

СИСТЕМА ДИСПЕТЧЕРИЗАЦИИ И ОПЕРАТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИМИ ПОТОКАМИ В ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКОМ КОМПЛЕКСЕ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

Л.С. Казаринов, Т.А. Барбасова

В статье рассмотрены вопросы оптимизации и оперативного управления теплоэнергетическим комплексом металлургического предприятия по критериям эффективности снабжения энергетическими ресурсами технологических потребителей. Рассмотрены вопросы оптимизации теплоэлектрических станций и управление режимами пароснабжения технологических потребителей.

Ключевые слова: энергетическая эффективность, теплоэнергетическая система.

Введение

Теплоэнергетические комплексы металлургических предприятий представляют собой сложную энергетическую систему, включающую электрические станции, технологические паровые сети, котельные и технологических потребителей. Особенностью данного комплекса является то, что технологические потребители металлургического производства представляют собой мощную нагрузку, работающую в резко переменных режимах. В этих условиях все подсистемы технологического комплекса оказываются связанными между собой в единую динамическую систему, наладка и регулирование режимов которой должны производиться с учетом динамики взаимодействия подсистем.

Данная задача в настоящее время решена недостаточно. В работе предлагается решение указанной задачи с использованием многоуровневого подхода к оптимизации и к управлению режимами.

1. Структура теплоэнергетических комплексов металлургических предприятий

Энергетические комплексы металлургических предприятий включают подсистемы выработки, распределения, аккумулирования и потребления энергетических ресурсов (ЭР) [1]. Режимы работы данных подсистем определяются режимами работы технологического оборудования 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 требованием 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.

На рис. 1 и 2 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.

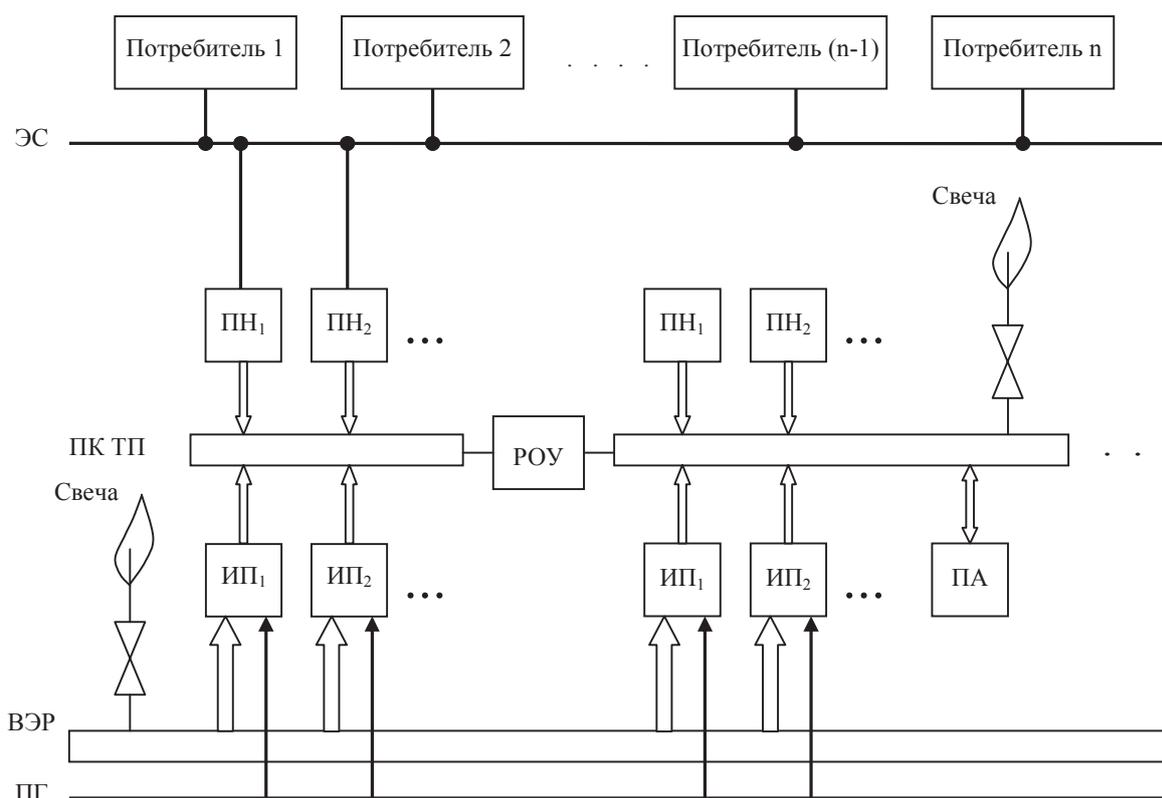


Рис. 1. Обобщенная структура энергетического комплекса промышленного предприятия

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 рис. 1 ПН – паровая нагрузка (потребители пара), ИП – источники пара, ПА – паровой аккумулятор, ПК ТП – паровой коллектор, РОУ – редукционно-охлаждающее устройство. На источники пара подаются природный ПГ и вторичные энергетические ресурсы (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 вторичных энергетических ресурсов 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 недорасходу пара. Потери обусловлены выбросами пара на «свечу».

