_{z_N} + v_{2n} \cdot \mathcal{E}_{ТД_N} + v_{3n} \cdot NO_{X_N}} &\leq 1. \end{aligned} \quad (2)$$

В качестве множеств оцениваемых ситуаций $n \in [1, N]$ используются как классы однотипных энергетических объектов – в данном случае котлоагрегатов, характеризующихся одинаковым составом частных показателей эффективности, так и совокупности дискретных событий для одного объекта.

Решение системы (1-2) определяет обобщенные критерии эксплуатации энергоустановок, позволяющие проводить сравнение и оптимизацию режимов функционирования ТЭС в существующих условиях.

Проведем анализ эффективности работы котельных агрегатов ТЭЦ-1, на которой установлены 4 однотипных котла (станционные номера 4, 6, 7, 8) на оптимальных режимах. Результаты сравнительной оценки представлены на рис. 2.

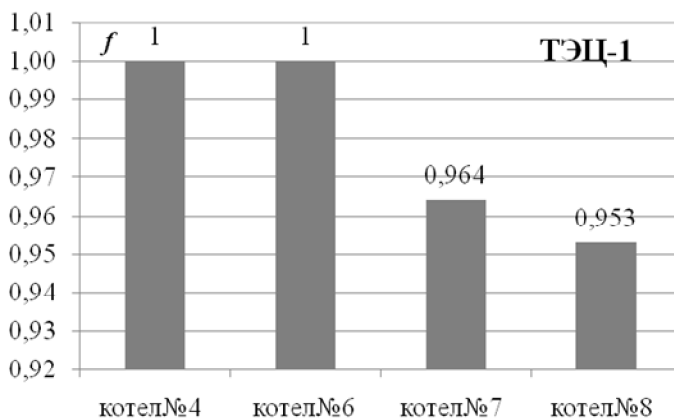
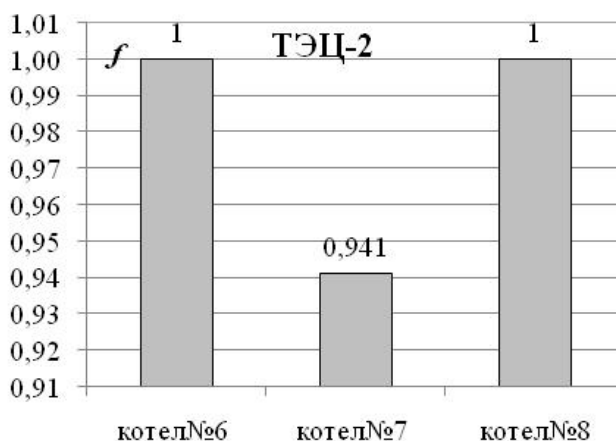


Рис. 2. Показатели сравнительной оценки эффективности работы котлов ТЭЦ-1 при работе в оптимальных режимах

На оптимальных режимах работы лучшими показателями качества обладают котлы №4 и №6.



Р и с . 3. Показатели сравнительной оценки эффективности работы котлов ТЭЦ-2 в оптимальных режимах

Показатели сравнительной эффективности котлов №7 и №8 меньше на 5%. Снижение эффективности котлов №7 и №8 объясняется большим удельным расходом газа для производства того же количества перегретого пара и высоким удельным расходом электроэнергии на собственные нужды по сравнению с котлами №4 и №6.

Сравнительная оценка эффективности для трех котлов ТЭЦ-2 (станционные номера 6, 7, 8) на номинальных режимах приведена на рис. 3.

Снижение эффективности у котла №7 по сравнению с котлами 6 и 8 на 5,9% происходит вследствие высокого удельного расхода газа и расхода электроэнергии на тягу, дутье и рециркуляцию. При меньшей производительности по сравнению с котлом №8 удельный расход газа значительно выше. Котел №6 наряду с хорошими показателями имеет минимальное содержание оксида азота в уходящих газах, равное 63 мг/м^3 , что в 1,76 раза и 2,13 раза меньше, чем у котлов №7 и №8 соответственно. Котел №8 обладает максимальным КПД.

Показатели сравнительной эффективности для однотипных котлов двух ТЭЦ на номинальных режимах представлены на рис. 4.

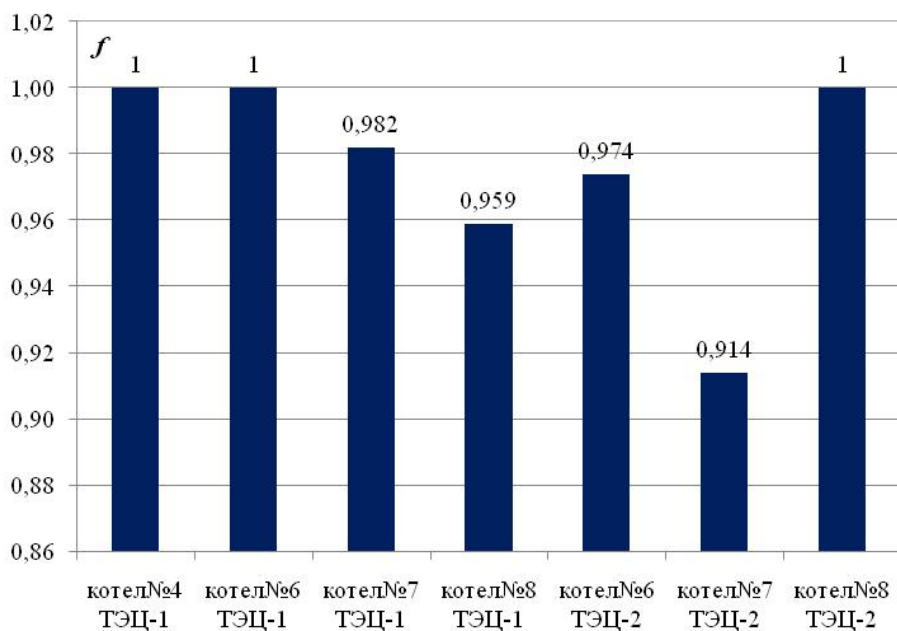
Величины интегрального показателя сравнительной эффективности находятся в интервале от 0,91 до 1, что говорит о достаточно высоком качестве работы энергетического оборудования.

