

Яков Гордон, Валентин Колодяжный, Вадим Малкин, Владислав Советкин,
Фридрих Шкляр, Юрий Ярошенко

Уральский политехнический институт, СССР

АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ УПРАВЛЕНИЕ БЛОКОМ РЕГЕНЕРАТИВНЫХ ВОЗДУХОНАГРЕВАТЕЛЕЙ ДОМЕННЫХ ПЕЧЕЙ

Резюме. В докладе представлены результаты создания автоматизированной системы управления блоком воздухонагревателей доменной печи. Ее основой является подсистема управления расходом газа, реализующая супервизорное управление буферным режимом потребления топлива воздухонагревателями. В системе использовано оригинальное алгоритмическое и программное обеспечение. Промышленная эксплуатация системы обеспечила экономию топливных и энергетических ресурсов при стабильном нагреве дутья до технологически заданных параметров.

I. Введение.

Воздухонагреватели доменных печей являются мощными теплообменными аппаратами, работающими в циклическом режиме со сменой периодов нагрева насадки и периодов нагрева доменного дутья. Дискретное переключение воздухонагревателей обеспечивает реализацию регенеративного принципа теплообмена, а также их работу в блоке из нескольких аппаратов. Потребление ими топливных и энергетических ресурсов составляет значительную долю затрат на эксплуатацию комплекса доменной печи, а выполнение требований к нагреву дутья влияет на эффективность процесса производства чугуна. Оптимальная работа блока воздухонагревателей может быть достигнута только на основе автоматизированного управления процессом нагрева и подачи дутья в доменную печь. Такое управление должно обеспечить выполнение требований технолога при минимизации расходов топлива и энергии и при рациональном использовании резервов тепловой мощности каждого из воздухонагревателей блока. Основные затраты на нагрев дутья связаны с потребляемым топливом, в качестве которого используется доменный газ. В комплексе доменной печи или нескольких печей это топливо используется нерационально и часть его теряется. Поэтому одной из важных задач автоматизированного управления воздухонагревателями является снижение потерь доменного газа на основе реализации буферного режима потребления топлива блоком аппаратов для нагрева дутья.

2. Буферный режим потребления газа

Доменная печь является производителем доменного газа. От 30 до 50% этого газа потребляют воздухонагреватели. Давление доменного газа в сети изменяется в зависимости от соотношения между его выработкой в печи и потреблением. Если газа вырабатывается больше, чем потребляется, то его избыточное количество, которое достигает от 0,8 до 3% от выработки печи, сжигают на свечах. Это приводит к потерям газа и загрязнению окружающей среды. Количество нерационально сжигаемого газа не постоянно, и зависит от соотношения между его выработкой доменными печами и потреблением воздухонагревателями и другими тепловыми агрегатами. Если выработка газа меньше потребления, то снижается его давление в сети и ухудшается работа потребителей топлива. Причем, сами потребители являются дополнительными источниками колебания давления газа в сети из-за периодических включений или отключений. К ним в первую очередь относятся доменные воздухонагреватели, имеющие технологические паузы при переключениях с нагрева на дутье, или наоборот. Длительность таких колебаний давления доменного газа достигает 1,1% от общего времени работы его потребителей. Современные воздухонагреватели работают с постоянным расходом топлива, который автоматически стабилизируется. Относительно небольшие колебания расхода связаны с его коррекциями при регулировании температуры купола воздухонагревателя и колебаниями давления газа в сети. Для их устранения и улучшения работы комплекса доменной печи был предложен буферный режим потребления газа воздухонагревателями. Регенеративный теплообменник рассматривается как мощный дискретный тепловой аккумулятор переменной температуры, который при наличии резервов мощности может быть использован в качестве потребителя избыточного доменного газа. В таком буферном режиме динамически поддерживается баланс между выработкой и потреблением топлива при выполнении ряда ограничений независимо от причин несоответствия между приходной и расходной статьями баланса. Практическая реализация буферного режима состоит в следующем. Период нагрева каждого воздухонагревателя делится на две части. В начальной части периода расход топлива не регулируется и изменяется в соответствии с колебаниями давления газа в сети, а газовый регулирующий дроссель находится в открытом фиксированном положении. В темпе с процессом нагрева определяется количество тепла, аккумулированного насадкой каждого аппарата с номером j в моменты времени i , т.е. $Q_{н, I}(j, i) = K_I(j) \cdot \sum V(j, i) \cdot V_{\alpha}(j, i) \cdot (c' T'(j, i) - c'' T''(j, i)) \cdot \Delta T$. Расход смешанного газа $V(j, i)$, объем продуктов горения $V_{\alpha}(j, i)$, их теплоемкости c' и c'' , температура продуктов горения на входе T' и выходе T'' из насадки аппарата определяются через дискретные промежутки времени ΔT при каждом опросе датчиков состояния объекта. Коэффициент настройки K_I учитывает потери тепла насадкой и определяется из экспериментальных данных. Во вто

