

2. Долинский А.А. Тепловые насосы в теплоснабжении / А.А. Долинский, Е.Т. Базеев, А.И. Чайка // Журнал Промышленная теплотехника. – 2006. – №2. – С. 99-105.
3. Попов А.В. Новейшие возможности использования тепловых насосов / А.В. Попов // Журнал Промышленная энергетика. – 2011. – №4. – С. 46-50.
4. Колесниченко Н.В. Оценка целесообразности использования тепловых насосов в Украине / Н.В. Колесниченко, Г.Е. Константинов, М.А. Дмитренко // Журнал Промышленная теплотехника. – 2011. – №5. – С.67-73.
5. Драганов Б.Х. К вопросу о тепловых насосах / Б.Х. Драганов, А.В. Мищенко // Журнал Промышленная теплотехника. – 2006. – №2. – С. 94-98.
6. Горяев А.Б. Система теплоснабжения на основе тепловых насосов, утилизирующих теплоту влажных газов / А.Б. Горяев, Е.В. Цепляева, Г.П. Шаповалова // Журнал Промышленная энергетика. – 2010. – №8. – С. 25-29.

Bibliography:

1. Klimenko V.N. Some features of the application vapor compression heat pumps for heat recovery heating cats / V.N. Klimenko // Industrial Heat. – 2011. – №5. – P. 42-48. (Rus.)
2. Dolinsky A.A. Heat pumps in heating / A.A. Dolinsky, E.T. Database, A.I. Seagull // Journal of Industrial Heat. – 2006. – №2. – P. 99-105. (Rus.)
3. Popov A.V. The latest possibility of using heat pumps / A.V. Popov // Journal of Industrial Energy. – 2011. – №4. – P. 46-50. (Rus.)
4. Kolsnichenko N.V. Assessment of the feasibility of using heat pumps in Ukraine / N.V. Kolesnichenko, G.E. Konstantinov, M.A. Dimitrenko // Journal of Industrial Heat. – 2011. – №5. – P. 67-73. (Rus.)
5. Draganov B.C. On the heat pump / B.C. Draganov, A.V. Mihchenko // Journal of Industrial Heat. – 2006. – №2. – P. 94-98. (Rus.)
6. Garyaev A.B. Heating system based on heat pumps, heat utilizing wet gas / A.B. Garyaev, E.V. Tseplyaeva, G.P. Shapovalova // Journal of Industrial Energy. – 2010. – №8. – P. 25-29. (Rus.)

Рецензент: В.А. Маслов,
д-р техн. наук, проф., ГВУЗ «ПГТУ»

Статья поступила 28.04.2014

УДК 621.182:552.578

© Житаренко В.М.*

**ДИАГРАММЫ ОПТИМАЛЬНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ НАГРУЗОК
МЕЖДУ КОТЛАМИ ТЭЦ**

Проанализированы изменения статей потерь и КПД котла от нагрузки, построены энергетические характеристики, разработана математическая модель оптимального распределения нагрузок между параллельно работающими котлами. Результаты позволят снизить эксплуатационные расходы при производстве тепловой энергии.

Ключевые слова: котел, КПД, загрузка, потери, относительные приросты, оптимизация, диаграмма режимов.

Житаренко В.М. Диаграми оптимального розподілу навантажень між котлами ТЕЦ. Проаналізовано зміни статей втрат і ККД котла від навантаження, побудовані енергетичні характеристики, розроблена математична модель для опти-

* ст. преподаватель, ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь, zhitarenko_v_m@pstu.edu

мального розподілу навантажень між паралельно працюючими котлами. Результати дозволять знизити експлуатаційні витрати при виробництві теплової енергії.

Ключові слова: котел, ККД, навантаження, втрати, відносні прирости, оптимізація, діаграма режимів.

V.M. Zhitarenko. Charts of optimal distribution of loads between the TPP boilers. Analyzed were the changes in the articles of losses and efficiency of the boiler load. Developed were power characteristics. A mathematical model for optimal load distribution between the boilers was suggested. The results will reduce operating costs in the production of thermal energy.

