

СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИМИ ПОТОКАМИ В ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКОМ КОМПЛЕКСЕ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

Л.С. Казаринов, Т.А. Барбасова

ENERGY FLOW CONTROL SYSTEM IN HEAT AND POWER ENGINEERING SECTOR OF IRON AND STEEL ENTERPRISE

L.S. Kazarinov, T.A. Barbasova

Рассмотрены вопросы повышения эффективности использования энергетических ресурсов для обеспечения эффективного снабжения энергетическими ресурсами технологических потребителей, а также вопросы управления режимами технологического пароснабжения и потребления энергетических ресурсов.

Ключевые слова: энергетическая эффективность, теплоэнергетическая система.

Issues on the efficiency increase of energy resources use and effective power supply of the process load are considered in the article. Problems of steam supply and energy resources consumption mode control are discussed.

Keywords: energy efficiency, heat-and-power engineering system.

Введение

Одной из базовых задач развития общественного производства в настоящее время является повышение эффективности использования энергетических ресурсов (ЭР), которое обеспечивает не только снижение себестоимости продукции и рост ее конкурентоспособности, но и служит также основным фактором снижения экологической нагрузки на окружающую среду и, следовательно, обеспечения устойчивого развития.

На крупных промышленных предприятиях важную роль в повышении эффективности использования ЭР для обеспечения эффективного снабжения ресурсами технологических потребителей играют как управление режимами сложных сетей технологического пароснабжения, так и управление режимами потребления ЭР, в частности топливных газов.

1. Энергетические комплексы металлургических предприятий

Энергетические комплексы металлургических предприятий включают подсистемы выработки,

распределения, аккумулирования и потребления ЭР [1]. Режимы работы данных подсистем определяются режимами работы технологического производства основного металлургического производства и характеризуются существенными колебаниями в выработке и потреблении ЭР. Вместе с тем объемы потребления ЭР и утилизации вторичных энергоресурсов (ВЭР) напрямую определяют энергоемкость металлургического производства, а технические параметры ЭР – качество выпускаемой продукции. Отсюда важной практической задачей является организация эффективного управления энергетическими комплексами металлургических предприятий, учитывающего динамику процессов выработки, распределения, аккумулирования и потребления ЭР, а также влияние отклонений параметров ЭР на качество производимой продукции.

Ведущую роль в повышении эффективности энергетических комплексов металлургического производства, в частности, распределенных сетей паро- и водоснабжения, играют автоматизированные системы управления (АСУ). Базовым требо-

Казаринов Лев Сергеевич – д-р техн. наук, профессор, декан приборостроительного факультета, Южно-Уральский государственный университет; kazarinov@ait.susu.ac.ru

Барбасова Татьяна Александровна – канд. техн. наук, доцент кафедры автоматизации и управления, Южно-Уральский государственный университет; tatyana_barbasova@mail.ru

Kazarinov Lev Sergeevich – Doctor of Science (Engineering), Professor, Dean of Instrument-Making Faculty, South Ural State University; kazarinov@ait.susu.ac.ru

Barbasova Tatiana Alexandrovna – Candidate of Science (Engineering), Associate Professor of Automation and Control Department, South Ural State University; tatyana_barbasova@mail.ru

ванием к построению подобных систем является формирование текущей информации о технико-экономических параметрах технологических процессов. Перспективным подходом, позволяющим значительно повысить эффективность автоматизированного управления технологическими процессами по сравнению с существующим уровнем, является введение упреждающего управления по критериям энергетической эффективности и реализация на его основе соответствующих систем автоматизированного управления.

2. Оптимизация режимов энергетического комплекса металлургического предприятия

Рассмотрим задачу *оптимизации режимов энергетического комплекса металлургического предприятия*. Основными целями являются повышение эффективности использования топлива и утилизация ВЭР металлургического производства [2]. В качестве ВЭР могут выступать доменный газ, коксовый газ и другие виды ресурсов. Утилизация ВЭР на металлургических предприятиях дает значительный энергосберегающий эффект, так как позволяет экономить использование природного газа.