Рассмотрим задачу *оптимизации режимов энергетического комплекса металлургического предприятия*. Основными целями являются повышение эффективности использования топлива, утилизация вторичных энергетических ресурсов (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.

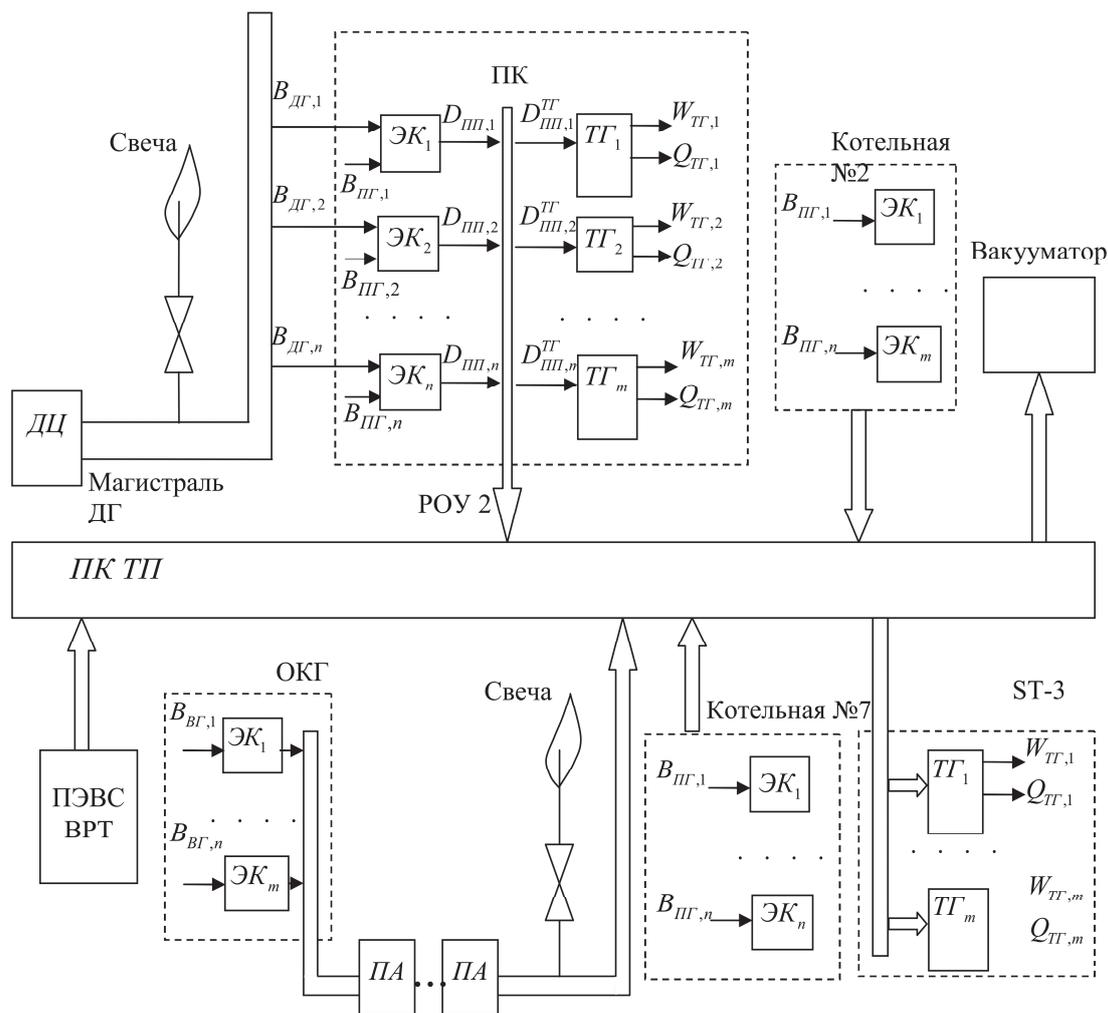


Рис. 2. Организационная структура энергетического комплекса промышленного предприятия: $ЭК_m$ – котел теплоэнергетического комплекса, $ТГ_m$ – турбогенератор, $W_{ТГ,m}$ – выработка электрической энергии, $Q_{ТГ,m}$ – тепловая энергия, $B_{ПГ,n}$ – объем потребления природного газа, $B_{ВГ,n}$ – объем потребления вторичных топливных газов, $B_{ДГ,n}$ – объем потребления доменного газа, $D_{ПП,n}$ – выработка пара котлоагрегатами

2. Оптимизации распределения нагрузок турбогенераторов

Сначала рассмотрим подзадачу *оптимизации распределения нагрузок турбогенераторов*.

Упрощенная модель турбогенератора может быть получена из рассмотрения типовой энергетической характеристики турбогенератора (рис. 3).

Аналитически энергетические характеристики турбогенераторов могут быть описаны выражениями:

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

Здесь a_{ji} , b_{ji} – 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.