Keywords: boiler, efficiency, load, losses, relative growth rates, optimization, graph modes.

Постановка проблеми. Одним из эффективных путей экономии топлива на тепловых электростанциях, районных котельных и других энергетических установках является оптимизация режимов работы. Она включает следующие элементы:

- выбор оптимального числа работающих основных агрегатов;
- оптимальное распределение нагрузки между агрегатами;
- оптимизацию подачи общего количества воздуха (коэффициент избытка воздуха) в котлоагрегат;
- оптимизацию долей различных топлив между котельными агрегатами в случае одновременного сжигания нескольких видов топлив.

Анализ последних исследований и публикаций. В [1] предусмотрено распределение нагрузок между котлоагрегатами на основе равенства удельных приростов условного топлива, определяемых по энергетическим характеристикам. Понятие энергетических характеристик котла определены в [2] как основные и промежуточные показатели экономичности его работы, которые зависят от режима работы только самого котла.

Для получения эксплуатационных энергетических характеристик котлов в широком диапазоне режимов работы и с учетом всех существенных факторов необходимо применять сочетание методов математического моделирования и статистической обработки результатов натурных экспериментов [3-5].

Подобный подход позволяет получить более реальные характеристики котельного оборудования, учесть большее количество влияющих факторов, чем это позволяют методики, подобные [6]. В настоящее время на большинстве промышленных теплоэлектростанций оптимальное распределение нагрузок не производится, а эксплуатационные режимы работы котлов ведутся по режимным картам [4].

Цель статьи – разработка диаграмм оптимальных режимов совместной работы котлов при использовании смеси двух и более топлив.

Изложение основного материала. Использование расчетных зависимостей предполагает необходимым определением КПД и топливных затрат (расходов топлива) в зависимости от варьируемых переменных. Основная энергетическая характеристика котла - зависимость КПД или удельного расхода условного топлива от нагрузки

$$\eta_{\kappa}^{\text{бп}} = 100 - q_2 - q_3 - q_4 - q_5, \quad (1)$$

$$b_y = \frac{0.0342}{\eta_{\kappa}}, \quad (2)$$

где q_2 – потеря теплоты с уходящими газами;
 q_3 – потеря теплоты с химнедожегом;
 q_4 – потеря теплоты с мехнедожегом;
 q_5 - потеря теплоты в окружающую среду.

Согласно [4, 5] величина потерь с уходящими газами при промышленном сжигании смеси топлив определяется как:

$$q_2 = K_Q \left\{ \frac{1}{P_Q} \left[\frac{t_{yx}}{100} (3035 + 9.34 \cdot RO_2^{\max} + 3524 \cdot P_{H_2O}) + \left(\frac{t_{yx}}{100} \right)^2 (22.5 + 1.4 \cdot RO_2^{\max} + 51 \cdot P_{H_2O}) + 23 \cdot P_{H_2O} + 28 \right] + \frac{P_b}{P_Q} \left[(\alpha_{yx} - 1) \cdot \left(3113 \frac{t_{yx}}{100} + 28.7 \cdot \left(\frac{t_{yx}}{100} \right)^2 + 20 \right) - (\alpha_{yx} \cdot (31.5 t_{xв} + 13 \cdot 10^{-4} t_{xв}^2)) \right] \right\}, \quad (3)$$

где t_{yx} – температура уходящих газов;
 $t_{xв}$ – температура холодного воздуха;
 RO_2^{\max} – максимальное содержание трехатомных газов в уходящих газах;
 P_{H_2O}, K_Q, P_b, P_Q – топливные инварианты смеси [3];
 α_{yx} – коэффициент избытка воздуха в уходящих газах.

Топливные инварианты для смеси определялись по [3]. Потери теплоты с химнедожегом принимались равными 0.5%, а потери теплоты с мехнедожегом отсутствуют.