На рис. 1 приведена структура потребления доменного газа и потребления пара энергетического комплекса металлургического предприятия, состоящая из типовой структуры котельных, теплоэнергетических станций, основных технологических потребителей пара и источника доменного газа – доменного цеха.

Типовая структура теплоэнергетической станции состоит из блока параллельно работающих энергетических котлов, вырабатывающих пар на общий паровой коллектор, к которому подключены потребители пара – турбогенераторы. Типовая структура котельной состоит из блока параллельно работающих энергетических котлов, вырабатывающих пар на общий паровой коллектор для технологических потребителей.

На источники пара подаются природный газ и ВЭР – доменный, коксовый газы. ЭС – электрическая сеть. Кроме того, на схеме на паровом коллекторе представлена «свеча», через которую сбрасывается избыток выработанного пара. В «свече» на магистрали ВЭР происходит сжигание доменного газа.

В реальных условиях система пароснабжения промышленных предприятий характеризуется большими колебаниями производительности источников и большими колебаниями потребления пара.

Тем самым работа потребителей пара создает существенное ограничение на пароснабжение потребителей металлургического предприятия, так как резко переменные режимы пароснабжения приводят как к недогрузке энергетического оборудования и недовыработке электрической энергии, так и к недорасходу пара. Потери обусловлены выбросами пара на свечу.

Также на металлургическом производстве большое внимание уделяется снижению объема