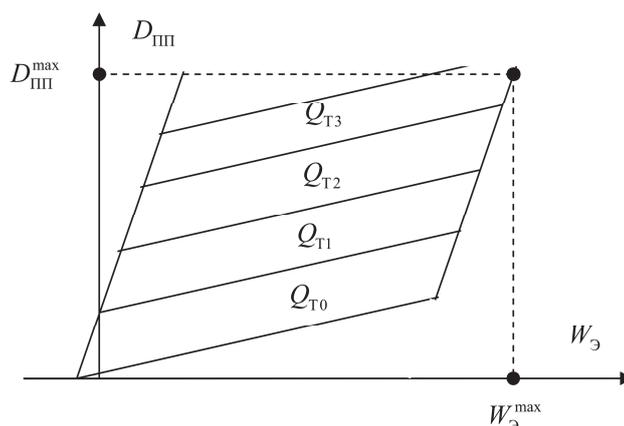


Рис. 3. Типовая энергетическая характеристика турбогенератора:
 $W_{\mathcal{E}}$ – вырабатываемая электрическая мощность, Q_{Ti} – тепловая мощность,
 $D_{\text{ПП}}$ – потребление перегретого пара. Электрическая мощность и потребление
 перегретого пара турбогенератором ограничены величинами $W_{\mathcal{E}}^{\max}$, $D_{\text{ПП}}^{\max}$
 соответственно

Суммарные характеристики блока турбогенераторов:

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

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.

3. Оптимизации распределения нагрузок котлов

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

На рис. 4 представлена типовая энергетическая характеристика котла при сжигании смеси природного и доменного газа.

Аналитическое выражение энергетической характеристики котла имеет вид

$$\left. \begin{aligned} Q_{\text{вх},i} &= a_{0,i} + a_{1,i} D_{\text{ПП},i} + a_{2,i} \beta_{\text{ДГ},i} + a_{3,i} D_{\text{ПП},i}^2 + a_{4,i} \beta_{\text{ДГ},i} D_{\text{ПП},i} + \langle \text{поправки} \rangle; \\ \beta_{\text{ДГ},i} &\leq \begin{cases} \beta_{\text{ДГ},i}^{\max} + b_{1,i} (Q_{\text{вх},i} - Q_{m,i})^2, & \text{при } Q_{\text{вх},i} - Q_{m,i} \geq 0, \\ \beta_{\text{ДГ},i}^{\max} + b_{2,i} (Q_{\text{вх},i} - Q_{m,i})^2, & \text{при } Q_{\text{вх},i} - Q_{m,i} < 0; \end{cases} \\ D_{\text{ПП},i} &\leq D_{\text{ПП},i}^{\max}; \quad i=1, 2, \dots \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

Здесь $\beta_{\text{ДГ},i}^{\max}$ – максимальное значение параметра $\beta_{\text{ДГ},i}$; $Q_{m,i}$ – значение $Q_{\text{вх},i}$ при максимальном значении долевого потребления доменного газа $\beta_{\text{ДГ},i}$; a_{ji} , b_{ji} – эмпирические коэффициенты.

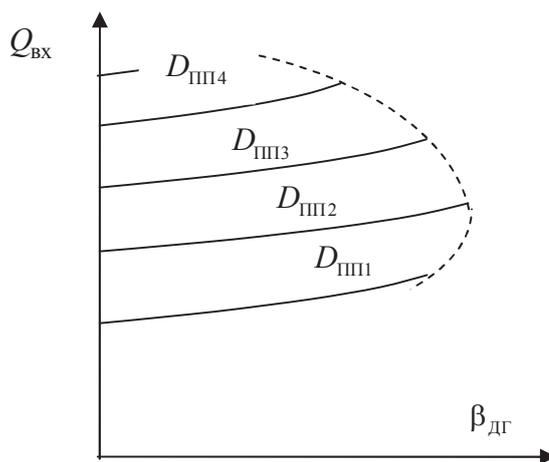


Рис. 4. Энергетическая характеристика котла при сжигании смеси природного и доменного газа: $Q_{ВХ}$ – количество тепловой энергии, поступающей в котел с топливом; $\beta_{ДГ}$ – доля доменного газа в топливной смеси с природным газом;
 $\beta_{ДГ} = B_{ДГ} / B_{ПГ}$; $D_{ПП}$ – паровая нагрузка котла

Суммарные характеристики блока котлов:

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

Принимая во внимание соотношения

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

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).

4. Оценка экономической эффективности от внедрения системы оперативного управления режимами работы энергетических объектов

Также на металлургическом производстве большое внимание уделяется снижению объема потребления покупных топливно-энергетических ресурсов и увеличению потребления вторичных энергетических ресурсов. 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 вторичные энергетические ресурсы (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 энергетического комплекса металлургического предприятия может быть выполнена на основе решения следующих частных задач [3–6]:

- максимизации потребления выработанного доменного газа – уменьшение выброса на «свечу»;
- минимизации потребления покупного, лимитированного природного газа;

– уменьшения выбросов пара на «свечу» за счет оптимизации энергетического баланса, оптимизации распределения нагрузок турбогенераторов, оптимизации распределения нагрузок котлов, оптимизации КПД отдельных энергетических объектов, оптимизации КПД электрических станций предприятия.