Характер зависимостей основных статей потерь и КПД котлов показан на рис. 1.

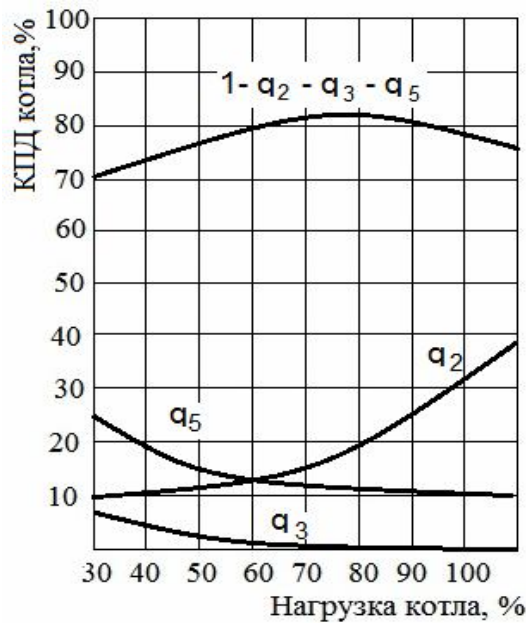


Рис. 1 – Характер общей зависимости КПД от нагрузки

Зависимость от нагрузки коэффициента избытка воздуха в уходящих газах и присосов по газовому тракту учитывалась по следующей зависимости:

$$\alpha_{yx} = \alpha_z + \Delta\alpha_{т.ном} \frac{D_n}{D} + \Delta\alpha_{к.ном} \sqrt{\frac{D_n}{D}}. \quad (4)$$

Потери теплоты в окружающую среду определялись по формуле из [5]:

$$q_5 = \frac{D_n}{D} (0.818 - 0.001128 D_n + 9.34 \cdot 10^{-7} D_n^2 + 1.34 \cdot 10^{-10} D_n^3), \quad (5)$$

где D_n – номинальная паропроизводительность котла;
 D – действительная нагрузка котла.

Для проверки справедливости выражения (6) были использованы результаты балансовых испытаний [4]. При использовании в промышленных котлах смесей, например, природного и доменного газов зависимость коэффициента избытка воздуха в уходящих газах от нагрузки аппроксимировалась уравнением вида:

$$\alpha_{yx} = A + B \cdot D + C \cdot D^2 + E \cdot q, \quad (7)$$

где q – тепловая доля первого топлива в смеси,
 A, B, C, E – эмпирические коэффициенты.

На рис. 2 показаны зависимости избытка воздуха в уходящих газах от нагрузки для котла №7 ЦКТИ – 75/39Ф2 при различных долях доменного газа. Так по результатам [4] формула (7) имеет вид:

$$\alpha_{yx} = 1.418 - 0.00174D + 0.00004D^2 + 0.323q .$$

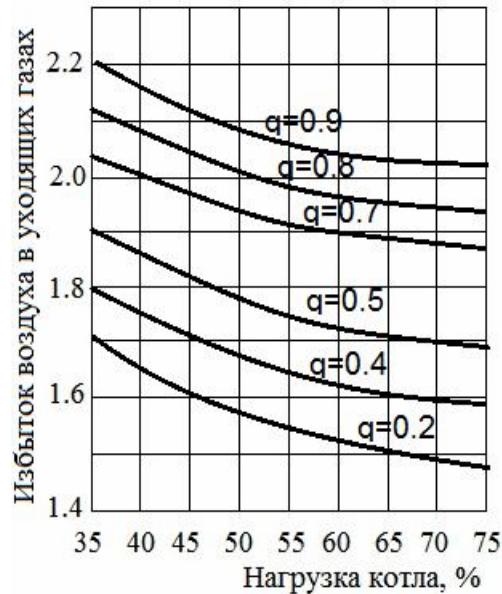


Рис. 2 – Зависимость избытка воздуха в уходящих газах от нагрузки D для котла №7 при долях доменного газа q

