

Ю.С. Ермакова ⁽¹⁾, аспирант

Е.Н. Барищенко ⁽¹⁾, доцент, к.т.н.

А.О. Ерёмин ⁽²⁾, зав. кафедрой, к.т.н., доцент

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ОТОПЛЕНИЕМ НАГРЕВАТЕЛЬНЫХ КОЛОДЦЕВ С ОБЪЕМНО- РЕГЕНЕРАТИВНЫМ СПОСОБОМ СЖИГАНИЯ ТОПЛИВА

(Сообщение 1)

⁽¹⁾ Запорожская государственная инженерная академия,

⁽²⁾ Национальная металлургическая академия Украины, г. Днепропетровск

Розглянуто основні переваги об'ємно-регенеративного способу спалювання палива в нагрівальних колодцях та необхідність підвищення його ефективності шляхом автоматизованого управління. Запропоновано алгоритм управління, що дозволить забезпечити майже повний контроль параметрів технологічного процесу та автоматичне підтримування способу опалення в межах об'ємно-регенеративного спалювання палива без можливості його переходу на факельне.

Рассмотрены основные преимущества объемно-регенеративного способа сжи-гания топлива в нагревательных колодцах и необходимость повышения его эффективности путем автоматизированного управления. Предложен алгоритм управления, который позволит обеспечить почти полный контроль параметров технологического процесса и автоматическое поддержание способа отопления в пределах объемно-регенеративного сжигания топлива без возможности его перехода на факельный.

Введение. Возрастающие требования к качеству продукции и ее конкурентоспособности на мировом рынке способствуют пересмотру подхода к конструированию нагревательных топливных печей, организации процессов горения газообразного топлива и его рационального использования, разработке современных алгоритмов уп-равления металлургическими агрегатами и методов оптимизации производственных процессов.

Распространенный факельный способ сжигания топлива часто перестает удовлетворять требованиям нагрева металла по ряду причин. Во-первых, наличие локальных высокотемпературных зон в рабочем пространстве печи с интенсивным образованием «термических» оксидов азота NO_x , во-вторых, отклонение расходов топлива и воздуха от номинального значения сопровождается заметным изменением длины, а нередко и траектории движения факела и, в-третьих, наличие зон высокой температуры приводит к неравномерности нагрева металла по длине и высоте рабочей камеры, то есть так называемой нестандартности нагрева. Следовательно, возникает необходимость совершенствования способов отопления нагревательных печей с точки зрения повышения качества нагрева металла и энергосбережения.

Одним из наиболее эффективных методов топливоиспользования в металлургических нагревательных печах нового поколения является объемно-регенеративный способ сжигания топлива, при котором равномерное распределение продуктов горения по объему рабочего пространства печи,

отсутствие выраженных высокотемпературных очагов горения, а также реверсивное движение газов в печи, создают условия для стандартного нагрева садки металла. При этом снижается интенсивность образования оксидов азота и количество вредных выбросов в атмосферу. Регламентированное перемешивание реагентов горения позволяет поддерживать в печи малоокислительную атмосферу и, тем самым, снизить окалинообразование [1].

Постановка задачи. Целью работы является построение алгоритма управления процессом нагрева металла, позволяющего обеспечить основные требования организации объемно-регенеративного способа сжигания топлива, а также решение вопроса автоматического поддержания технологических параметров на заданном уровне или изменения их по заранее определенному закону.

Главные принципы организации объемно-регенеративного способа сжигания топлива. Организация рассматриваемого способа сжигания топлива в нагревательных печах возможна путем разделения потоков топлива и воздуха в горелке, обеспечивающего заданное качество перемешивания данных реагентов во всем объеме рабочей камеры печи, при этом на процесс смешивания реагентов оказывают влияние конструктивные и газодинамические факторы.

Такие конструктивные факторы, как тип, количество, геометрические параметры и взаимное расположение газовых сопел и каналов для подачи на горение топлива, подогретого в регенераторах воздуха, расположение и количество окон, необходимых для отвода из рабочего пространства продуктов горения, создают предпосылки для регламентированного перемешивания топлива и воздуха, а также организации крупномасштабной внутренней рециркуляции.