Одной из задач оперативного управления энергетическим комплексом предприятия является регулирование режимов работы котлов при решении задачи оптимизации потребления доменного газа и оптимизации выработки пара.

На рис. 5 и 6 представлены диаграммы работы котлов типа ТП-200 и Ганомаг. Для котла № 7 (рис. 5) при снижении паропроизводительности с 220 до 175 т/ч возможно увеличить потребление доменного газа на 40 тыс. м³ в час. Для котла № 1 (рис. 6) 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 (рис. 5–9), 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.

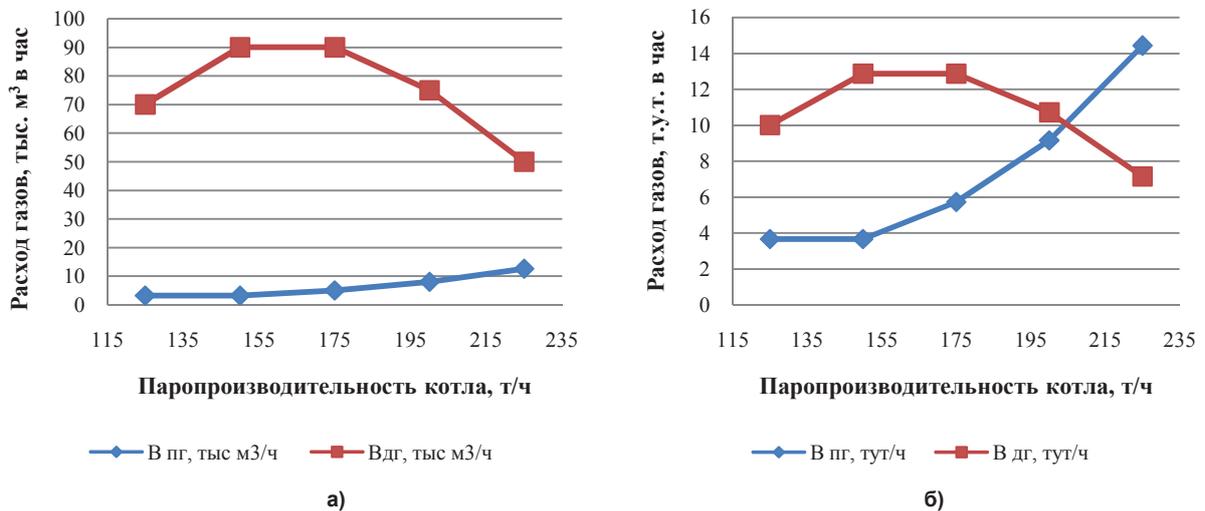


Рис. 5. Диаграммы работы котла №7 ТП-200 при совместном сжигании природного и доменного газов: а) расход измеряется в натуральном выражении, б) в тоннах условного топлива в час

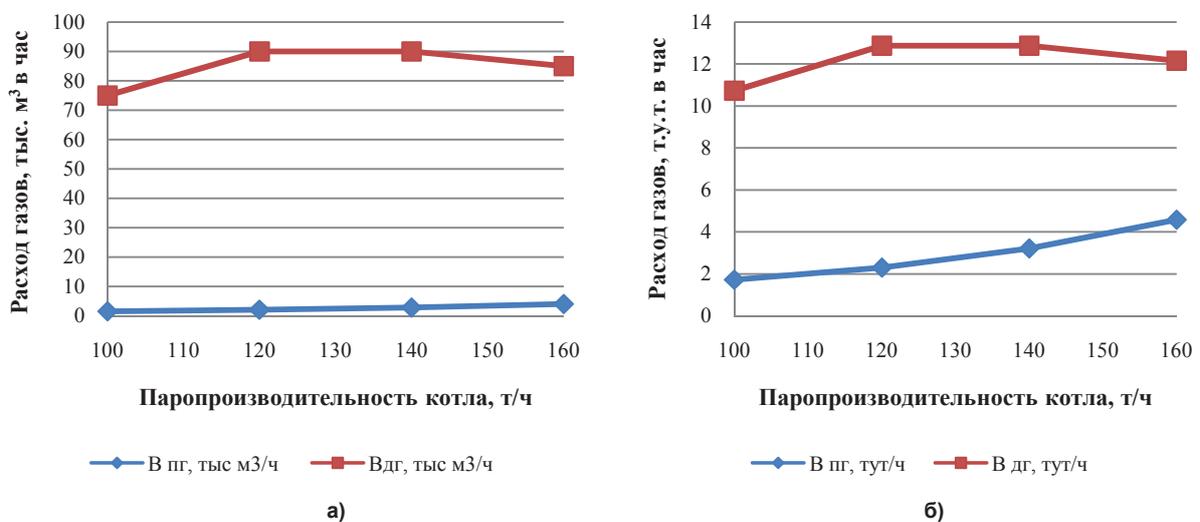


Рис. 6. Диаграммы работы котла № 1 «Ганомаг» при совместном сжигании природного и доменного газов: а) расход измеряется в натуральном выражении, б) в тоннах условного топлива в час