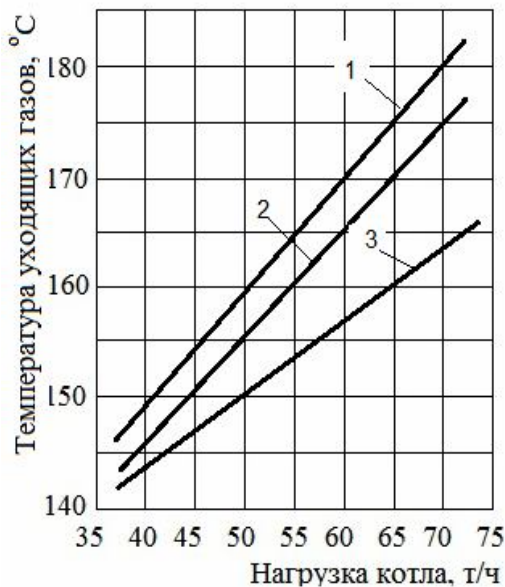


Рис. 3 – Зависимость температуры уходящих газов от нагрузки котла [4] при тепловых долях доменного газа: 1–0.75; 2–0.65; 3–0.5

Температура уходящих газов зависит от многих факторов, важнейшими из которых являются состояние поверхностей нагрева, коэффициенты избытка и присосы воздуха, а также тепловые доли топлив.

В качестве примера на рис. 3 приведена обобщающая двухфакторная линейная зависимость температуры уходящих газов от производительности и доли доменного газа для ЦКТИ-75/39Ф-2-4:

$$t_{yx} = 194.24 - 1.423D - 38.19X_{\text{ог}} + 2.23DX_{\text{ог}} . \quad (8)$$

При решении задач оптимального распределения нагрузок в энергетике наибольшее распространение получил метод относительных приростов расхода топлива. Решение этой задачи хорошо известно [6].

При работе котлов на общий коллектор величина минимума суммарного расхода топлива

$$B_{\text{сум}} = B_1 + B_2 + \dots + B_n \quad (9)$$

достигается при равенстве относительных приростов

$$\frac{\partial B_1}{\partial D_1} = \frac{\partial B_2}{\partial D_2} = \dots = \frac{\partial B_n}{\partial D_n} , \quad (10)$$

где D_1, D_2, \dots, D_n - нагрузка каждого агрегата.

Расходы топлив B_i котлоагрегатом определялись через энергетические характеристики b_i , определяемые по формуле (2):

$$B_i = Q_i b_i = D_i \cdot \Delta i \cdot b_i, \quad (11)$$

где b_i – удельный расход топлива на выработку единицы теплоты, зависящий от нагрузки и других режимных параметров работы;

Δi – тепловосприятие рабочего тела в котле, $\Delta i = i_{nn} - i_{ne}$.

Задача минимизации (9) должна быть решена как минимум при наличии одного ограничения:

$$D_0 = D_1 + D_2 + \dots + D_n, \quad (12)$$

Кроме этого ограничения на оптимизируемые переменные накладываются в виде:

$$D_{\min} < D_i < D_{\max}, \quad (13)$$

где D_{\min} , D_{\max} – соответственно, минимальная и максимальная нагрузки котлов, определяемые по техническими условиям эксплуатации.

Для решения задачи (9)-(13) применен численный метод оптимизации – метод координатного спуска (Гаусса-Зейделя) в сочетании с методом штрафных коэффициентов для учета ограничений.

На основе этого метода разработаны программы для ПЭВМ и рассчитаны диаграммы оптимального распределения нагрузок.

На рисунке 4 представлен пример диаграммы для оптимального распределения нагрузок между 4-я паровыми котлами среднего давления ЦКТИ 75-39 ТЭЦ-1 ММК «им. Ильича».