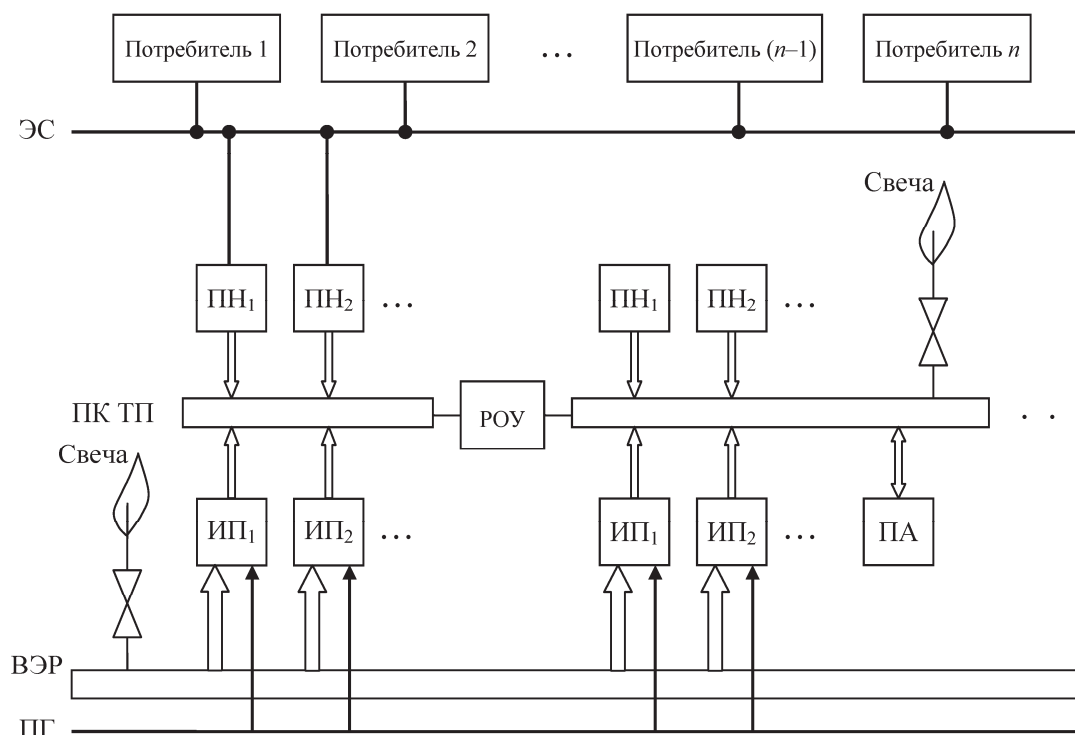


Рис. 1. Обобщенная структура энергетического комплекса промышленного предприятия:
 ПН – паровая нагрузка (потребители пара); ИП – источники пара; ПА – паровой аккумулятор;
 ПК ТП – паровой коллектор; РОУ – редукционно-охлаждающее устройство; ПГ – природный газ;
 ЭС – электрическая сеть

потребления топливных газов. Потребление топливных газов на металлургических предприятиях составляет существенную долю себестоимости производимой продукции. Среди топливных газов особо следует выделить доменный газ, так как он представляет собой ВЭР металлургического производства.

Полная утилизация доменного газа дает значительный энергосберегающий эффект, так как позволяет экономить строго лимитированный покупной ресурс – природный газ. Кроме указанного, утилизация доменного газа (устранение сжигания доменного газа в «свече») приведет к улучшению экологической составляющей производства и получению дополнительной прибыли от продажи квот на выбросы в соответствии с Киотским протоколом.

Общая задача повышения энергетической эффективности рассматриваемой системы может быть выполнена на основе решения следующих частных задач:

- оптимизация энергетического баланса;
- максимизация потребления доменного газа;
- минимизация потребления природного газа;
- оптимизация КПД отдельных энергетических объектов;
- оптимизация КПД электрических станций предприятия.

Рассмотрим задачу оптимизации энергетического баланса. Она состоит из двух подзадач: а) оптимизации распределения нагрузок турбогенераторов и б) оптимизации распределения нагрузок котлов.

3. Оптимизации распределения нагрузок турбогенераторов

Сначала рассмотрим подзадачу *оптимизации распределения нагрузок турбогенераторов*.

Упрощенная модель турбогенератора может быть получена из рассмотрения типовой энергетической характеристики турбогенератора (рис. 2).

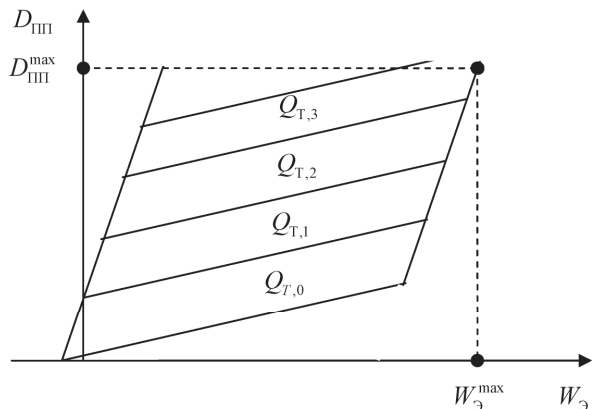


Рис. 2. Типовая энергетическая характеристика турбогенератора: $W_{Э}$ – вырабатываемая электрическая мощность; $Q_{T,i}$ – тепловая мощность; $D_{ПП}$ – потребление перегретого пара

Электрическая мощность и потребление перегретого пара турбогенератором ограничены максимальными значениями $W_{Э}^{max}$, $D_{ПП}^{max}$ соответственно.

Аналитически энергетические характеристики турбогенераторов могут быть описаны выражениями:

$$\left. \begin{aligned} D_{ПП,i}^{ТГ} &= a_{0,i} + a_{1,i}W_{Э,i} + a_{2,i}Q_{T,i} + \langle \text{поправки} \rangle; \\ D_{ПП,i}^{ТГ} &\geq b_{0,i} + b_{1,i}W_{Э,i} + b_{2,i}Q_{T,i} + \langle \text{поправки} \rangle; \\ W_{Э,i} &\leq W_{Э,i}^{max}, \quad D_{ПП,i}^{ТГ} \leq D_{ПП,i}^{ТГ,max}; \quad i = 1, 2, \dots \end{aligned} \right\} (1)$$

где $a_{j,i}$, $b_{j,i}$ – эмпирические коэффициенты зависимостей.