Три котла из семи (№4 и №6 ТЭЦ-1 и №8 ТЭЦ-2) обладают оптимальными значениями показателей сравнительной эффективности ($f=1$).

Минимальное значение критерия $f=0,914$ имеет котел ТЭЦ-2, а следовательно, и наименьшую эффективность из всей группы оцениваемых котлов.

Котлы №7 и 8 ТЭЦ-1 и котел №6 ТЭЦ-2 имеют средние значения обобщенного критерия эффективности – от 0,959 до 0,982.

Максимальные значения показателя сравнительной эффективности у котлов №4 и №6 ТЭЦ-1 достигаются за счет меньшего удельного расхода газа и меньшего расхода электроэнергии, так как рециркуляция на этих котлах не осуществляется. Значение показателя сравнительной эффективности у котла №8 ТЭЦ-2 также максимально и равно 1. Это объясняется тем, что данный котел имеет максимальный КПД, равный 94,41%, достаточно низкий удельный расход газа – 17,7 тыс. $\text{м}^3/\text{ч}$, а также невысокий расход электроэнергии на тягу, дутье и рециркуляцию – 3,7 кВтч/т (что ниже, чем у котла №6 ТЭЦ-1, который работает без рециркуляции).



Р и с . 4. Показатели сравнительной оценки эффективности работы котлов в номинальных, оптимальных режимах

Самое низкое значение показателя сравнительной эффективности – котла №7 ТЭЦ-2. Снижение интегрального критерия объясняется значительным удельным расходом газа и высоким содержанием оксида азота в уходящих газах (более чем в 1,7 раза по сравнению со средним значением данного показателя у остальных котлов).

Заключение

1. Предложенная методика позволяет проводить качественную и количественную многокритериальную сравнительную оценку эффективности работы генерирующего оборудования ТЭЦ, оптимизировать режимы ТЭС.

2. Проведенная многокритериальная сравнительная оценка эффективности работы совокупности однотипных котлов позволила получить численные значения обобщенных критериев эффективности генерирующего оборудования.

3. На основе проведенного анализа выработаны рекомендации по оптимизации режимов работы основного оборудования, определены наиболее экономичные режимы эксплуатации энергоустановок и наиболее эффективные сочетания котлов для оптимизации режима станции в целом.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Дилigenский Н.В., Гаврилова А.А., Салов А.Г., Гаврилов В.К. Модельный анализ эффективности совместного производства тепловой и электрической энергии региональной энергосистемой // Известия вузов. Северокавказский регион. Технические науки, 2008, №5. – С. 37-40.
2. Салов А.Г., Гаврилова А.А. Системный анализ и моделирование деятельности энергетических генерирующих предприятий с целью оценки эффективности их функционирования в условиях становления рыночных отношений // Вестник Саратовского гос. техн. ун-та. 2008, № 1(30), Вып. 1. – С. 86-91.
3. Дилigenский Н.В., Алфеев А.А., Цаненко М.В., Гаврилова А.А., Салов А.Г. Анализ эффективности деятельности энергетических предприятий в период перехода к рыночным отношениям // Перспек-

тивные проекты и технологии в энергетике: Сб. материалов Межрегиональной научно-практической конференции, г. Волжский, 2005, филиал ГОУ ВПО «МЭИ (ТУ)». – С. 134-138.

Статья поступила в редакцию 27 мая 2011 г.

MULTICRITERIA ASSESSMENT OF THE EFFICIENCY OF FUNCTIONING OF BOILERS EQUIPMENT OF HEAT AND POWER PLANTS

A.G. Salov, A.A. Gavrilova, A.V. Kyhareva, J.V. Gavrilova

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

There is made analysis of the state of power equipment of heat and power plants. The reason of the reduction of power efficiency of the equipment during the transition to market economy is determined. There is offered one of the possible ways to choose the optimal load of the boilers of one type, but with different performance at the same load. There are given recommendations for optimization of modes of functioning of the capital equipment. The most economy modes of functioning of the power plants and the most effective combination of boilers to optimize the operating regime are determined.

Keywords: *power efficiency of power equipment, economy mode of functioning, generalized criterion of efficiency, generalized criterion of power plants operation.*

Aleksey G. Salov – Doctor of Technical Sciences, Associate professor.

Anna A. Gavrilova – Candidate of Technical Sciences, Associate professor.

Anastasiya V. Kyhareva – Student.

Julia V. Gavrilova – Student.