

Блок из четырех воздухонагревателей (рис. 1) представляет собой сложный тепловой объект автоматического управления. Возмущения, действующие на объект, связаны с изменениями теплоты сгорания отопительной газовой смеси доменного, коксового или природного газов, ее давления и расхода холодного дутья в доменную печь.

Каждый воздухонагреватель оборудован техническими средствами электронной автоматики, которые управляют процессом нагрева самого воздухонагревателя и нагрева холодного дутья до заданной высокой температуры, главным образом стабилизируя тепловую мощность с ограничениями по максимальной температуре купола и отходящих дымовых газов.

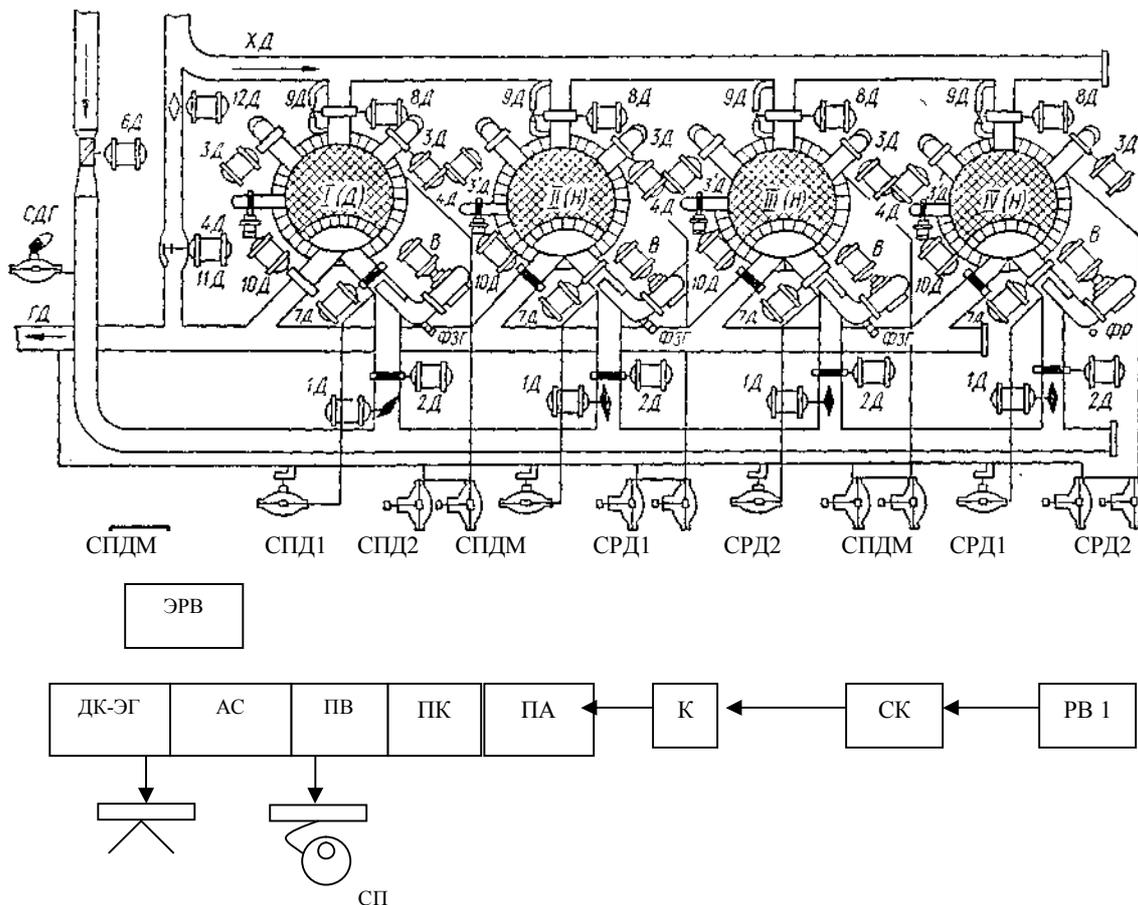


Рис. 1. Схема положения клапанов и шиберов при автоматическом переключении четырех воздухонагревателей: I (д) — воздухонагреватель на дутье; II (н)—III (н)—IV (н) — воздухонагреватели на нагреве; ПА и ПК — панели автоматики; ПК — то же, перекидки клапанов; ПВ — то же, управления вентиляторов; АС — панель аварийной сигнализации; ДК и ЗГ — панель управления дроссельным клапаном и зажиганием; СП — сигнал о начале перекидки; РВ-2 — моторное реле времени; ЗРВ — контрольное реле времени; СК — счетный контактор; К — коммутатор; ЗД — главный дымовой клапан; 4Д — дымовой -перепускной клапан; ДР — доменный газ; ХД — холодное дутье; РТК — регулятор температуры купола; ТП1—ТП4 — термомпары; РДГ — регулятор давления газа; ИМ — исполнительные механизмы; ЭП1—ЭП2 — электронные