Поправки определяются на отклонения режимных параметров турбогенераторов от номинальных значений. Типовыми режимными параметрами турбогенераторов являются: температура и давление перегретого пара, давление пара в теплофикационном отборе, температура и разрежение в конденсаторе и др. Поправки, как правило, являются линейными относительно отклонений параметров в номинальном режиме.

Суммарные характеристики блока турбогенераторов:

$$\left. \begin{aligned} W_{Э,0} &= \sum_{i=1}^m W_{Э,i}; \\ Q_{T,0} &= \sum_{i=1}^m Q_{T,i}; \\ D_{ПП,0}^{ТГ} &= \sum_{i=1}^m D_{ПП,i}^{ТГ}. \end{aligned} \right\} (2)$$

В общем случае энергетические характеристики турбогенераторов являются нелинейными. Решение задачи в данном случае необходимо проводить на основе методов экспериментальной оптимизации, например, методом наискорейшего спуска. Относительно поправок на отклонения режимных параметров следует отметить, что в зависимости от знака коэффициентов влияния отклонений параметров на снижение объема потребления пара необходимо удерживать их значения на соответствующих границах допусков технологического регламента. Вследствие случайного характера технологического процесса задачи стабилизации режимных параметров вблизи указанных граничных значений представляют собой самостоятельные задачи построения соответствующих систем автоматического регулирования.

4. Оптимизация распределения нагрузок котлов

Рассмотрим далее следующую подзадачу общей задачи оптимизации энергетического баланса ТЭС: задачу *оптимизации распределения нагрузок котлов*.

На рис. 3 представлена типовая энергетическая характеристика котла при сжигании смеси природного и доменного газа.

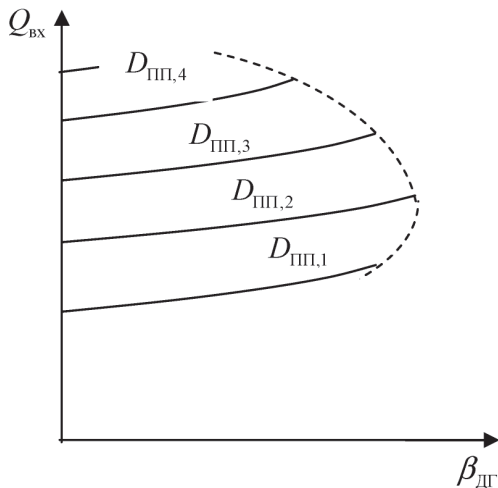


Рис. 3. Энергетическая характеристика котла при сжигании смеси природного и доменного газа: $Q_{вх}$ – количество тепловой энергии, поступающей в котел с топливом; $\beta_{ДГ}$ – доля доменного газа в топливной смеси с природным газом: $\beta_{ДГ} = B_{ДГ}/B_{ПГ}$; $D_{ПП}$ – паровая нагрузка котла

Аналитическое выражение энергетической характеристики котла имеет вид

$$Q_{вх,i} = a_{0,i} + a_{1,i}D_{ПП,i} + a_{2,i}\beta_{ДГ,i} + a_{3,i}D_{ПП,i}^2 + a_{4,i}\beta_{ДГ,i}D_{ПП,i} + \langle \text{поправки} \rangle;$$

$$\beta_{ДГ,i} \leq \begin{cases} \beta_{ДГ,i}^{\max} + b_{1,i} (Q_{вх,i} - Q_{m,i})^2, & \text{при } Q_{вх,i} - Q_{m,i} \geq 0, \\ \beta_{ДГ,i}^{\max} + b_{2,i} (Q_{вх,i} - Q_{m,i})^2, & \text{при } Q_{вх,i} - Q_{m,i} < 0; \end{cases} \quad (3)$$

$$D_{ПП,i} \leq D_{ПП,i}^{\max}; \quad i = 1, 2, \dots$$

где $\beta_{ДГ,i}^{\max}$ – максимальное значение параметра $\beta_{ДГ,i}$; $Q_{m,i}$ – значение $Q_{вх,i}$ при максимальном

значении долевого потребления доменного газа $\beta_{ДГ,i}$; $a_{j,i}$, $b_{j,i}$ – эмпирические коэффициенты.