рой части периода нагрева расход топлива автоматически стабилизируется, а задание регулятору расхода корректируется так, чтобы в конце периода воздухонагреватель аккумулировал количество тепловой энергии, необходимое для последующего нагрева дутья до технологически заданных параметров. Задание регулятору расхода топлива $B_{2,p}(j,i)$ устанавливается по разности между требуемым $Q_{H,j}$ и фактически накопленным насадкой в первой части периода нагрева $Q_{H,1}(j)$ количествами тепловой энергии. Причем, режим переключения воздухонагревателей, оптимальные длительности периодов нагрева и дутья и рекомендуемые температуры куполов аппаратов определены из решения оптимизационной задачи [1,2]. Пример реализации буферного режима показан на рис.1, где даны графики потребления топлива отдельными воздухонагревателями (кривые 1,2,3) и блоком аппаратов (кривая 4).

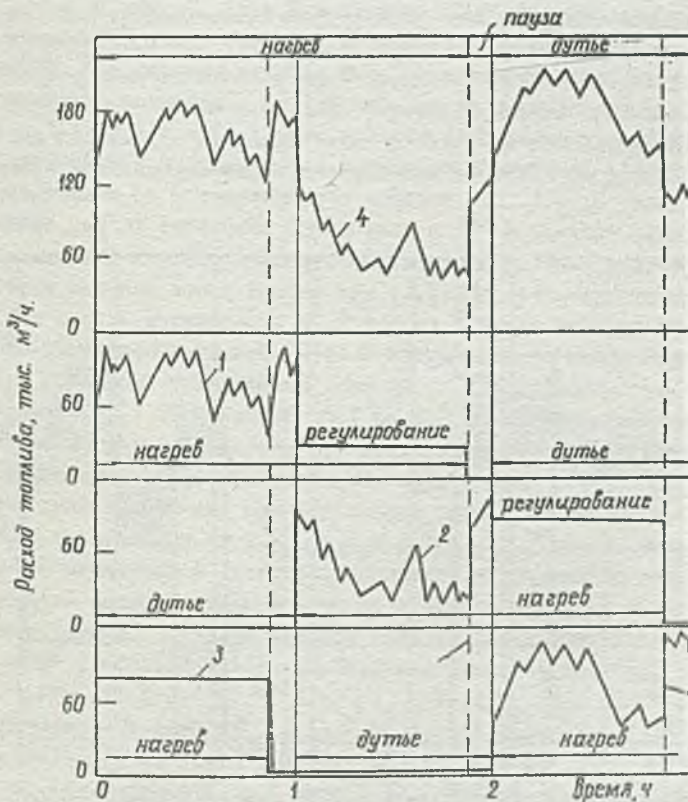


Рис.1. Буферный режим потребления топлива воздухонагревателями
Fig.1. Floating savings of fuel consumption by stoves