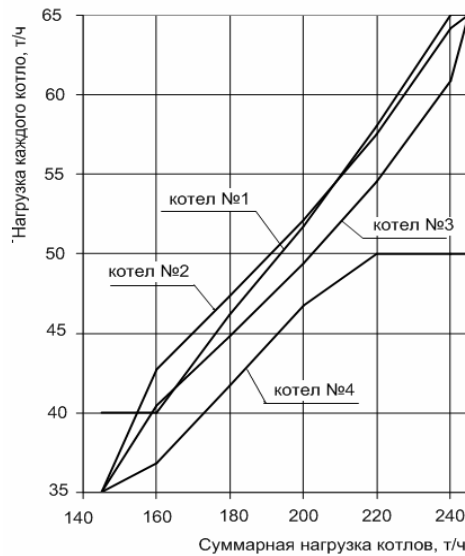


Рис. 4 – Диаграмма оптимального распределения нагрузок между 4-я котлами среднего давления ТЭЦ-1

В процессе эксплуатации, после ремонтов и по мере проведения балансовых испытаний в диаграммы режимов могут вноситься изменения, повышающие точность, и удобство использования.

Выводы

1. Анализ характера изменения КПД от всех параметров позволил выявить существенную его зависимость от эксплуатационных режимов, прежде всего от нагрузки и соотношения доменного и природного газов.
2. Различие энергетических характеристик котлов, в частности, их зависимость от нагрузки, позволила разработать диаграммы оптимального распределения нагрузок котлов. Работа котлов среднего давления на нагрузках, определенных по этим диаграммам позволяет ми-

нимизировать средний удельный расход условного топлива на ТЭЦ и обеспечить экономиию природного газа.

3. На основе полученных зависимостей процесс оптимального распределения загрузок можно автоматизировать в виде программы - советника или разработать прибор указывающий оптимальность режима работы котлов.

Список использованных источников:

1. Правила будови і безпечної експлуатації парових та водогрійних котлів. ДНАОП 0.00-1.08-94, К.:1998. – 422 с.
2. ГКД 34.09.151-94. Перегляд (розробка) енергетичних характеристик обладнання, порядок визначення нормативних питомих втрат та заощадження палива на енергопідприємствах. Положення.
3. Инструкция по технологии контроля потерь тепла с уходящими газами и КПД энергетических агрегатов. ПТП Укрэнергочермет. Харьков, 1986г.
4. Эколого-теплотехнические испытания котла ЦКТИ-75/39Ф-2-4 (ст. №7-9) ТЭЦ-1 ОАО «ММК им. Ильича». Технический отчет. Мариуполь, 2001г.
5. Трёмбовля В.И. Теплотехнические испытания котельных установок / В.И. Трёмбовля, Е.Д. Фингер. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 384 с.
6. Янкевич В.И. Наладка газомазутных промышленных котельных / В.И. Янкевич. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 216 с.

Bibliography:

1. Rules of design and safe operation of steam and hot water boilers. DNAOP 0.00-1.08-94, K.: 1998. – 422 p. (Ukr.)
2. GKD 34.09.151-94. View (working) power characteristics of the equipment and for determining the specific regulatory costs and fuel savings on utilities. Regulation. (Ukr.)
3. Instructions control technology of heat loss from the departing gases and efficiency of power units. PTP Ukrenergochermet. Kharkiv, 1986. (Ukr.)
4. Ecological and heat engineering tests of a boiler ZKTI-75/39F-2-4 (art. № 7-9) THH-1 JSC "MSW im. Ilyich". Technical Report. Mariupol, 2001. (Rus.)
5. Trembovlya V.I. Thermal testing of boiler installations / V.I. Trembovlya, E.D. Finger. –M.: Energoatomizdat, 1991. – 384 p. (Rus.)
6. Yankelevich V.I. Adjustment of the oil-gas industrial boilers / V.I. Yankelevich. – M. Energoatomizdat, 1988. – 216 p. (Rus.)

Рецензент: В.А.Маслов
д-р техн. наук, проф., ГВУЗ «ЛГТУ»

Статья поступила 24.04.2014