Суммарные характеристики блока котлов:

$$D_{ПП,0} = \sum_{i=1}^n D_{ПП,i}; \quad Q_{вх,0} = \sum_{i=1}^m Q_{вх,i}; \quad (4)$$

$$B_{ПГ,0} = \sum_{i=1}^m B_{ПГ,i}.$$

Принимая во внимание соотношение

$$Q_{вх,i} = B_{ПГ,i}Q_{н}^{ПГ} + B_{ДГ,i}Q_{н}^{ДГ} = B_{ПГ,i} (Q_{н}^{ПГ} + \beta_{ДГ,i}Q_{н}^{ДГ}), \quad (5)$$

где $B_{ПГ,i}$, $B_{ДГ,i}$, $Q_{н}^{ПГ}$, $Q_{н}^{ДГ}$ – расходы и калорийности газов соответственно, можно поставить задачу минимизации суммарного потребления природного газа $B_{ПГ,0}$ по величинам нагрузки котлов $D_{ПП,i}$ и долевого потребления доменного газа $\beta_{ДГ,i}$ при ограничениях в виде уравнений связи (3), (4).

На рис. 4 и 5 представлены диаграммы работы котлов типа ТП-200 и «Ганомэг» центральной электростанции (ЦЭС) ОАО «ММК». Для котла № 7 (рис. 4) при снижении паропроизводительности с 220 до 175 т/ч возможно увеличить потребление доменного газа на 40 тыс. м³/ч. Для котла № 1 (рис. 5) зависимость потребления доменного газа от паропроизводительности выражена незначительно. Компенсировать паропроизводительность, сниженную за счет регулирования режимов котла № 7, целесообразно котлами со слабо выраженными регулировочными характеристиками (котел № 1).

Представленные диаграммы, составленные для совместного сжигания природного и доменного газов, позволяют рассмотреть возможность увеличения потребления доменного газа и уменьшения сжигания газов на «свече», с одной стороны, и уменьшения выбросов пара, с другой стороны.

На рис. 6 приведена обобщенная зависимость выработки пара от потребления доменного газа на станции и зависимость выработки па-

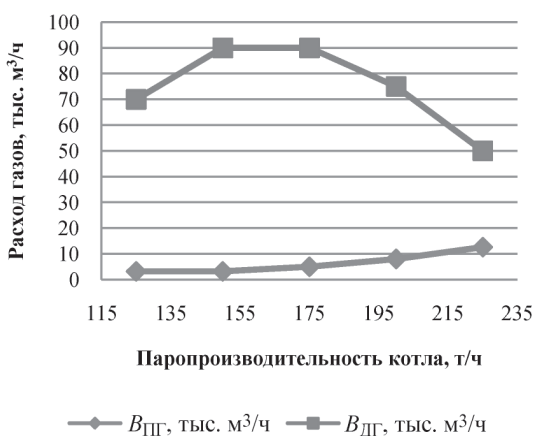


Рис. 4. Диаграмма работы котла № 7 ТП-200 ЦЭС ОАО «ММК» при совместном сжигании природного и доменного газов