потенциометры; ДИВ — датчик измерения влажности; ЭМ — электронный мост; ИР — изодромный регулятор; РМД — расходомер дутья; ДМДГ — расходомер доменного газа; МД — манометр для измерения давления холодного и горячего дутья; ДИП — датчики для измерения параметров пара; РПП — регистратор параметров пара; ВН — воздухонагреватель; СП ДМ — сигнализатор падения давления воздуха; СРД1 — сигнализатор разности давления на шибере горячего дутья; СРД2 — то же, на дымовом клапане; ФЗГ — фотоэлектрическая головка; ФР — фотореле; КАРГ — командоаппарат на клапане расхода пара; 6Д — дроссель; СДГ — сигнализатор давления газа; РРГ — регулятор расхода газа; ЗД — дымовой клапан; 5Д — дроссель, регулирующий расход пара; 7Д — отделительный клапан; 8Д — клапан холодного дутья; 9Д — перепускной клапан холодного дутья; 10Д — клапан горячего дутья; 11Д — отделительный клапан холодного дутья (остальные обозначения в тексте).

Функциональная схема системы автоматического регулирования нагрева воздухонагревателя приведена на рис. 2. Смесь коксового и доменного газов

поступает по газопроводу 1 в газовую горелку 3 с воздушным вентилятором 4 и жалюзи Ж, регулирующих расход воздуха для горения (факел Ф в камере горе-

ния). Стабилизация давления газовой смеси перед газовой горелкой осуществляется автоматической системой, состоящей из датчика 5 а давления, автомати-

ческого регулятора 5 г с задающим устройством 5 в, исполнительного механизма 5 д и регулирующего клапана 5 е в газопроводе.