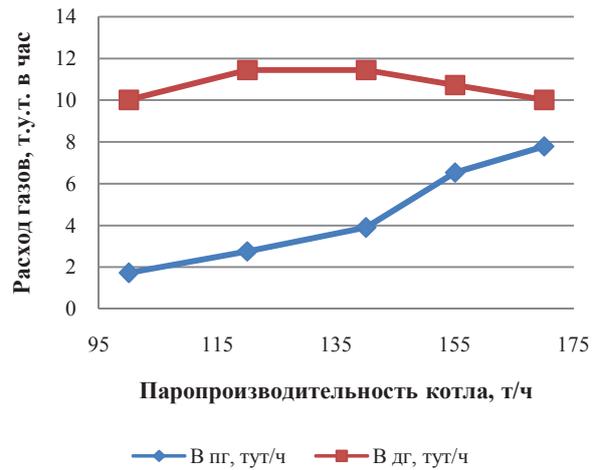
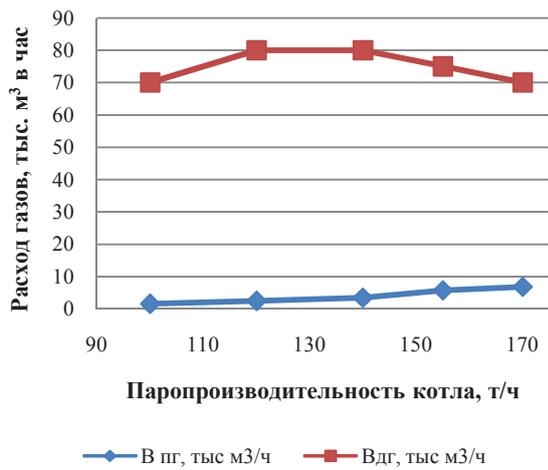


Рис. 7. Диаграммы работы котла №3 «Ганомэг» при совместном сжигании природного и доменного газов: а) расход измеряется в натуральном выражении, б) в тоннах условного топлива в час

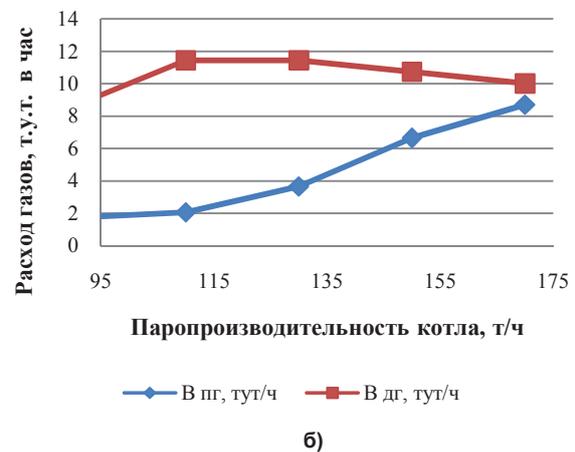
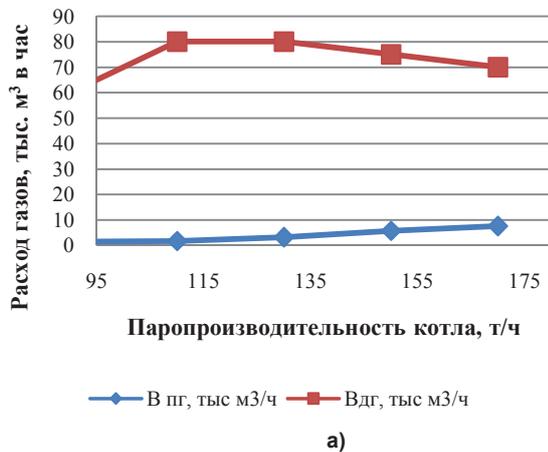


Рис. 8. Диаграммы работы котла №5 «Ганомэг» при совместном сжигании природного и доменного газов: а) расход измеряется в натуральном выражении, б) в тоннах условного топлива в час

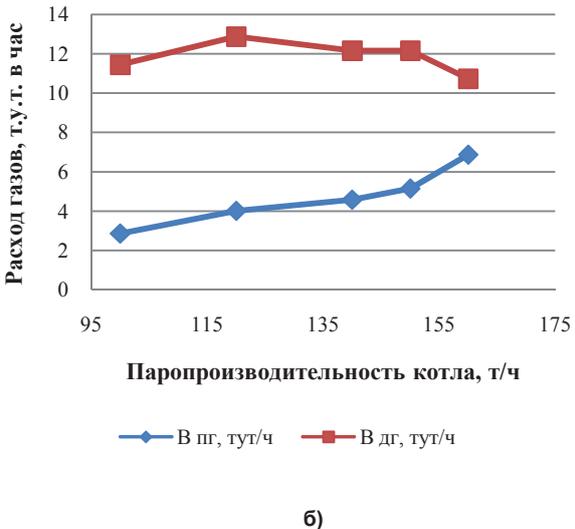
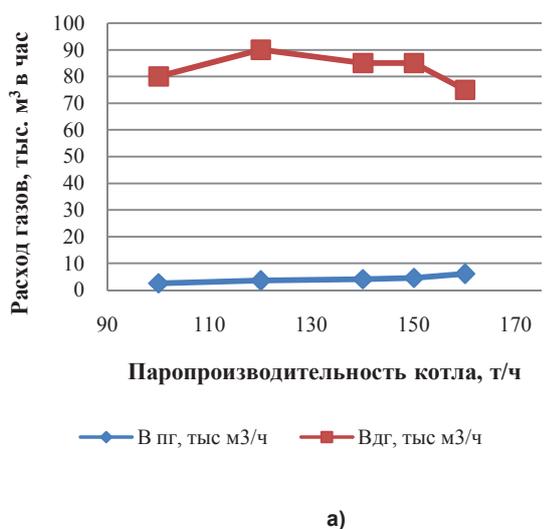