3. Алгоритм управления

Основные операции последовательного формирования управлений в темпе с процессом работы воздухонагревателей включают расчеты и логические проверки. Для каждого аппарата блока проверяется наличие рекомендованных расходов топлива $V_p(j)$, длительности цикла теплообмена τ_p и периода дутья $\tau_{др}(j)$. По окончании периода дутья аппарата проверяется наличие средних расчетных значений расхода топлива $\bar{B}(j)$ и угла открытия газового регулирующего дросселя $\bar{\psi}(j)$, полученных за предыдущий период нагрева. Расчет определяется рекомендуемое значение $\psi_p(j)$ на последующий период нагрева. В этот период определяется фактическое значение среднего расхода топлива $\bar{B}(j,i) = (\sum B(j,i))/i$ и угла открытия газового регулирующего дросселя $\psi(j,i) = (\sum \psi(j,i))/i$. Расчет текущих рекомендаций по $\psi_p(j)$ проводится в период нагрева $(n+2)$ раз ($n = 3,4,5$). Из них n раз - для выдачи управлений на газовый дроссель, а два раза - для отключения регулятора расхода топлива. Расчет коррекций расхода топлива ΔV_k ведется по данным опросов датчиков расхода топлива $B(j,i)$ и датчиков положения газового регулирующего дросселя $\psi(j,i)$, т.е. $\Delta V_k(j,i) = B(j,i) \cdot (\psi_p(j) - \psi(j,i)) / \psi(j,i)$. Полученные коррекции алгебраически суммируются с получением значения $V_{k,\Sigma}(j,i)$, которое ограничивается по максимально допустимому расходу топлива V^{\max} и полученный результат n раз вводится в схему регулирования расхода топлива. Повторная коррекция положения газового регулирующего дросселя $\psi_I(j,i)$ для первой части нагрева ведется в момент, соответствующий точке \bar{B} на рис.2, и выполняется n раз при условии, что текущее время периода дутья $\tau(j,i)$ больше допустимого минимального времени этого периода τ_D^{\min} в K_2 раз. Коэффициент настройки K_2 по данным исследований изменяется от 0,5 до 1,5. Значения $\tau(j,i)$ определяется по разности календарного времени суток τ_k и текущего времени с начала периода нагрева $\tau_{н,н}(j)$. Последующие коррекции $\psi_I(j,i)$ определяются по соотношениям, которые аналогичны использованным для определения первой коррекции. Причем, если $\tau(j,i) < 2 \cdot K_2(j) \cdot \tau_D^{\min}$, то переходят к управлению расходом топлива на следующем воздухонагревателе. В противном случае определяется момент перехода аппарата ко второй части периода нагрева с $\tau_{2,п}(j)$ и задание регулятору расхода топлива $V_{2,п}(j)$. Причем, значение $\tau_{2,п}(j) = \tau_{н,п}(j)$ при условии, что $0,95 \cdot V_{2,п}(j) < \bar{B}(j,i) < 1,05 \cdot V_{2,п}(j)$; $\tau_{2,п}(j) = (\bar{B}^{\max}(j) - V_{2,п}(j)) \cdot \tau_{н,п}(j) / (\bar{B}^{\max}(j) - \bar{B}(j,i))$ при $\bar{B}(j,i) < 0,95 \cdot V_{2,п}(j)$; если $\tau_{2,п}(j) < \tau(j,i)$, то задается значение $V_{2,п}(j) = V^{\max}(j)$; $\tau_{2,п}(j) = (V_{2,п}(j) - V^{\min}(j)) \cdot \tau_{н,п}(j) / (\bar{B}(j,i) - V^{\min}(j))$ при $\bar{B}(j,i) > 1,05 \cdot V_{2,п}(j)$; если $\tau_{2,п}(j) < \tau(j,i)$, то задается $V_{2,п}(j) = V^{\min}(j)$; если $\tau_{2,п}(j)$ получено большим, чем $\tau_{н,п}(j,i)$, то принимается $\tau_{2,п}(j) = \tau_{н,п}(j,i)$. Полученные значения $\tau_{2,п}(j)$ и

$B_{2,p}(j)$ используются для управления второй частью периода нагрева, а их уточнение производится один раз через n опросов датчиков состояния воздушонагревателей. В течение двух первых опросов проводится включение регулятора расхода топлива, а затем за n опросов вычисляются средние значения расходов $\bar{B}(j,i,n) = (\sum B(j,i))/n$. Причем, суммирование ведется от $i+1$ до $i+n$. По полученным данным рассчитываются коррекции расходов топлива $\Delta B_{2,k}(j,i) = B_{2,p}(j) - \bar{B}(j,i,n)$, которые алгебраически суммируют, получая $\Delta B_{2,k,\Sigma}(j,i)$, ограничивают результат по максимуму и вводят управление в схему регулирования расхода топлива. Функционирование алгоритма при каждом опросе параметров состояния объекта заканчивается после обслуживания всех работающих воздушонагревателей. Опытная эксплуатация созданного на основе данного алгоритма программного обеспечения позволила улучшить его характеристики. Например, первая коррекция расхода топлива определяется с помощью двух коэффициентов настройки K_1 и K_3 (K_3 изменяется от 0 до 1,5), т.е. $\Delta B_{k,\Sigma}(j,i) = K_1(j) \cdot \sum \Delta B_k(j,i) + K_3(j) \cdot \Delta B_k(j,i)$ при вычислении суммы коррекций расходов топлива от $i=1$ до $n-1$. На основе реализации алгоритмов и программного обеспечения для буферного режима потребления создана подсистема управления расходом газа "ПУРГА". На рис.2 приведен участок диаграммы, показывающей изменение расхода топлива при функционировании