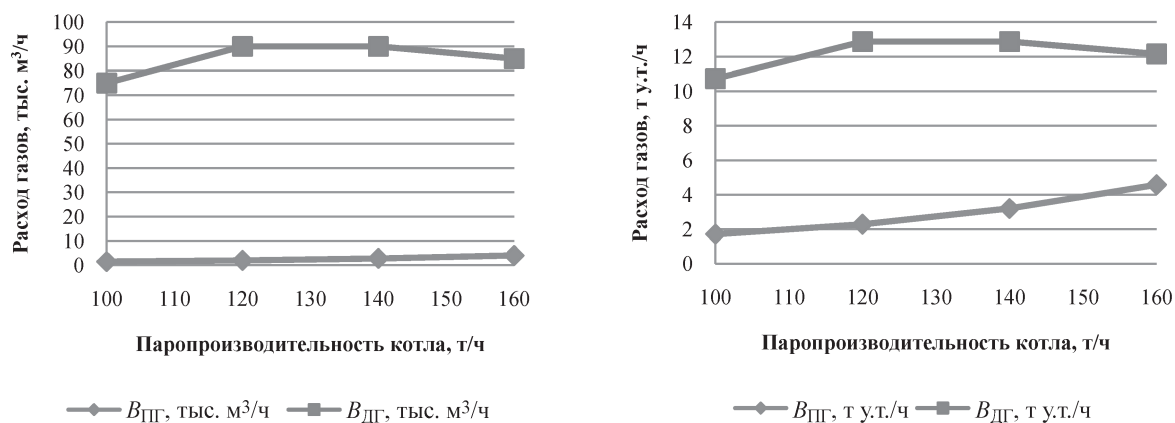


Рис. 5. Диаграмма работы котла № 1 «Ганомаг» ЦЭС ОАО «ММК» при совместном сжигании природного и доменного газов

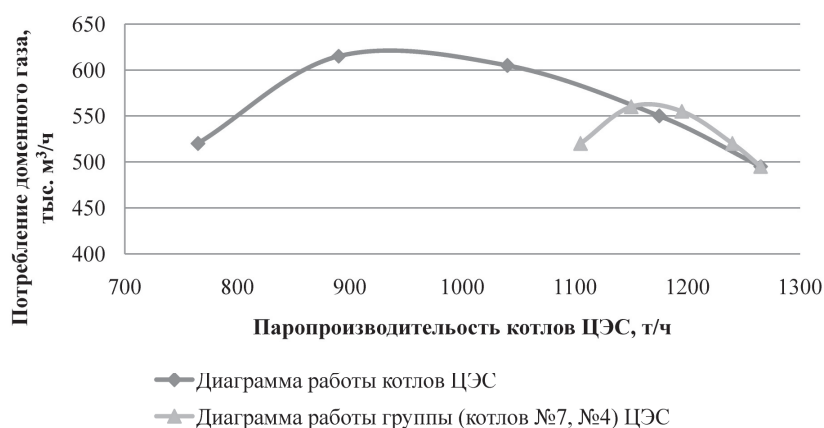


Рис. 6. Диаграммы работы котлов ЦЭС

ра от потребления доменного газа блоком котлов № 7 и № 4.

В результате решения рассмотренной задачи потребление доменного газа блоком котлов № 7 и № 4 возможно увеличить на 65 тыс. м³/ч, что приводит к уменьшению потребления природного газа на 14 тыс. м³/ч.

Заключение

В результате внедрения системы управления энергетическими потоками в теплоэнергетическом комплексе металлургического предприятия возможно получить значительную экономию потребления природного газа путем перераспределения

потребления доменного газа, выработки пара энергетическими агрегатами.

Литература

1. Никифоров, Г.В. *Энергосбережение и управление энергопотреблением в металлургическом производстве* / Г.В. Никифоров, В.К. Олейников, Б.И. Заславец. – М.: Энергоатомиздат, 2003. – 480 с.
2. *Автоматизированные системы управления в энергосбережении (опыт разработки): моногр.* / Л.С. Казаринов, Д.А. Шнайдер, О.В. Колесникова и др.; под ред. Л.С. Казаринова. – Челябинск: Издат. центр ЮУрГУ: Издатель Т. Лурье, 2010. – 228 с.: ил.

Поступила в редакцию 29 мая 2012 г.