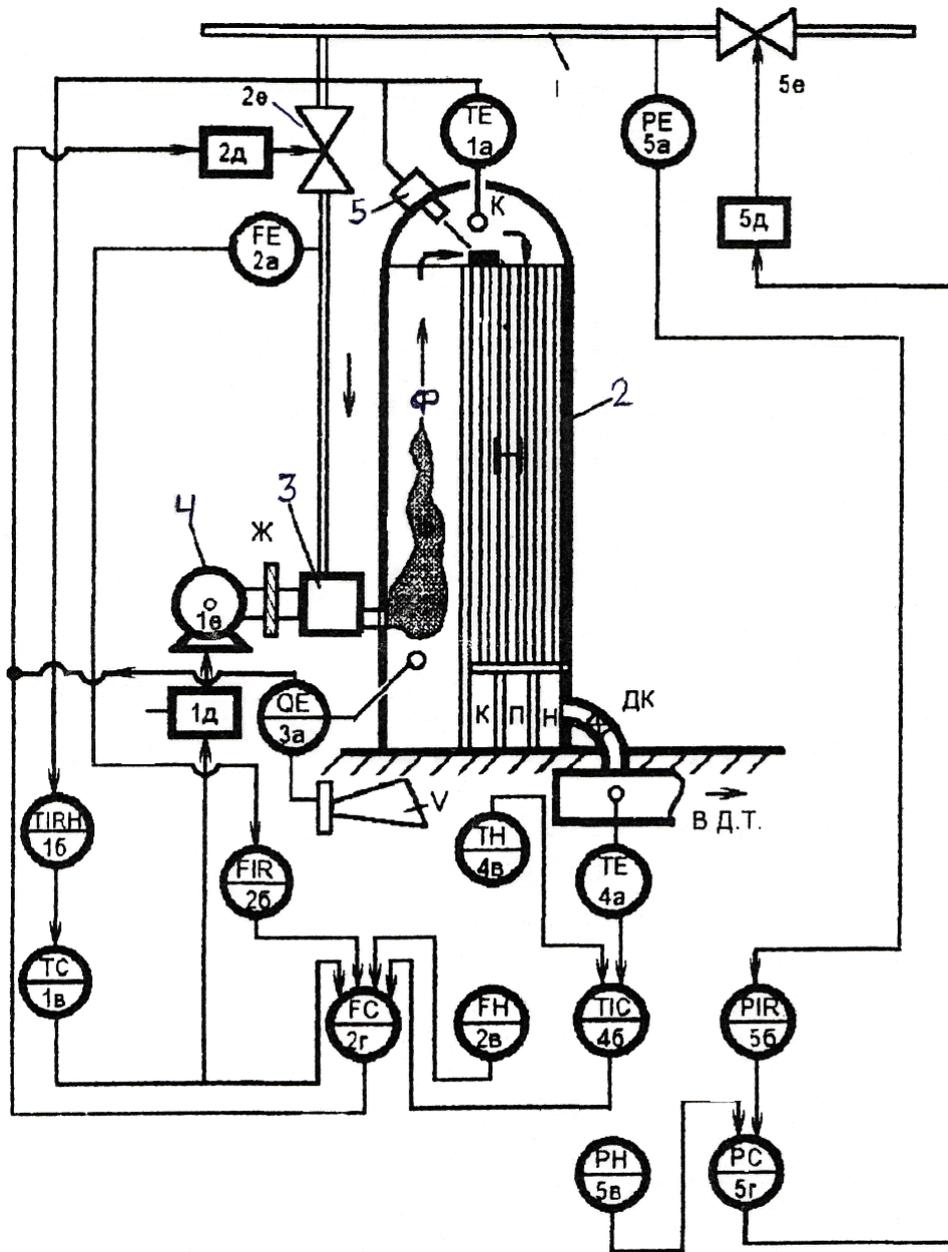


Рис. 2. функциональная схема системы автоматического контроля и регулирования нагрева воздухонагревателя.

Расход газа на горелку воздухонагревателя контролируется расходомером 2 б с диафрагмой (датчиком) 2 а в газопроводе и регулируется регулятором 2 г посредством исполнительного механизма 2 д дроссельной заслонкой 2 е. Автоматический регулятор 2 г корректирует расход газа по сигналам ограничения, поступающим из вторичных приборов 1 б и 4 б, изменяющих температуру купола (термопара 1 а и радиационный пирометр 5) и дымовых газов (термопара 4 а, размещенная в дымовом борове после дымового клапана ДК).

Температура купола К стабилизируется системой, состоящей из датчика температуры 1 а, регистрирующего потенциометра 1 б и автоматического регулятора 1 в, который регулирует количество оборотов вентилятора или посредством жалюзи изменяет поступление воздуха в газовую горелку 3.

Управление всем тепловым режимом воздухонагревателей происходит в полностью автоматическом режиме по циклограмме, что исключает ошибочные действия персонала, могущие вызвать взрывоопасную ситуацию при переключении с одного режима на дру-

гой или при угасании факела пламени в камере горения, наличие которого контролируется фотореле 3 а.

После переключения воздухонагревателей на режим нагрева из Control Logix поступает сигнал на включение вентилятора и частичное открытие дроссельного клапана 2 е на газопроводе на угол зажигания. Воспламенение газа в камере горения обычно происходит от остаточной температуры стенок, если она не ниже 400 °С. Если в камере горения вспыхивает факел фотореле "разрешает" включение регулятором 2 г расхода газа и его подачу в горелку. Когда температура купола достигнет максимально допустимого значения регулятор 2 г увеличивает подачу воздуха в горелку для стабилизации температуры купола. При этом теплоотдача от газов к насадке "Н" воздухонагревателя увеличивается из-за увеличения количества дымовых газов и скорости их движения по каналам насадки. По мере прогрева насадки повышается температура дымовых газов и по достижении максимально допустимой величины, заданной устройством 4 в, корректирующий прибор 4 б изменяет задание регулятору 2 г расхода газа, не допуская дальнейшего повышения температуры дымовых газов. Если при этом температура купола несколько понизится, то регулятор 1 в расхода воздуха сокращает его подачу для повышения температуры до заданного значения.