Рис. 9. Диаграммы работы котла №2 «Ганомэг» при совместном сжигании природного и доменного газов: а) расход измеряется в натуральном выражении, б) в тоннах условного топлива в час

На рис. 10 приведена обобщенная зависимость выработки пара от потребления доменного газа котлами на станции и зависимость выработки пара от потребления доменного газа только блоком из двух котлов: № 7 и № 4.

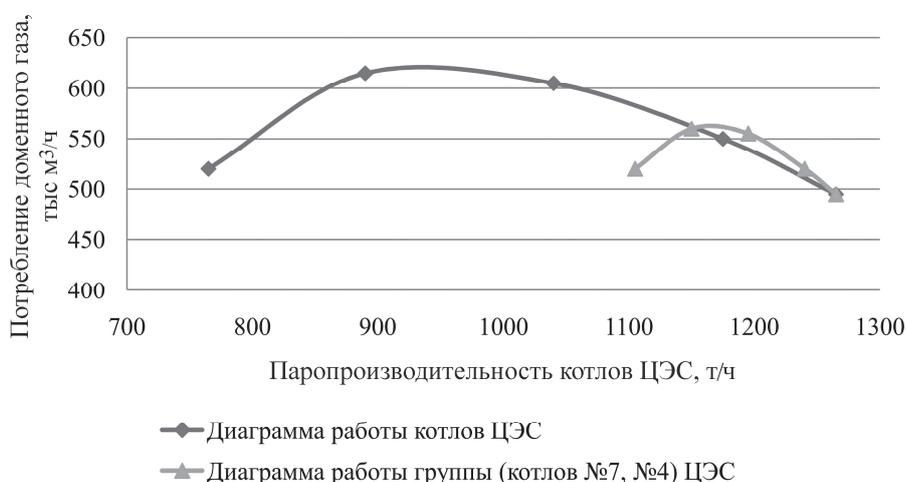


Рис. 10. Диаграммы работы котлов станции

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/час.

5. Задача моделирования теплотехнических паровых сетей

Для системы диспетчеризации и оперативного управления энергетическими потоками в теплоэнергетическом комплексе металлургического предприятия необходимо осуществлять расчет и моделирование распределенных инженерных сетей водо- и пароснабжения [7–9].

Инженерные системы пароснабжения металлургических предприятий представляют собой сложные производственные комплексы, включающие системы потребления, выработки, аккумуляции и перераспределения пара, работа которых нацелена на обеспечение качества выпускаемой продукции. Поэтому основной задачей повышения энергетической эффективности металлургического предприятия является внедрение системы оперативного управления инженерными системами металлургического предприятия.

Паровые сети крупного промышленного предприятия имеют большую протяженность, большое количество потребителей с различными потребительскими характеристиками и аккумуляционными способностями, что приводит к усложнению расчета динамических режимов в подобных сетях.

При расчете парирующих потоков сети необходимо использовать ориентированные макро-модели сети. Чрезмерная детализация параметров сетей обуславливает высокую стоимость и трудоемкость их обследования и идентификации теплотехнических параметров. Принимая во внимание, что сети металлургических предприятий являются весьма протяженными (суммарная длина до 300 км) и питают большое количество потребителей (более 1000), построение точных гидравлических моделей подобных сетей представляет собой чрезвычайно сложную и трудоемкую задачу. Поэтому в данной работе предлагается упрощенная методика построения ориентированной динамической макро-модели сети, предназначенной для решения задач оперативного управления.

Заключение

Для решения задач оперативного управления энергетическим комплексом металлургического предприятия необходимо комплексно решать проблемы максимизации потребления выработанного доменного газа; минимизации потребления покупного, лимитированного природного газа; оптимизации энергетического баланса; оптимизации распределения нагрузок турбогенера-

торов; оптимизации распределения нагрузок котлов; оптимизации КПД отдельных энергетических объектов; оптимизации КПД электрических станций предприятия [3–6, 10–14].