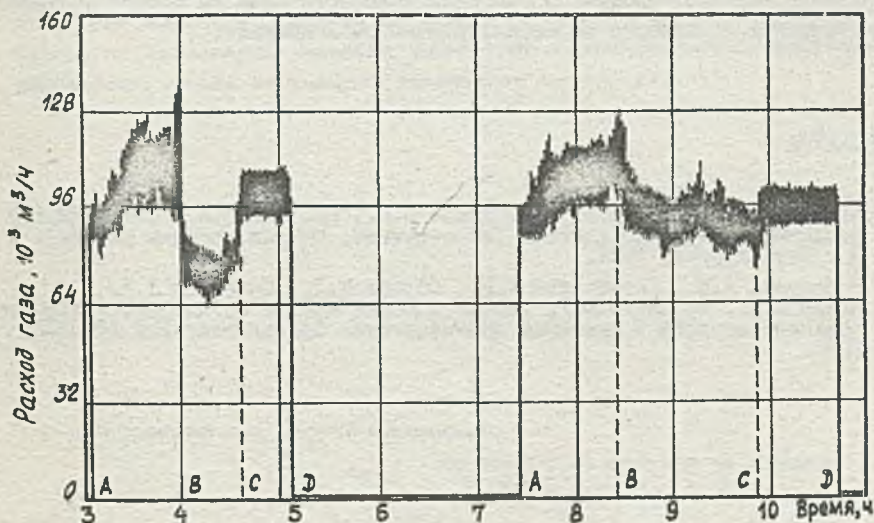


Рис.2. Участок диаграммы расхода топлива на воздушонагреватели при управлении процессом нагрева в буферном режиме работы

Fig.2. Diagram of fuel consumption by stoves with heating control in floating mode

подсистемы в режиме супервизорного управления. В момент времени, соответствующий точке А устанавливалось фиксированное положение газового регулирующего дросселя, а на участках АВ и ВС воздухонагреватель работал как буферный потребитель топлива. В момент, соответствующий точке В, производилась коррекция положения газового регулирующего дросселя, а в точке С производилось включение регулятора расхода топлива, осуществляющего его стабилизацию на участке СД. При избытке доменного газа воздухонагреватели обеспечивали его рациональное использование, а при недостатке газа, получено снижение колебаний его давления в сети. Причем, способность воздухонагревателя к стабилизации давления в сети определяется разностью между средним и минимально допустимым расходами топлива. А способность аппарата к сокращению потерь доменного газа на свечи зависит от соотношения между максимально возможной и необходимой для данных условий мощностями воздухонагревателя. Причем, резервы тепловой мощности зависят для данного блока аппаратов от их режима переключения, требований к нагреву дутья и условий работы доменного цеха. Эксплуатация подсистемы "ПУРГА" в течение трех лет позволила установить следующее. Потери доменного газа сократились на 2,5% от его выработки печью, расход смешанного газа на воздухонагреватели снизился на 5%. Существенно уменьшились колебания давления доменного газа в сети, что улучшило работу всех его потребителей. Сокращение выбросов продуктов сжигания доменного газа на свечах улучшило экологическую обстановку на металлургическом комбинате.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Шкляр Ф.Р., Малкин В.М., Каштанова С.П., Калугин Я.П., Советкин В.Л. Доменные воздухонагреватели (конструкции, теория, режимы работы). М.: Металлургия, 1982.
- [2] Бородулин А.В., Гизатуллин Х.Н., Обухов А.Д., Советкин В.Л., Шкляр Ф.Р., Ярошенко Ю.Г. Математические модели оптимального использования ресурсов в доменном производстве. Свердловск: УНЦ АН СССР, 1985.

Recenzent: Prof.dr inż. H.Kowalowski

Wpłynęło do Redakcji do 1990-04-30.

AUTOMATED CONTROL OF THE BLOCK REGENERATIVE BLAST FURNANCE

S u m m a r y

The paper gives the results of developing an automated control system for the block of blast furnances. The basis for the system is a subsystem for controlling gas consumption which implements supervisory control of floating service of fuel consumption. An original algorithm and software were used in the system. Commercial operation of the system has made it possible to save fuel and energy resources, with stable blast heating until the technologically set parameter values were reached.

ZAUTOMATYZOWANE STEROWANIE BLOKIEM REGENERACYJNYCH NAGRZEWNIC POWIETRZA DLA WIELKICH PIECÓW

S t r e s z c z e n i e

Podano tu wyniki budowy zautomatyzowanego układu sterowania blokiem nagrzewnic powietrza dla wielkiego pieca. Podstawa tego układu jest zespół sterowania przepływem gazu, który realizuje sterowanie nadrzędne buforowym trybem zużycia paliwa przez nagrzewnice powietrza. W układzie wykorzystano oryginalne algorytmy i oprogramowanie. Zastosowanie przemysłowe tego układu zapewniło oszczędność zasobów paliwowych i energetycznych przy stabilnym nagrzewaniu dmuchu do zadanych parametrów technologicznych.