При падении давления газа возможно угасание факела, наличие которого непрерывно контролируется с помощью фотореле 3 а. Его блок - контакты замыкаются и подается импульс исполнительному механизму дроссельного клапана, отсекающего подачу газа в горелку с одновременным включением аварийной сигнализации.

Фотореле ФЕ разрешает включение вентилятора и открывание газорегулирующего клапана после воспламенения газа.

Перевод нагретого воздухонагревателя на дутье, а остывшего на нагрев производится в автоматическом режиме посредством клапанов и шиберных устройств по импульсам реле времени или по импульсу конечного выключателя смесительного клапана в системе автоматического регулирования температуры горячего дутья, а в новой системе – по команде Control Logix.

Горячее дутье подается в доменную печь непрерывно. Это достигается поочередным переключением нагретых до заданной температуры воздухонагревателей с режима нагрева на дутье путем перекидки клапанов и шиберов, оборудованных электрофицированными приводами. Применяются два способа автоматического управления переключением: полное автоматическое и неполное-циклическое. При полном автоматическом управлении все операции, связанные с переключением воздухонагревателей на нагрев и на дутье, осуществляются автоматически в строго установленном порядке при помощи Control Logix и электроблокировки.

Импульсы на автоматическое переключение клапанов подает моторное реле времени, а на открытие или закрытие дымовых клапанов и клапана горячего дутья импульсы поступают от соответствующих сигнализаторов. Фотореле, контролирующее наличие факела, включает и выключает вентиляторы горелок и газовые дроссели.

Применяются различные принципы автоматического управления переключением воздухонагревателей. Наиболее распространенными являются два принципа: а) по управляющему импульсу Control Logix; б) по импульсу в зависимости от положения смесительного клапана, которое является функцией температуры дутья.

Сущность нового принципа автоматического управления переключением воздухонагревателей с одного режима на другой заключается в следующем. В Control Logix с процессором заложена циклограмма – график (рис. 3) выполнения операций переключения воздухонагревателей при индивидуальном, циклическом и автоматическом.

Автоматическое управление переключением клапанов производится без вмешательства газощика по импульсам Control Logix, который обеспечивает следующий порядок переключения клапанов (см. рис. 1 и 3). Закрывается газоотсекающий клапан 2 Д, давая тем самым команду на закрытие газорегулирующего клапана 1 Д и остановку вентилятора. После выдержки времени, необходимой для сгорания остатков газа, закрываются отделительный клапан 7 Д и дымовые клапаны 3 Д. При этом воздухонагреватель находится в горячем резерве. Открывается перепускной клапан холодного дутья 9 Д в шибере клапана холодного дутья 8 Д, чтобы снять перепад давления на клапанах горячего 10 Д и холодного 8 Д дутья. Перепад давления на шибере горячего дутья контролируется прибором СРД1.

Когда полностью открывается клапан 8 Д, поступает команда на перевод остывшего воздухонагревателя на нагрев. Перевод осуществляется в следующей последовательности. Открывается дымовой перепускной клапан 4 Д и устраняется перепад давления на дымовых клапанах 3 Д, которые контролируются прибором СРД2. Открываются дымовой клапан 3 Д, отделительный 7 Д и газоотсекающий 2 Д (с открытием дымового клапана 3 Д спускной клапан 4 Д закрывается). Когда газоотсекающий клапан 2 Д откроется, подается импульс на предварительное открывание (на угол 6-7 град) газорегулирующего клапана 1 Д и газ поступает в горелку с воздухом под естественной тягой. После воспламенения газа включается вентилятор, число оборотов которого возрастает ступенчато, и открывается газорегулирующий клапан.

Импульс о начале перекидки клапанов поступает от реле времени РВ-2 на панель ПА. Одновременно включается счетный контактор СК, который с помощью коммутатора К начинает переключение клапанов очередного воздухонагревателя в соответствии с графиком переключения.

Разрешение на открывание шиберов горячего дутья и дымовых клапанов подают сигнализаторы разности давления СРД1 и СРД2.

Для контроля автоматической перекидки клапанов служит аварийная сигнализация АС и реле времени ЗРВ, которое замыкает цепь АС, если один из клапанов не работает или окажется в неправильном положении.

Задачами автоматического регулирования теплового режима воздухонагревателей являются полное и экономичное сжигание топлива, нагрев насадки до заданной температуры с ограничением предельной температуры купола и дымовых газов для предотвращения размягчения огнеупоров и деформации поднасадочных колонн, автоматическое переключение с нагрева на дутье и наоборот.