К газодинамическим факторам можно отнести скорости истечения и импульсы топливной и воздушной струй, их кинетическую энергию движения, кратность рециркуляции продуктов горения, которые определяются расходными характеристиками топливосжигающих устройств, конструкцией горелок, сопел и воздушных каналов, рециркуляционных окон печи и их взаимным расположением.

Согласно работе [2], регулирование скорости перемешивания газозооной смеси при реализации объемно-регенеративного способа сжигания топлива обеспечивает физический недожога на выходе из рабочего пространства нагревательной печи на уровне 0,1...5,0 %. В указанном диапазоне поддержания физического недожога в продуктах горения, отходящих из рабочего пространства печи, присутствуют неиспользованные при горении топливо и кислород. Горение продолжается при движении продуктов сгорания к регенераторам печи, возможно догорание топлива и в верхних рядах насадки регенераторов. При меньшем физическом недожоге на выходе из печи в рабочей камере происходит полное сжигание топлива и объемно-регенеративный способ сжигания переходит в факельный. При величине физического недожога на выходе из рабочего пространства печи более 5,0 % процесс горения продолжается и после регенераторов.

При объемно-регенеративном способе сжигания топлива в составе продуктов горения на выходе из регенератора отсутствует монооксид углерода, водород и другие горючие компоненты топлива. Устранение высокотемпературных зон горения, присущих факельному способу сжигания, приводит к снижению количества оксидов азота, которые образуются в процессе горения, на 20...50 %.

В результате анализа основных принципов организации объемно-регенеративного способа сжигания топлива был составлен список параметров (табл. 1), которые необходимо учитывать при построении алгоритма управления процессом нагрева металла: исходные (контролируемые и вычисляемые), а также параметры для управляющего воздействия.

К исходным параметрам были отнесены: температура поверхности металла, температура продуктов горения в подрегенеративном пространстве, величина физического недожога на выходе из рабочей камеры колодца и на выходе из регенератора, соотношение скоростей топлива и воздуха и их абсолютные значения, а к управляющим сигналам – расходы топлива и воздуха, а также частота реверса продуктов горения.

Таблица 1 – *Параметры процесса нагрева при объемно-регенеративном способе сжигания топлива*

Тип параметров	Параметры
Неизменные (для конкретного типа нагревательной печи)	Количество газовых сопел и каналов для подогретого в регенераторах воздуха Геометрические параметры сопел и каналов подогретого воздуха Взаимное расположение сопел и каналов подогретого воздуха Динамические характеристики потоков топлива и воздуха Угол встречи потоков реагентов Форма траектории движения печных газов Наличие и объем рециркуляционных зон
Контролируемые (для обеспечения оптимального режима работы колодца)	Температура в рабочем пространстве Температура продуктов сгорания в подрегенераторном пространстве Величина физического недожога на выходе из колодца Величина физического недожога на выходе из регенератора
Вычисляемые (для организации и обеспечения объемно-регенеративного способа сжигания топлива)	Скорость потоков топлива и воздуха Скорость перемешивания реагентов
Параметры для управляющего воздействия	Расход топлива и воздуха Частота реверса продуктов горения

После анализа технологического объекта установлено, что система управления процессом нагрева металла содержит систему управления температурой (металла, продуктов горения, подогретого воздуха), подобную обычным одноконтурным системам регулирования, и систему управления величиной недожога до и после регенератора. Представляет интерес разработка алгоритма управления параметрами, обеспечивающими объемно-регенеративное сжигание топлива, то есть недожогом в разных точках объекта.

При разработке технического задания на выполнение проекта АСУ ТП по реконструкции системы отопления регенеративных нагревательных колодцев цеха «Блюминг-1» металлургического комбината ОАО «Криворожсталь» предусматривали подачу 70 % продуктов горения топлива в регенератор с шариковой насадкой. Остальную часть продуктов горения отводят через четыре

вертикальных канала и удаляют в дымовой боров перед шибером, который регулирует давление в ячейке колодца. Нагрев шариковой насадки осуществляют в течение 5...10 мин до достижения температуры 200 °С под насадкой регенератора, через который в данный момент проходят продукты горения, после чего осуществляют «перекидку» газозвудушных клапанов.