В результате внедрения системы оперативного управления энергетическими потоками в теплоэнергетическом комплексе металлургического предприятия возможно получить значительную экономию потребления природного газа, снизить путем перераспределения потребление доменного газа, выработку 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. Зингер, Н.М. Гидравлические и тепловые режимы теплофикационных систем / Н.М. Зингер. – 2-е изд., перераб. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 320 с.
3. Казаринов, Л.С. Упреждающее управление энергетической эффективностью предприятий / Л.С. Казаринов, Т.А. Барбасова // Вестник ЮУрГУ. Серия «Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника». – 2012. – № 35 (294). – С. 85–98.
4. Барбасова, Т.А. Введение системы энергетического менеджмента предприятий для повышения энергетической эффективности Челябинской области / Т.А. Барбасова, А.А. Захарова // Экономика промышленности. – 2012. – № 3. – С. 42–46.
5. Казаринов, Л.С. Автоматизированная информационная система поддержки принятия решений по контролю и планированию потребления энергетических ресурсов / Л.С. Казаринов, Т.А. Барбасова, А.А. Захарова // Вестник ЮУрГУ. Серия «Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника». – 2012. – № 23. – С. 118–122.
6. Казаринов, Л.С. Система управления энергетическими потоками в теплоэнергетическом комплексе металлургического предприятия / Л.С. Казаринов, Т.А. Барбасова // Вестник ЮУрГУ. Серия «Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника». – 2012. – № 23. – С. 21–25.
7. Автоматизированные системы управления в энергосбережении (опыт разработки): монография / 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.
8. Казаринов, Л.С. Введение в методологию системных исследований и управления: монография / Л.С. Казаринов. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ: Издатель Т. Лурье, 2008. – 344 с.
9. Попова, О.В. Подход к расчету сложных паровых сетей с учетом динамики аккумулирования пара / О.В. Попова, Л.С. Казаринов // Вестник ЮУрГУ. Серия «Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника». – 2006. – Вып. 4. – № 14 (69). – С. 78–83.
10. Бахвалов, Н.С. Численные методы (анализ, алгебра, обыкновенные дифференциальные уравнения) / Н.С. Бахвалов. – М.: Главная редакция физико-математической литературы изд-ва «Наука», 1973. – 631 с.
11. Барбасова, Т.А. Пути повышения энергетической эффективности Челябинской области / Т.А. Барбасова, А.А. Захарова // Инновационный Вестник Регион. – 2012. – № 2. – С. 69–75.
12. Автоматизация регулирования режимов пароструйного компрессора с применением SCADA-системы TRACE MODE и теории нечетких множеств / Т.А. Барбасова, Д.А. Шнайдер, Ю.Б. Евчина, П.Н. Дивнич // Автоматизация и современные технологии. – 2010. – № 1. – С. 3–7.
13. Барбасова, Т.А. Определение достижимых коэффициентов инжекции и степени сжатия струйного парового компрессора / Т.А. Барбасова, П.Н. Дивнич // Вестник ЮУрГУ. Серия «Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника». – 2007. – Вып. 5. – № 7(79). – С. 3–4.
14. Построение расчетных характеристик пароструйного эжектора для оптимизации работы конденсационной установки ТЭЦ / Т.А. Барбасова, И.Е. Вахромеев, П.Н. Дивнич, Д.А. Шнайдер // Вестник ЮУрГУ. Серия «Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника». – 2007. – Вып. 6. – № 23(95). – С. 63.

Казаринов Лев Сергеевич, д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой автоматизации и управления Южно-Уральский государственный университет (г. Челябинск), kazarinov@ait.susu.ru

Барбасова Татьяна Александровна, канд. техн. наук, доцент кафедры автоматизации и управления, Южно-Уральский государственный университет (г. Челябинск), tatyana_barbasova@mail.ru

ON-LINE CONTROL OF ENERGY FLOWS IN HEAT AND GAS SUPPLY NETWORKS IN METALLURGICAL ENTERPRISE

L.S. Kazarinov, South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation,
kazarinov@ait.susu.ru

T.A. Barbasova, South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation,
tatyana_barbasova@mail.ru

Optimization of energy supply effectiveness and operational management of a heat power complex of the metallurgical enterprise is considered. Heatpower plants optimization and technological steam supply modes are given.