В связи с повышенной газоопасностью воздухонагревателей важнейшей задачей их автоматизации является предотвращение возникновения аварийных ситуаций, которые могут произойти при нарушении порядка переключения их с одного режима на другой или при внезапном угасании факела пламени в камере горения.

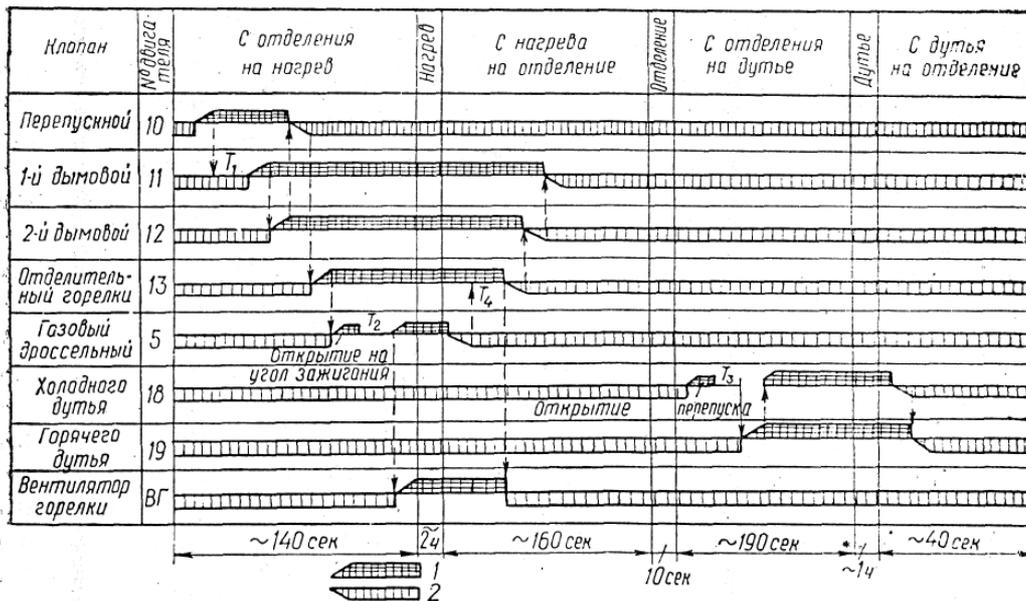


Рис. 3. График переключения клапанов воздухонагревателя: τ_1 – время выравнивания давления в дымовом борове и воздухонагревателе; T_2 – то же, зажигания газа; T_3 – время выравнивания давления в воздухопроводе горячего дутья и воздухонагревателе; T_4 – время продувки. условные обозначения: 1 – клапан открыт и вентилятор работает; 2 – клапан закрыт и вентилятор не работает

При автоматическом регулировании нагрева воздухонагревателей ограничивающими факторами служат температура купола, верхних рядов огнеупорной кладки насадки и подпорных поднасадочных колонн. Регулированием соотношения газ-воздух (коэффициента избытка воздуха), поступающих в газовую горелку, достигается необходимая полнота сжигания топлива и ограничение температуры указанных частей конструкции воздухонагревателя. Автоматическое регулирование теплового режима позволяет нагревать насадку за минимальный промежуток времени до заданной температуры с учетом перечисленных ограничений. Заданная температура нагрева купола (основное ограничение) достигается регулированием соотношения газ-воздух двумя способами: изменением количества воздуха при постоянном расходе газа или регулированием расхода газа при постоянном количестве воздуха.

Преимущественно применяется первый способ, обеспечивающий форсированный нагрев насадки, экономное сжигание топлива и точное по величине ограничение предельной температуры увеличением избытка воздуха. Второй способ не позволяет точно ограничивать температуру купола без ухудшения нагрева насадки и поэтому не получил широкого применения.

В функцию подсистемы «Воздухонагреватели» входит оптимизация их тепловых режимов, что сводится к решению трех задач:

- определение оптимальной длительности составляющих цикла работы воздухонагревателей (длительности периодов нагрева или дутья);
- выбор оптимальных параметров нагрева, т.е. расхода газа и закона его изменения в период нагрева воздухонагревателя;
- поиск оптимального режима работы блока - последовательного, попарно-параллельного или смешанного.