Если температура продуктов горения за нагревающимся регенератором достигнет 200 °С раньше, чем за 5 мин, то регулятор дает команду на уменьшение степени открытия регулирующего клапана, чем создается подпор по дымовому тракту регенератора и в рабочей камере ячейки. Регулятор давления, воздействуя на дымовой шибер, устанавливает необходимую величину давления в ячейке, и, одновременно выполняет перераспределение потоков продуктов горения между регенератором и вертикальными каналами в сторону увеличения доли продуктов горения, покидающих колодец, минуя регенератор.

В данной системе управления новыми элементами служат контур управления «перекидкой» газозвудушных клапанов по уровню температуры под регенератором и по времени, а также контур управления положением регулирующего шибера на дымососе по уровню температуры под регенератором. Система была дополнена контурами контроля и регулирования недожога для обеспечения условий реализации объемно-регенеративного способа сжигания топлива.

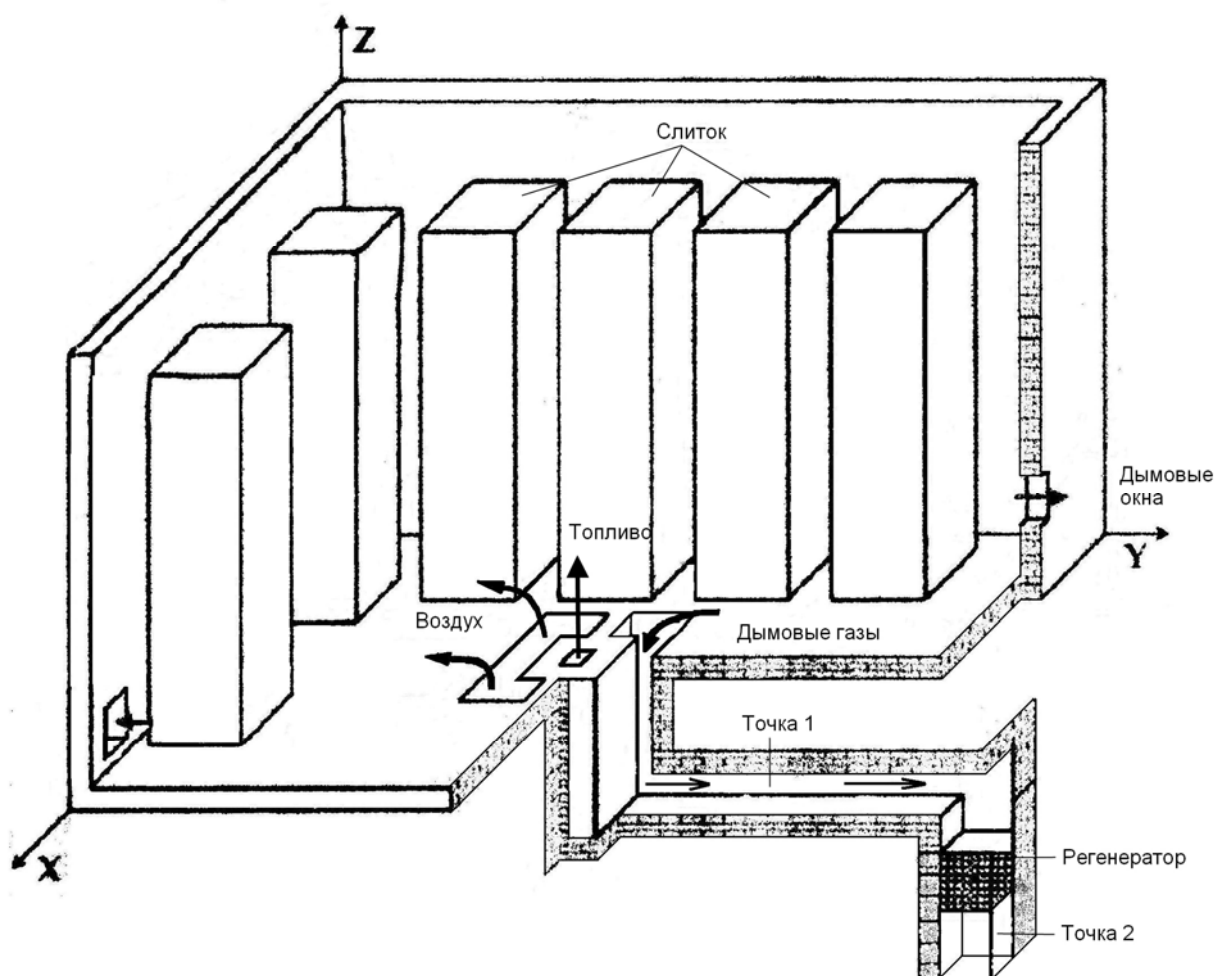


Рисунок 1 – Нагревательный колодец с отоплением из центра пода

Был выполнен анализ состава продуктов горения на выходе из рабочего пространства колодца (точка 1) и на выходе из регенератора (подрегенераторное пространство, точка 2) (рис. 1). Как отмечалось выше, значение физического недожога в точке 1 должно изменяться в пределах 0,1...5,0 % и этот диапазон был выбран в качестве задания для регулятора Р1. Управляющим воздействием регулятора Р1 является расход воздуха для изменения соотношения «топливо-воздух». Величина недожога в точке 2 является другим выходным параметром системы и при определенных условиях может или зависеть от значения недожога в точке 1, или изменяться независимо от него. Возникает необходимость построения алгоритма управления, в котором были бы учтены все возможные случаи изменения условий горения топлива до и после регенератора.

Сигнал от газоанализатора физического недожога на выходе из рабочей камеры колодца поступает на регулятор Р1, который вырабатывает управляющее воздействие u_1 на изменение расхода воздуха, а сигнал от газоанализатора недожога за регенератором поступает на регулятор Р2, который вырабатывает управляющее воздействие u_2 , которое обрабатывается вместе с сигналом u_1 и подается на объект управления.

Таким образом, при едином управляющем воздействии можно добиться одновременного поддержания в заданных пределах величин недожога в точках 1 и 2.