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

References

1. Nikiforov G.V., Olejnikov V.K., Zaslavec B.I. *Jenergoberezhenie i upravlenie jenergopotrebleniem v metallurgicheskom proizvodstve* [Energy Saving and Energy Management in Metallurgical Production] / G.V. Nikiforov, V.K. Olejnikov, B.I. Zaslavec. Moscow, Jenergoatomizdat, 2003, 480 p.
2. Zinger N.M. *Gidravlicheskie i teplovyje rezhimy teplofikacionnyh system* [Hydraulic and Thermal Modes of Heating Systems], Moscow, Jenergoatomizdat, 1986, 320 p.
3. Kazarinov L.S., Barbasova T.A. Energy efficiency anticipatory control of an enterprise [Uprezhdayushcheye upravleniye energeticheskoy effektivnost yupredpriyatij] *Vestnik Yuzhno-Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya «Komp'yuternyye tekhnologii, upravleniye, radioelektronika»*. [The Bulletin of the South-Ural State University. Series «Computer Technology, Control, Electronics»], 2012, no. 35 (294), pp. 85–98.
4. Barbasova T.A., Zakharova A.A. The Introduction of an Energy Management System at the Metallurgical Enterprises of the Chelyabinsk Region in order to Increase Energy Efficiency in the Region [Vnedreniye sistemy energeticheskogo menedzhmenta na metallurgicheskikh predpriyatiyakh Chelyabinskoy oblasti v tselyakh povysheniya energeticheskoy effektivnosti regiona] // *Ekonomikapromyshlennosti [Industrial Economics]*, 2012, № 3, pp. 42–46.
5. Kazarinov L.S., Barbasova T.A., Zakharova A.A. Automated Information Decision Support System on Control and Planning Energy Resources Usage [Avtomatizirovannaya informatsionnaya sistema podderzhki prinyatiya resheniy po kontrolyu i planirovaniyu potrebleniya energeticheskikh resursov] *Vestnik Yuzhno-Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya «Komp'yuternyye tekhnologii, upravleniye, radioelektronika»*. [The Bulletin of the South-Ural State University. Series «Computer Technology, Control, Electronics»]. 2012, № 23, pp. 118–122.
6. Kazarinov L.S., Barbasova T.A. Energy Flow Control System in Heat and Power Engineering Sector of Iron and Steel Enterprise [Sistema upravleniya energeticheskimi potokami v teploenergeticheskom komplekse metallurgicheskogo predpriyatiya] *Vestnik Yuzhno-Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya «Komp'yuternyye tekhnologii, upravleniye, radioelektronika»*. [The Bulletin of the South-Ural State University. Series «Computer Technology, Control, Electronics»], 2012, no. 23, pp. 21–25.
7. Kazarinov L.S. *Avtomatizirovannyye system upravleniya v energoberezhonii (opyt razrabotki): monografiya* [Automated Control Systems in Energy Saving (Development Experience)] / L.S. Kazarinov, D.A. Shnyder, T.A. Barbasova and others. Chelyabinsk: Publisher SUSU, 2010. 228 p.

8. Kazarinov L.S. *Vvedeniye v metodologiyu sistemnykh issledovaniy upravleniya: monografiya* [Introduction to the Methodology of Systems Research and Management: Study]. Chelyabinsk: Publisher SUSU, 2008. 344 p.

9. Popova O.V., Kazarinov L.S. Approach to Calculation of Difficult Steam Networks Taking into Account Dynamics of Accumulation of Steam [Podhod k raschetu slozhnykh parovykh setej s uchetom dinamiki akumulirovaniya para] *Vestnik Yuzhno-Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya «Komp'yuternyye tekhnologii, upravleniye, radioelektronika»*. [The Bulletin of the South-Ural State University. Series «Computer Technology, Control, Electronics»]. 2006, no. 4, № 14 (69), pp. 78–83.

10. Bahvalov, N.S. *Chislennyye metody (analiz, algebra, obyknovenny edifferencial'nye uravneniya)* [Numerical Methods (Analysis, Algebra, Ordinary Differential Equations), Moscow, 1973, 631 p.

11. Barbasova T.A., Zakharova A.A. Ways to Increase the Energy Efficiency of the Chelyabinsk Region [Puti povysheniya energeticheskoy effektivnosti Chelyabinskoy oblasti] // *Innovatsionnyy Vestnik Region [Innovation Herald Region]*, 2012, № 2, pp. 69–75.

12. Barbasova T.A., Divnich P.N., Evchina Ju.B., Shnayder D.A. Automation of the Steam-Jet Compressor Regimes Adjustment With Application of the SCADA-System TRACE MODE and Indistinct Multitude Theory [Avtomatizacii regulirovaniya rezhimov parostrujnogo kompressora s primeneniem SCADA-sistemy TRACE MODE I teorii nechetkih mnozhestv] *Avtomatizacijaisovremennyyetekhnologii [Automation and modern technologies]*, Moscow, Publisher: «Mashinostroenie», no. 1, 2010, pp. 3–7.

13. Barbasova T.A., Divnich P.N. Determination of Achievable Coefficients of Injection and Compression Ratio of the Jet Steam Compressor [Opredelenie dostizhimykh koefitsientov inzhekcii stepeni szhatija strujnogo parovogo kompressora] *Vestnik Yuzhno-Ural'skog ogosudarstvennogo universiteta. Seriya «Komp'yuternyye tekhnologii, upravleniye, radioelektronika»*. [The Bulletin of the South-Ural State University. Series «Computer Technology, Control, Electronics»]. 2007, no. 5, № 7(79), pp. 3–4.

14. Barbasova T.A., Vahromeev I.E., Divnich P.N., Shnayder D.A. Building a Steam Jet Ejector Design Parameters to Optimize the Condensing Unit of CHP [Postroenie raschetnykh harakteristik parostrujnogo jezhektora dlja optimizacii raboty kondensacionnoj ustanovki TJeC] *VestnikYuzhno-Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya «Komp'yuternyye tekhnologii, upravleniye, radioelektronika»*. [The Bulletin of the South-Ural State University. Series «Computer Technology, Control, Electronics»], 2007, no. 6, № 23(95), pp. 63–63.

Поступила в редакцию 15 марта 2013 г.