Целью управления доменными воздухонагревателями при ограничениях на их тепловую мощность может служить получение максимальной температуры горячего дутья или максимального среднего теплоусвоения воздухонагревателя (блок воздухонагревателей).

При ограничениях на температуру горячего дутья целями управления являются достижение минимального расхода топлива на нагрев дутья, минимального расхода топлива на единицу тепловой энергии горячего дутья или минимальной потери тепла с уходящими газами.

Могут применяться и технико-экономические критерии оптимальности, например, средние приведенные потери тепла при нагреве дутья.

Рассмотрим решение первой задачи выбора оптимальной длительности периода нагрева путем минимизации критерия оптимальности I (руб/с), который выражает средние приведенные потери при нагреве дутья:

$$I = a_1 \frac{\int_0^{\tau_H} Q_{\dot{A}\dot{A}} d\tau}{\tau_H} + \frac{\dot{I}}{\tau \dot{f}}, \quad (1)$$

где a_1 - стоимость потерь тепла, руб/кДж; Π - потери от переключения воздухонагревателя за один цикл, руб; $Q_{\dot{A}\dot{A}}$ - потеря тепла с уходящими дымовыми газами.

В свою очередь

$$Q_{\dot{A}\dot{A}} = V_{\dot{\Delta}\dot{\Delta}} t_{\dot{A}\dot{A}} c_{\dot{A}\dot{A}}, \quad (2)$$

где $V_{\dot{\Delta}\dot{\Delta}}$ - расход продуктов сгорания, м³/с; $t_{\dot{A}\dot{A}}$ - температура продуктов сгорания на выходе из воздухонагревателя, °С; $c_{\dot{A}\dot{A}}$ - теплоемкость продуктов сгорания, кДж/(м³ • К);

$$\Pi = D_1 + D_2 + D_3 + D_4 + D_5, \quad (3)$$

где D_1 - потери от снижения температуры горячего дутья из-за переключения воздухонагревателя, руб; D_2 - потери при продувке воздухонагревателей, руб; D_3 - стоимость дутья, выпускаемого из воздухонагревателя, руб; D_4 - стоимость кислорода, выпускаемого с дутьем, руб; D_5 - потери из-за уменьшения производительности доменной печи от недоданного дутья, руб.

Составляющие потерь

$$D_1 = (a_1 \eta - \dot{O}_1) \tau_I V_{\dot{A}} Q_{HP} \quad (4)$$

Где τ_I - длительность перевода воздухонагревателя (пауза), с; $V_{\dot{A}}$ - расход топлива в период нагрева, м³/с; Q_{HP} - теплота сгорания топлива, кДж/м³; η - к.п.д. воздухонагревателя; \dot{O}_1 - цена топлива, руб/кДж;

$$D_2 = a_1(Q_{\dot{n}ae} + Q_B), \quad (5)$$

где $Q_{\dot{n}ae}$ - тепло выпущенного дутья, кДж, равно $Q_{\dot{n}ae} = V_{\dot{n}ae} t_{\dot{n}ae} c_{\dot{A}}$; $V_{\dot{n}ae}$ - объем дутья в воздухонагревателе, м³; $t_{\dot{n}ae}$ - температура дутья, $t_{\dot{N}E} \approx t_{\dot{A}I}$; $t_{\dot{A}I}$ - температура продуктов сгорания на выходе из воздухонагревателя в начале периода нагрева, °С;

$$V_{\dot{N}E} = V_{\dot{N}\dot{A}} \frac{\delta + \delta_{\dot{a}}}{\delta_{\dot{a}}} \frac{293}{273 + t_{ce\dot{a}}}, \quad (6)$$

где V_{CB} - свободный объем воздухонагревателя, i^3 ; p - избыточное давление горячего дутья, Па; $\delta_{\dot{a}}$ - барометрическое давление, Па; $t_{\dot{n}ae}$ - средняя по высоте насадки температура дутья, °С; $<2v$ - тепло, затраченное на нагрев вентиляторного воздуха при продувке, кДж:

$$Q_B = V_{B.B.} \tau_{i\dot{o}} t_{\dot{A}} C_{\dot{A}}, \quad (7)$$

где $V_{B.B.}$ - производительность вентилятора при продувке, i^3/\dot{n} ; $\tau_{i\dot{o}}$ - длительность продувки воздухонагревателя после нагрева, с; t_B - температура вентиляторного воздуха на выходе из вентилятора, °С, $t_B \approx t_{\dot{A}.e\dot{i}\dot{i}}$; $t_{\dot{A}.e\dot{i}\dot{i}}$ - температура продуктов сгорания на выходе из воздухонагревателя в конце периода нагрева, °С;

$$D_3 = \dot{O}_2 V_{\dot{n}ae}, \quad (8)$$

где \dot{O}_2 - цена дутья, руб/м³;

$$D_4 = \dot{O}_3 V_{\dot{n}ae}, \quad (9)$$

где \dot{O}_3 - цена кислорода, идущего на обогащение дутья, руб/м³, $V_K = V_{\dot{n}ae} (O_2 - 21)/100$; \dot{I}_2 - содержание кислорода в дутье, %;

$$D_5 = a_2 V_{\dot{n}ae}, \quad (10)$$

где \dot{a}_2 - стоимость потерь дутья, отразившихся на производительности печи, руб/м³.

Оптимальная длительность периода нагрева рассчитывается один раз за цикл переключения по минимуму средних приведенных потерь при нагреве дутья блоком из N воздухонагревателей $I^{\dot{a}\dot{e}}$:

$$I^{\dot{a}\dot{e}} = \dot{O}_1 \sum_{j=1}^N \overline{Q}_{\dot{A}\dot{A}j} + \sum_{j=1}^N \overline{I}_{ji} \quad (11)$$

где $\overline{Q}_{\dot{A}\dot{A}j}$ - среднее за i опросов значение потерь тепла с уходящими из j -того воздухонагревателя продуктами сгорания в единицу времени; \overline{I}_{ji} - среднее за i опросов значение потерь, сопровождающих переключение воздухонагревателей.

Для определения оптимальной длительности периода нагрева $\tau_{i.\dot{n}\dot{o}}$ предварительно рассчитывается средняя скорость увеличения потерь тепла $\Delta Q_{\dot{A}\dot{A}j}$ с уходящими из j -того воздухонагревателя продуктами сгорания:

$$\Delta Q_{\dot{A}\dot{A}j} = (Q_{\dot{A}\dot{A}j} - Q_{\dot{A}\dot{A}j\tau_3}) / (\Delta t - \tau_3), \quad (12)$$

где $Q_{\dot{A}\dot{A}j\tau_3}$ - потери тепла j -тым воздухонагревателем при первом опросе после τ_3 ; τ_3 - расчетное время от начала периода дутья.

Затем $\tau_{i.\dot{n}\dot{o}}$ рассчитывается по формуле

$$\tau_{i.\dot{n}\dot{o}} = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^N \overline{I}_{ji}}{\dot{O}_1 \sum_{j=1}^N \Delta \overline{Q}_{\dot{A}\dot{A}j}}}, \quad (13)$$

Выводы

Программируемый логический контроллер фирмы «ALLEN BRADLEY» с микропроцессором 1T56L55M24, на которых базируется подсистема автоматического управления тепловым режимом доменных воздухонагревателей, выполняет следующие функции: управляет нагревом воздухонагревателей с автоматическим контролем по ограничивающим факторам (температуре купола и дымовых газов); обеспечивает получение заданной температуры нагрева горячего дутья; управляет в оптимальном режиме переключением воздухонагревателей – снимает с нагрева дутья остывший до заданной температуры и переводит на нагрев дутья нагретый до заданной температуры воздухонагреватель.

Подсистема «Воздухонагреватели» предназначена в основном для оптимизации длительности составляющих цикла работы воздухонагревателей (длительности периодов нагрева самого воздухонагревателя и нагрева дутья).

В качестве оптимального режима работы блока воздухонагревателей следует рекомендовать попарно – параллельный.

ЛИТЕРАТУРА

1. В.А. Смоляк, А.В. Гричановский. Новые принципы и алгоритмы модернизированного управления процессом доменной плавки. Публикация I. Подсистема автоматизированного управления шихтовкой и загрузкой (ПСАУШЗ). Научный журнал «Математические моделирование», №1 (18), 2008, с.56 – 60.
2. В.А. Смоляк, Б.В. Щербицкий. Автоматизация и оптимизация процесса доменной плавки. М, «Металлургия», 1974, с. 150.