Предлагаемая система управления отоплением в нагревательном колодце регенеративного типа работает следующим образом. При соответствии уровня недожога заданному значению (0,1...5,0 %) расход воздуха остается постоянным, система работает согласно существующему алгоритму перераспределения потоков продуктов горения, «перекидку» газовоздушных клапанов производят в зависимости от скорости роста температуры в подрегенеративном пространстве (до уровня 200 °С в течение 5...10 мин), а интервал времени между перекидками клапанов остается постоянной величиной ($\tau = \text{const}$).

В случае появления отклонения фактической величины недожога от данного значения регулятор Р1 вырабатывает управляющее воздействие, изменяя расход воздуха, и перекидка газовоздушных клапанов осуществляется по достижении температуры в подрегенеративном пространстве величины 200 °С, при этом интервал времени между перекидками клапанов не является фиксированным значением ($\tau = \text{var}$).

Выводы

Определены основные требования к организации объемно-регенеративного способа сжигания топлива. Рассмотрен алгоритм управления процессом нагрева металла в печи, параметры которого обеспечивают регламентированный недожог топлива, характерный для объемно-регенеративного способа сжигания топлива, а также сокращения расхода топлива за счет поддержания минимального недожога в подрегенеративном пространстве. Разработанный алгоритм может быть применен для новых конструкций нагревательных колодцев с дополнительными окнами для отвода продуктов горения [3].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Ерёмин А. О.* Разработка и применение объемно-регенеративного способа сжигания топлива в нагревательных печах [Текст] / А. О. Ерёмин, А. В. Сибирь, В. И. Губинский // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. – 2008. – № 6 (251). – С. 88-91.

2. Об'ємно-регенеративний спосіб спалювання палива при нагріві металу [Текст] : Пат. на корисну модель 26272 Україна / Єрємін О. О., Губинський В. Й., Сибір А. В. – опубл. 10.09.2007. Бюл. № 14.
3. Ерёмин А. О. Промышленная эксплуатация регенеративного нагревательного колодца комбината «Криворожсталь» [Текст] / А. О. Ерёмин // Metallurgicheskaya teplo tekhnika : sbornik nauch. trudov. NMetAU. – Dnepropetrovsk : Novaya ideologiya, 2005. – S. 93-101.

Стаття надійшла до редакції 17.02.2012
р.

Рецензент, проф. І.Г. Яковлева